

Atlas hodnotenia zraniteľnosti a rizík nepriaznivých dôsledkov zmeny klímy na území hlavného mesta SR Bratislavy

Útvar hlavnej architektky hlavného mesta SR Bratislavy
v spolupráci s Prírodovedeckou fakultou UK v Bratislave



Zodpovedná:

Ing. arch. Ingrid Konrad, hlavná architektka hlavného mesta SR Bratislavy

Spracovateľ:

Mgr. Eva Streberová, PhD., Útvar hlavnej architektky hlavného mesta SR Bratislavy

Kolektív autorov (v abecednom poradí):

Dipl.-Inform. Manfred Bogen, Ph.D., Fraunhofer IAIS, Nemecko

Ing. arch. Ingrid Konrad, hlavná architektka hlavného mesta SR Bratislavy

prof. RNDr. Mária Kozová, CSc., Katolícka Univerzita v Ružomberku

Daniel Lückérath, Ph.D., Fraunhofer IAIS, Nemecko

Doc. RNDr. Eva Paudišová, PhD., Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave

Mgr. Jozef Pecho, Slovenský hydrometeorologický ústav

Ing. Tamara Rehačková, PhD.

Mgr. Eva Streberová, PhD., Útvar hlavnej architektky hlavného mesta SR Bratislavy

Ing. et Ing. Miroslava Šteflovíčová

Ing. et Ing. Monika Šteflovíčová, Útvar hlavnej architektky hlavného mesta SR Bratislavy

Fotografia na titulnej a zadnej strane: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.

Text neprešiel jazykovou úpravou.

Útvar hlavnej architektky, hlavné mesto Slovenskej republiky Bratislava (2020).

ISBN 978-80-570-2203-9

**Podakovanie:**

Útvar hlavnej architektky týmto ďakuje Fraunhofer Institute IAIS v Nemecku, Slovenskému hydrometeorologickému ústavu a Národnému centru zdravotníckych informácií SR za metodickú pomoc, poskytnuté konzultácie a údaje.

Atlas vznikol s využitím výstupov projektu č. 653522 „Climate Resilient Cities and infrastructures – RESIN“ (Mestá a infraštruktúry odolné voči zmene klímy), ktorý bol podporený z Rámcového programu Európskej únie Horizont 2020.

Viac informácií o projekte nájdete na stránke www.resin-cities.eu.

OBSAH

Predslov	2		
Slovník pojmov	3		
Zoznam použitých skratiek	4		
Úvod	6		
1. Globálny kontext zmeny klímy	8		
1.2. Pozorované a predpokladané trendy zmeny klímy na území Slovenska a Bratislavy	10		
1.3. Poveternostné extrémny a klimatická zmena	13		
1.4. Aké klimatické podmienky nás čakajú?	13		
1.5. Očakávané dôsledky zmeny klímy v mestách	14		
2. Metodický postup pre hodnotenie dôsledkov a rizika zmeny klímy	16		
2.1. Kvalitatívna fáza hodnotenia dôsledkov a rizika zmeny klímy	17		
2.2. Kvantitatívna fáza hodnotenia dôsledkov zmeny klímy	19		
3. Kvantitatívna fáza hodnotenia dôsledkov zmeny klímy	22		
3.1. Metodický postup pre stanovenie zraniteľnosti systémov mesta na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy	22		
3.2. Metodický postup pre stanovenie rizika nepriaznivých dôsledkov zmeny klímy na sledovanie systémov mesta	24		
4. Dôsledky extrémnych horúčav na obyvateľstvo	25		
4.1. Hodnotenie zraniteľnosti obyvateľstva na extrémne horúčavy	26		
4.1.1. Citlivosť	26		
4.1.2. Disponibilná kapacita	35		
4.1.3. Zraniteľnosť (environmentálna, spoločenská, celková)	41		
4.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia obyvateľov extrémnymi horúčavami	43		
4.2.1. Expozícia	43		
4.2.2. Hrozba	46		
4.2.3. Riziko	47		
4.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia obyvateľstva extrémnymi horúčavami	48		
5. Dôsledky intenzívnych zrážok na obyvateľstvo	49		
5.1. Hodnotenie zraniteľnosti obyvateľstva voči intenzívnym zrážkam	50		
5.1.1. Citlivosť	50		
5.1.2. Disponibilná kapacita	53		
5.1.3. Zraniteľnosť	56		
5.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia obyvateľov intenzívnymi zrážkami	57		
5.2.1. Expozícia	57		
5.2.2. Hrozba	59		
5.2.3. Riziko	60		
5.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia obyvateľstva intenzívnymi zrážkami	61		
6. Dôsledky intenzívnych zrážok na cestnú infraštruktúru	63		
6.1. Hodnotenie zraniteľnosti cestnej infraštruktúry voči intenzívnym zrážkam	64		

6.1.1. Citlivosť	64	8.2. Teplota povrchov v okolí Chorvátskeho ramena	89
6.1.2. Disponibilná kapacita	67	8.3. Všeobecná charakteristika mestskej časti Petržalka z pohľadu vplyvov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo, budovy a cestnú infraštruktúru	90
6.1.3. Zraniteľnosť	68		
6.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia cestnej infraštruktúry intenzívnymi zrážkami	69	9. Použitá literatúra	93
6.2.1. Expozícia	69		
6.2.2. Hrozba	72		
6.2.3. Riziko	73		
6.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia cestnej infraštruktúry intenzívnymi zrážkami	74		
7. Dôsledky intenzívnych zrážok na budovy	75		
7.1. Hodnotenie zraniteľnosti budov voči intenzívnym zrážkam	76		
7.1.1. Citlivosť	76		
7.1.2. Disponibilná kapacita	78		
7.1.3. Zraniteľnosť	79		
7.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia budov intenzívnymi zrážkami	80		
7.2.1. Expozícia	81		
7.2.2. Hrozba	83		
7.2.3. Riziko	84		
7.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia budov intenzívnymi zrážkami	85		
8. Prípadová štúdia - využitie Atlasu na príklade spracovania urbanistickej štúdie „Rozvojová os Petržalky“	87		
8.1. Všeobecná charakteristika mestskej časti Petržalka z pohľadu vplyvov extrémnych horúčav na obyvateľstvo	88		

Prílohy

- Príloha 1. Vyhodnotenie teploty povrchov na území hlavného mesta SR Bratislavy s využitím riadenej klasifikácie krajinej pokrývky s využitím multispektrálnych satelitných snímiek
- Príloha 2. Vyhodnotenie termovízneho snímkovania vybraných koridorov územia hlavného mesta SR Bratislavy a využitie výstupov
- Príloha 3. Stanovenie priepustnosti povrchov na základe spôsobu využitia pozemkov na území hlavného mesta SR Bratislavy
- Príloha 4. Modelovanie rizika intenzívnych zrážok pre budovy a cestnú infraštruktúru na území mestských častí hlavného mesta SR Bratislavy
- Príloha 5. Stresory a možné dopady extrémnych horúčav
- Príloha 6. Stresory a možné dopady bleskových povodní z intenzívnych zrážok
- Príloha 7. Doplnkové merania atmosférickej teploty prostredníctvom zberača dát (data logger)
- Príloha 8. Termovízne snímkovanie v rámci hlavného mesta SR Bratislavy – Domov seniorov ARCHA (MČ Bratislava-Nové mesto)
- Príloha 9. Zoznam indikátorov



Predslov

Think globally, act locally _ Mysli globálne – jednaj lokálne

Plánovanie rozvoja mesta sa v minulosti riadilo princípmi založenými na rôznych víziách. Ak je dnes víziou zdravý život v zdravom meste, jednou z úloh, ktorá pred nami stojí je okamžite reagovať na javy spojené s globálnou zmenou klímy. Dôsledky zmeny klímy, spôsobené ľudskou činnosťou sa prejavujú s veľkou razantnosťou a nachádzajú nás nepripravených. Ovplyvňujú priamo alebo nepriamo zdravie našich obyvateľov, majú negatívny dopad na fungovanie technickej a dopravnej infraštruktúry mesta, znehodnocujú pobyt vo verejných priestoroch a kladú zvýšené nároky na starostlivosť o zeleň a životné prostredie. Dnes sa musia spojiť všetci, čo majú čo povedať do rozvoja mesta, nielen architekti a urbanisti. Už nestačí len diskutovať o tom, akú rolu má nezastavaný prírodný priestor, ako dôležitý je strom v meste a čo je to vegetačná stena alebo strecha, ako dôležité sú v zastavanom území vodozadržné opatrenia a hospodárenie so zrážkovou vodou. Dnes musíme tieto benefity priniesť do zastaviteľného územia aj nášho mesta, a pre rozvoj zdravého fungujúceho mesta ich musíme realizovať. Bratislava a jej obyvatelia pociťujú čoraz častejšie dopady zmeny klímy - vlny extrémnych letných horúčav, obdobia extrémneho sucha striedané výdatnými a intenzívnymi krátkodobými zrážkami.

Adaptácia a mitigácia

Zmenu klímy potrebujeme zastaviť (mitigačné opatrenia) a jej dopady zmierniť, mestá a ich obyvateľov chrániť pred jej dôsledkami (adaptačné opatrenia). Mitigácia znamená zmeniť náš doterajší spôsob života - energetickú náročnosť budov, spôsob nakladania so životným prostredím, s odpadmi, s prírodnými zdrojmi, inteligentné plánovanie rozvoja mesta... Adaptačné opatrenia sú opatrenia, ktoré pomáhajú zmierniť riziká spojené s pôsobením dôsledkov zmeny klímy. Zmenšovanie spevnených nepriepustných plôch na území mesta, zadržiavanie

zrážkovej vody v území, zlepšenie stavu prírodného prostredia a zelene, iný pohľad na plánovanie budov a verejných priestorov.

Mestá sú zraniteľné, zraniteľné sú ich časti, ich substancia, životné prostredie, technická a dopravná infraštruktúra. Najzraniteľnejším článkom je človek a jeho zdravie. Efektívna implementácia opatrení na jeho ochranu v čase zmeny podmienok jeho života v meste spôsobenej zmenou klímy musí byť založená na poznaní miesta, kde žije a pracuje. Znalosť lokality, jej zraniteľnosť a miera ohrozenia extrémami spojenými so zmenou klímy a vyhodnotenie predpokladaných možných rizík je podmienkou úspešnej implementácie opatrení na ochranu mesta a jeho obyvateľov, životné prostredie, ale aj infraštruktúry.

Informácie o území ako významný nástroj

Atlas zhromaždil prvý raz údaje o Bratislave z pohľadu jej ohrozenia zmenou klímy. Vznikol ako jeden z cieľov Akčného plánu adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy na území hlavného mesta SR Bratislavy 2017-2020. Je výsledkom niekoľko ročnej spolupráce odborných zamestnancov Útvaru hlavnej architektky hlavného mesta SR Bratislavy s odborníkmi z Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave a ďalších partnerov projektu podporeného grantom Európskej Únie (Horizont 2020) s názvom Klimaticky prispôsobivé mestá a infraštruktúry (Climate Resilient Cities and Infrastructures), známeho aj pod skratkou RESIN. Samotné údaje musia byť v čase a priestore verifikované a aktualizované. Založil metodiku nazerania na zraniteľnosť mesta, alarmuje a pomenúva riziká, ktorým sa v našom meste treba venovať. Účelom Atlasu je pomôcť odborným predstaviteľom miestnych samospráv a verejnej a štátnej správy, zástupcom z radov rezortných organizácií, akademických i vedecko-výskumných inštitúcií, ale aj súkromnému sektoru, pôsobiacemu na území mesta pri navrhovaní stratégií, opatrení, formulácií stanovísk,

usmernení, ako aj odborníkom z radov environmentálnych a technických profesií pri projektovaní investičnej činnosti navrhovanej na území hlavného mesta SR Bratislavy.

Extrémne vlny horúčav a intenzívne zrážky

Atlas fokusuje dva závažné prejavy zmeny klímy - extrémne vlny horúčav a intenzívne zrážky. V súvislosti s týmito prejavmi hodnotí zraniteľnosť obyvateľstva, cestnej infraštruktúry a budov v rámci zastavaného územia na území Bratislavy. Obsahuje vyhodnotenie miery rizika, ktoré predstavujú spomínané dôsledky zmeny klímy pre obyvateľstvo, dopravnú infraštruktúru, samotné štvrte a budovy. Výstupy sú vizualizované formou kartogramov, grafov a máp.

Plánovať mesto dnes a politiky s týmto spojené si vyžadujú oveľa širší záber vedomostí o území, faktory ovplyvňujúce zdravie obyvateľov v čase zmeny klímy sú tak alarmujúce, že plánovanie rozvoja mesta musí na ne reagovať nie len formálne, ale hneď a činmi. Atlas hodnotenia zraniteľnosti a rizík nepriaznivých dôsledkov zmeny klímy na území mesta Bratislava by mal byť jedným z podkladov, kde začať. Už pri jeho tvorbe sme aplikovali údaje v ňom uvedené pri hodnotení rôznych niektorých významných rozvojových území, a tým overovali jeho aplikačnú schopnosť.



Ing.arch. Ingrid Konrad
hlavná architektka

Slovník pojmov

Citlivosť - stupeň, do akého sú systémy a druhy fauny a flóry ovplyvnené, či už nepriaznivo alebo priaznivo, klimatickou premenlivosťou alebo zmenou klímy. Vplyv môže byť priamy alebo nepriamy. Príklady: stupeň priepustnosti povrchu, vek populácie, hustota populácie, nízke príjmy domácností a pod.

Dopad - pojem dopad, resp. dôsledok sa primárne používa pri poukazovaní na dopady extrémneho počasia v súvislosti so zmenou klímy na prírodné a antropogénne systémy. Dopady/dôsledky vo všeobecnosti poukazujú na vplyv na kvalitu života (jej zhoršenie), resp. ohrozenie života, potravinovú bezpečnosť alebo zabezpečenie, zdravie ľudí, stabilitu ekosystémov, a ďalšie dopady na ekonomiku, spoločnosť, kultúru, služby a infraštruktúru v dôsledku interakcie zmeny klímy s nebezpečnými klimatickými udalosťami vyskytujúcimi sa v špecifických časových periódach a zraniteľnosti exponovanej spoločnosti alebo systému.

Exponovaný objekt - prítomnosť obyvateľstva, potravinových zdrojov, ekosystémov a konkrétnych druhov fauny a flóry, ekosystémových služieb a i. zdrojov, infraštruktúry alebo iných ekonomicky, spoločensky alebo kultúrne významných objektov na miestach, ktoré môžu byť nepriaznivo ovplyvnené dôsledkom zmeny klímy.

Expozícia - miera vystavenia obyvateľstva, potravinových zdrojov, ekosystémov a konkrétnych druhov fauny a flóry, ekosystémových služieb a i. zdrojov, infraštruktúry alebo iných ekonomicky, spoločensky alebo kultúrne významných objektov na miestach, ktoré môžu byť vystavené nepriaznivým dôsledkom (prejavom) zmeny klímy.

Zdroj: IPCC (2012, 2014).

Hrozba - možný výskyt prírodných alebo človekom vyvolaných mimoriadnych udalostí alebo trendov, alebo fyzický vplyv, ktorý môže spôsobiť straty na živote, úraz, alebo iné dopady na zdravie, ako aj zničenie alebo stratu majetku, infraštruktúry, potravinových zdrojov, dodávky služieb a prírodných zdrojov.

Hybná sila (klimatický podnet alebo stimul) - udalosti a trendy súvisiace s klímou alebo klimatickou zmenou, ktoré majú významný vplyv na exponovaný systém a môžu zvýšiť zraniteľnosť voči klimatickým rizikám. Príklady: Zvýšenie hladiny mora, nárast teploty, nedostatok zrážok, sucho, nárast zrážok, intenzívna búrka, privalový dážď.

Disponibilná kapacita - schopnosť ľudí, inštitúcií, organizácií a systémov, používajúcich dostupné skúsenosti, hodnoty, presvedčenia, zdroje a príležitosti, adresovať, manažovať a zdolať nepriaznivé podmienky (napr. dopadov zmeny klímy) za krátky až stredne dlhý čas.

Klimatické zmeny - reprezentujú zmeny klímy, ktoré nastali v dôsledku pôsobenia prirodzených faktorov. Takéto zmeny boli v minulých geologických dobách Zeme (ľadové doby, sekulárne zmeny, niekedy aj nízkofrekvenčné kolísanie klímy) ojedinelé a prebiehali počas veľmi dlhých období.

Odolnosť - schopnosť sociálneho alebo ekologického systému pohlcovať rušivé vplyvy, a zároveň si zachovať rovnaké základné spôsoby fungovania, ako aj schopnosť prispôsobiť sa záťaži a zmene.

Reziliencia - pružnosť (reziliencia, resp. pružná odolnosť je schopnosť systému a jeho súčastí predvídať, absorbovať, prispôsobiť sa a obnoviť sa po pôsobení potenciálne ohrozujúcich javov efektívnym spôsobom, a to za súčasného zachovania, obnovenia alebo vylepšenia svojich základných štruktúr a funkcií.

Stresor alebo neklimatická hybná sila - udalosti a trendy nesúvisiace s klímou, ktoré majú významný dopad na exponovaný systém a môžu zvýšiť zraniteľnosť voči klimatickým rizikám. Príkladmi takýchto stresorov je rozširovanie miest (urbanizácia), zmeny vo využívaní krajiny, nárast populácie, zmeny životného štýlu, technologické zmeny a pod..

Zmena klímy - pod zmenou klímy rozumieme akúkoľvek zmenu klímy, ku ktorej dôjde v dôsledku ľudskej činnosti. Pojem sa vzťahuje na zmeny stavu klímy, ktorú možno identifikovať prostredníctvom zmien priemerných parametrov klímy. Zmena klímy je jav, ktorý pretrváva dlhšie obdobie, minimálne niekoľko desaťročí. Zmena klímy je zmena vyvolaná človekom a môže sa prejavovať zmenami v zložení atmosféry alebo vo využívaní krajiny.

Zraniteľnosť - miera citlivosti systému na nepriaznivé vplyvy zmeny klímy alebo neschopnosť systému vyrovnáť sa s týmito nepriaznivými dôsledkami, vrátane variability a extrémnych prejavov klímy. Zraniteľnosť je funkciou charakteru, veľkosti a miery variability klímy, ktorej je systém vystavený a adaptačnej kapacity tohto systému (kapacite prispôsobiť sa).

Zoznam použitých skratiek

C - citlivosť

DK - disponibilná kapacita

DPZ - diaľkový prieskum Zeme

E - expozícia

H - hrozba

HM SR Bratislava - hlavné mesto Slovenskej republiky Bratislava

H2020 RESIN - projekt podporený grantovou schémou Európskej únie Horizont 2020 s názvom Climate resilient cities and infrastructures (Klimaticky prispôsobivé mestá a infraštruktúry)

IPCC - International panel for Climate Change (Medzivládny panel pre zmenu klímy) je medzivládne zoskupenie odborníkov, ktorého hlavnou úlohou je hodnotiť prejavy súčasnej zmeny klímy a vyhodnocovať riziká súvisiace s dopadmi zmeny klímy. Panel bol založený v roku 1988 Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO) a Programom Spojených národov pre životné prostredie (UNEP), ktoré spadajú pod Organizáciu spojených národov.

IVAVIA - metodický postup vyvinutý v projekte RESIN pre hodnotenie zraniteľnosti a rizík dopadov zmeny klímy na vitálne infraštruktúry miest (preklad z angl. *Impact and Vulnerability Assessment of Vital Infrastructures*)

MČ - mestská časť

NUTS 3 - normalizovaná klasifikácia územných celkov pre potreby Štatistického úradu Slovenskej republiky a Eurostatu. NUTS 3 je štatistická územná jednotka tretej úrovne NUTS, definuje malé regióny a špecifické charakteristiky

ŠGÚDŠ - Štátny geologický ústav Dionýza Štúra

UK - Univerzita Komenského v Bratislave

ÚHA - Útvar hlavnej architektky hlavného mesta SR Bratislavy

ÚP - územný plán



Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava.



V mestskej časti Bratislava-Nové Mesto Športpark JAMA vznikol ako jeden z 10 projektov zameraných na adaptovanie mestského prostredia na zmenu klímy a zlepšenie zadržiavania zrážkovej vody v roku 2017. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava

Úvod

Atlas dopadov zmeny klímy na území hlavného mesta SR Bratislavy nadväzuje na spoluprácu hlavného mesta v projekte **H2020 Mestá a infraštruktúry odolné voči dôsledkom zmeny klímy (Climate resilient cities and infrastructures – RESIN)**, podporeného grantom zo schémy EÚ pre aplikovaný výskum nazývanej Horizont 2020. Celkovo bolo do projektu, ktorý sa realizoval v rokoch 2015 – 2018, zapojených 17 partnerov z 15 krajín EÚ, z prevažne výskumných inštitúcií a medzinárodných spoločností. Nechýbali ani pilotné mestá: Paríž, Bilbao, Manchester a Bratislava.

Prínosom projektu bola spoločná tvorba (tzv. co-creation) nástrojov dôležitých pre plánovanie rozvoja mesta aj vzhľadom k jeho odolnosti (reziliencii) voči prejavom zmeny klímy (extrémne teploty, zrážky a pod.). Bratislava sa spolupodieľala na tvorbe týchto nástrojov, pričom získala možnosť vytvoriť **unikátne zdroje informácií a nástroje** pre potreby plánovania rozvoja mesta a plnenia medzinárodných záväzkov pri prispôbovaní mesta dopadom zmeny klímy, akými je aj tento atlas.

Hodnotenie zraniteľnosti miest na zmenu klímy je primárnym záujmom **Európskej komisie** pri monitorovaní záväzkov miest v rámci iniciatívy **Mayors Adapt** – Dohovoru primátorov a starostov o klíme. Preto je hodnotenie zraniteľnosti HM SR Bratislavy vo vybraných sektoroch jednou z úloh **Akčného plánu adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy na území HM SR Bratislavy**. Mesto naplno využilo možnosť spolupráce s výskumnými organizáciami a ostatnými mestami zapojenými do projektu **RESIN** s cieľom:

- ▶ spolupodieľať sa na tvorbe nástrojov projektu RESIN a adaptovať ich na podmienky plánovania rozvoja mesta na území HM SR Bratislavy,
- ▶ splniť požiadavky kladené Dohovorom primátorov a starostov v rámci hodnotenia zraniteľnosti miest.

Účelom Atlasu je preto pomôcť odborným predstaviteľom miestnych samospráv a úradov pri navrhovaní stratégií, formulácií stanovísk, usmernení, ako aj odborným zástupcom technických (krajinných architektov, architektov, stavebných inžinierov a mnohým ďalším) a environmentálnych profesií (napríklad environmentálnym manažérom, ekológom, hydrológom, a pod.) pri projektovaní investičnej činnosti navrhovanej na území hlavného mesta SR Bratislavy.

Výstupy prezentované v Atlase dopadov zmeny klímy na území HM SR Bratislavy, sú spoločnými výstupmi partnerov projektu RESIN: Útvaru hlavnej architektky HM SR Bratislavy, Fraunhofer IAIS a Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave.

Atlas predstavuje prvé kvantitatívne hodnotenie zraniteľnosti mesta na vybrané prejavy zmeny klímy a ich dopady na obyvateľstvo a kritickú infraštruktúru. Použitý metodický postup rešpektuje metodické odporúčania Dohovoru primátorov a starostov, ako aj metodické usmernenia Medzivládneho panelu pre zmenu klímy (IPCC). Atlas sa zameriava na hodnotenie dopadov:

- ▶ **vín horúčav a extrémnych horúčav na obyvateľstvo** (kapitola 4),
- ▶ **intenzívnych zrážok na obyvateľstvo** (kapitola 5), na **cestnú infraštruktúru** (kapitola 6) a na **budovy** (kapitola 7) v rámci zastavaného územia HM SR Bratislavy.

Projekt RESIN priniesol aj ďalšie užitočné nástroje pre plánovanie rozvoja mesta, do ktorých je adaptácia miest už integrovaná. Sú to:

- ▶ **online knižnica adaptačných opatrení** – dostupná verejnosti online v slovenskom a anglickom jazyku,
- ▶ metodický postup **IVAVIA** - Hodnotene zraniteľnosti a dopadov na vitálne infraštruktúry (z angl. Impact and Vulnerability Assessment of Vital Infrastructures)

adaptovaný na prostredie miest a podmienky používania predstaviteľmi miestnych samospráv. Výstupom sú tzv. dopadové reťazce, mapy, grafy a iné vizuálne formy kvantitatívneho zhodnotenia na základe vyhodnotenia vstupných údajov a tzv. expertného hodnotenia (expert judgement) so zapojením miestnych odborníkov a stakeholderov,

- ▶ **ePríručka (eGuide)** – online portál určený pre administratívnu zložku samosprávy miest, ktorá sa zameriava na adaptáciu na zmenu klímy,
- ▶ **online typológia regiónov na úrovni NUTS3** – celoeurópske porovnanie reziliencie jednotlivých regiónov vzhľadom na viaceré charakteristiky vrátane hrozieb zmeny klímy.



Obr. 1. Príručku IVAVIA, rovnako ako aj ďalšie nástroje vytvorené v projekte H2020 RESIN, nájdete na webovej stránke projektu www.resin-project.eu.



Zmena klímy ovplyvní kvalitu života nastávajúcich generácií. Globálneho oteplenia o 2 °C je odborníkmi považovaná za hranicu, ktorá je pre ľudstvo ešte bezpečná, avšak nevyhneme sa určitým stratám a škodám, ktoré so sebou nesie. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava – Marek Veľček.



1. Globálny a európsky kontext klimatickej zmeny

Vedecké poznatky z posledných rokov (vrátane správ IPCC) ukazujú, že zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov v dôsledku ľudskej činnosti klimatický systém Zeme ovplyvňuje veľmi zásadne. Ten na zmenu koncentrácie skleníkových plynov reaguje v podobe globálneho otepľovania a rýchlych komplexných zmien celého systému. Prejavy a dopady klimatickej zmeny, resp. globálneho otepľovania, sa významne prejavujú aj na Slovensku a v regióne mesta Bratislavy.

Pozorovaný stúpajúci trend povrchovej teploty Zeme je najviac zreteľným prejavom prebiehajúcej zmeny klímy, a to predovšetkým od druhej polovice 80. rokov, a na Slovensku predovšetkým od začiatku 90. rokov 20. storočia. Zatiaľ čo globálny priemer teploty prízemnej atmosféry stúpol od začiatku 20. storočia o takmer 1 °C (AR5 IPCC, 2013), oblasť strednej Európy, vrátane Slovenska (ďalej len „SR“), vykazuje za to isté obdobie približne dvojnásobne rýchlejšie otepľovanie (~1,7 až 2,0 °C).

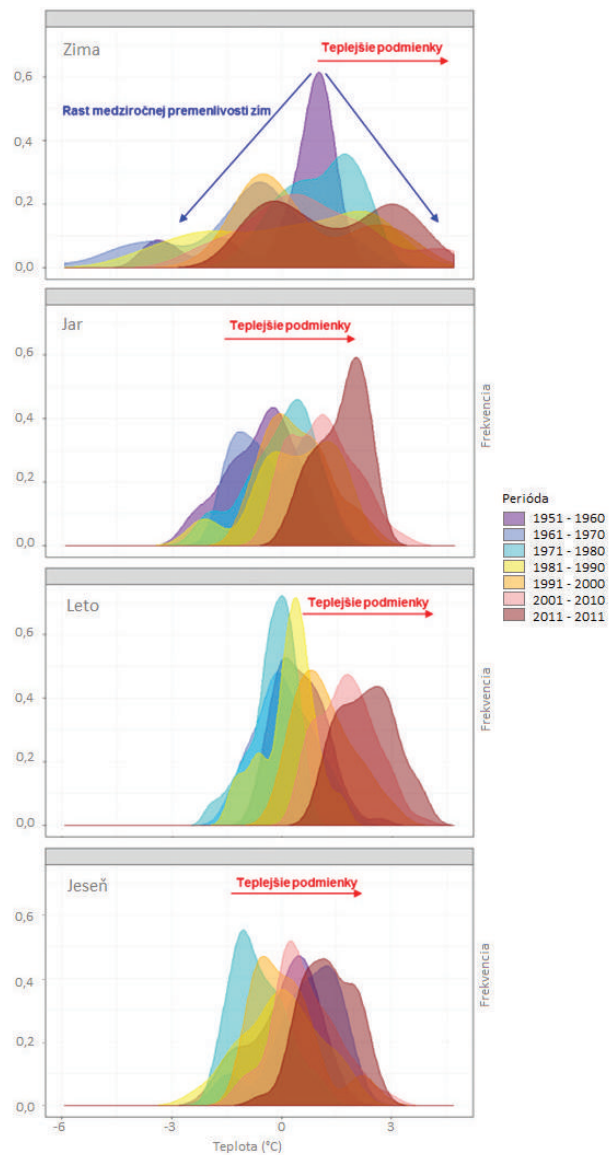
Okrem priemerných teplotných podmienok (priemerná ročná a sezónna teplota vzduchu), pozorované sú aj významné zmeny početnosti výskytu extrémov teploty vzduchu (všeobecný a pomerne rýchly rast extrémov maximálnej, naopak rýchly pokles extrémov minimálnej teploty vzduchu), dlhodobej premenlivosti teplotných charakteristík – rast celkovej premenlivosti teploty v takmer všetkých sezónach a mesiacoch.

Veľmi výrazný regionálny vzostup teploty vzduchu je v jednotlivých oblastiach sprevádzaný aj rýchlymi zmenami ďalších klimatických prvkov, predovšetkým poklesom zrážok (predovšetkým na juhu) a nárastom ich extrémnosti.

Vzhľadom na pokračujúce otepľovanie sa na základe výstupov klimatických modelov očakáva, že ročný priemer teploty vzduchu by sa mal veľmi pravdepodobne v oblasti južného Slovenska v časovom horizonte do roku 2025 zvýšiť o 0,8-0,9 °C, do roku 2050 o približne 2,0-2,5 °C, do roku 2100 o 3,5-4,0 °C (v porovnaní s obdobím 1961-1990). Očakáva sa významný rast dennej maximálnej a minimálnej teploty vzduchu.

V horizonte 2050 predpokladáme významný nárast počtu letných dní, tropických dní, no poklesne počet mrazových dní a ľadových dní. Zmena klímy nevedie bezprostredne len k zvyšovaniu globálnej či regionálnej teploty vzduchu a oceánov, ale prináša aj celý rad ďalších prejavov a fenoménov. V dôsledku toho, že teplota nerastie vo všetkých regiónoch sveta rovnakým tempom (napr. oblasť Arktídy sa otepľuje až trikrát rýchlejšie ako nižšie geografické šírky), planetárne cirkulačné systémy a dlhodobá poloha radiacích tlakových útvarov (akčných centier) a frontálnych zón prechádza zásadnými zmenami.

To sa prejavuje aj tým, že v období posledných dvoch až troch desaťročí registrujeme na severnej pologuli a v Európe rastúci počet extrémnych poveternostných situácií, ktorý pravdepodobne súvisí s meniacou sa dynamikou a polohou výškového tryskového prúdenia (jet stream) v oblasti polárnej frontálnej zóny a častejším výskytom perzistentných (blokujúcich) tlakových porúch a poveternostných situácií.



Obr. 2 Pozorované zmeny výskytu odchýlok priemernej sezónnej teploty vzduchu na Slovensku v období 1951-2016 (Zdroj: SHMÚ).



Zvýšenie vlhkosti vzduchu pomáha ochladiť ovzdušie počas letných horúčav. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.

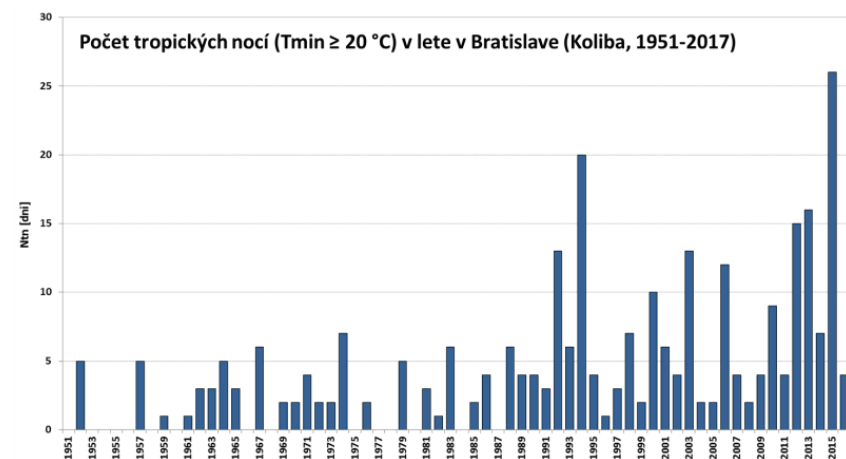
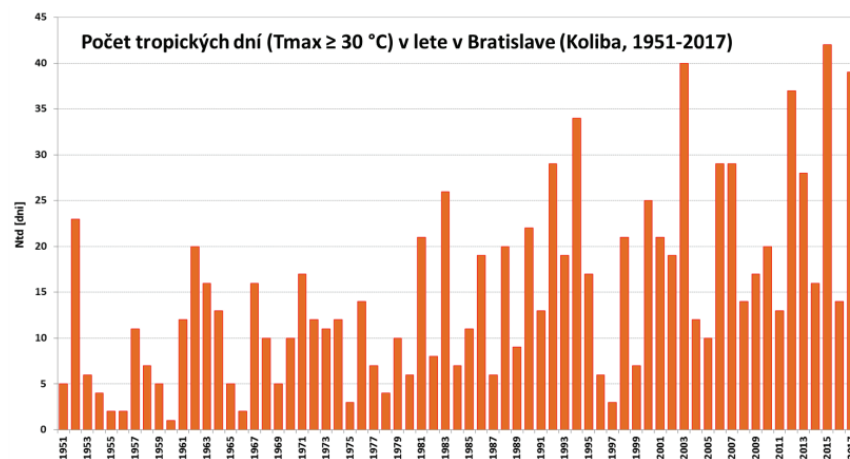
1.2. Pozorované a predpokladané trendy zmeny klímy na Slovensku a v Bratislave

V oblasti Bratislavy sa priemerná ročná teplota vzduchu zvýšila o takmer 2°C od roku 1951 (priemerný rast teploty za desaťročie je 0,3 °C / desaťročie). Ročný úhrn atmosférických zrážok v priemere vzrástol o 6-12 mm (porovnanie 30-ročných priemerov 1951-1980 a 1981-2010), čo je nárast o necelé 2 %. Počet mrazových dní medzi obdobiami 1951-1980 a 1981-2010 poklesol o 13 dní (z 96 na 83), počet letných dní naopak stúpol o 14 dní, a počet tropických dní o deväť (z 10 na 19).

V budúcich dekádach 21. storočia sa očakáva ďalej významný rast dennej maximálnej a minimálnej teploty vzduchu. V horizonte 2050 predpokladáme významný nárast počtu letných dní (asi o 25 za rok), tropických dní (asi o 15), no poklesne počet mrazových dní (asi o 25) a ľadových dní (asi o 15). Najdôležitejší dôsledok z hľadiska teplotného komfortu je vzrast vln horúčav, ktoré môžu nastúpiť už v priebehu mája a nebudú zriedkavé ani do polovice septembra. Predpokladá sa aj vyšší počet dní s dusným počasím, vzhľadom na celkový nárast parametrov obsahu vody v atmosfére.

V zimnom období sa nepredpokladá zníženie počtu dní s inverziou teploty vzduchu, čo bude mať za následok vznik smogových udalostí, najmä za slabého južného prúdenia. Očakáva sa rýchlejší nástup teplého a suchého počasia v jarnom období. Úhrny zrážok sa budú v priemere postupne, mierne zvyšovať. Reálny je najmä vzrast úhrnu zrážok v chladnom polroku. Vzhľadom na predpokladanú vyššiu teplotu vzduchu bude rásť aj výpar, čím sa vytvoria podmienky pre dlhšie trvanie sucha v predmetnej oblasti. Prívalové a intenzívne dlhotrvajúce zrážky budú častejšie a nebezpečnejšie (o približne 7-14 % na každý 1 °C oteplenia).

Zmeny v teplotných a zrážkových pomeroch v zime sa prejavujú na zmenách snehových pomerov. Tie sa predpokladajú jednak v znížení počtu dní so snehovou pokrývkou a tiež v zmene - poklese priemernej výšky snehovej pokrývky. V súvislosti s rastom extrémnosti zrážok treba však počítať aj v zimnom období s častejším výskytom vyšších denných prírastkov nového snehu. V dôsledku vyššej teploty a vlhkosti vzduchu sa očakáva častejší výskyt silnejších a intenzívnejších búrok v oblasti.



Obr. 3 a 4: Vývoj počtu tropických dní a tropických nocí na meteorologickej stanici Bratislava-Koliba v lete v období 1951-2017 (Zdroj: SHMÚ).

Pre prípravu scenárov očakávaných budúcich podmienok klímy v oblasti regiónu Bratislavy boli využité simulácie RCMs (regionálnych klimatických modelov) dostupných v rámci projektu EURO-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>), kde boli pre zvolené emisné scenáre RCP počítané ansámblové priemery ročnej, sezónnej a mesačnej priemernej teploty vzduchu (a ďalších meteorologických prvkov) z 15 až 20 členov (modelov) pre časový horizont 2021 až 2050, prípadne 2071 až 2100 (s priestorovým rozlíšením 50×50 km). Modely využité v simuláciách sú validované na základe meteorologických pozorovaní z danej regionálnej oblasti (využitím gridovaných údajov z meteorologických staníc v Európe (EOBS)). Simulácie RCMs boli riadené reanalýzou ERA-Interim, modelové výstupy boli validované pomocou referenčného obdobia 1961-1990, resp. 1981-2010. Pre prípravu scenárov klimatickej zmeny boli využité emisné scenáre RCP2.6 (optimistický scenár), RCP4.5, RCP6.0 a RCP8.5 pesimistický scenár.

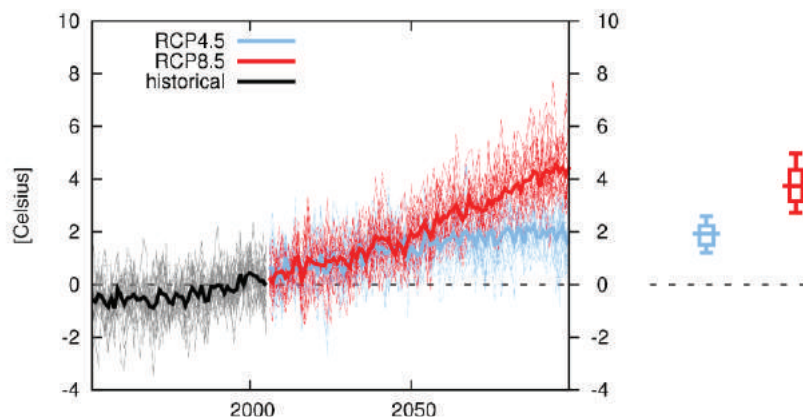
Aké klimatické podmienky nás čakajú? Priemery teploty vzduchu by sa mali postupne zvyšovať o 2,0 resp. 4,0 °C (podľa RCP4.5, resp. RCP8.5) v porovnaní s priemerom obdobia 1961 – 1990, pričom sa zachová doterajšia medziročná a medzisezónna premenlivosť. Rýchlejšie by mali rásť denné minimá ako denné maximá teploty vzduchu (minimálna teplota vzduchu sa zvýši do roku 2100 v rozpätí od 6,0 do 10,0 °C, maximálna teplota vzduchu v rozpätí od 2,0 do 4,0 °C), čo môže spôsobiť pokles priemernej dennej amplitúdy teploty vzduchu. Scenáre nepredpokladajú výraznejšie zmeny v ročnom chode teploty vzduchu, v jesenných mesiacoch by ale mal byť rast teploty menší ako v zvyšnej časti roka (najrýchlejšie bude rásť priemerná teplota vzduchu v lete a v zime, o 1,5 až 4,0 °C v lete, a o 2,0 až 4,0 °C v zime do roku 2100). Vzhľadom na pokračujúce otepľovanie sa na základe výstupov klimatických modelov očakáva, že ročný priemer teploty vzduchu by sa mal v časovom horizonte do roku 2025 zvýšiť o 0,8-0,9 °C (teda z 10,1 na 11,0 °C), do roku 2050 o približne 2,0-2,5 °C (na 12,1-12,6 °C), do roku 2100 o 3,5-4,0 °C (na 13,6-14,1 °C). Zrážkové úhrny v oblasti Bratislavy budú podľa ensemblového priemeru z vybraných RCMs simulácií rásť až do konca storočia. Tu je potrebné podotknúť, že v GCM výstupoch panuje ohľadom zmien zrážkových úhrnov značná neistota, RCMs modely sa zhodujú s niektorými GCMs (globálne cirkulačné modely) výstupmi, ale potom je skupina GCM, ktoré nedávajú žiadnu zmenu v zrážkach.

Podľa RCMs sa zrážky budú zvyšovať do konca storočia priemerne do 10 % pre RCP4.5 a do 15 % podľa RCP8.5 v porovnaní s referenčným obdobím 1981-2010 (v absolútnych číslach to znamená nárast ročného priemeru o 80 až 100 mm pre RCP8.5 a o 50 až 70 mm pre RCP4.5 na konci tohto storočia). Zatiaľ čo zimné, jarné a jesenné zrážky postupne pomaly porastú, letné úhrny zrážok budú klesať, čo bude mať v kombinácii s vyššími teplotami vzduchu nepriaznivý vplyv na bilanciu zrážok a častejší výskyt sucha v regióne. Prívalové a intenzívne dlhotrvajúce zrážky budú pravdepodobne častejšie a intenzívnejšie (o približne 7-14 % na každý 1 °C oteplenia).

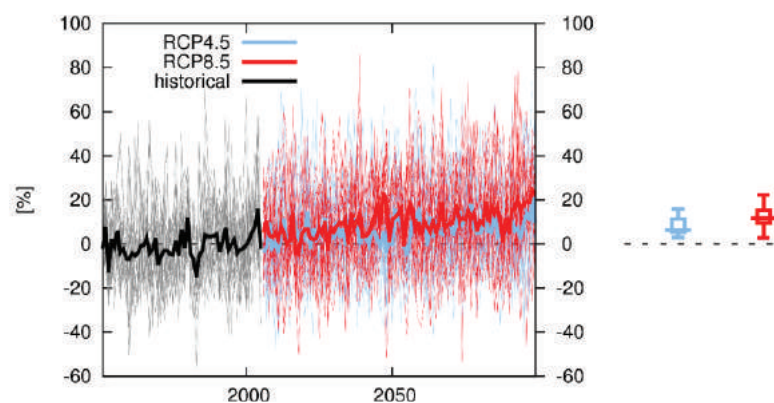


Do konca storočia sa celkový ročný úhrn v našich zemepisných šírkach zvýši o 10-15%. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Eva Streberová.

Zmena teploty



Relatívna zmena úhrnu zrážok



Obr. 5: Predpokladané scenáre priemernej ročnej teploty vzduchu (hore) a ročného úhrnu atmosférických zrážok (dole) v oblasti Bratislavy na základe výstupov 16 regionálnych klimatických modelov (RCMs) v rámci súboru CORDEX-EUR44 s priestorovým rozlíšením 50 × 50 km, podľa dvoch zvolených RCP scenárov (RCP4.5 a RCP8.5) do roku 2099 (Zdroj: CORDEX-EUR44).

V dôsledku vyššej teploty a vlhkosti vzduchu sa očakáva častejší výskyt silnejších a intenzívnejších búrok. Zmeny v teplotných a zrážkových pomeroch v zime sa prejavujú na zmenách snehových pomeroch. Tie sa predpokladajú jednak v znížení počtu dní so snehovou pokrývkou a tiež v poklese priemernej výšky snehovej pokrývky. V súvislosti s rastom extrémnosti zrážok treba však počítať v zimnom období s častejším výskytom vyšších denných prírastkov nového snehu.

Klimatická zmena sa už v súčasnosti významne urýchľuje, a ak do konca tohto storočia vzrastie priemerná ročná teplota vzduchu o 4 °C, klimatické podmienky v oblasti južného Záhoria sa budú v mnohom ponášať na pomery, ktoré dnes prevládajú v južnej Európe, na Balkáne, v horšom prípade v oblasti východného Stredomoria. Inak povedané, je veľmi pravdepodobné, že aj v oblasti Bratislavy budeme mať len dve ročné obdobia, veľmi dlhé, suché a horúce leto, a miernu daždivú zimu.

Veľkým problémom môže byť v budúcnosti pre oblasť Bratislavy sucho a nedostatok dostupnej úžitkovej vody, najmä počas letného obdobia. Otepľovanie a častejší výskyt extrémneho počasia už dnes významne ovplyvňujú život v mestách a budovách, a to aj v oblasti Bratislavy. Vidieť to nielen počas miernejších (a na sneh chudobných) zím a teplejších liet, ale aj v situáciách, kedy mestá a budovy musia „vzdorovať“ väčšej „rozkolísanosti“ počasia a tým aj väčším škodám. To, čo ľudia v priebehu teplejších zím ušetria na kúrení, niekoľkonásobne stratia využívaním klimatizácie počas horúceho a často krát veľmi dlhého leta. Aj pre toto bude potrebné a nevyhnutné, aby sme mestá a budovy pripravili na úplne odlišný typ klímy a navrhovali ich už dnes tak, aby v nich ľudia dokázali v budúcnosti prežiť vyššiu záťaž zo strany počasia.

1.3. Poveternostné extrémny a klimatická zmena

Svetová meteorologická organizácia (WMO) vo svojich správach pravidelne upozorňuje na skutočnosť, že prejavy a dôsledky extrémneho počasia sa pozoruhodne rýchlo zhoršujú prakticky všade na Zemi. Tento trend je evidentný aj na Slovensku. Závety vedeckých štúdií poukazujú na to, že niektoré typy extrémneho počasia, napríklad vlny horúčav, povodne, extrémne privalové zrážky či sucho, sa vyskytujú nielen častejšie, ale sú aj výraznejšie vo svojich dôsledkoch na ekonomiku, zdravie či úmrtnosť ľudskej populácie, alebo stabilitu prírodných spoločenstiev. Dalo by sa dokonca povedať, že nebyť globálneho otepľovania, k mnohým týmto extrémom by nikdy nedošlo, prípadne by sa neprejavili v tak výraznej forme.

So zvyšujúcou sa teplotou planéty však neprichádzajú len vlny vysokých teplôt. Stále početnejšie sú aj hydrometeorologické extrémny, vrátane mimoriadne výdatných dažďov či privalových povodní. Napríklad, extrémne vysoké denné úhrny zrážok, ktoré sa ešte pred 50 rokmi vyskytovali s dobou opakovania raz za 100 rokov, sa dnes vyskytujú raz za 50, či dokonca 20 rokov, pričom rastie aj ich plošný rozsah. Ďalším problémom je aj to, že zrážky sú krajne nevyvážené, a to tak z pohľadu času, ako aj priestoru. Dôsledkom tohto trendu je nielen to, že sa rýchlo striedajú veľmi vlhké a suché obdobia, ale nakoniec aj situácie, kedy jeden región bojuje s povodňami a susedný s veľkým nedostatkom vody. Dobrým príkladom je obdobie posledných piatich rokov, kedy sa na našom území vystriedali závažné povodne (r. 2010), ale aj extrémne suchá (2007, 2011-2012 a 2015).



Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.

1.4. Aké klimatické podmienky nás čakajú?

Až do 70. rokov minulého storočia sme mali na Slovensku klímu, ktorá sa v základných črtách veľmi neodlišovala od tej, ktorú sme tu mali povedzme v 18. alebo 19. storočí. Do konca 80. rokov 20. storočia sa prirodzene striedali studené, normálne a teplé roky. Výrazné zmeny v režime klímy pozorujeme na Slovensku najmä od druhej polovice 80. rokov, resp. začiatku 90. rokov 20. storočia. Na južnom Slovensku, sa od konca 19. storočia v ročnom priemere oteplilo o približne 1,6 °C, pričom za posledných 30 rokov o viac ako 0,5 °C. A v priebehu nasledujúcich desaťročí sa bude otepľovať ešte rýchlejšie. Do roku 2040 o ďalší jeden stupeň Celzia a do konca storočia o ďalšie 2 až 3 stupne, v lepšom prípade. Vedecký výskum prináša stále jasnejšiu predstavu o tom, ako by mohla klíma na Slovensku vyzeráť už v nasledujúcich desaťročiach. Z dnešného pohľadu je už celkom zrejmé, že súčasný trend otepľovania bude nielen pokračovať, ale bude aj výraznejší. Treba sa pripraviť na to, že v priebehu leta budú obyvatelia miest vystavení extrémnejšiemu suchu a dlhším periódam s teplotami nad 35 °C.

Dlhé periódy sucha budú prerušované krátkodobými extrémnymi zrážkami, čo môže nakoniec viesť k celkovému vysušovaniu krajiny. Zvlášť ohrozené budú mestá v južných oblastiach Slovenska, kde klimatické podmienky nadobudnú skôr stepný charakter. Všeobecne možno povedať, že klíma na Slovensku bude mať viac stredomorský charakter, ktorý dnes prevláda v oblasti Balkánu, severného Talianska alebo severného Španielska.



Vegetačné strechy na budovách Domovu seniorov ARCHA. Okrem zadržania zrážkovej vody spríjemňujú výhľad z okolitých bytových domov. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava.

1.5. Očakávané dôsledky zmeny klímy v mestách

Treba tiež pripomenúť ďalšiu dôležitú skutočnosť. Tou je fakt, že súčasná rýchlosť produkcie emisií oxidu uhličitého sleduje skôr pesimistickejší emisný scenár RCP8.5 (teda „business as usual“). Pokiaľ by sa na tomto vývoji nič podstatné nezmenilo, po roku 2050 by sme mohli čeliť tak rýchlemu otepľovaniu – na globálnej úrovni o 0,5 °C a v Európe až o 1 °C za desaťročie – že pre mnohé živočíšne druhy, a samozrejme aj pre ľudí, bude akákoľvek adaptácia veľmi ťažká, prípadne až nemožná. Ak už súčasné otepľovanie, ktoré na globálnej úrovni dosahuje maximálne 0,2 °C za desaťročie (a v našom regióne dvojnásobok), spôsobuje na celom svete veľmi vážne dôsledky spojené s destabilizáciou ekosystémov, zhoršujúcou sa potravinovou bezpečnosťou či vysokou úmrtnosťou obyvateľstva, je takmer nepredstaviteľné, čo bude pre svetové, ale aj slovenské urbanizované oblasti, znamenať dvoj- prípadne až štvornásobne rýchlejšie otepľovanie.

Už v krátkodobom časovom horizonte, teda do roku 2030-2040, bude potrebné aj na Slovensku počítať s významným nárastom rizika spojeného s častejším nedostatkom vody a v teplom polroku výskytom extrémnejších vln horúčav a prívalových povodní. Najväčšie búrkové systémy dnes prinášajú o 10 percent zrážok viac, ako v minulosti. Extrémnosť zrážok však nerastie len v lete, výrazne sa zvyšuje napríklad aj v zime, v Európe až 8-násobne za posledných 150 rokov. S podobnými situáciami, ako napríklad tou z polovice augusta 2015 v Bratislave, budeme tak musieť počítať aj v ďalších rokoch a desaťročiach. Tak ako sa bude postupne zvyšovať priemerná teplota planéty, porastú aj extrémne zrážky, či už búrkového alebo iného pôvodu. Zatiaľ posledná správa Medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu (IPCC) počíta s tým, že častejšie povodne v priebehu nasledujúceho storočia môžu priamo ohrozovať až 5-násobne vyšší počet ľudí ako doposiaľ (vzhľadom na rastúcu plochu postihovaného územia).

Extrémne počasie, zosilnené pôsobením klimatickej zmeny, bránia udržateľnému rozvoju miest, keďže často zhatia celé roky pokroku. Aj preto majú ľudia tendenciu vnímať dopady klimatickej zmeny predovšetkým prostredníctvom deštrukcie spôsobenej extrémnym počasím. Netreba však zabúdať aj na to, že týmto sa rozsah možných dôsledkov otepľovania ani zďaleka nekončí a v budúcnosti sa bude ešte rozširovať. Nestabilnejšia a teplejšia klíma bude pravdepodobne spôsobovať nielen vážnejšie škody na infraštruktúre v meste, ale zásadne môže ovplyvniť či dokonca ohroziť dostupnosť energie a vody, najmä počas dlhých období sucha a vysokých teplôt. V zimnom období síce na energiách v dôsledku teplejších zím ušetríme, no v lete sa energetické požiadavky na chladenie budov môžu výrazne zvýšiť, v našom regióne aj o viac ako 20 percent do roku 2080 (za predpokladu, že mestá neprídu s efektívnejším a energeticky nenáročným spôsobom chladenia). S pokračujúcim otepľovaním budú slovenské mestá musieť počítať aj s častejším výskytom rôznych infekčných ochorení, ktoré sú dnes typické skôr pre južnejšie oblasti Európy. S týmto bude súvisieť aj prílev teplomilnejších druhov živočíchov a rastlín, čo môže v kombinácii s rastúcou mierou urbanizácie spôsobiť celkový pokles biodiverzity v mestách.

Všetky uvedené faktory môžu a pravdepodobne aj ovplyvnia celkovú ekonomickú a sociálnu štruktúru obyvateľstva v mestách, ale napríklad aj turizmus. Celkové príjmy jednotlivcov síce rastú, no súčasne rastie aj miera vystavenia obyvateľstva dôsledkom klimatickej zmeny (napríklad potreba častejšej sanácie škôd). Toto môže, najmä v prípade občanov s relatívne nižšími príjmami, viesť k zhoršeniu celkovej sociálnej situácie v spoločnosti, rastu kriminality a nespokojnosti. Pre príklady tohto scenára nemusíme ísť ani veľmi ďaleko (Grécko, Španielsko, či Portugalsko – ide pritom o krajiny, ktoré sú už dnes vystavené dôsledkom klimatickej zmeny oveľa výraznejšie ako napríklad stredná Európa). Nakoniec, ani príklad z brazílskeho São Paula nebol zvolený náhodou. Pretože ak sa nám jeho problémy z dnešnej perspektívy zdajú byť príliš vzdialené a hodné ignorovania, určite bude potrebné tento prístup trochu prehodnotiť. Možno je len otázkou času, kedy podobne nepríjemnej situácii bude čeliť aj niektoré z veľkých slovenských miest.



Rieka Dunaj a jej brehy ponúkajú jedinečný priestor pre krátkodobú relaxáciu. Má však aj veľký význam z hľadiska ochladzovania urbánneho priestoru v letných mesiacoch. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Veľček.

2. Metodický postup pre hodnotenie dôsledkov a rizika zmeny klímy

V tomto Atlase bol použitý metodický postup známy pod skratkou **IVAVIA** (*Impact and Vulnerability Assessment of Vital Infrastructures and Built-up Areas – Hodnotenie dopadov a rizík pre významné infraštruktúry a zastavané územia*), ktorý vychádza z aktuálnych požiadaviek Medzivládneho panelu pre zmenu klímy (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change). IVAVIA bola vytvorená v rámci projektu **Klimaticky prispôsobivé mestá a infraštruktúry (Climate resilient cities and infrastructures - RESIN)**, ktorého bola Bratislava partnerom spolu s mestami ako Paríž, Bilbao a Manchester v období rokov 2015-2018.

IVAVIA je metodický postup, ktorý umožňuje vyhodnotiť aký dopad a mieru rizika predstavujú dopady zmeny klímy a jej prejavy, a následky pre obyvateľstvo, ekonomiku, zastavané územie a infraštruktúry, ktoré sú predmetom tohto hodnotenia.

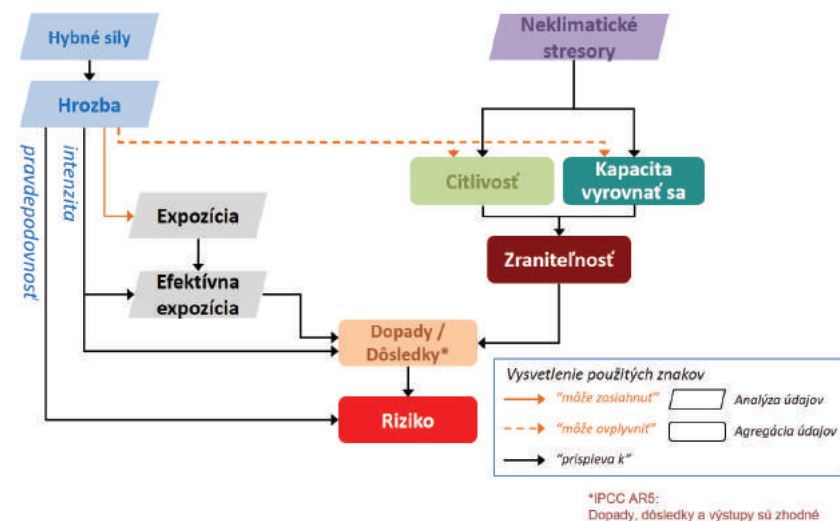
Pomocou IVAVIA je možné skúmať **pravdepodobnosť** výskytu a **intenzitu** nepriaznivých prejavov zmeny klímy na **exponovaný** systém (v tomto prípade mesto, jeho obyvateľstvo, infraštruktúru a pod.), čím je možné potom vyjadriť **riziko** vyplývajúce z dopadov zmeny klímy (obr. 6). Zároveň IVAVIA umožňuje vyhodnotiť **zraniteľnosť** daného systému pozostávajúcu z jeho **citlivosti** na sledovaný nepriaznivý prejav zmeny klímy a **disponibilnú kapacitu systému vyrovnáť sa** s pôsobením nepriaznivého prejavu zmeny klímy v krátkom až strednodobom horizonte. IVAVIA dáva priestor pre vstup ďalších premenných, akými sú tzv. neklimatické **stresory** (zmena využívania krajiny, rozširovanie miest - urban sprawl, odlesňovanie, migrácia, zmena demografických a ekonomických trendov, technologické zmeny, zmeny životného štýlu a pod.). Tento postup umožňuje geografickú **identifikáciu problematických lokalít** (tzv. hot spots), pre ktoré je nutné realizovať adaptačné opatrenia. Identifikácia takýchto lokalít zároveň pomôže identifikovať (uprednostniť) tie oblasti, v ktorých by sa mali prednostne realizovať **opatrenia**.

Kostru IVAVIA tvorí sedem krokov – modulov (viď obr. 7), ktoré vychádzajú z Príručky hodnotenia zraniteľnosti (*Vulnerability Sourcebook*) (BMZ, 2014):

Moduly M0 až M2 spadajú do tzv. kvalitatívnej fázy hodnotenia. Ostatné moduly už predpokladajú dostupnosť kvantitatívnych údajov (databázových alebo priestorových údajov) (obr. 7).

- ▶ M0 – Výber hrozieb a hybných síl („spúšťačov“, z angl. drivers)
- ▶ M1 – Príprava hodnotenia zraniteľnosti
- ▶ M2 – Tvorba dopadových reťazcov (impact chains)
- ▶ M3 – Identifikácia a výber indikátorov
- ▶ M4 – Normalizácia, posúdenie významu (váženie) a agregácia (zoskupenie) indikátorov
- ▶ M5 – Agregácia zložiek zraniteľnosti voči zraniteľnosti/rizík
- ▶ M6 – Prezentácia výstupov hodnotenia zraniteľnosti

Riziko = <pravdepodobnosť výskytu negatívneho javu/hrozby> X <dôsledky>



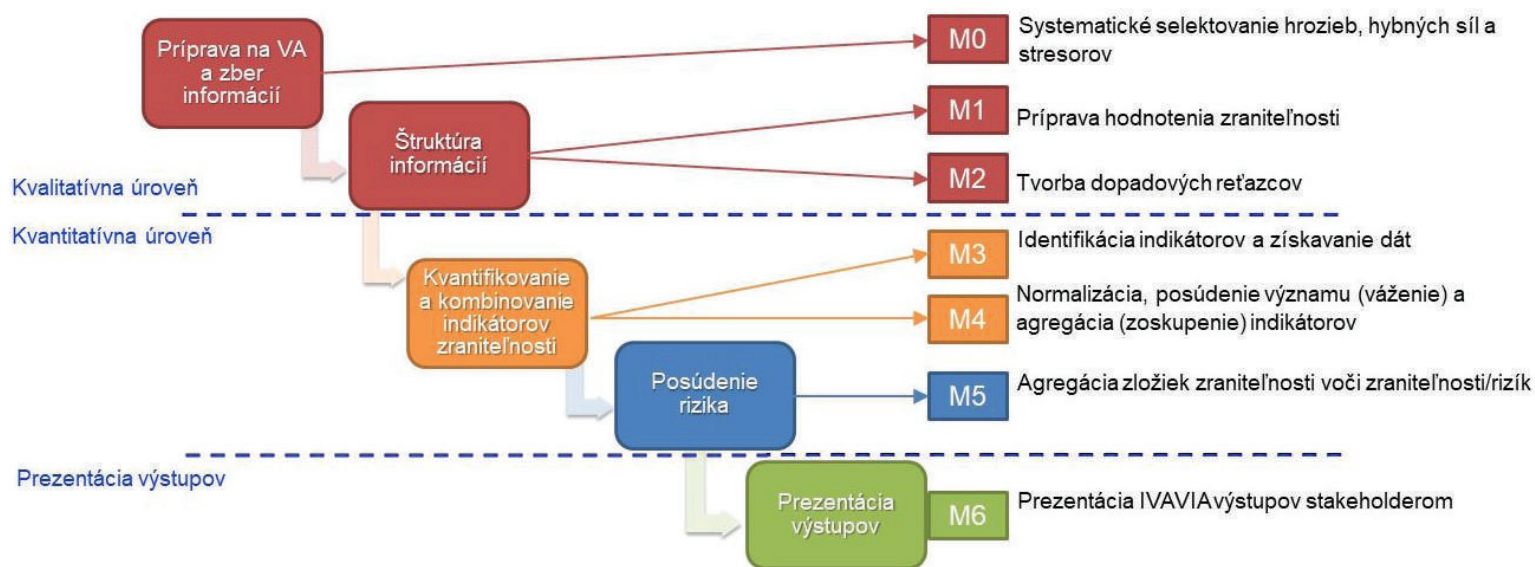
Obr.6. Schematické znázornenie súvislostí medzi hrozbami klimatickej zmeny (ich intenzitou a pravdepodobnosťou výskytu), mierou expozície a zraniteľnosti mesta a vznikom rizík, z ktorých sa odvodzujú dopadové reťazce pre IVAVIA (Zdroj: Rome et al., 2018).

2.1. Kvalitatívna fáza hodnotenia dôsledkov a rizika zmeny klímy

V rámci hodnotenia zraniteľnosti realizoval ÚHA v apríli 2017 pracovné stretnutia s cieľom aktívne zapojiť rôzne skupiny odbornej verejnosti do problematiky zmeny klímy, adaptácie mestského prostredia HM SR Bratislavy, ako aj do procesu identifikácie príčin a dôsledkov. Stretnutí sa zúčastnili okrem vybraných oddelení Magistrátu HM SR Bratislavy aj **zástupcovia mestských organizácií** (BVS a.s.), **Bratislavského samosprávneho kraja** a ďalších partnerov ako **Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ)** a **Národného centra zdravotníckych informácií NCZI, Ministerstva životného prostredia SR** (sekcia zmeny klímy a ochrany ovzdušia), **prevádzkovatelia zariadení sociálnych služieb HM SR Bratislavy**, a **Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave**, ktorá dlhodobo spolupracuje s HM SR Bratislava v oblasti plánovania adaptácie mesta a je tiež riadnym partnerom projektu RESIN.

Výsledkom prvej fázy kvalitatívneho hodnotenia zraniteľnosti boli tri dopadové reťazce pre oblasti: i) *obyvateľstvo, sociálnu oblasť a kvalitu života obyvateľov* (1. stretnutie) – dopadové reťazce pre *vlny horúčav a privalové zrážky*; ii) *zelenú infraštruktúru mesta* (2. stretnutie) – dopadový reťazec pre sucho. Počas stretnutí bolo identifikovaných takmer 90 rôznych atribútov pre klimatické hrozby a ich dôsledky, ako aj aspekty citlivosti mesta a jeho kapacity vyrovnat sa (namiesto adaptačnej kapacity) s týmito dôsledkami. Týmto bola ukončená prvá – kvalitatívna fáza hodnotenia zraniteľnosti. Workshopy so zastúpením odbornej verejnosti pokračovali aj počas druhej – kvantitatívnej fázy, kde sa diskutovalo o reprezentatívnosti zvolených indikátorov a overovali sa prvé kvantitatívne výstupy.

Viacúrovňové fázy procesu hodnotenia zraniteľnosti a rizík podľa modulov IVAVIA



Obr. 7. Schematické znázornenie 7 krokov (modulov) metodického postupu pre IVAVIA a ich rozdelenia na fázy – prípravnú, kvalitatívnu a kvantitatívnu (Zdroj: Rome et al., 2018).



Obr. 8: Ukážky z workshopov počas kvalitatívneho hodnotenia. Archív Útvaru hlavnej architektky HM SR Bratislava (2017). Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava.

2.2 Kvantitatívna fáza hodnotenia dôsledkov zmeny klímy

Po stretnutiach v roku 2017 hodnotenie pokročilo do tzv. kvantitatívnej fázy. Pozostávala z troch krokov:

- ▶ Priradenie reprezentatívnych **indikátorov**, ktoré by pomohli naplniť dopadové reťazce konkrétnymi údajmi (či už databázovými alebo priestorovými).
- ▶ Naplnenie indikátorov údajmi, pomocou ktorých bude možné **kvantifikovať sledovaný jav, stav alebo trend** tak, ako ho definovali účastníci participatívnych workshopov. Pri výbere indikátorov musia byť zohľadnené viaceré kritériá týkajúce sa zdroja, dostupnosti, histórie a reprezentatívnosti údajov.
- ▶ **Normalizácia** indikátorov na stupnicu 0-1 a ich **agregácia** s priradením **váh významnosti** na základe štatistického testovania.
- ▶ Vytvorenie **vizuálnych - grafických výstupov** (grafy, kartogramy, tematické mapy) znázorňujúcich **citlivosť, kapacitu vyrovnat sa** s dopadmi zmeny klímy (tzv. *disponibilnú kapacitu*), **zraniteľnosť** hodnoteného systému (sektoru, infraštruktúry) a **riziko** so zameraním sa na dopady extrémnych horúčav a intenzívnych zrážok na **obyvateľstvo hlavného mesta, budovy a cestnú infraštruktúru na úrovni mestských častí a katastrálneho územia mesta**.

Pre jednotlivé zložky dopadových reťazcov, ktoré definovali účastníci stretnutí v roku 2017 sme sa snažili nájsť adekvátne indikátory (ukazovatele), pomocou ktorých je možné kvantifikovať sledovaný jav, stav alebo trend tak, ako ho definovali účastníci stretnutia. Pri výbere indikátorov boli zohľadnené nasledujúce kritériá, tak ako ich odporúča zvolený metodický postup (Rome et al., 2018):

- ▶ indikátor pochádza z overeného a relevantného zdroja,
- ▶ indikátor dostatočne charakterizuje jav, stav, trend alebo podmienky, ktoré chceme vyhodnotiť,

- ▶ je zrejмый nárast/pokles indikátora vo vzťahu k sledovaným javom, stavom alebo objektom v rámci hodnotenia zraniteľnosti a očakávaným rizikám,
- ▶ indikátor je (cenovo) dostupný a je vysoká pravdepodobnosť, že indikátor bude dostupný aj v budúcnosti,
- ▶ indikátor má dostatočnú priestorovú podrobnosť, rozlíšenie, ako aj časové ohraničenie alebo periodicitu vzhľadom k požiadavkám hodnotenia zraniteľnosti (napr. pokrýva obdobie aspoň za posledných 5 rokov).

Pri výbere indikátorov treba vziať do úvahy aj niekoľko **charakteristík indikátorov, ktoré limitujú ich použitie** pre kvantitatívne hodnotenie zraniteľnosti a rizika, najmä ak ide o podrobnejšie hodnotenie ako je celomestská úroveň.

Kritériá pre vylúčenie indikátora z kvantitatívnej časti hodnotenia zraniteľnosti:

- ▶ **údaje z indikátora nie je možné diverzifikovať na nižšiu ako celomestskú úroveň**. Napríklad „nízke povedomie obyvateľstva ohľadom prejavov zmeny klímy“ - tento indikátor by sa dal samozrejme použiť v prípade, ak by bola dostupná štúdia, ktorá by bola, napr. dotazníkovým prieskumom, realizovaná v jednotlivých mestských častiach.
- ▶ **zjavná podobnosť medzi indikátormi** - čo môže viesť k tzv. dvojitému započítavaniu. Tento problém vzniká, ak viaceré indikátory sledujú v konečnom dôsledku ten istý jav v rovnakých, alebo aj v opačných smeroch (jeden sleduje pokles, druhý nárast). Napríklad zelená infraštruktúra mesta bola zaradená na základe termovízneho snímkovania medzi plochy s veľmi nízkou povrchovou teplotou, a bola zaradená do skupiny indikátorov zmierňujúcich zraniteľnosť mesta voči horúčavam. Ak by sme však do tej istej skupiny indikátorov dali aj mestskú zeleň, ktorá taktiež pomáha ochladzovať prostredie, týmto indikátorom by sme vlastne zeleň započítali dvakrát.

Vzhľadom k spomínaným kritériám, boli **údaje pre indikátory zastúpené najmä údajmi z nasledovných voľne dostupných zdrojov:**

- ▶ demografické a socioekonomické štatistiky: Štatistické ročenky HM SR Bratislavy (Štatistický úrad SR), Štúdiá demografického potenciálu hlavného mesta SR Bratislavy do roku 2050,
- ▶ meteorologické údaje a hydrologické údaje v rámci Štatistickej ročenky HM SR Bratislavy (Štatistický úrad SR), Bulletin Meteorológia a Klimatológia (MaK) SHMÚ, a pod.
- ▶ generely HM SR Bratislavy (analytické časti), Správy o zdravotnom stave obyvateľstva, Správy o priebehu a následkoch povodní na území Slovenskej republiky (Ministerstvo ŽP SR), a pod., Zdravotnícka ročenka SR, dodatočné údaje o úmrtnosti za vybrané roky poskytl Národné centrum zdravotníckych informácií SR,
- ▶ priestorové údaje: rôzne priestorové údaje HM SR Bratislavy, OpenStreetMap, mapové služby Úradu geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, mapové služby Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra a i.

Ďalej boli použité vybrané **priestorové údaje** katalógu priestorových údajov Hlavného mesta SR Bratislavy (napr. pre modelovanie terénu povrchu územia mesta), výsledky leteckého termovízneho snímkovania z roku 2016, realizovaného v rámci projektu „Bratislava sa pripravuje na zmenu klímy – pilotná aplikácia opatrení pre udržateľné hospodárenie so zrážkovou vodou v urbanizovanom prostredí“, podporeného grantom EHP a Nórska s príspevkom zo štátneho rozpočtu SR (realizovaný 2014-2017).

Mnohé zdroje údajov museli byť **transformované** (z priestorových na data-bázové a naopak), alebo **nanovo vytvárané (modelované)**, aby spĺňali **kritériá potrebné pre kvantitatívne hodnotenie** pomocou zvoleného metodického postupu (napr. teplotné charakteristiky povrchov, priepustnosť povrchov, terénne depresie infiltračných mikropovodí a pod.).



V roku 2016 pribudlo na Hlavné a Františkánske námestie spolu 10 stromov z grantu finančného mechanizmu Európskeho hospodárskeho priestoru, Nórska a štátneho rozpočtu SR. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava.



BVS každoročne zabezpečuje pitnú vodu v horúcich letných mesiacoch na najfrekventovanejších miestach z hľadiska pohybu chodcov. Dodržiavanie pitného režimu je počas horúčav veľmi dôležité nielen pre obyvateľov, ale aj návštevníkov hlavné mesta. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.

3. Kvantitatívna fáza hodnotenia dôsledkov zmeny klímy

3.1. Metodický postup pre stanovenie zraniteľnosti systémov mesta na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy

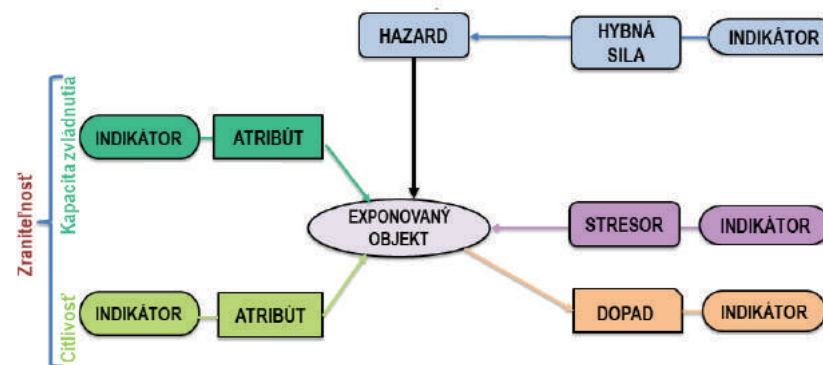
Základné vstupy pre stanovenie a výpočet **zraniteľnosti** mesta a jeho systémov na extrémne horúčavy alebo intenzívne zrážky sú: **citlivosť** systému (mesta a skúmaného subsystému ako v našom prípade - obyvateľstvo, cestná infraštruktúra, budovy a pod.) na daný prejav zmeny klímy a tzv. **disponibilná kapacita** systému (mesta, infraštruktúry, budov, obyvateľstva) **vyrovnať sa** s týmito negatívnymi prejavmi.

Z hľadiska metodického postupu je možné zjednodušene povedať, že pod **citlivosťou** skúmaného systému rozumieme faktory, ktoré celkovú zraniteľnosť **zvyšujú**. Indikátory boli zvolené tak, aby spĺňali kritériá uvedené v predošlej kapitole a zároveň zohľadňujú, v čo najväčšej miere, výstupy z kvalitatívnej časti hodnotenia pre dopadové reťazce na obyvateľstvo (napr. vhodne charakterizujú najzraniteľnejšiu časť populácie alebo oblasti, ktoré sú kritické z pohľadu udržania reziliencie pri extrémnych horúčavách alebo intenzívnych zrážkach).

Disponibilná kapacita vyrovná sa s nepriaznivými prejavmi zmeny klímy je kapacita, ktorú je možné okamžite použiť na zmiernenie dopadov. Patria sem faktory, ktoré celkovú zraniteľnosť **znižujú**. Odlišuje sa tým od adaptívnej kapacity, ktorá je širším pojmom a počíta aj s možnou potenciálnou kapacitou v dlhodobom horizonte. Podobne ako pri stanovení citlivosti, je aj pri výpočte disponibilnej kapacity pri každom z indikátorov dostupné vizuálne - kartogramové znázornenie na základe použitých údajov.

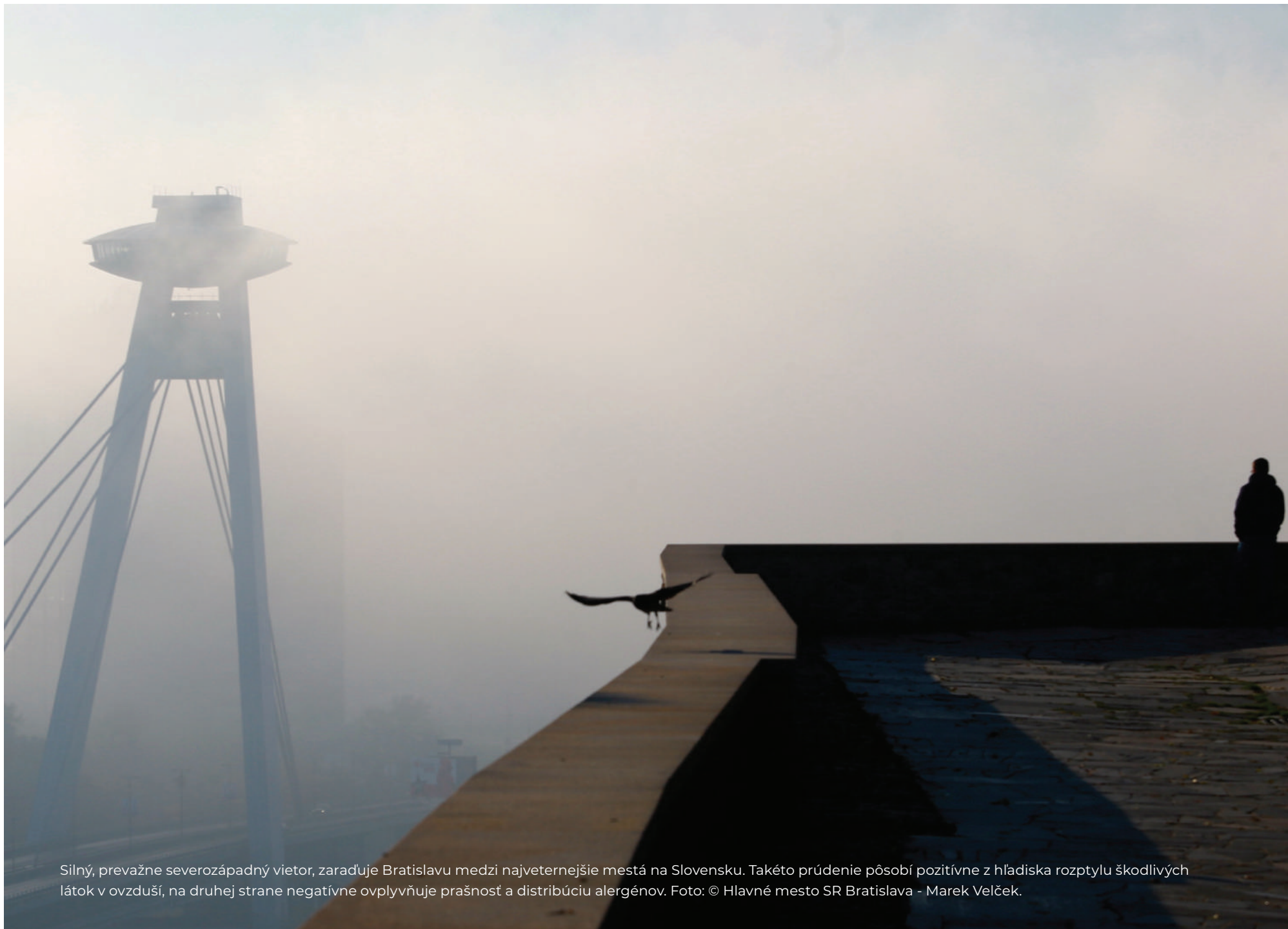
Metodický postup IVAVIA umožňuje využiť tzv. **metódu expertného posúdenia** („expert judgement“) vo fáze kvalitatívneho ako aj kvantitatívneho hodnotenia. ÚHA preto zrealizoval participatívne workshopy spomínané v predošlých kapitolách. Na základe výstupov zo stretnutí bolo možné overiť vhodnosť výberu indikátorov, prípadne doplniť vhodnejšie indikátory. V poslednom kroku sa pristúpilo k váženiu indikátorov, agregácii a k normalizácii hodnôt indikátorov na stupnici od 0-1, čím bola vypočítaná zraniteľnosť skúmaného systému na sledované dopady zmeny klímy (obr. 6).

Výsledné hodnotenie zraniteľnosti obyvateľstva, dopravnej infraštruktúry a budov na úrovni jednotlivých mestských častí na extrémne horúčavy a intenzívne zrážky je znázornené v každej z kapitol č. 4 až č. 7 formou **kartogramov a grafov**. Slúžia na získanie lepšej predstavy o hodnotách pre jednotlivé územia mestských častí a ich porovnanie na základe použitých indikátorov.



Obr. 8. Základné prvky diagramu pre dopadový reťazec podľa metodiky IVAVIA (Zdroj: IVAVIA Guideline, Impact and Vulnerability Analysis of Vital Infrastructures and built-up Areas, 2017).

Indikátory sú znázornené ako kartogramy v kapitolách č. 4 až č.7. Kartogramy predstavujú jednu z foriem kartografickej vyjadrovacej metódy pre relatívne kvantitatívne ukazovatele (indikátory). Kartogramy sú doplnené o vrstvy budov a vybranej cestnej infraštruktúry (OpenStreetMap Contributors, 2018), ktoré slúžia len na ilustráciu zastavaného územia, nemajú však priamy vplyv alebo vzťah k zobrazovanému indikátoru.



Silný, prevažne severozápadný vietor, zaraďuje Bratislavu medzi najveternejšie mestá na Slovensku. Takéto prúdenie pôsobí pozitívne z hľadiska rozptylu škodlivých látok v ovzduší, na druhej strane negatívne ovplyvňuje prašnosť a distribúciu alergénov. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.

3.2. Metodický postup pre stanovenie rizika nepriaznivých dôsledkov zmeny klímy na sledovanie systémov mesta

Pri stanovení **rizík**, ktoré predstavujú pre mesto dôsledky zmeny klímy (jeho obyvateľstvo, či infraštruktúru) vstupujú do hodnotenia ďalšie premenné, a to: **expozícia**, klimatická **hrozba** (v tomto prípade extrémne horúčavy a intenzívne zrážky), ako aj **intenzita a pravdepodobnosť** výskytu tejto hrozby (viď obrázok 8). Zvolený metodický postup pre územie HM SR Bratislavy v tomto Atlase je zjednodušený a opiera sa o výpočet miery rizika na základe dostupných údajov o hrozbe a expozícii, ako aj zraniteľnosti vyhodnotenej v predošlých krokoch (BMZ, 2014).

Expozícia vyjadruje mieru, do akej je daný systém vystavený nepriaznivému pôsobeniu prejavov zmeny klímy. Pri mestách je expozícia daná najmä prítomnosťou a umiestnením obyvateľstva, sídel, prítomnosťou prírodných zdrojov a environmentálnych služieb, ďalších zdrojov významných z rôznych hľadísk (spoločenského, ekonomického alebo kultúrneho hľadiska) v miestach, ktoré môžu byť postihnuté negatívnymi dopadmi zmeny klímy (IPCC, 2012).

Hrozbou (z angl. hazard) sa rozumie potenciálny prírodný alebo človekom zapríčinený jav, ktorého dôsledkom môžu byť ohrozenie, škoda a/alebo ujma na zdraví, strata na ľudskom živote, ako aj na majetku, infraštruktúre, prírodnom prostredí a prírodných zdrojoch (IPCC, 2012). Pre účely hodnotenia hrozby bol deň s extrémne vysokou dennou teplotou vzduchu definovaný ako deň, kedy maximálna denná teplota vzduchu dosiahla aspoň 33°C a viac. Vlna horúčav pre účely hodnotenia predstavovala aspoň päť za sebou nasledujúcich dní, kedy najvyššia teplota dosiahla aspoň 33°C a viac. Do hodnotenia rizika intenzívnych zrážok vstupovali maximálne denné úhrny zrážok.

Na základe váženého indikátorov a ich normalizácie na stupnici od 0-1 sa následne pristúpilo k agregácii indikátorov a k výpočtu **rizika sledovanej hrozby zmeny klímy** (napr. extrémne horúčavy alebo intenzívne zrážky) na exponovaný systém (obyvateľstvo, budovy, cestná infraštruktúra). V jednotlivých kapitolách je uvedená miera rizika, ktorú predstavuje daný dôsledok zmeny klímy pre cestnú infraštruktúru, obyvateľstvo a budovy na úrovni jednotlivých mestských častí. Vizúálna reprezentácia výstupov formou **grafov a kartogramov** slúži na získanie lepšej predstavy o výsledných

hodnotách pre jednotlivé územia mestských častí a ich porovnanie na základe použitých indikátorov.

Do hodnotenia dopadov zmeny klímy podľa metodického postupu IVAVIA vstupujú aj tzv. **stresory alebo neklimatické hybné sily** - udalosti a trendy nesúvisiace s klimatickými podmienkami, avšak je vysoko pravdepodobné, že majú významný vplyv na exponovaný systém a môžu zvýšiť zraniteľnosť voči klimatickým rizikám. Vybrané reprezentatívne indikátory a ich krátke zhodnotenie uvádzame podrobnejšie v prílohe č. 9.



Počet dní so snehovou pokrývkou je v súčasnosti okolo 25 ročne, čo predstavuje polovičný počet v porovnaní so zimami na aké sme boli zvyknutí pred 15-20 rokmi. © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.

Dôsledky extrémnych horúčav na obyvateľstvo

Hmlové brány sa postupne stávajú súčasťou verejných priestorov na najviac exponovaných miestach. Inštaluje ich hlavné mesto SR Bratislava ako aj niektoré mestské časti.
Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.



4.1. Hodnotenie zraniteľnosti obyvateľstva na extrémne horúčavy

Základné vstupy pre stanovenie a výpočet **zraniteľnosti** na extrémne horúčavy sú **citlivosť** systému (mesta a skúmanej oblasti v našom prípade obyvateľstvo) na tento dôsledok zmeny klímy a tzv. **disponibilná kapacita systému** (obyvateľstva) **vyrovnať sa s dôsledkami horúčav**. Táto podkapitola obsahuje vyhodnotenie pomocou indikátorov stanovených pre citlivosť obyvateľstva a disponibilnú kapacitu mesta vyrovnať sa s dopadmi extrémnych horúčav.

Nakoľko hodnotenie citlivosti obsahuje množstvo rôznych indikátorov, rozdelili sme hodnotenie zraniteľnosti na:

- ▶ **environmentálnu zraniteľnosť** - stanovenú na základe environmentálnych indikátorov citlivosti a disponibilnej kapacity,
- ▶ **spoločenskú zraniteľnosť** – stanovenú na základe indikátorov pre sociálne a zdravotnícke služby, vybraných demografických a zdravotníckych indikátorov citlivosti a disponibilnej kapacity,
- ▶ **celkovú zraniteľnosť** - stanovenú na základe syntézy všetkých (environmentálnych a spoločenských) indikátorov.

Na základe dostupnosti údajov bolo pre hodnotenie citlivosti obyvateľstva na extrémne horúčavy vybraných 9 indikátorov, z toho päť indikátorov charakterizuje spoločenskú zodpovednosť a tri environmentálnu.

4.1.1. Citlivosť (spoločenská, environmentálna, celková)

Indikátory spoločenskej citlivosti:

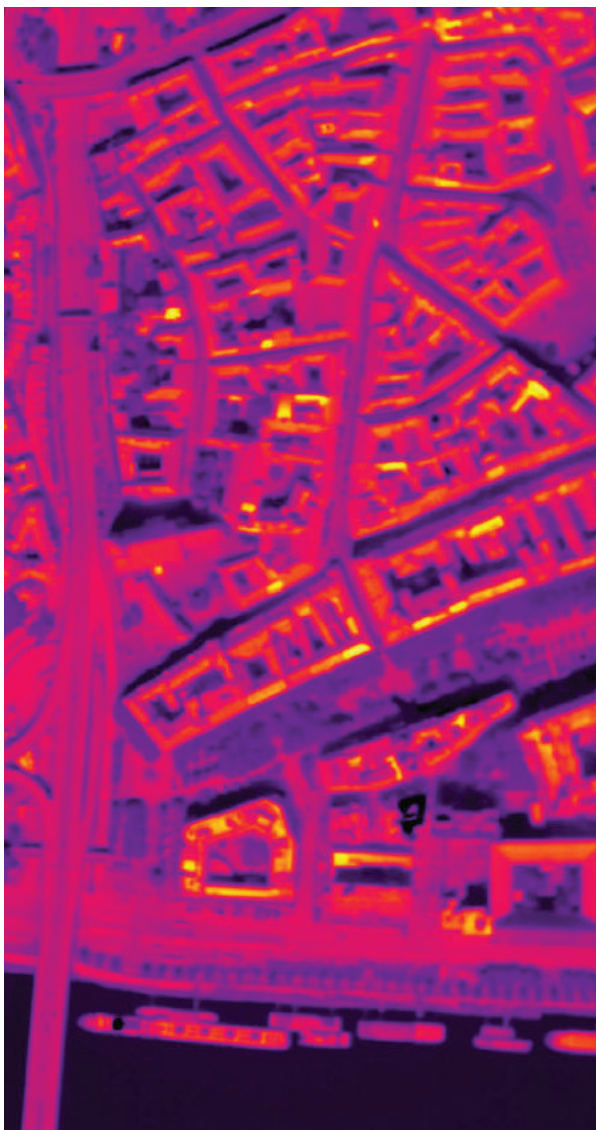
- ▶ **Podiel obyvateľov vo veku do 14 rokov (indikátor SC4.1.1.1) a nad 65 rokov (indikátor SC4.1.1.2)** k celkovému počtu obyvateľov v MČ, na základe údajov za rok 2017 poskytnutých Štatistickým úradom SR.
- ▶ **Podiel obyvateľov bez domova z celkového počtu obyvateľov v MČ (indikátor SC4.1.1.3)** na základe údajov zo sčítavania osôb bez domova vykonávaného HM SR Bratislavou v roku 2016.
- ▶ **Počet lôžkových nemocničných a ústavných zariadení v MČ (indikátor SC4.1.1.4)** na základe údajov poskytnutých Národným centrom zdravotníckych informácií SR za rok 2017.
- ▶ **Podiel pacientov s kardiovaskulárnym ochorením a ochorením dýchacej sústavy k celkovému počtu obyvateľov MČ (indikátor SC4.1.1.5)** na základe údajov poskytnutých Národným centrom zdravotníckych informácií SR za rok 2017.
- ▶ **Podiel počtu lôžok v sociálnych zariadeniach k celkovému počtu obyvateľov (indikátor SC4.1.1.6)**. Na základe údajov Bratislavského samosprávneho kraja k 8/2018.

Indikátory environmentálnej citlivosti (viď príloha 2, resp. obr. 9-11):

- ▶ **Podiel mierne teplých plôch k celkovej rozlohe MČ (indikátor SC4.1.1.7)** k celkovej rozlohe danej MČ. (v rozmedzí 27,3 °C - 31,8 °C).
- ▶ **Podiel teplých plôch k celkovej rozlohe MČ (indikátor SC4.1.1.8)** k celkovej rozlohe danej MČ (v rozmedzí 31,9°C – 36,4 °C).
- ▶ **Podiel veľmi teplých plôch k celkovej rozlohe MČ (indikátor SC4.1.1.9)** k celkovej rozlohe danej MČ (v rozmedzí 36,5 °C a viac).

Indikátory SC4.1.1.7 – SC4.1.1.9 sú odvodené od výsledkov leteckého termovízneho snímkovania (2016) a ich priemetu do podkladu využitia pozemkov podľa katastrálnej mapy Bratislavy (viď prílohu č. 2). Ukážka modelu teplôt povrchu je na obrázku č.9-11 na ďalšej strane.

Vo fáze kvantitatívneho hodnotenia bola priradená významnosť (váha) všetkým indikátorom. Následne po normalizácii hodnôt indikátorov na stupnicu 0-1 sa pristúpilo k ich agregácii. Výsledné hodnoty sú prezentované formou vizuálnych výstupov (kartogramov) charakterizujúcich mieru zraniteľnosti obyvateľstva jednotlivých mestských častí na extrémne horúčavy.



Obr. 9. Časť jedného zo 4 koridorov nalietaných počas termovizuálneho leteského snímokovania 1.9.2016 v čase 13:00 (teplota vzduchu dosahovala 29 °C). Zdroj: ÚHA, 2016.

Legenda

- Hranica mestskej časti
- Kategoríe teploty pozemkov podľa spôsobu využitia
- veľmi chladné (menej ako 22,7°C)
- chladné (22,7 °C - 27,2°C)
- mierne teplé (27,3 °C - 31,8 °C)
- teplé (31,9°C - 36,4°C)
- veľmi teplé (36,5°C a viac)



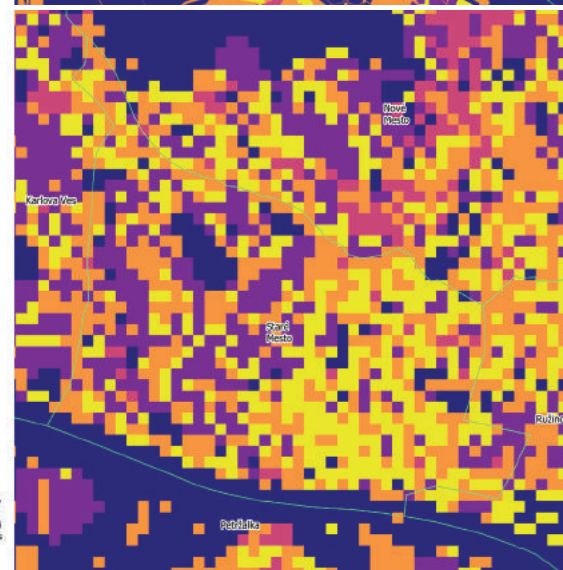
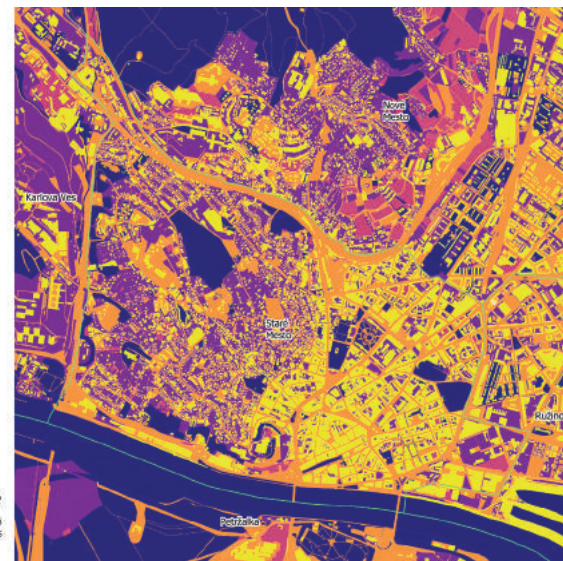
Informačný systém katastra nehnuteľností SR, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (2018)
 © Úbor. Hlavné architektky HM SR Bratislava v spolupráci s Prírodovedeckou fakultou UK v Bratislave v spolupráci s ďalšími partnermi projektu H2020 RESIN - Klimaticky prispôsobivé mestá a infraštruktúra.

Legenda

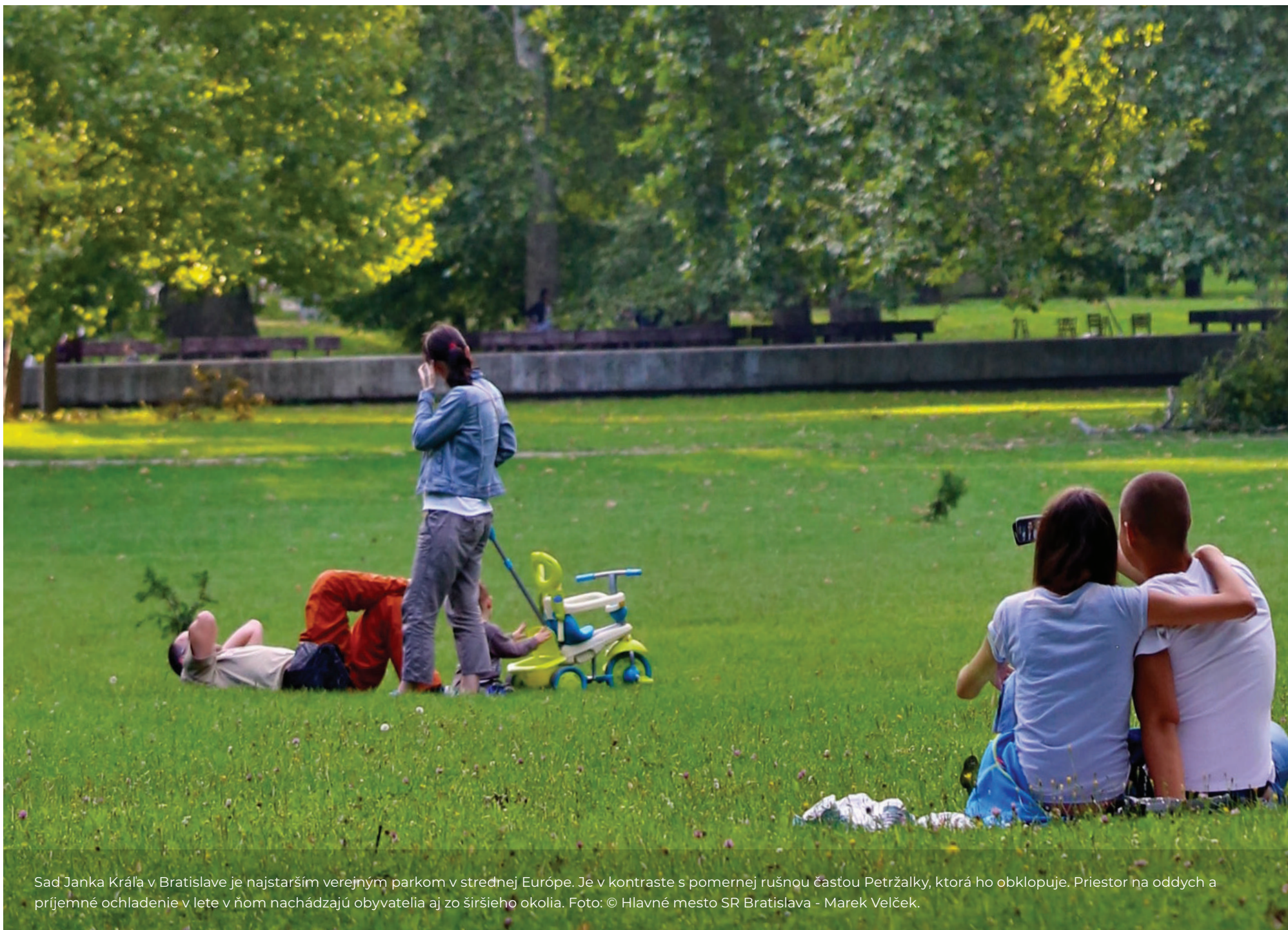
- Hranica mestskej časti
- Kategoríe teploty pozemkov podľa spôsobu využitia (100 m x 100 m)
- veľmi chladné (menej ako 22,7°C)
- chladné (22,7°C - 27,2°C)
- mierne teplé (27,3 °C - 31,8 °C)
- teplé (31,9 °C - 36,4 °C)
- veľmi teplé (36,5 °C a viac)



Informačný systém katastra nehnuteľností SR, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (2018)
 © Úbor. Hlavné architektky HM SR Bratislava v spolupráci s Prírodovedeckou fakultou UK v Bratislave v spolupráci s ďalšími partnermi projektu H2020 RESIN - Klimaticky prispôsobivé mestá a infraštruktúra.



Obrz. 10 a 11. Ukážka kategorizácie teploty podľa využitia pozemkov na podklade katastrálnej mapy a v gride 100 m x 100 m, oboje s využitím údajov z termovizuálneho snímokovania vybraných koridorov územia Bratislavy. Spracovalo: ÚHA, 2018.



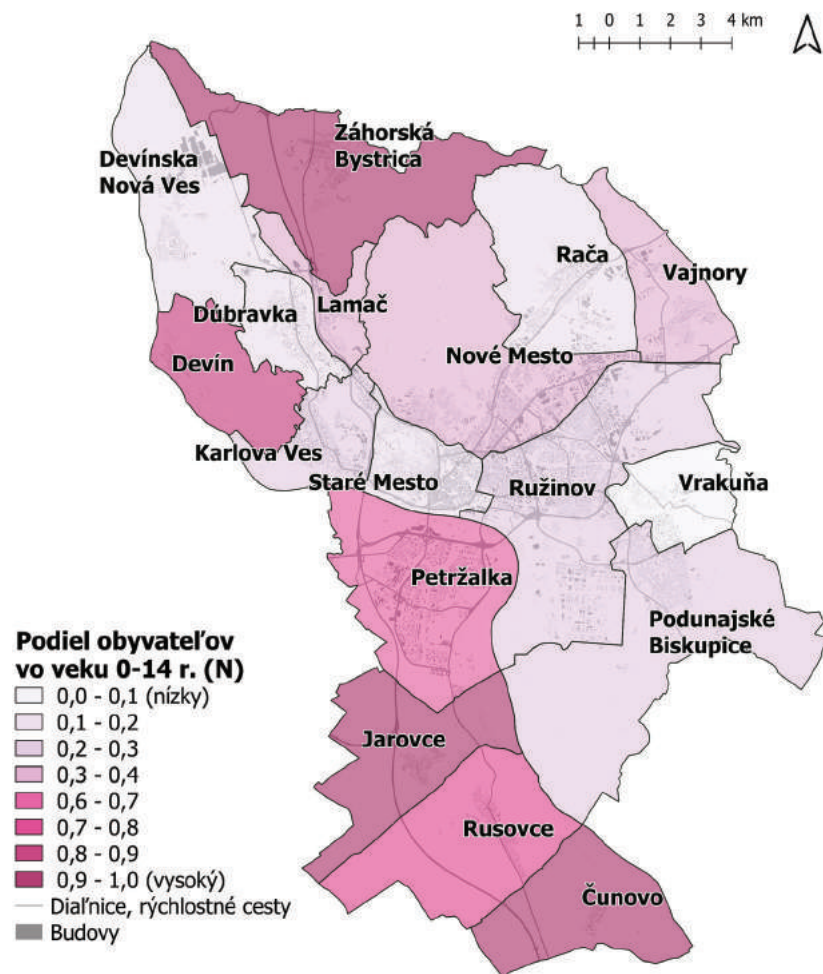
Sad Janka Kráľa v Bratislave je najstarším verejným parkom v strednej Európe. Je v kontraste s pomernej rušnou časťou Petržalky, ktorá ho obklopuje. Priestor na oddych a príjemné ochladenie v lete v ňom nachádzajú obyvatelia aj zo širšieho okolia. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Marek Velček.



Indikátory spoločenskej citlivosti

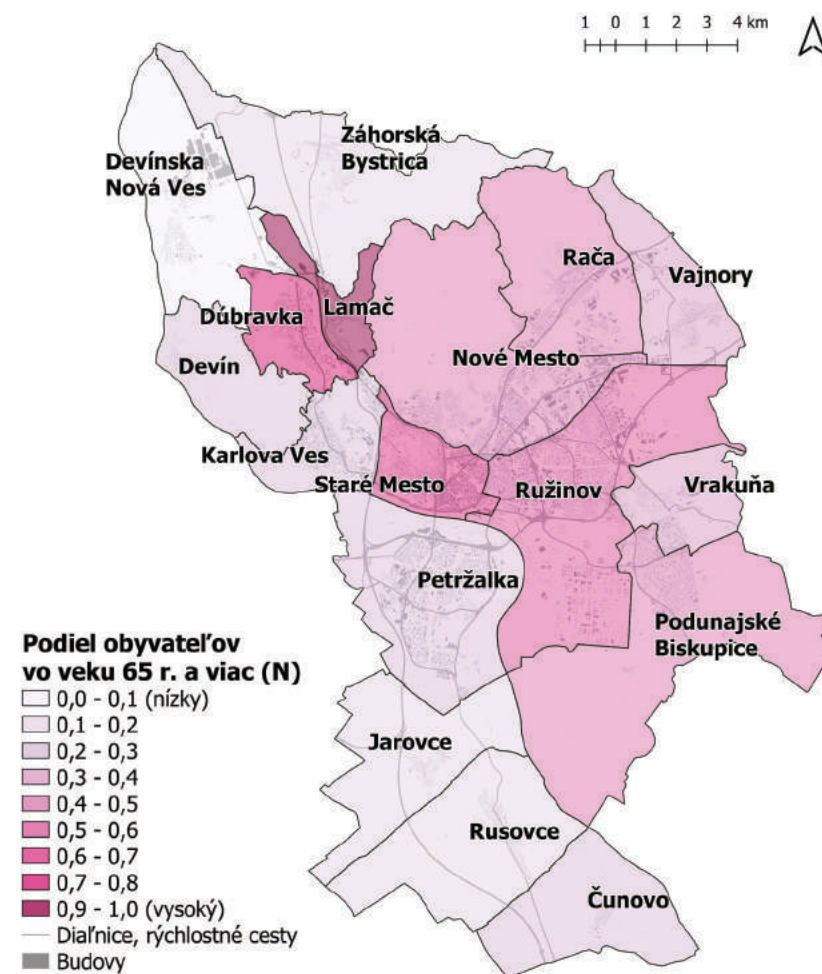
Indikátor SC4.1.1.1

Podiel počtu obyvateľov vo veku do 14 rokov k celkovému počtu obyvateľov v MČ – normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Indikátor SC4.1.1.2

Podiel počtu obyvateľov vo veku nad 65 rokov k celkovému počtu obyvateľov v MČ – normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

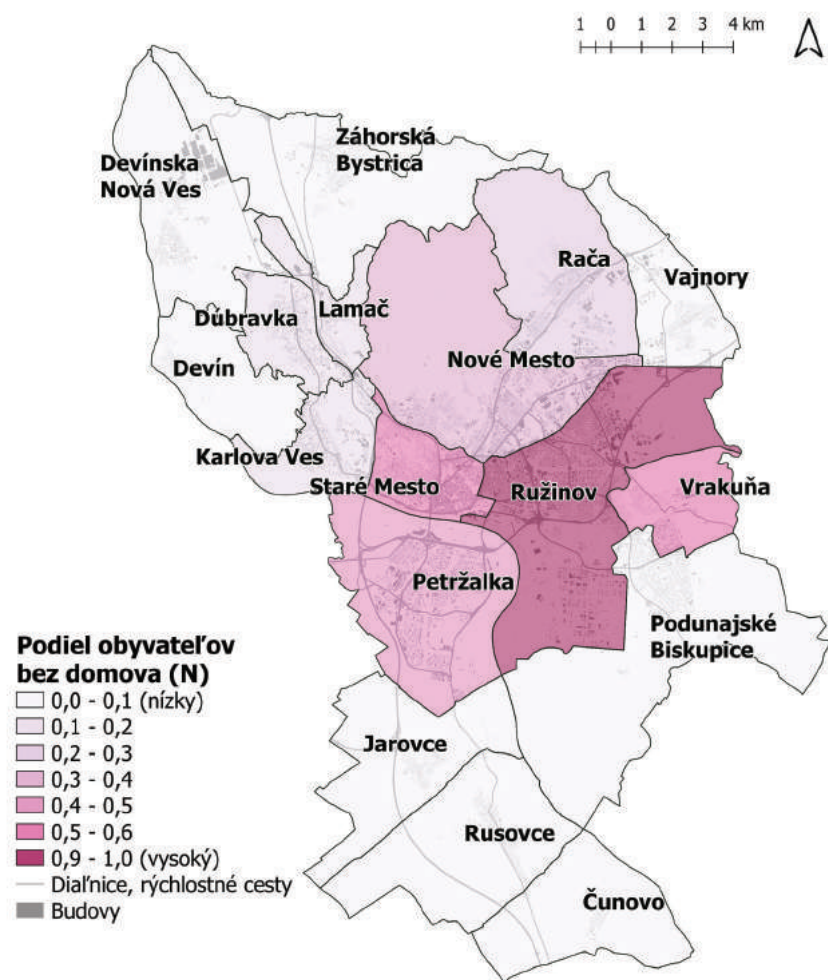




Indikátory spoločenskej citlivosti

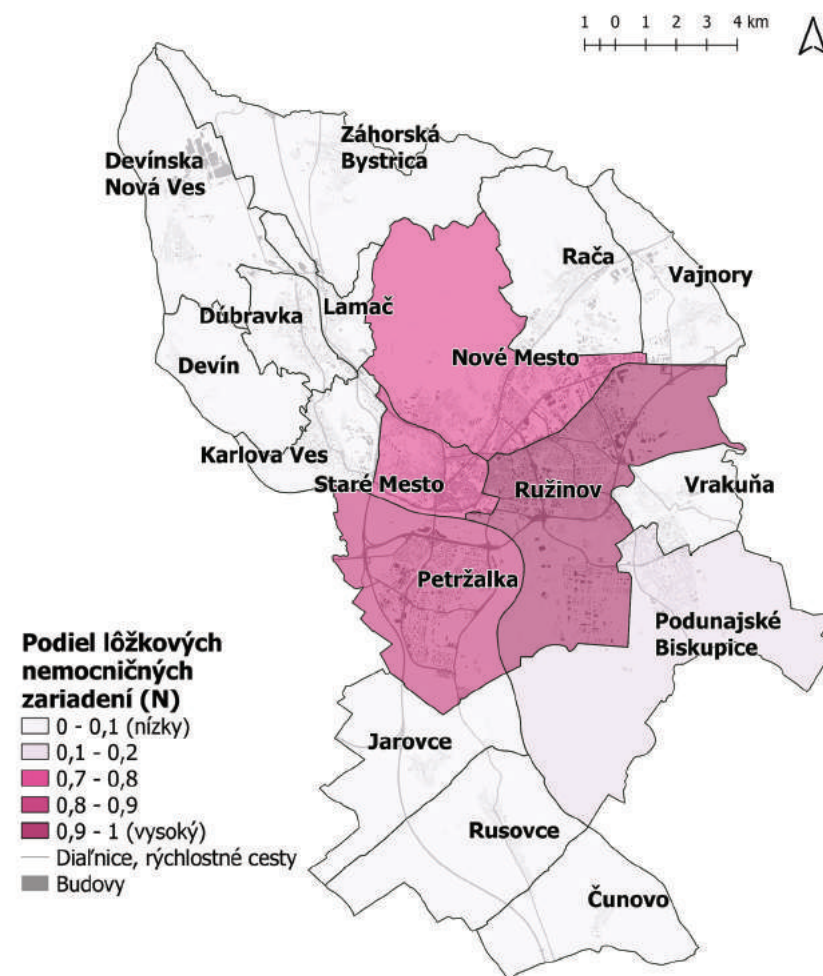
Indikátor SC4.1.1.3

Podiel obyvateľov bez domova z celkového počtu obyvateľov v MČ – normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Indikátor SC4.1.1.4

Počet lôžkových nemocničných a ústavných zariadení v MČ – normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

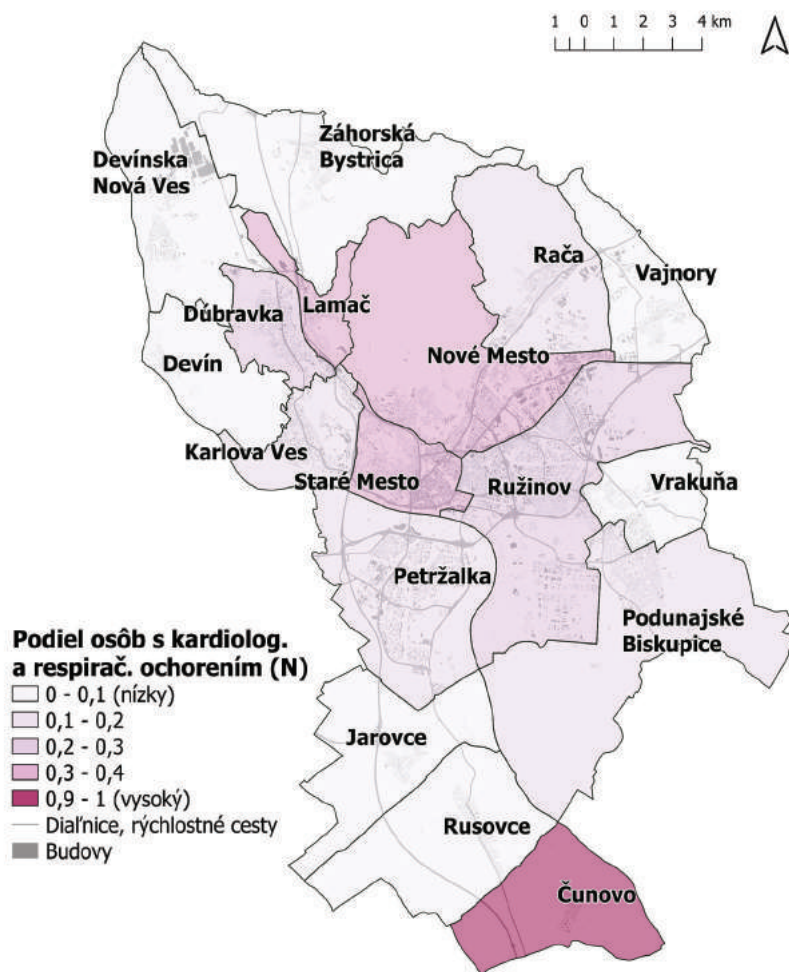




Indikátory spoločenskej citlivosti

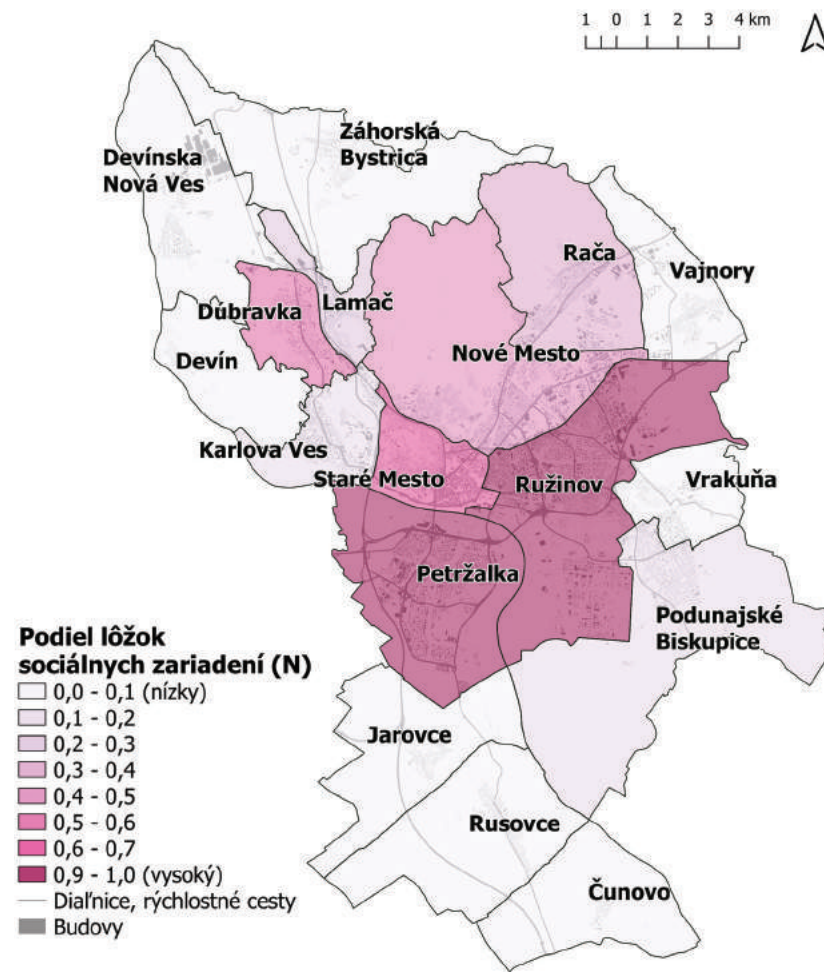
Indikátor SC4.1.1.5

Podiel pacientov s kardiovaskulárnym ochorením a ochorením dýchacej sústavy k celkovému počtu obyvateľov MČ - normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Indikátor SC4.1.1.6

Podiel počtu lôžok v sociálnych zariadeniach k celkovému počtu obyvateľov - normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

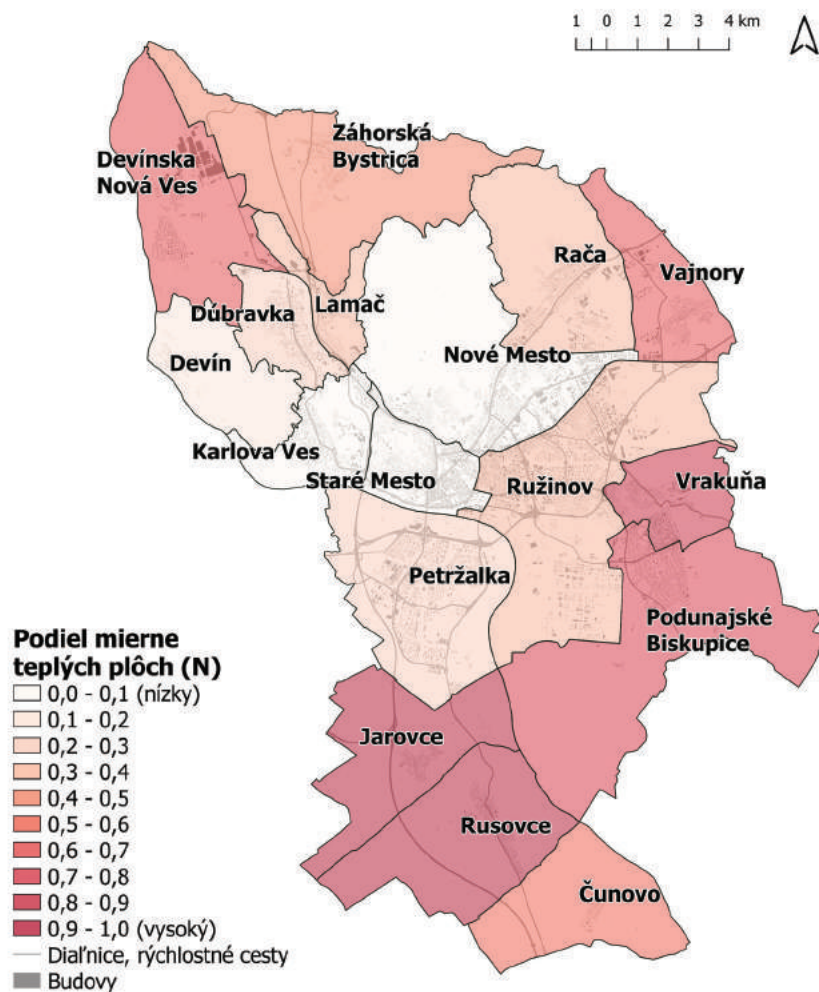




Indikátory environmentálnej citlivosti

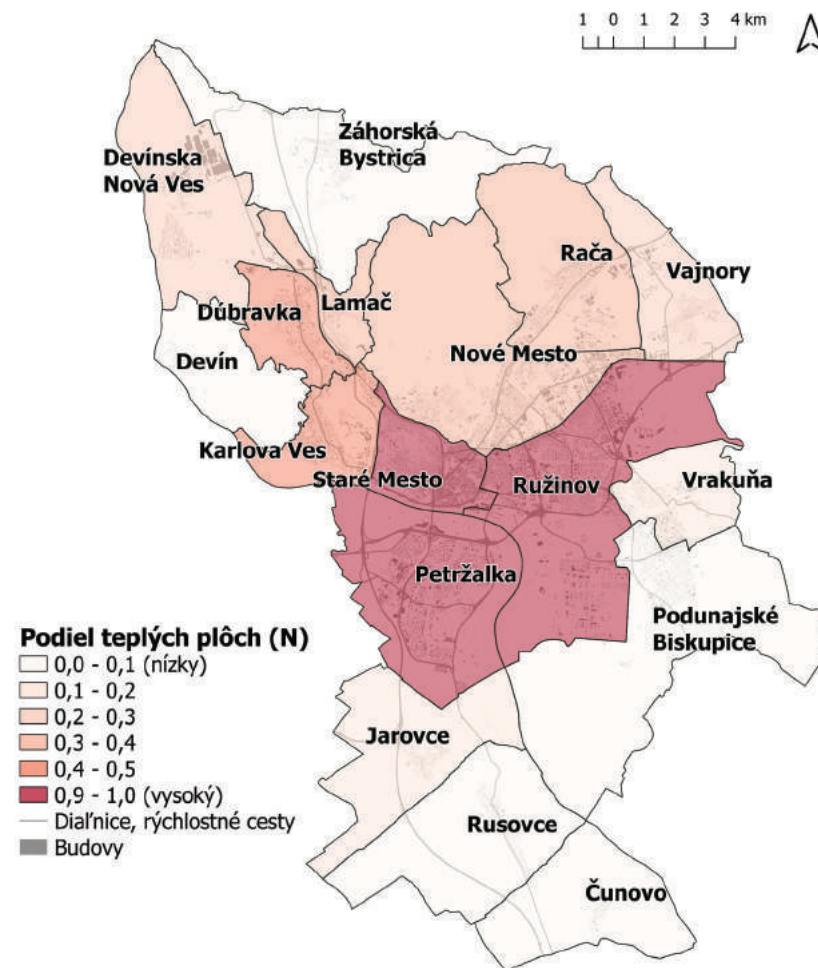
Indikátor SC4.1.1.7

Podiel mierne teplých plôch k celkovej rozlohe danej MČ - normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Indikátor SC4.1.1.8

Podiel teplých plôch k celkovej rozlohe danej MČ - znázornené ako normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

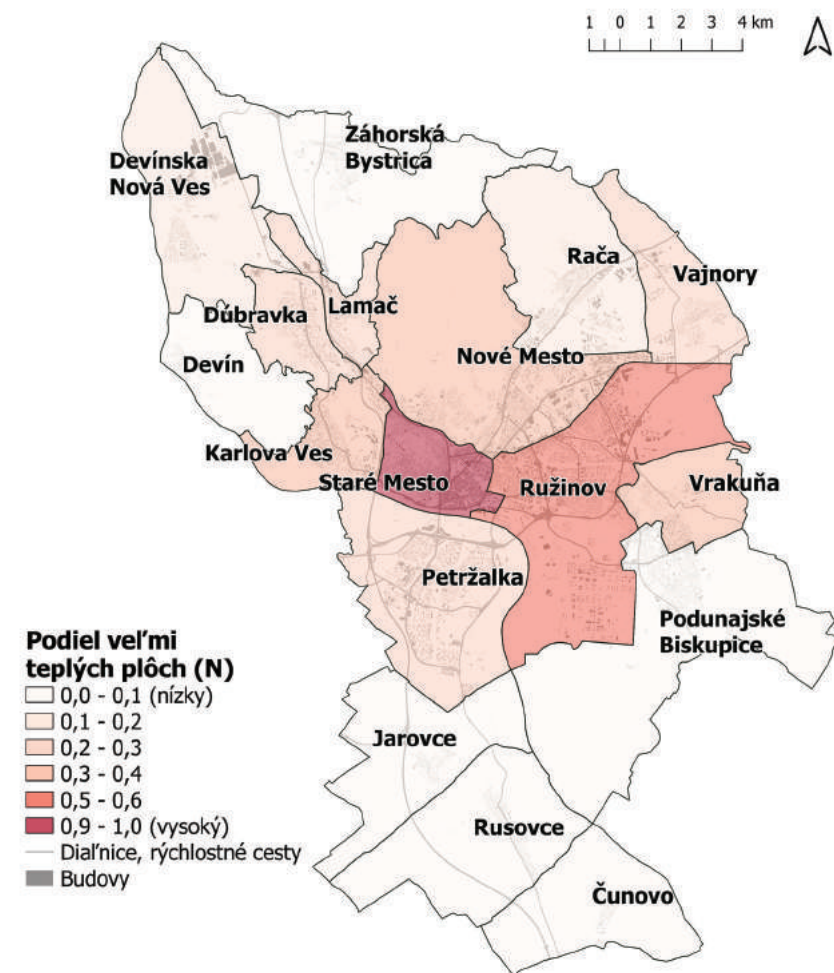




Indikátory environmentálnej citlivosti

Indikátor SC4.1.1.9

Podiel veľmi teplých plôch k celkovej rozlohe danej MČ ako normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



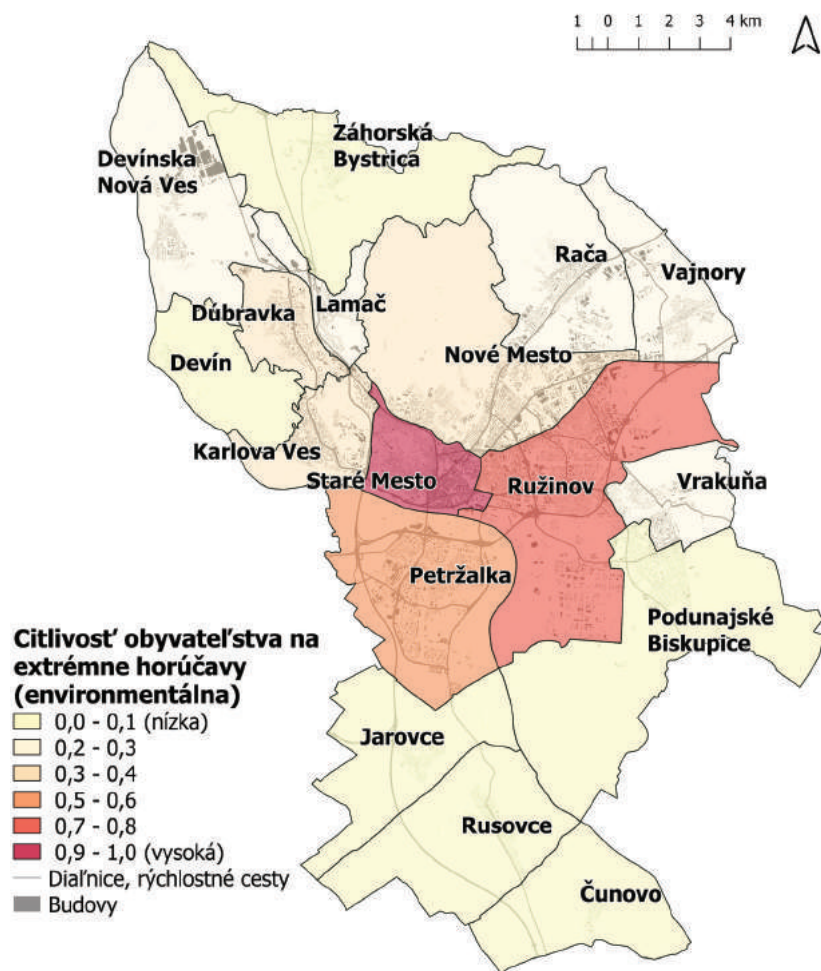
Do hodnotenia citlivosti obyvateľstva na extrémne horúčavy bolo zaradené značné množstvo indikátorov. Pre zdôraznenie ich spoločenskej a environmentálnej povahy, bolo hodnotenie rozdelené najprv na stanovenie tzv. spoločenskej citlivosti (indikátory SC4.1.1.1-SC4.1.1.6) a environmentálnej citlivosti (indikátory SC4.1.1.7 – SC4.1.1.9).

Celková citlivosť bola stanovená zahrnutím všetkých indikátorov (SC4.1.1.1-SC4.1.1.9). Predstavuje finálny výstup na základe priradenia významnosti (váhy) všetkým spomenutým indikátorom v kapitole 4.1.1. a na základe ich agregácie a normalizácie na stupnici od 0-1.

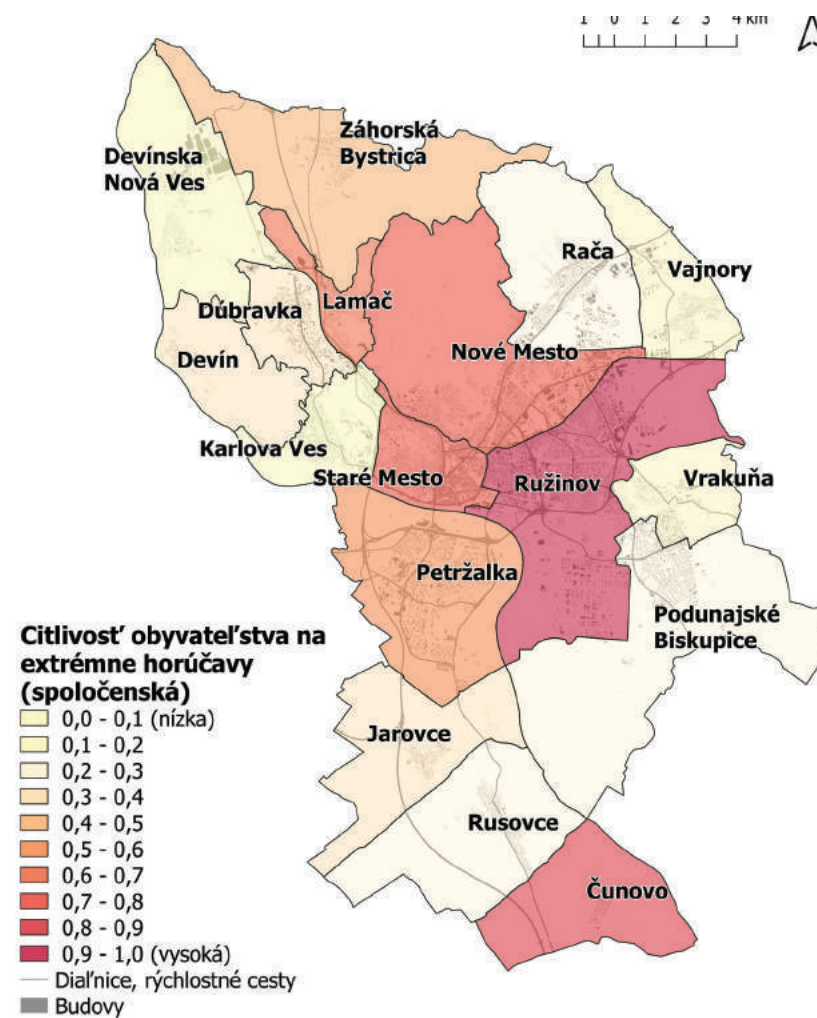
Na nasledujúcich stranách sú znázornené kartogramy pre **environmentálnu, spoločenskú a celkovú citlivosť** jednotlivých mestských častí z hľadiska hodnotenia dopadov extrémnych horúčav na obyvateľstvo.



Citlivosť obyvateľstva na extrémne horúčavy (environmentálna), normalizovaná na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

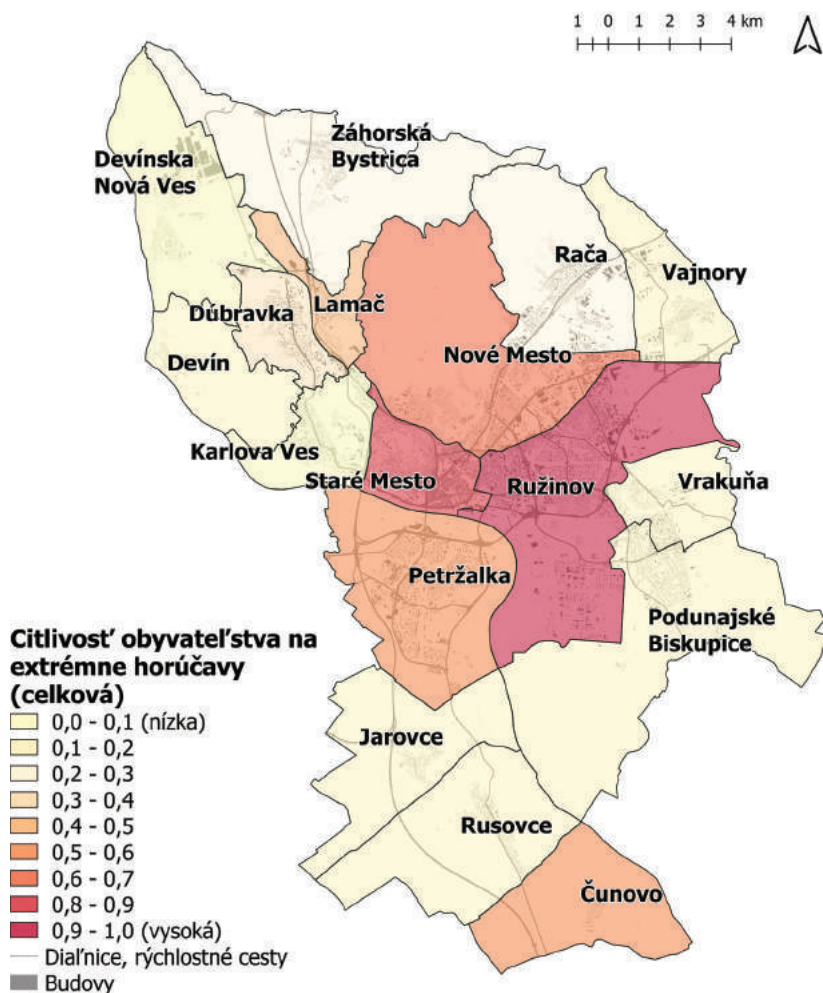


Citlivosť obyvateľstva na extrémne horúčavy (spoločenská), normalizovaná na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).





Citlivosť obyvateľstva na extrémne horúčavy (celková), normalizovaná na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



4.1.2. Disponibilná kapacita (environmentálna, spoločenská, celková)

Na základe dostupných údajov boli použité nasledovné indikátory pre jednotlivé územia mestských častí (MČ) pre hodnotenie disponibilnej kapacity obyvateľstva:

Indikátory spoločenskej disponibilnej kapacity:

- ▶ **Dostupnosť ambulancií pre deti a dospelých** (indikátor SDK4.1.2.1) ako podiel počtu ambulancií k celkovému počtu obyvateľov spadajúcich do kategórie „deti a dospelí“ v MČ (2017).
- ▶ **Dostupnosť ambulancií všeobecných lekárov pre dospelých** (indikátor SDK4.1.2.2) ako podiel počtu ambulancií k celkovému počtu obyvateľov spadajúcich do kategórie „dospelí“ v MČ (2017).
- ▶ **Dostupnosť ambulancií sociálnych zariadení** (indikátor SDK4.1.2.3) ako podiel počtu ambulancií k celkovému počtu obyvateľov v MČ (2018).

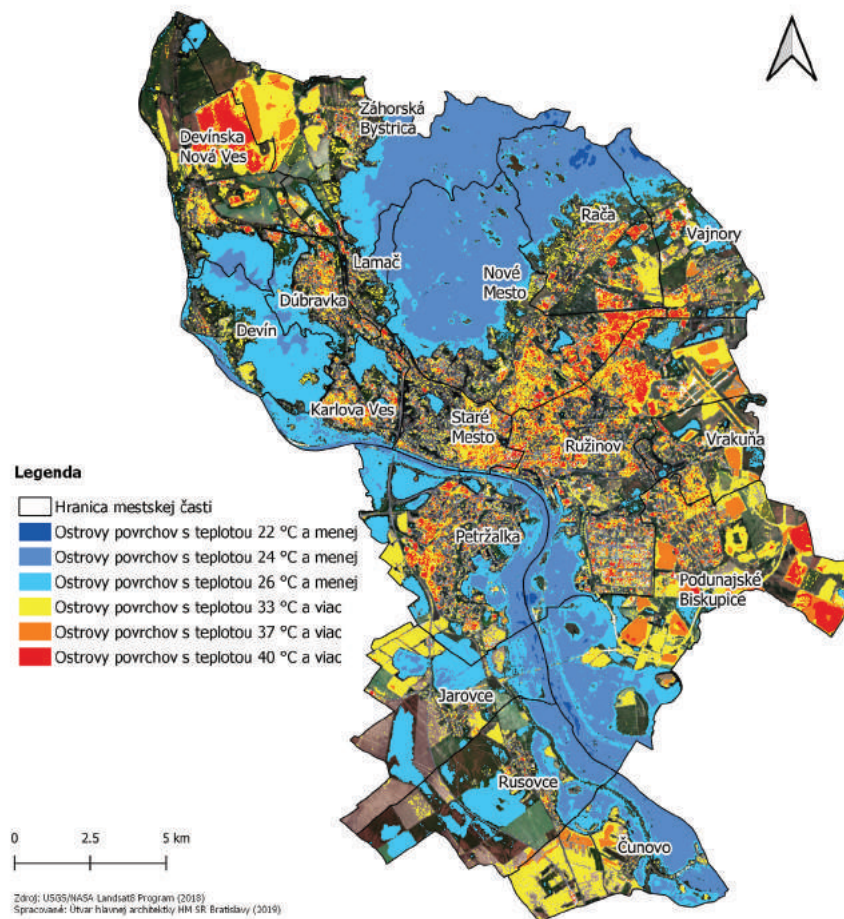
Indikátory environmentálnej disponibilnej kapacity:

- ▶ **Podiel chladných (indikátor EDK4.1.2.1) a veľmi chladných plôch (indikátor EDK4.1.2.2) k celkovej rozlohe MČ.** Indikátor je odvodený od výsledkov termovízneho snímkovania a ich spracovania na podklade využitia pozemkov podľa katastrálnej mapy Bratislavy (vid. Príloha 2.1). Medzi veľmi chladné plochy boli zaradené najmä vodné plochy, vodné toky, lesný porast a pod. Medzi chladné plochy boli zaradené najmä sídlisková a okrasná zeleň, záhrady (napr. botanická, zoológická), záhradkárske oblasti, dvory, ovocné sady, ochranná zeleň, a pod.
- ▶ **Podiel budov dostupnosti do 300 m od tzv. ostrovov chladných povrchov (EDK4.1.2.3) k celkovému počtu budov v MČ.** Indikátor bol vytvorený s využitím vyhodnotenia teploty povrchov zo satelitnej snímky satelitu OLI/Landsat 8 z dňa 12.8.2018 v rozlíšení 30 m x 30m. V rámci teplotného intervalu povrchov, ktorý sa v čase vzniku snímky (10:38 hod. CET) pohyboval od 21,5 až 53°C, sme za chladné povrchy zvolili plochy, ktoré mali teplotu rovnakú alebo nižšiu ako 26°C (čo bola horná hranica priemernej teploty vzduchu v čase vzniku snímky). Ukážka indikátoru je na obrázku 11.



Ku každému z indikátorov je na ďalších stranách zobrazené znázornenie hodnôt jednotlivých vyššie menovaných vstupných indikátorov formou kartogramu. Indikátorom bola priradená váha a po ich normalizácii a agregácii bol vytvorený výsledný kartogram, ktorý charakterizuje mieru

disponibilnej kapacity obyvateľstva jednotlivých mestských častí na extrémne horúčavy. Pri normalizácii pre výpočet disponibilnej kapacity dochádza zároveň k inverzii stupnice 0-1.



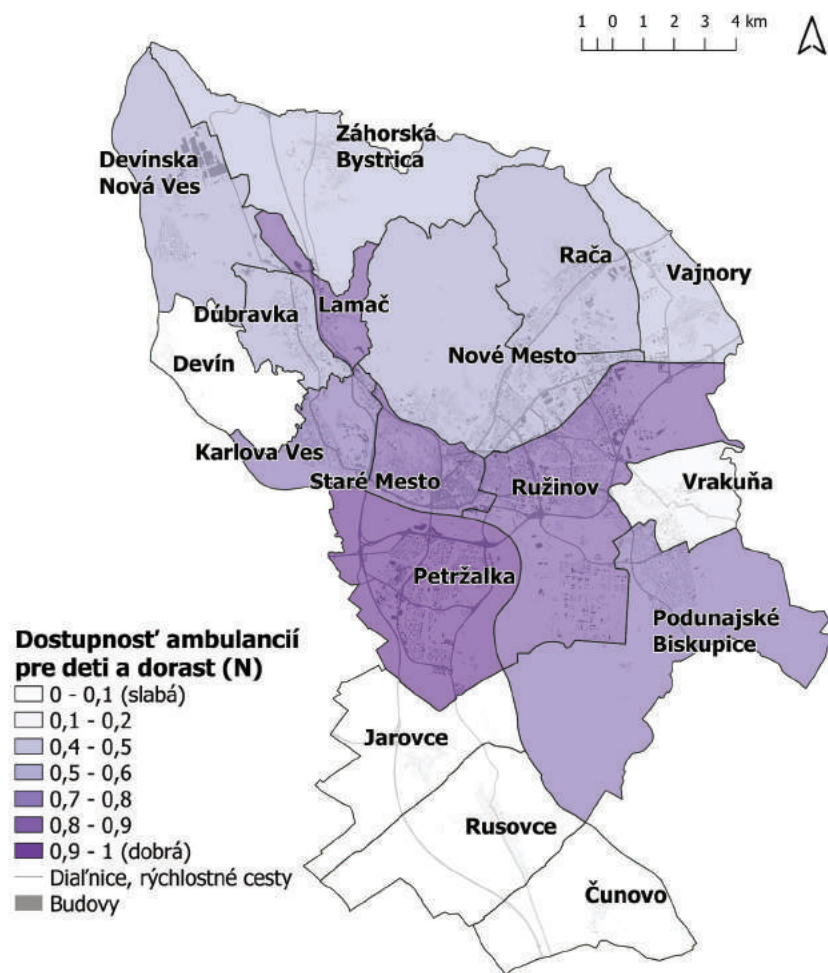
Obr. 11. Ukážka tvorby indikátorov pre disponibilnú kapacitu založených na teplote povrchu jednotlivých tried využitia krajinej pokrývky na území HM SR Bratislavy (rozlíšenie 30 m x 30 m, dátum: 12.8.2019, čas: 10:38 hod. CET).



Indikátory spoločenskej disponibilnej kapacity

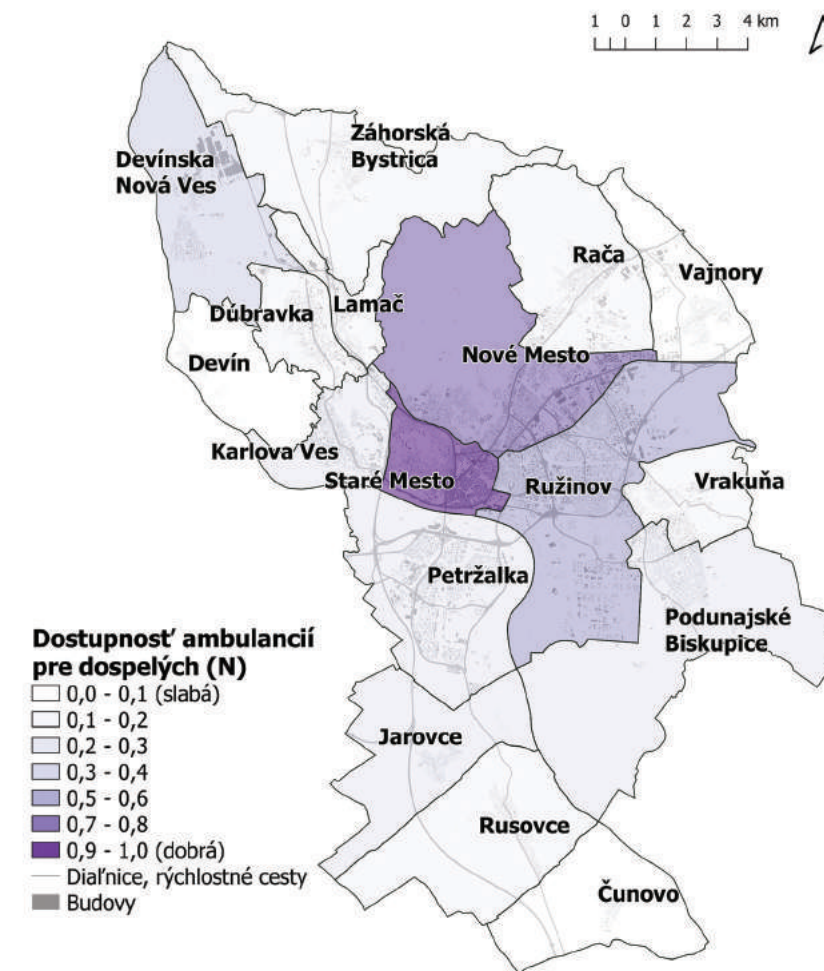
Indikátor SDK4.1.2.1

Dostupnosť ambulancií pre deti a dospelých – normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Indikátor SDK4.1.2.2

Dostupnosť ambulancií všeobecného lekára pre dospelých – normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

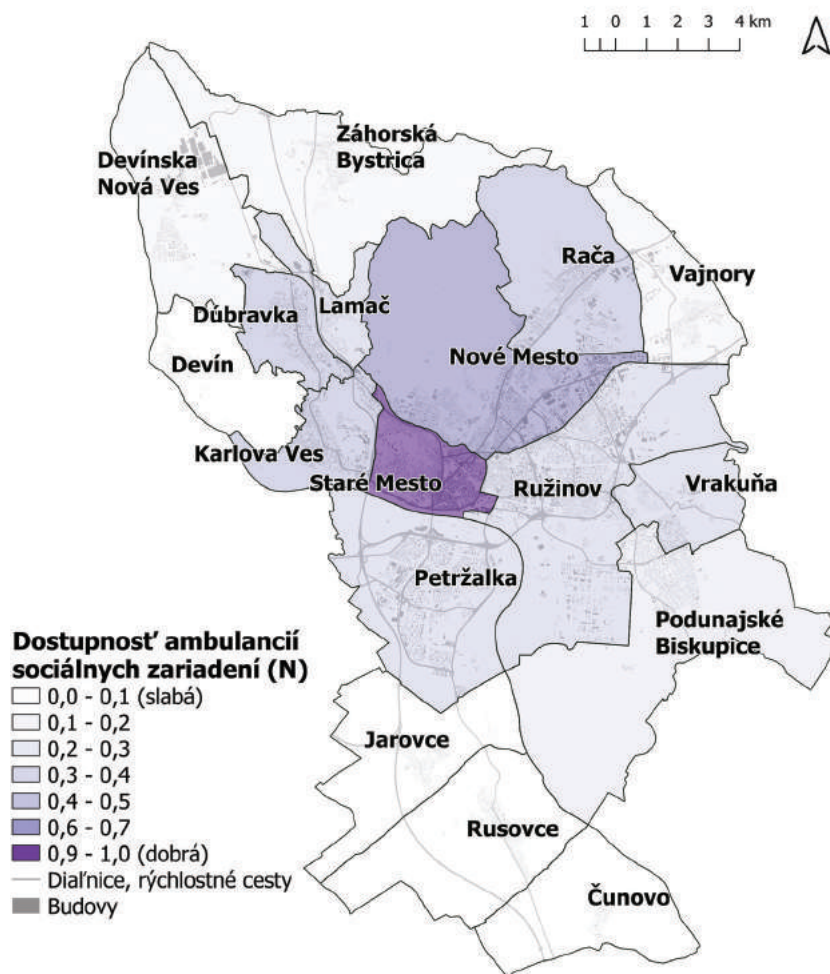




Indikátory environmentálnej disponibilnej kapacity

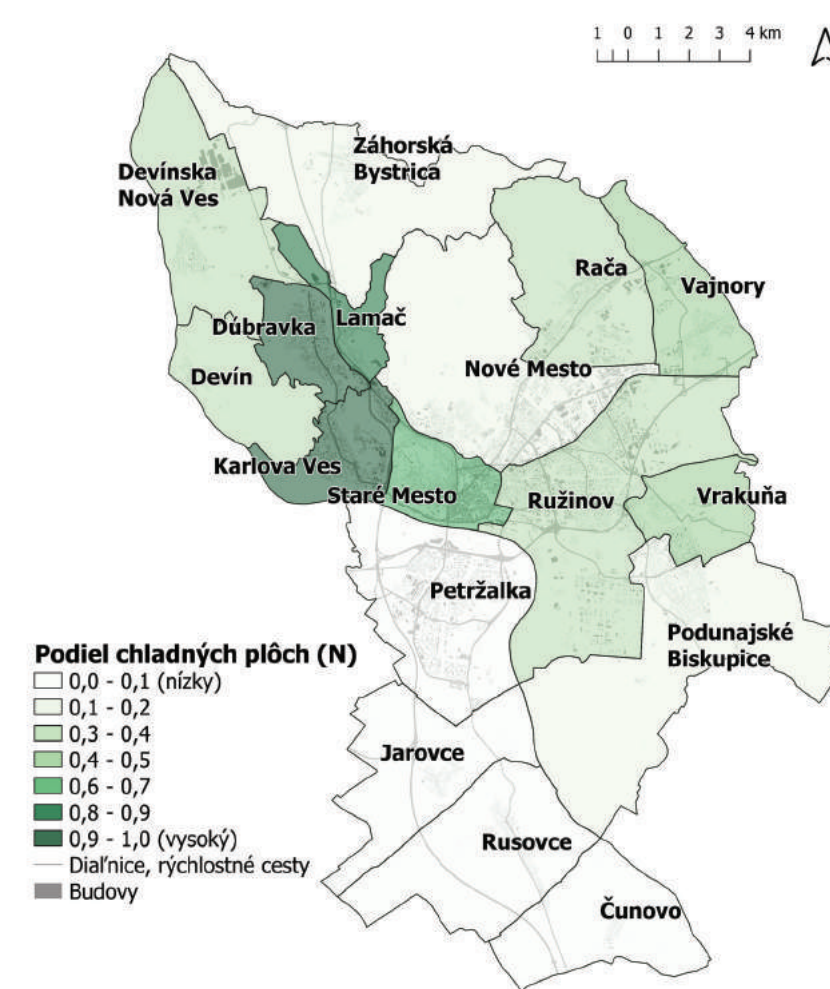
Indikátor SDK4.1.2.3

Dostupnosť ambulancií sociálnych zariadení - normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Indikátor EDK4.1.2.1

Podiel chladných plôch k celkovej rozlohe danej MČ - normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

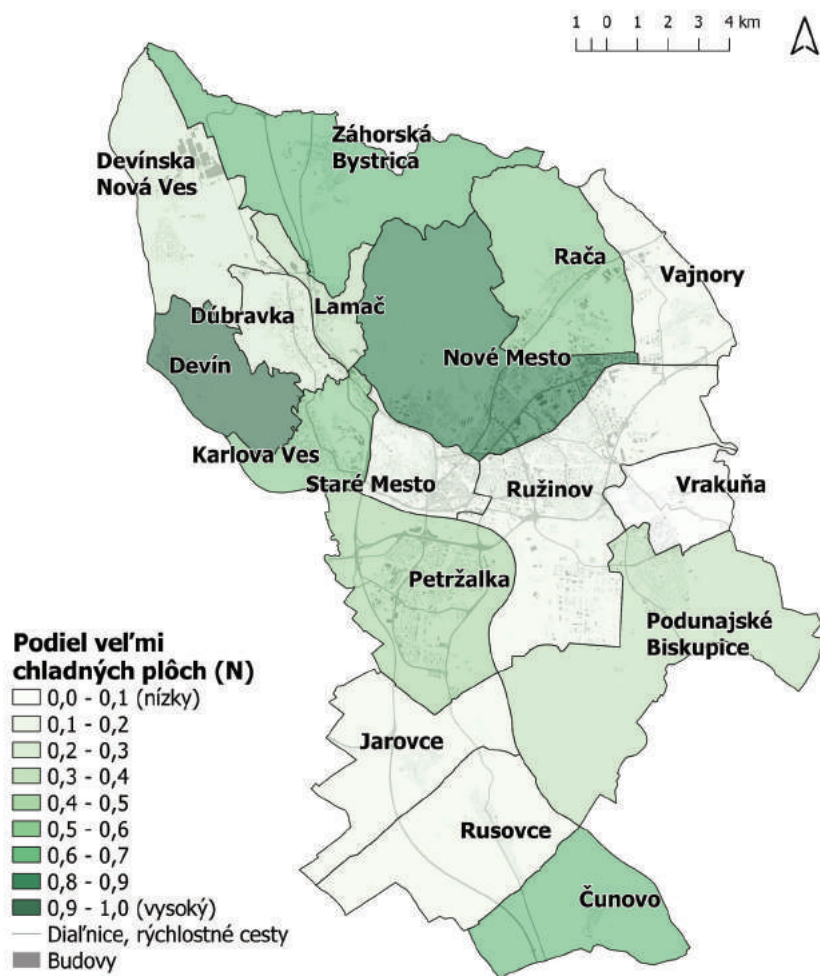




Indikátory environmentálnej disponibilnej kapacity

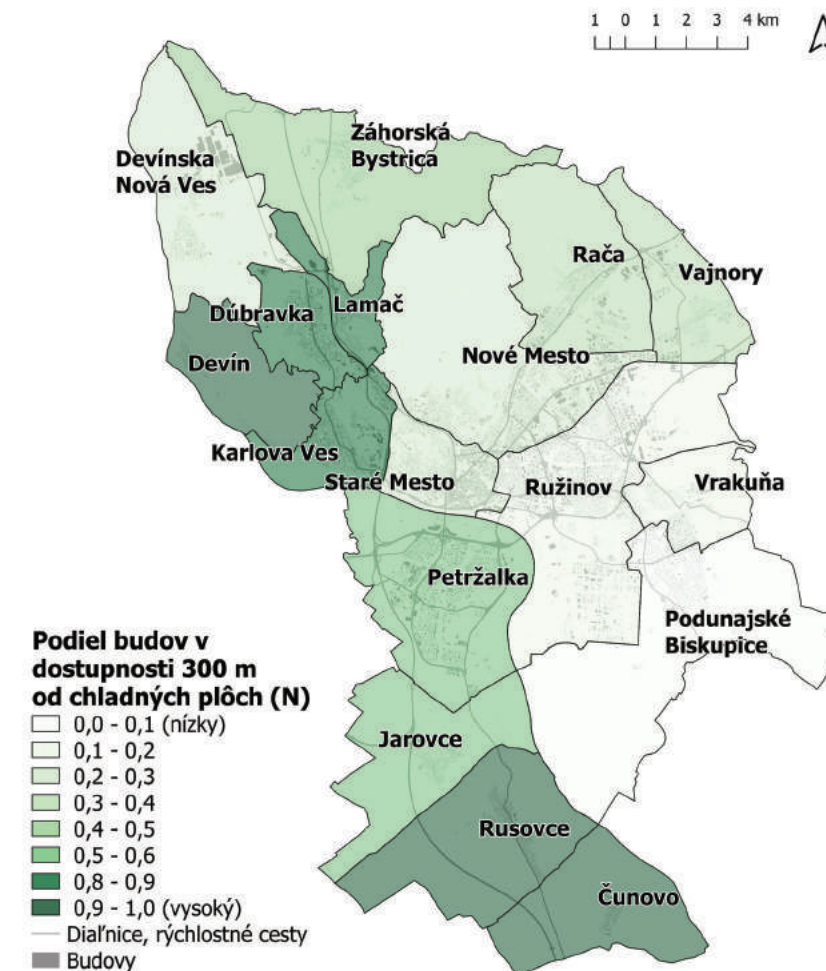
Indikátor EDK4.1.2.2

Podiel veľmi chladných plôch k celkovej rozlohe danej MČ - normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



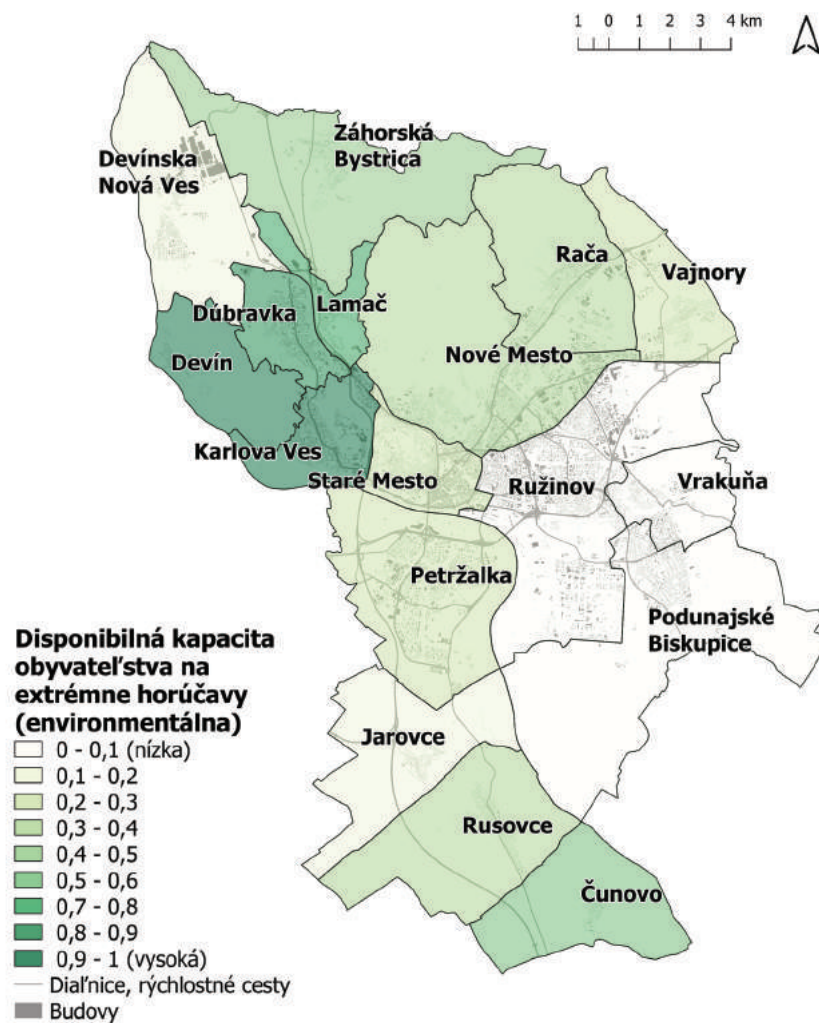
Indikátor EDK4.1.2.3

Podiel budov v dostupnosti do 300 m od tzv. ostrovov chladných povrchov - a normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

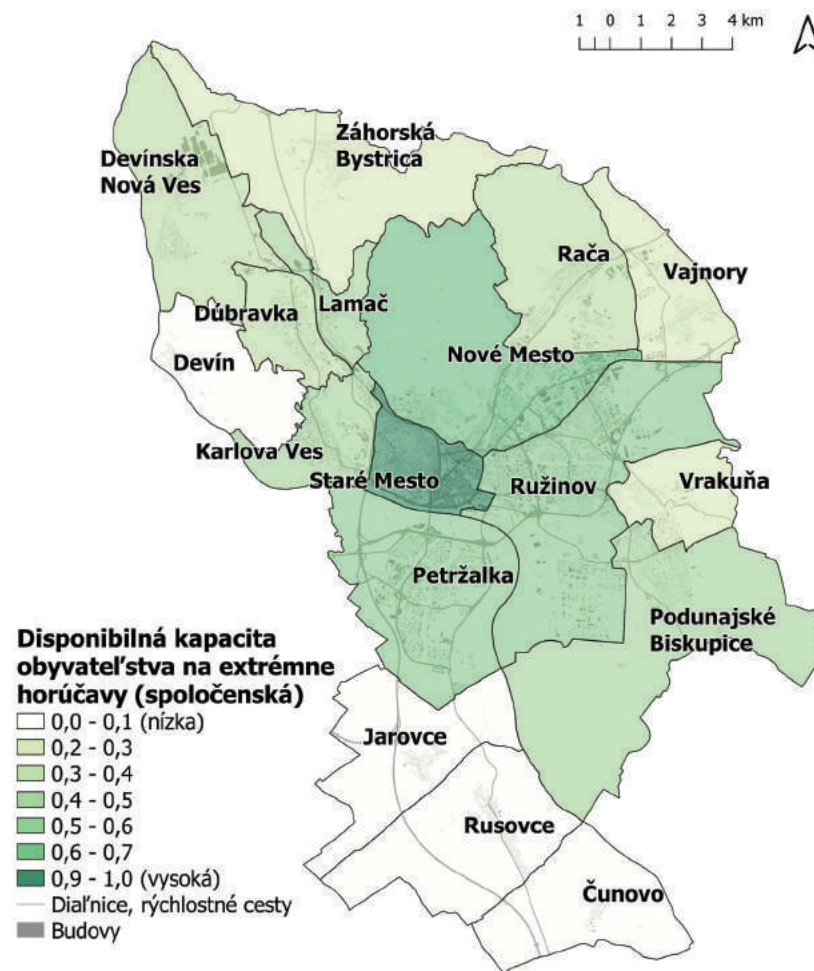




Disponibilná kapacita obyvateľstva na extrémne horúčavy (environmentálna), normalizovaná na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

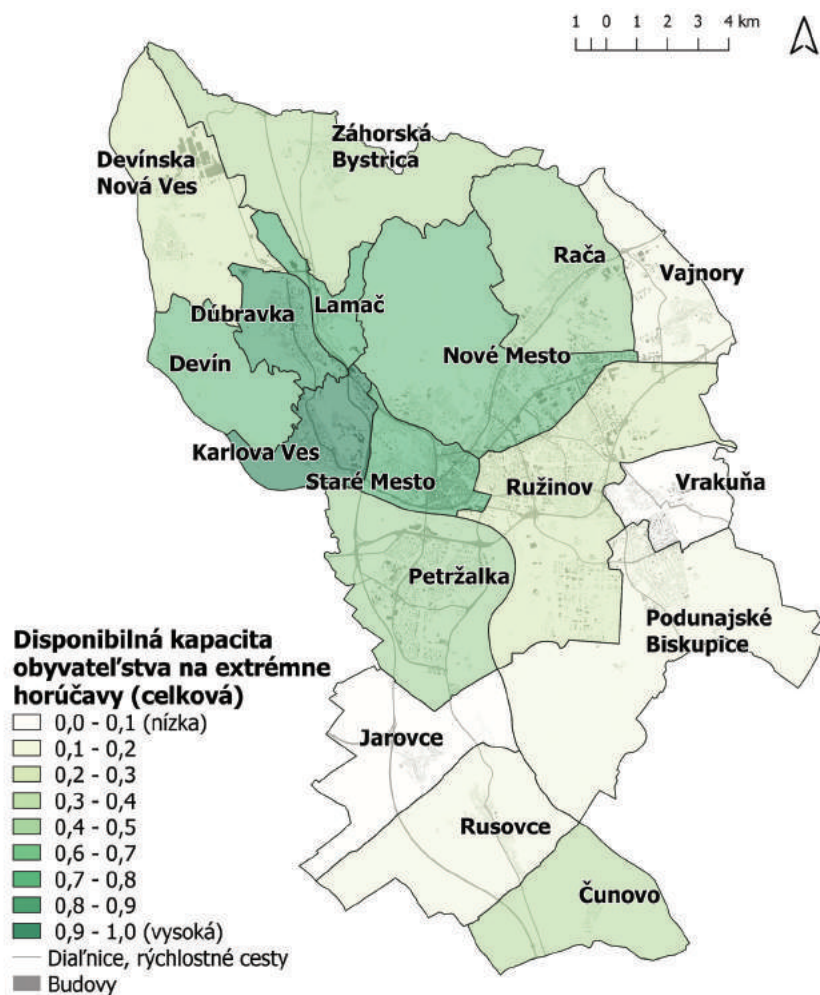


Disponibilná kapacita obyvateľstva na extrémne horúčavy (spoločenská), normalizovaná na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



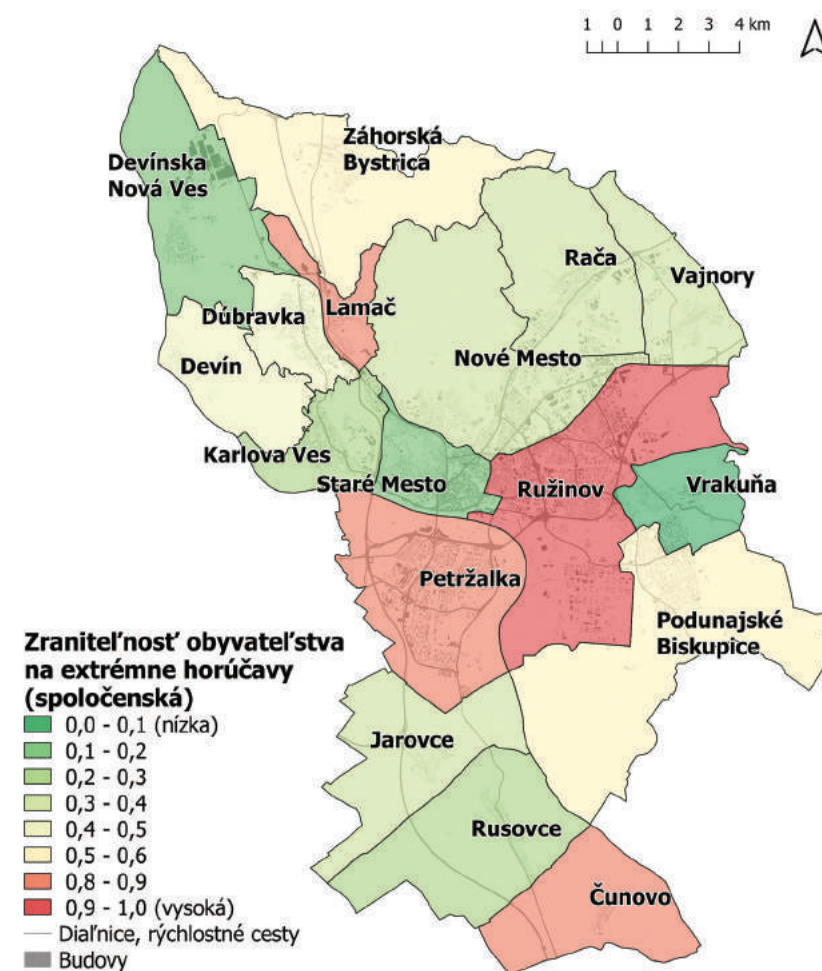


Disponibilná kapacita obyvateľstva na extrémne horúčavy (celková), normalizovaná na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



4.1.3. Zraniteľnosť (environmentálna, spoločenská, celková)

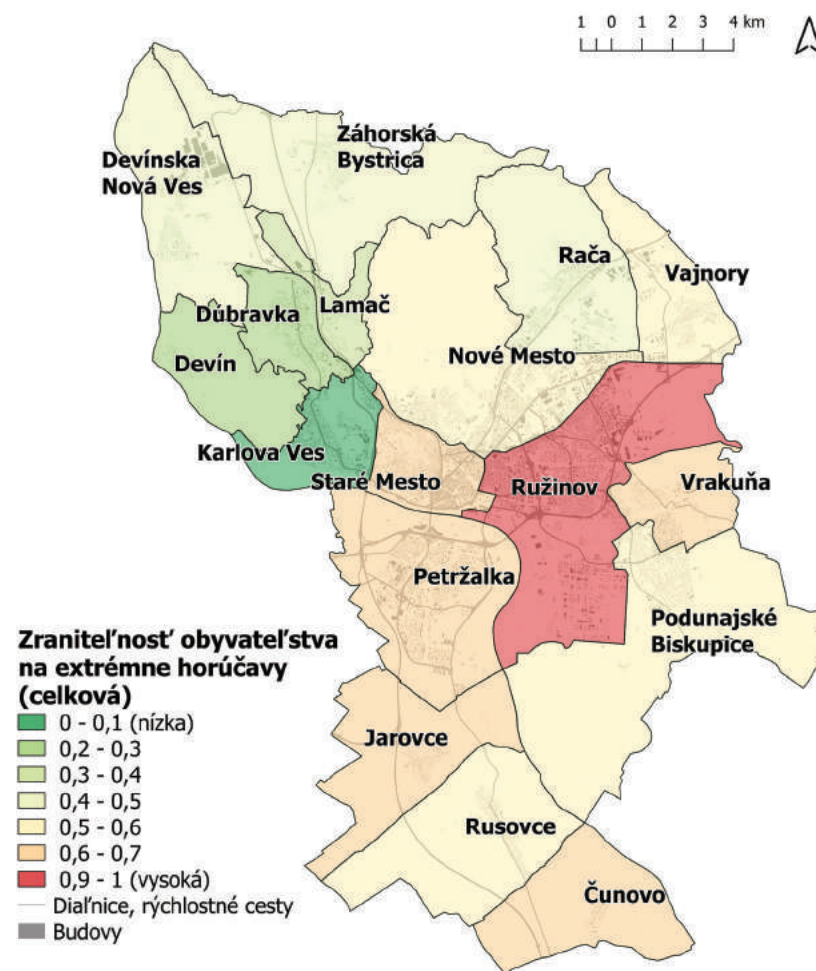
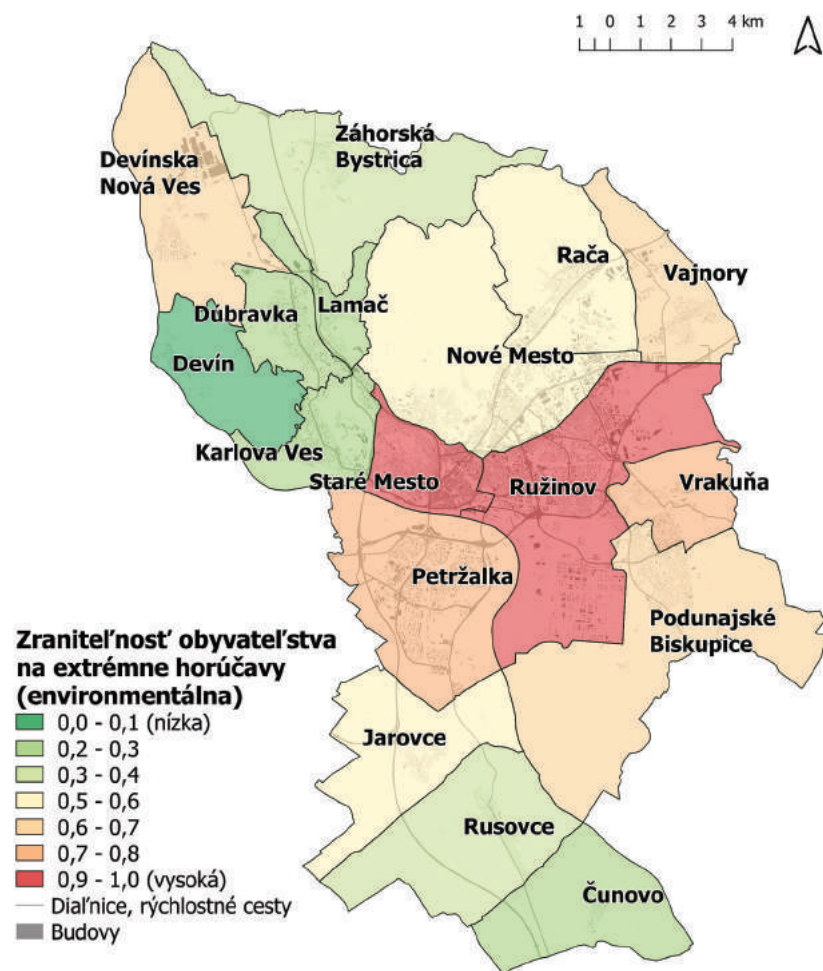
Zraniteľnosť je vyjadrená mierou citlivosti systému na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy ako aj neschopnosť tohto systému sa s týmito dôsledkami vyrovnáť. Na základe použitého postupu je z pohľadu dopadov extrémnych horúčav na obyvateľstvo najviac zraniteľná mestská časť Bratislava-Ružinov.





Najväčšia **zraniteľnosť** z environmentálneho hľadiska je v MČ Bratislava-Staré Mesto a Ružinov, zo spoločenského hľadiska je to v MČ Bratislava-Čunovo. Naopak celkovo najmenej zraniteľné sú mestské časti

Bratislava-Karlova Ves a Devín a približne rovnaké hodnoty dosahujú MČ Dúbravka a MČ Nové Mesto. Výsledné hodnoty celkovej zraniteľnosti (environmentálnej aj spoločenskej) pre všetky mestské časti a sú premietnuté do kartogramu vpravo.





4.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia obyvateľov extrémnymi horúčavami

Pri hodnotení **rizík** sa sledujú premenné ako **expozícia**, klimatická **hrozba** (v tomto prípade extrémne horúčavy). Súčasťou hodnotenia miery rizika je aj vyhodnotenie výskytu teplých povrchov na základe analýzy multispektrálnych satelitných snímok s rozlíšením 30 m x 30 m. Viac o analýze teploty povrchov uvádzame v prílohe č.1 tohto atlasu.

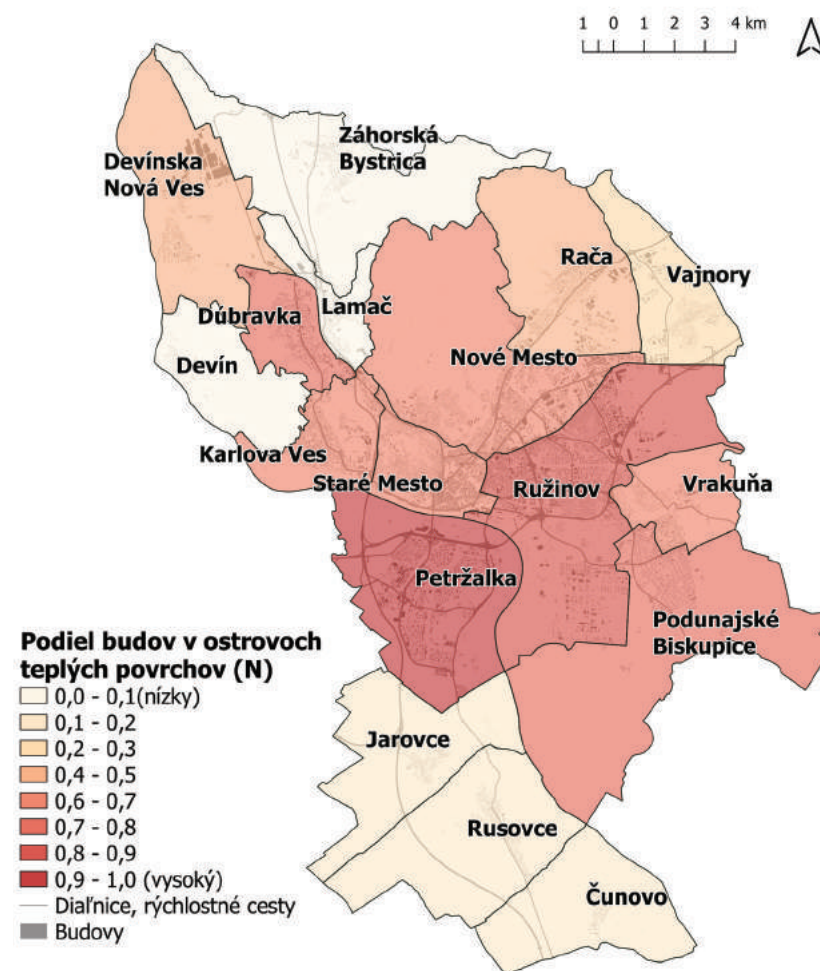
4.2.1. Expozícia

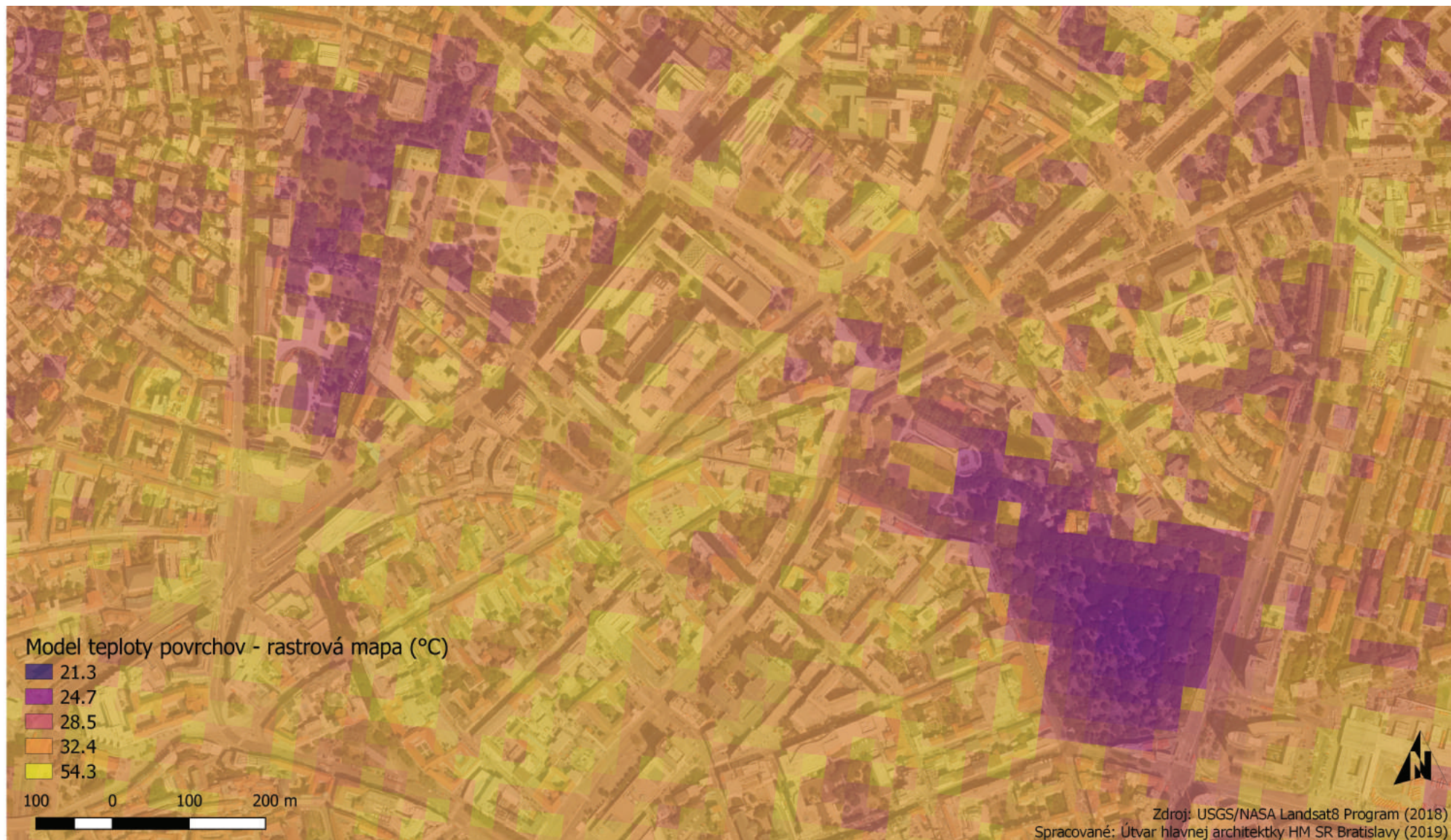
Pre potreby znázornenia efektívnej expozície obyvateľstva voči extrémnym horúčavam boli vytvorené indikátory, ktoré sa zameriavajú na rozlohu a polohu „ostrovov“ tvorených najmä teplými povrchmi. Údaje pre indikátory boli získané z analýzy multispektrálnych satelitných snímok v rozlíšení 30 m x 30 m, pomocou ktorých bolo možné vyhodnotiť teplotu krajinej pokrývky na území hlavného mesta SR Bratislavy (viď príloha č. 1). Do indikátorov vstupovali aj informácie o polohe budov na území HM SR Bratislavy a rozlohe jednotlivých mestských častí. Takto bolo možné vytvoriť dvojicu indikátorov:

- ▶ Podiel budov v ostrovoch tvorených teplými povrchmi ($T_{\text{povrch}} \geq 37^{\circ}\text{C}$) z celkového počtu budov v MČ (indikátor E4.2.1).
- ▶ Podiel rozlohy povrchov s teplotou 37°C a viac z celkovej rozlohy MČ (indikátor E4.2.2).

Indikátor E4.2.1

Podiel budov nachádzajúcich sa v ostrovoch teplých povrchov z celkového počtu budov v MČ - normalizovaný na stupnici 0-1 (nižšie).

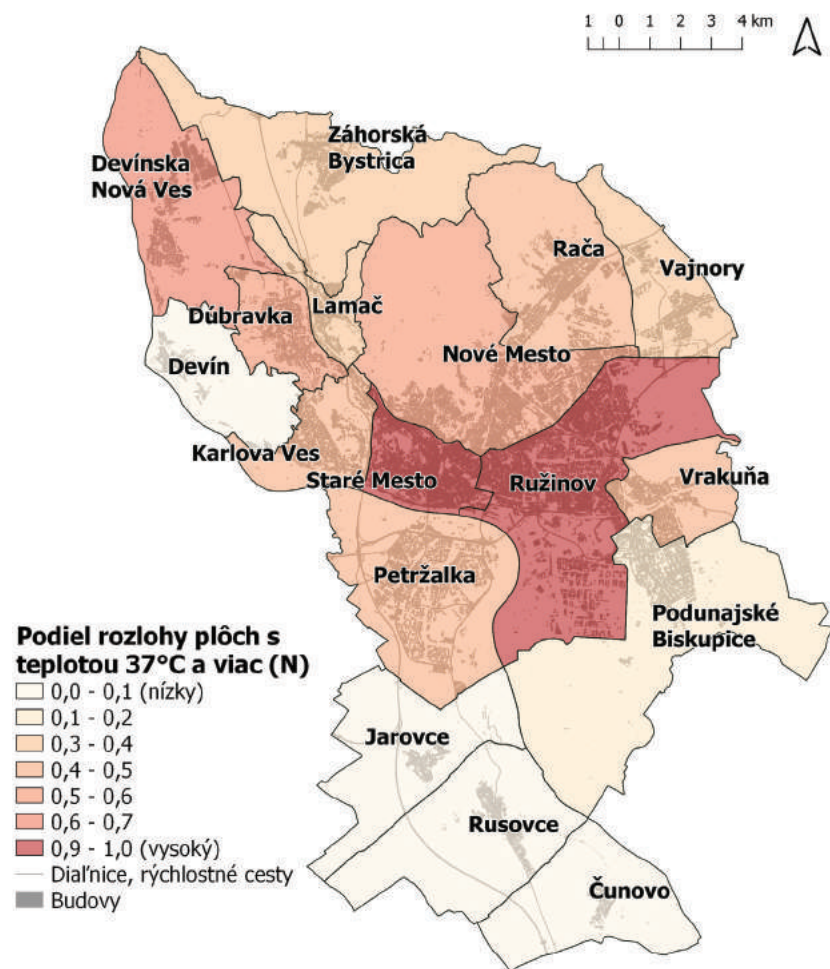




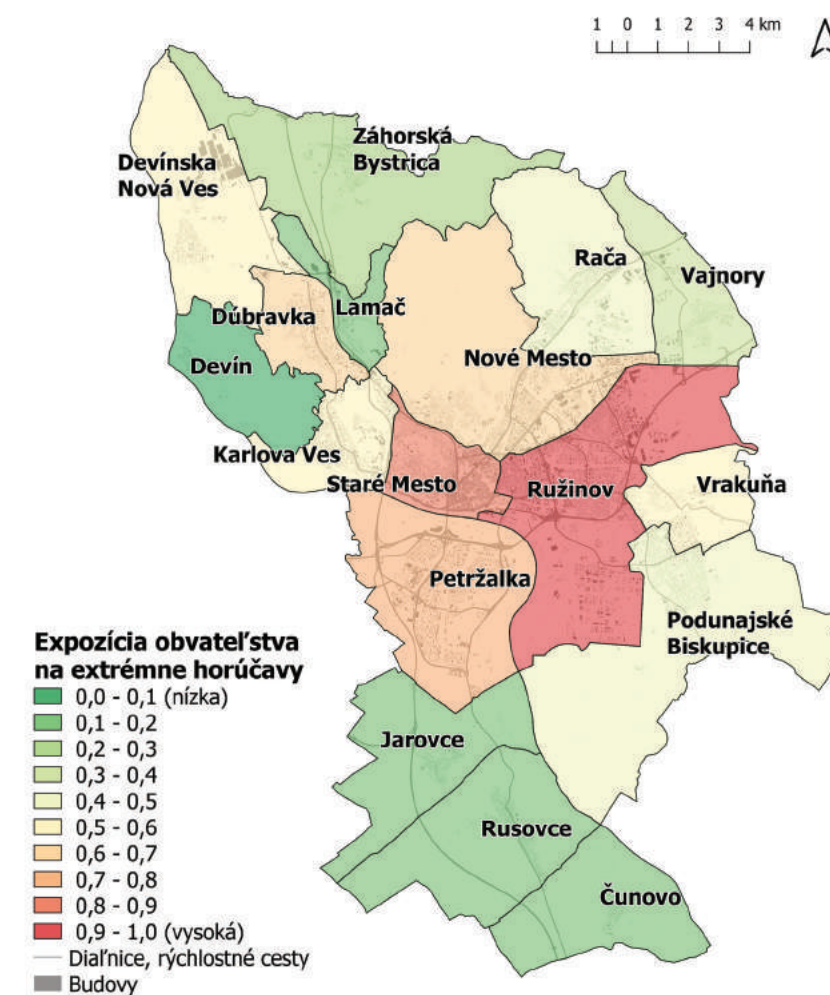
Obr. 12. Ukážka tvorby indikátorov pre disponibilnú kapacitu založených na teplote povrchu jednotlivých tried využitia krajinej pokrývky na území HM SR Bratislavy (rozlíšenie 30 m x 30 m, dátum: 12.8.2019, čas: 10:38 hod).

**Indikátor E4.2.2**

Podiel rozlohy povrchov s teplotou 37°C a viac z celkovej rozlohy MČ, znázorňujúci normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Výsledné hodnoty pre **expozičiu**, ktorú predstavujú extrémne horúčavy pre obyvateľstvo po finálnej normalizácii hodnôt na stupnici 0-1 znázorňuje kartogram nižšie. Najviac exponované je obyvateľstvo v mestských častiach Bratislava-Ružinov, Staré Mesto, Nové Mesto a Petržalka.

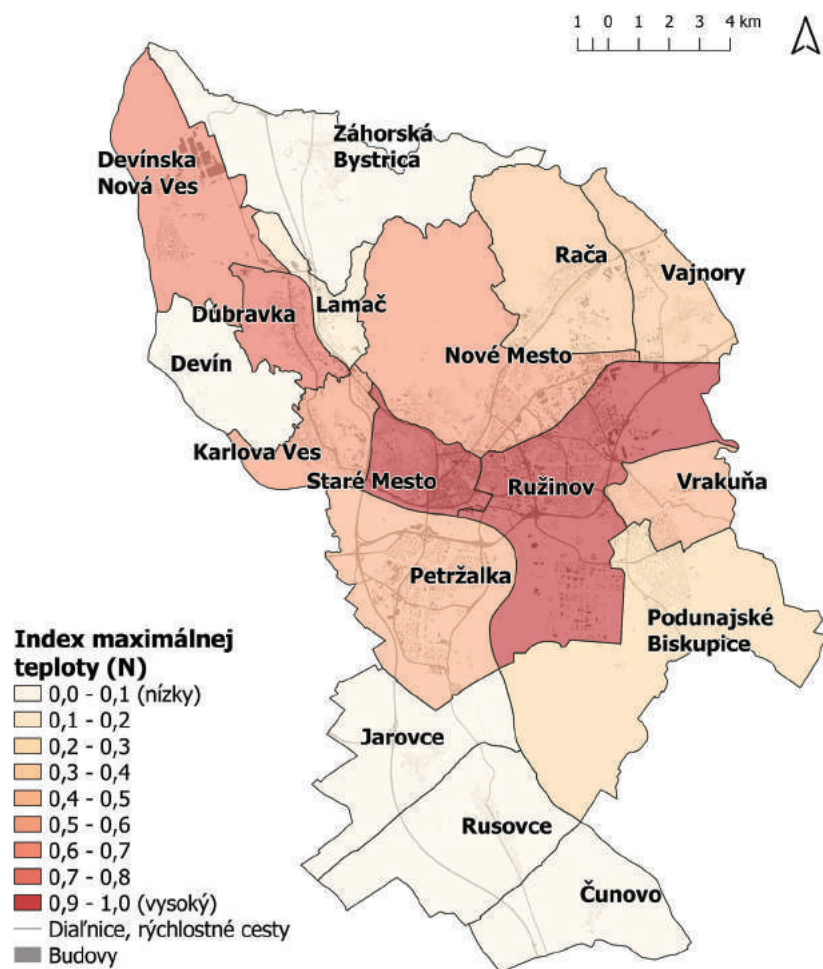




4.2.2. Hrozba

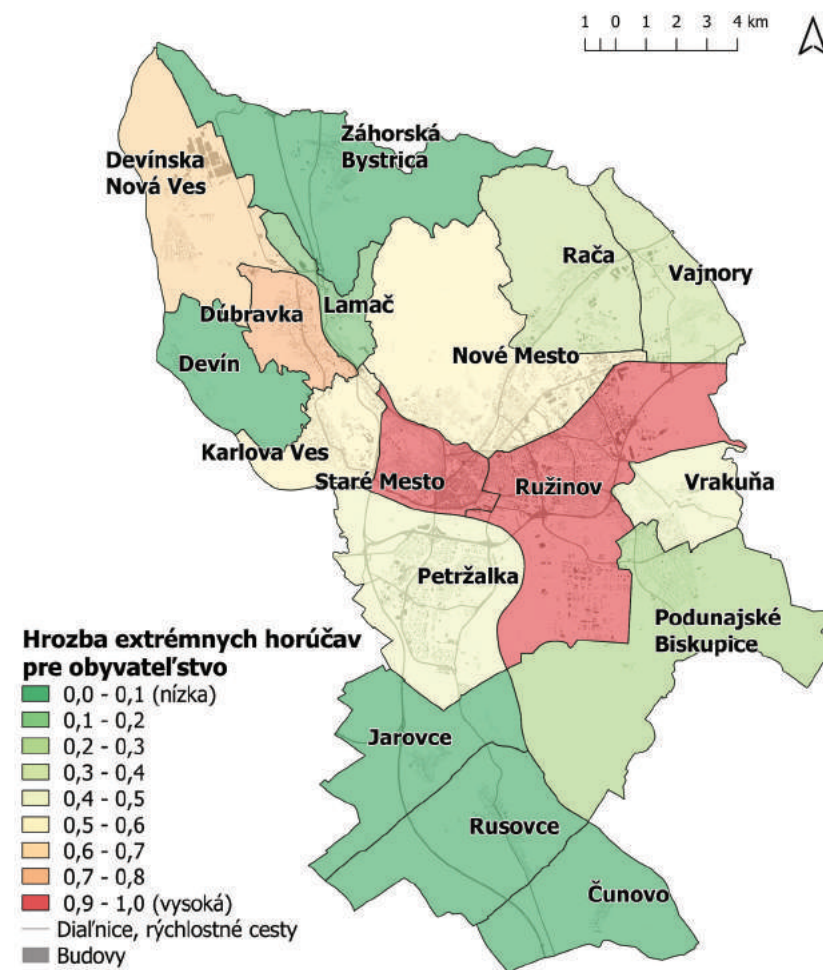
Pre stanovenie hrozby, ktorú predstavujú extrémne horúčavy pre obyvateľstvo bol vytvorený nasledovný indikátor:

- **Index maximálnej teploty** (indikátor H4) – indikátora získaný násobkom priemernej maximálnej teploty a pomeru plôch ostrovov tvorených



teplými povrchmi ($T_{\text{povrch}} = 37^{\circ}\text{C}$ a viac) na celkovú rozlohu MČ, v normalizovaných hodnotách na stupnici 0-1.

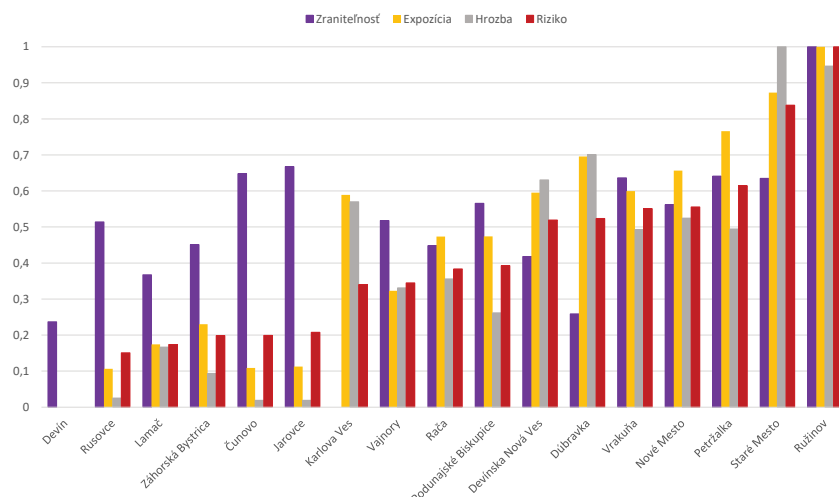
Výsledné hodnoty pre **hrozbu** znázorňuje kartogram vpravo nižšie po finálnej normalizácii hodnôt na stupnici 0-1.





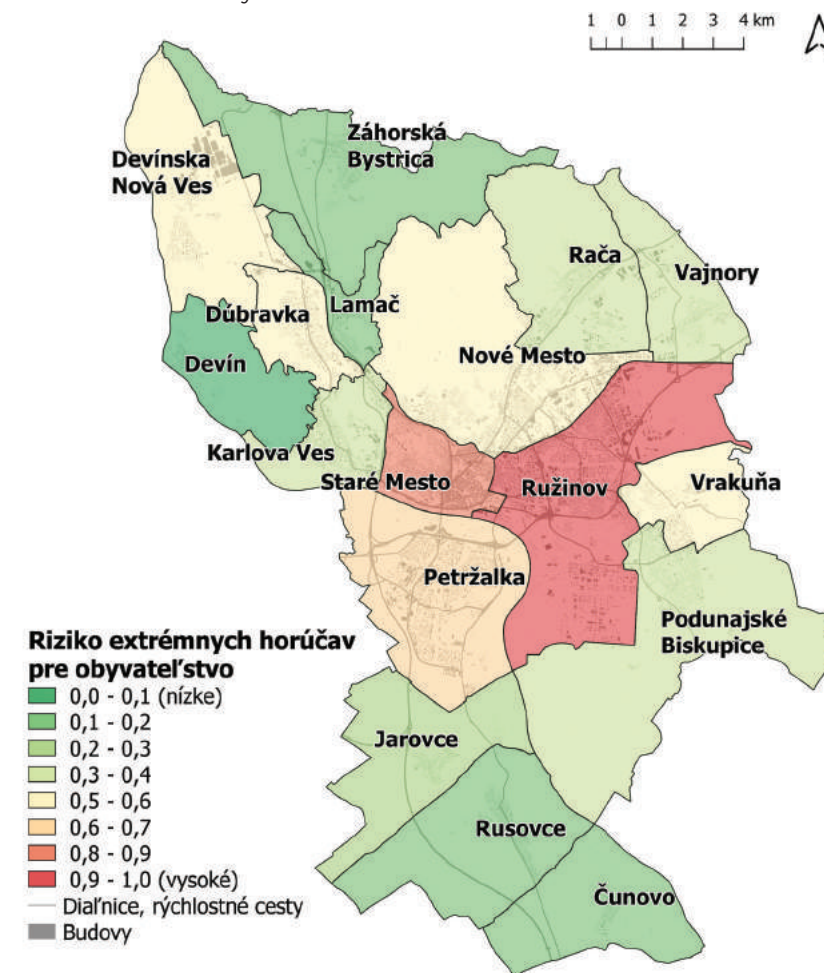
4.2.3. Riziko

Pre výpočet rizika sa brali do úvahy všetky indikátory pre expozíciu obyvateľstva na hrozbu (extrémne horúčavy), ktoré uvádzame na predošlých stranách. Taktiež sa do rizika započítava celková zraniteľnosť. Všetky hodnoty sú pred agregáciou normalizované na stupnici 0-1. Výsledné hodnoty pre **zraniteľnosť, expozíciu, hrozbu a riziko** znázorňuje graf na obr. 13 nižšie a kartogram vpravo.



Obr. 13. Hodnotenie rizika pre obyvateľstvo na extrémne horúčavy na základe postupu IVAIA. (0 = nízka, 1 = vysoká).

Na základe celkového hodnotenia **rizika** a zraniteľnosti obyvateľstva na extrémne horúčavy je možné konštatovať, že mestské časti, ktoré sú najviac ohrozené rizikom extrémnych horúčav sú **MČ Bratislava-Staré Mesto a Ružinov**. Naopak najmenšie riziko pre obyvateľov z pohľadu dopadov extrémnych horúčav je v mestských častiach Bratislava-Devín, Rusovce, Lamač a Záhorská Bystrica.





4.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia obyvateľstva extrémnymi horúčavami

Pri hodnotení dopadov extrémnych horúčav sme využili celkovo 13 indikátorov, z ktorých sa stanovovala zraniteľnosť obyvateľstva na tento dopad zmeny klímy. Keďže bol použitý pomerne veľký počet indikátorov, ktoré charakterizujú nielen životné prostredie, ale aj demografické charakteristiky a zdravotný stav obyvateľstva resp. dostupnosť rôznych zdravotníckych zariadení, hodnotenie zraniteľnosti (ako aj citlivosti a disponibilnej kapacity reagovať na zmenu klímy) bolo rozdelené na tzv. „environmentálne“ a „spoločenské“.

Z hľadiska spoločenskej, ale aj environmentálnej citlivosti, sa objavovali v „kritických“ hodnotách najmä mestské časti Bratislava-Staré Mesto, Ružinov a Petržalka. Z hľadiska spoločenskej citlivosti, je dôvodom najmä **vysoká koncentrácia tzv. zraniteľnej populácie** voči horúčavám. Konkrétne vysoké hodnoty v porovnaní s ostatnými dosahovali tieto mestské časti najmä čo sa týka osôb vo veku nad 65 rokov, prítomnosti lôžkových nemocničných a sociálnych zariadení, a podielu osôb bez domova k celkovému počtu obyvateľov, ktorý hlásia svoju príslušnosť k danej mestskej časti. Z hľadiska environmentálnej citlivosti opäť patrili tieto tri mestské časti medzi tie s najvyšším podielmi teplých a veľmi teplých plôch k celkovej ploche (s priemernou teplotou nad 31,9 °C) – **tvorené najmä zastavanými plochami (budovy, cestné komunikácie, parkovacie plochy a pod.)**.

Na druhej strane z pohľadu disponibilnej kapacity mali mestské časti Bratislava-Staré Mesto, Ružinov a Petržalka **veľmi dobrú dostupnosť rôznych zdravotníckych a sociálnych zariadení, ale nízky podiel chladných a veľmi chladných plôch** (s výnimkou mestskej časti Bratislava-Petržalka). **Celkovo najviac zraniteľnou** sa na základe použitých indikátorov citlivosti a disponibilnej kapacity ocitla **mestská časť Bratislava-Ružinov**. Z hľadiska

kompaktnosti zástavby však nezaostáva ani mestská časť Nové Mesto, tejto mestskej časti však pri hodnotení zraniteľnosti pomohlo najmä to, že má vo svojom katastrálnom území aj časť masívu Malých Karpát pokrývajúceho lesnými porastmi.

Pri hodnotení rizika je dôležité vhodne zvoliť indikátory expozície – teda vystavenia sledovaného objektu / systému (v našom prípade obyvateľstva mesta) pôsobeniu dopadov zmeny klímy. Do tohto hodnotenia vstupovali indikátory postavené na analýze satelitných snímok, ktoré hodnotili teploty povrchov. Tie priniesli podobný poznatok, a to že mestské časti Ružinov a Petržalka sú kritické z pohľadu veľkého množstva budov nachádzajúcich sa v tzv. ostrovoch horúcich povrchov.

Z hľadiska polohy ostrovov teplých a veľmi teplých povrchov sa ako **najviac kritické javia:**

- **Mestská časť Bratislava-Ružinov:** Trnávka – najmä jej východná časť s priemyselnými areálmi, občianskou vybavenosťou a vozovňou Jurajov dvor, okolie križovatky Galvaniho-Ivánska, Stará Ivánska cesta, areál a okolie Ružinovskej nemocnice, Pálenisko, Mlynské nivy, areál trhoviska na Miletičovej ohraničené Košickou a Trenčianskou ulicou, prístav.
- **Mestská časť Bratislava-Staré Mesto:** oblasť ohraničená Staromestskou ulicou, Námestím SNP, Špitálskou ulicou a ul. Imricha Karvaša, ďalej oblasť ohraničená Hlavným námestím, Primaciálnym námestím zo severu a ul. Gorkého a Uršulínskou ul., ďalej lokalita ohraničená Paulíniho ulicou a Rázsovým nábrežím z juhu, lokalita ohraničená Tobruckou ulicou až po Fajnorovo nábrežie, oblasť ohraničená Dostojevského radom, Mlynskými nivami a Košickou až po nábrežie Dunaja pri Eurovea,
- **Mestská časť Bratislava-Petržalka:** územie ohraničené Viedenskou cestou a Einsteinovou ul. (výstavisko

a nákupné centrum s prilahlými parkovacími plochami), Kopčany, územie ohraničené Údernickou, Panónskou a Bratskou ul., ďalej okolie Panónskej ulice zo západu ohraničené objektmi občianskej vybavenosti s prilahlými parkovacími plochami a z východu Budatínskou ulicou, Slniečnice – zóna mesto.

- **Mestská časť Bratislava-Nové Mesto:** územie vymedzené Vajnorskou a Rožňavskou ulicou okrem Mierovej kolónie, ďalej rozľahlé územie ohraničené Bojnickou, Vajnorskou ulicou a Cestou na Senec a zo severu železničnou traťou a prekladiskom Bratislava-Východné.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že **najväčšie riziko predstavujú extrémne letné horúčavy pre obyvateľov mestskej časti Bratislava-Ružinov, rovnako aj Bratislava-Staré mesto**, čiastočne aj Petržalka a čiastočne aj Bratislava-Nové Mesto. V týchto mestských častiach by bolo vhodné **znižovať podiel horúcich plôch a zvyšovať podiel plôch, ktoré nemajú tendenciu sa prehrievať, resp. dokážu ochladzovať miestnu mikroklimu. Najväčšiu účinnosť v tomto majú rôzne formy zelenej infraštruktúry** (vdaka chladivému efektu evapotranspirácie – vzrastlé stromy, vegetačné steny a strechy), ale aj **vodepriepustné materiály, či materiály, ktoré majú vysokú odrazivosť slnečného žiarenia a emisivitu**. V súvislosti s realizáciou opatrení pre zlepšenie mikroklimy odporúčame zelenú infraštruktúru realizovať spolu so systémami, ktoré **šetria zdroje vody potrebnej na zavlažovanie, napr. systémy umožňujúce udržateľné hospodárenie so zrážkovou vodou**.

Viac informácií o vhodných adaptačných opatreniach pre jednotlivé sektory je uvedených v Akčnom pláne adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy alebo v eKnížnici adaptačných opatrení.

Dôsledky intenzívnych zrážok na obyvateľstvo



5.1. Hodnotenie zraniteľnosti obyvateľstva na intenzívne zrážky

Základné vstupy pre hodnotenie zraniteľnosti obyvateľstva na intenzívne zrážky sú **citlivosť systému** (mesta a skúmanej oblasti v našom prípade obyvateľstvo) na tento prejav zmeny klímy a tzv. **disponibilná kapacita systému vyrovnat sa s týmito negatívnymi prejavmi**. Táto podkapitola obsahuje vyhodnotenie pomocou indikátorov stanovených pre citlivosť obyvateľstva a disponibilnú kapacitu mesta vyrovnat sa s dopadmi intenzívnych zrážok.

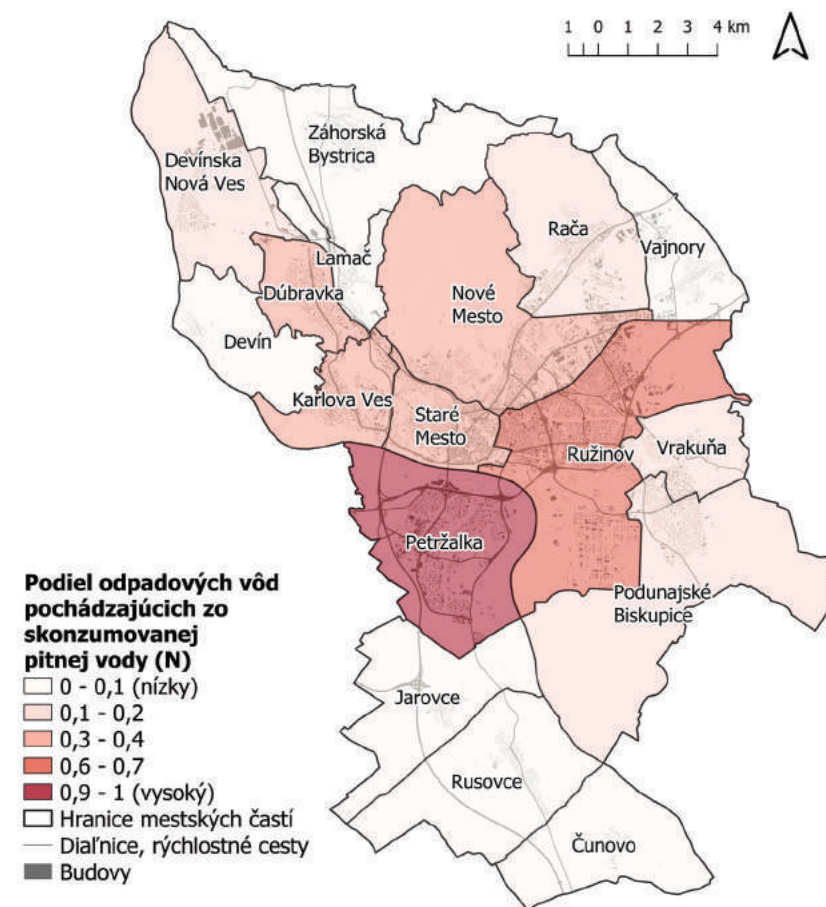
5.1.1. Citlivosť

Pre zhodnotenie citlivosti obyvateľstva na intenzívne zrážky boli vybrané nasledovné indikátory:

- ▶ **Podiel odpadových vôd pochádzajúcich z konzumovanej pitnej vody odvedenej kanalizačnou sieťou (indikátor C5.1.1)** – údaje sú odvodené od množstva obyvateľov žijúcich v každej MČ na základe údajov Štatistického úradu SR (2017) a priemernej spotreby množstva pitnej vody na osobu.
- ▶ **Podiel zrážkových vôd odvedených z nepriepustných plôch a zachytených kanalizačnou sieťou (indikátor C.5.1.2)** - je odvodený od rozlohy nepriepustných povrchov v každej MČ a rozdielu medzi skonzumovanou pitnou vodou a celkovým množstvom odpadovej vody odvedenej kanalizačnou sieťou na základe údajov Štatistického úradu SR (2017).
- ▶ **Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter k celkovej rozlohe MČ (indikátor C5.1.3)** na základe údajov ŠGÚDŠ.
- ▶ **Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky od 1 meter do 2 metrov k celkovej rozlohe MČ (indikátor C5.1.4)** na základe údajov ŠGÚDŠ.

Indikátor C5.1.1

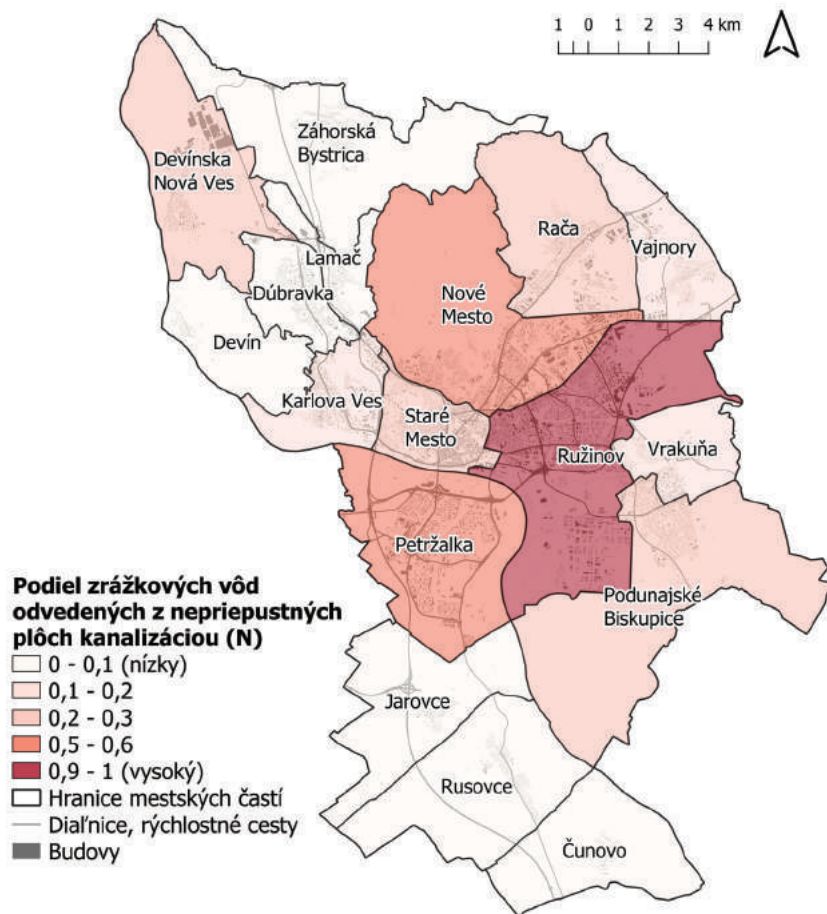
Podiel odpadových vôd pochádzajúcich z konzumovanej pitnej vody odvedenej kanalizačnou sieťou, znázornený normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).





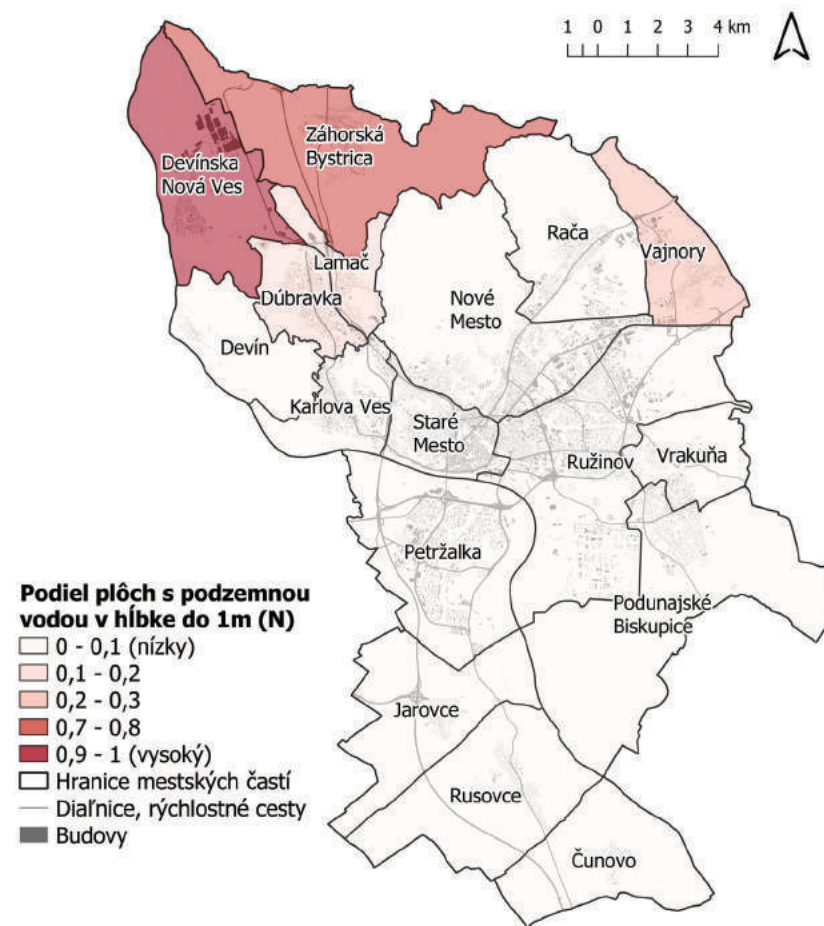
Indikátor C5.1.2

Podiel zrážkových vôd odvedených z nepriepustných plôch a zachytených kanalizačnou sieťou, znázornený normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



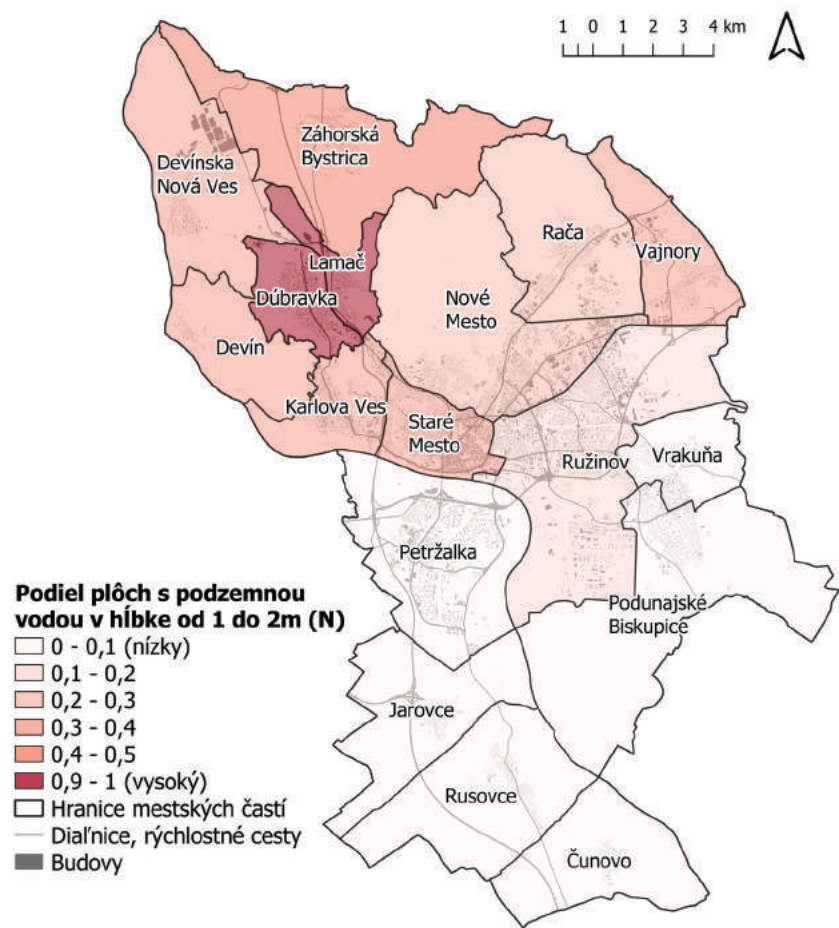
Indikátor C5.1.3

Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter k celkovej rozlohe MČ, znázornený ako normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

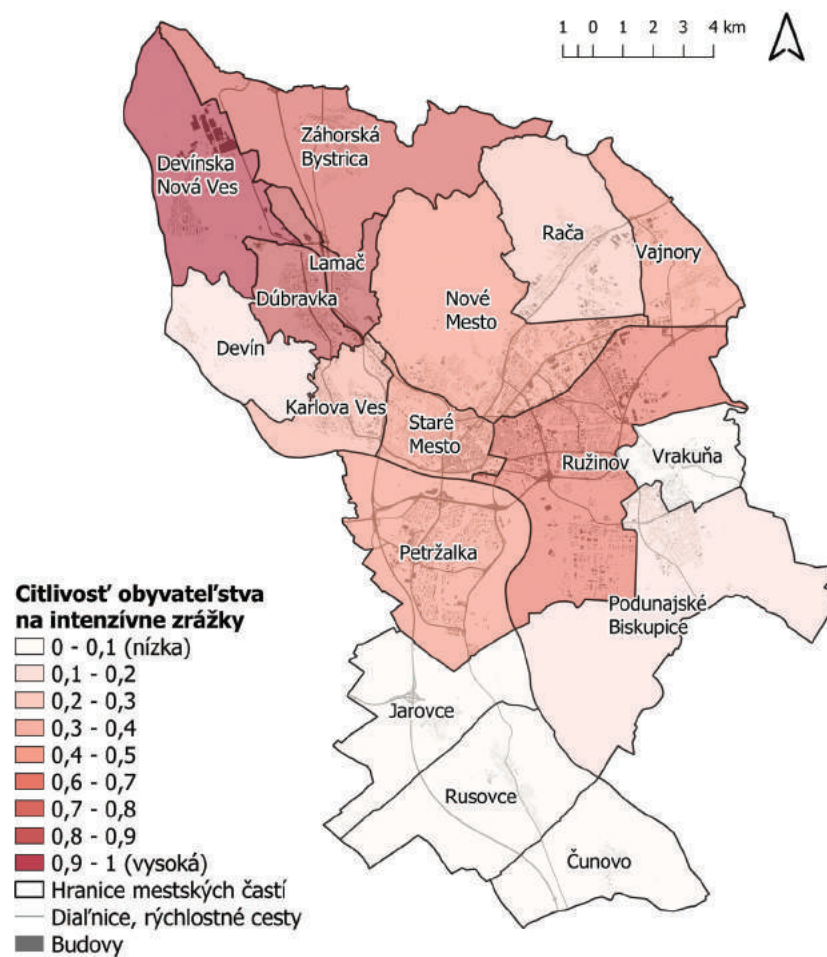


Indikátor C5.1.4

Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky od 1 m do 2 m k celkovej rozlohe MČ, znázornený normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Záverečným výstupom pre **citlivosť obyvateľstva** na intenzívne zrážky z hľadiska možnosti vzniku lokálneho zatopenia je kartogram nižšie, znázornený po ich agregácii a normalizácii na stupnicu 0-1.





5.1.2 Disponibilná kapacita obyvateľstva na intenzívne zrážky

Kapacita, ktorú je možné okamžite použiť na zmiernenie dopadov, bola hodnotená na základe dostupných údajov za posledných 5 rokov. Použité boli nasledovné indikátory pre jednotlivé územia mestských častí (MČ):

- ▶ **Podiel priepustných plôch z celkovej rozlohy MČ** (indikátor DK5.1.1) – indikátor bol vytvorený na základe informácií o spôsobe využitia pozemkov podľa katastrálnej mapy HM SR Bratislavy, pričom bola zohľadnená aj miera priepustnosti pôd a kapacita substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia.
- ▶ **Podiel polopriepustných plôch z celkovej rozlohy MČ** (indikátor DK5.1.2) – indikátor bol vytvorený na základe informácií o spôsobe využitia pozemkov

podľa katastrálnej mapy HM SR Bratislavy, pričom bola zohľadnená aj miera priepustnosti pôd a kapacita substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia.

- ▶ **Prítomnosť vhodných adaptačných opatrení zmiernujúcich záplavy** (indikátor DK5.1.3) – zahŕňa opatrenia najmä ako dažďová kanalizácia, retenčné nádrže, suché poldre a pod. na základe Štúdie odvádzania zrážkových vôd zo svahov Malých Karpát (2016). V prípade ak je na území MČ prítomná niektorá z foriem adaptačných opatrení sa hodnota indikátoru rovná 1, v prípade ak chýba, tak sa hodnota indikátoru rovná 0.



Model priepustnosti povrchu
na území HM SR Bratislavy

Kategórie priepustnosti povrchov

- prevažne nepriepustné
- prevažne polopriepustné
- prevažne priepustné
- Hranice mestských častí

Informačný systém katastra nehnuteľností ©, Úrad geodézie, kartografie a katastra SR (2018).



Model priepustnosti povrchu
na území HM SR Bratislavy
v rozlíšení 100m x 100m

Kategórie priepustnosti povrchov

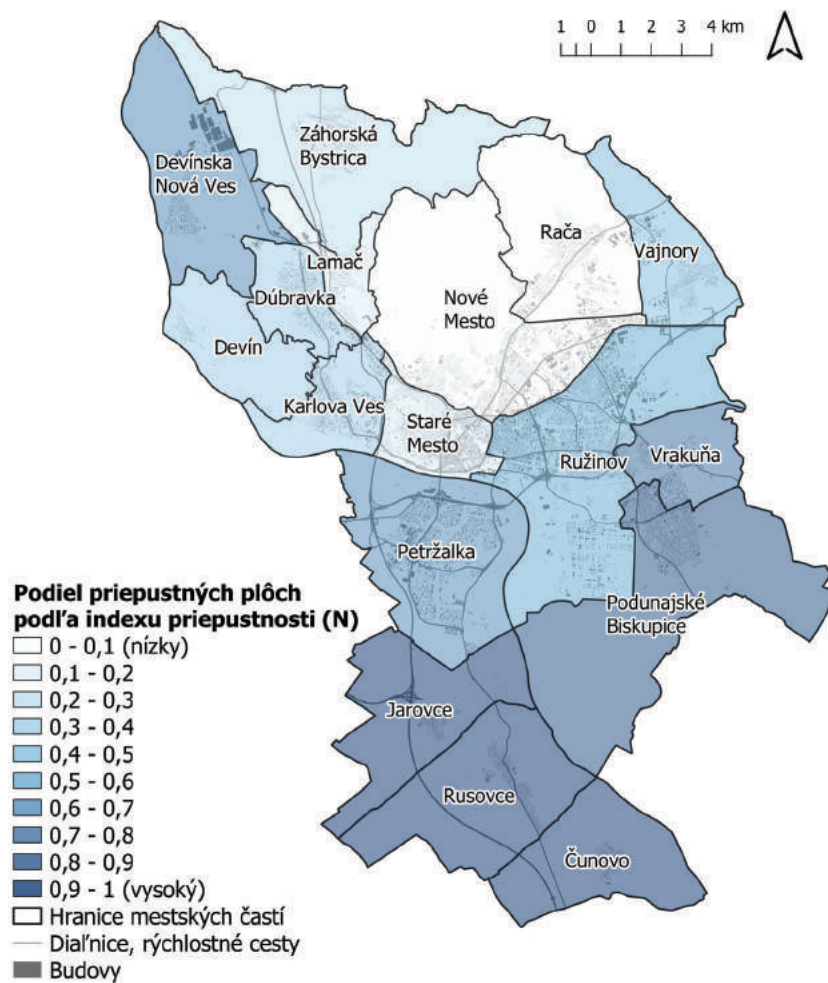
- prevažne nepriepustné
- prevažne polopriepustné
- prevažne priepustné
- Hranice mestských častí

Obr. 14. Ukážka vstupných údajov pre tvorbu indikátorov pre disponibilnú kapacitu obyvateľstva na intenzívne zrážky. Zdroj: Útvar hlavnej architektky HM SR Bratislavy.



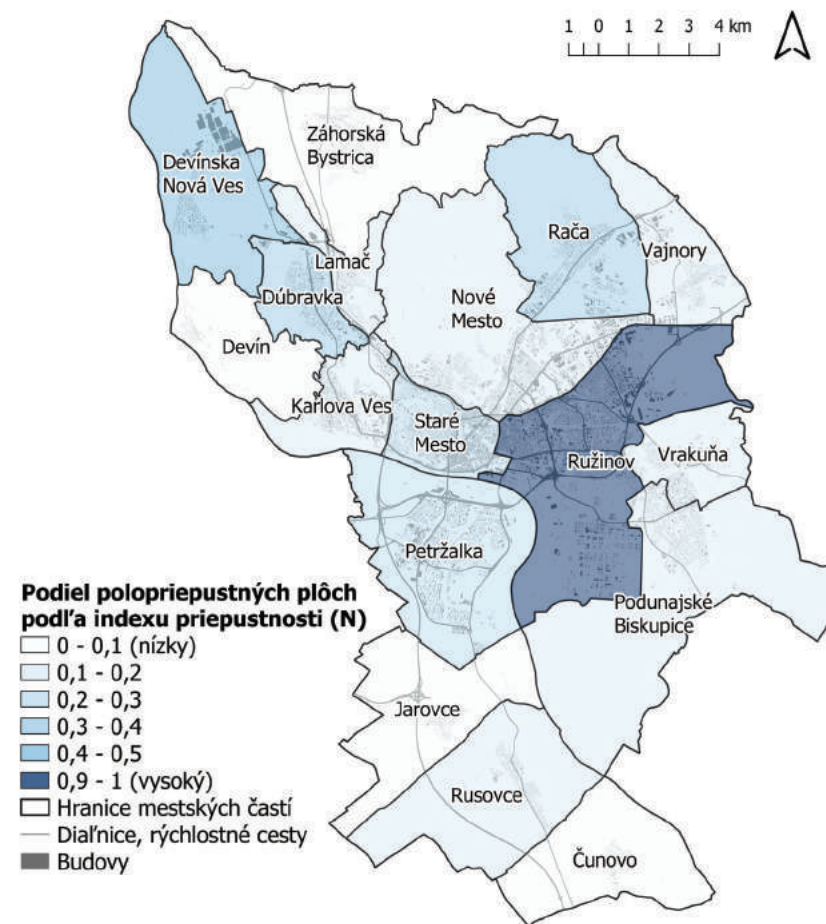
Indikátor DK5.1.1

Podiel priepustných plôch – zohľadňuje aj mieru priepustnosti pôd a kapacitu substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia k celkovej rozlohe MČ, znázornený normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Indikátor DK5.1.2

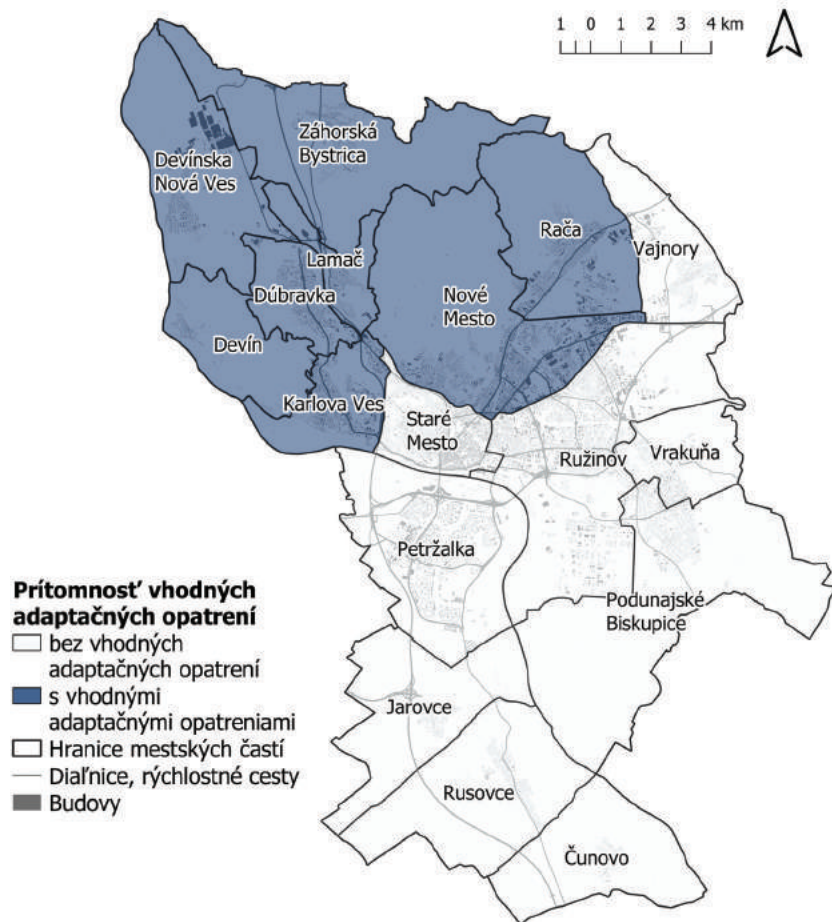
Podiel polopriepustných plôch – zohľadňuje aj mieru priepustnosti pôd a kapacitu substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia k celkovej rozlohe MČ, znázornený normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



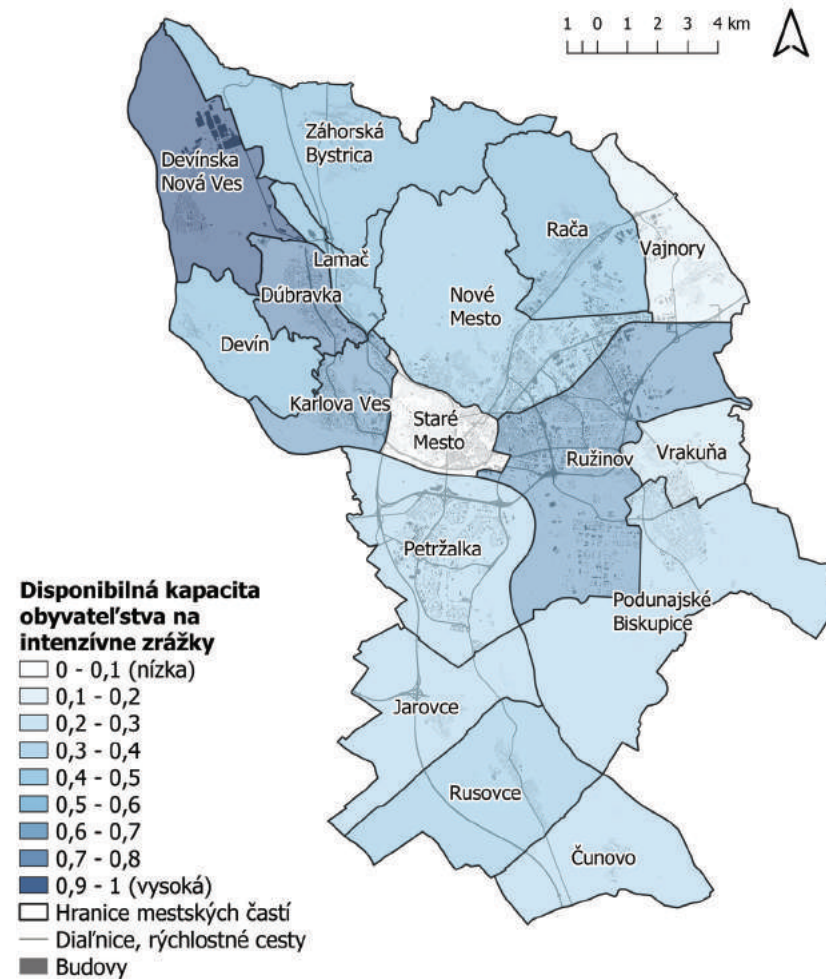


Indikátor DK5.1.3

Prítomnosť vhodných adaptačných opatrení zmiernujúcich záplavy, znázornený ako normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie vpravo).

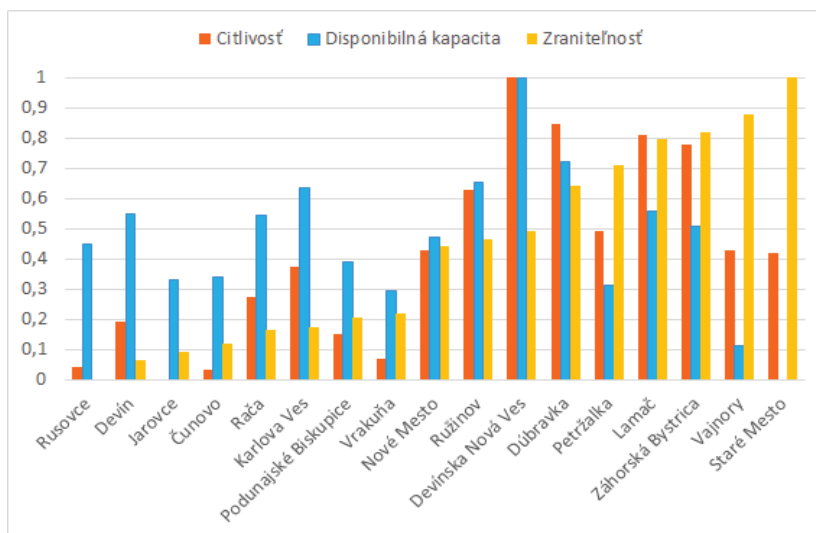


Záverečným mapovým výstupom pre **disponibilnú kapacitu obyvateľstva** pre vyrovnanie sa s dopadmi intenzívnych zrážok je kartogram nižšie, znázornený po normalizácii na stupnici 0-1.



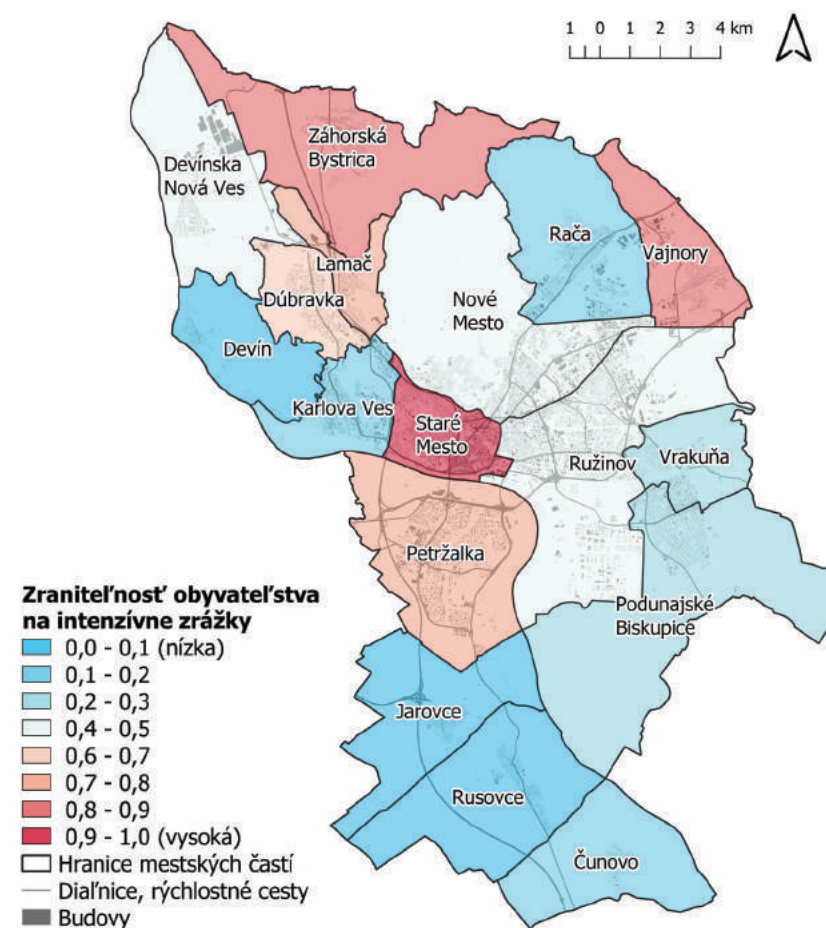
5.1.3. Zraniteľnosť

Na základe použitého postupu sú z pohľadu intenzívnych zrážok a ich dopadov na obyvateľstvo najviac zraniteľné mestské časti **Bratislava-Staré Mesto, Vajnory a Záhorská Bystrica**. Výsledné hodnoty zraniteľnosti pre všetky mestské časti znázorňuje graf nižšie a sú premietnuté aj do kartogramu (vpravo).



Obr. 15. Hodnotenie citlivosti, disponibilnej kapacity a zraniteľnosti obyvateľstva na intenzívne zrážky na základe postupu IVAIA (0 = nízka, 1 = vysoká).

Naopak najmenej zraniteľné sú mestské časti Bratislava-Rusovce, Jarovce a Čunovo. Podobne, ako u hodnotení prejavov extrémnych horúčav, je nutné zdôrazniť, že pri chápaní hodnotenia **zraniteľnosti** obyvateľstva je potrebné výsledky hodnotenia interpretovať vždy vo vzťahu k použitému súboru indikátorov a váh.





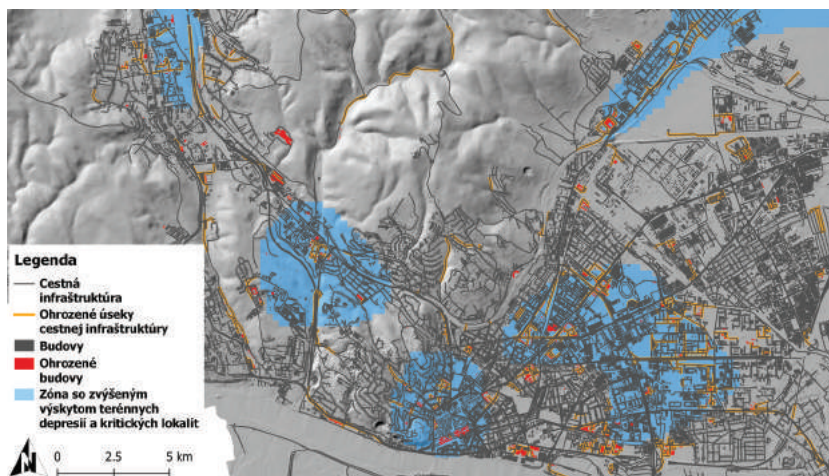
5.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia obyvateľov intenzívnymi zrážkami

Pri stanovení **rizík** vstupujú do hodnotenia premenné, a to **expozícia**, klimatická **hrozba** (v tomto prípade intenzívne zrážky). Zvolený metodický postup sa opiera o výpočet miery rizika na základe dostupných údajov o hrozbe a expozícii, ako aj zraniteľnosti vyhodnotenej v predošlých krokoch (BMZ, 2014). Pre potreby hodnotenia expozície bolo potrebné modelovať v prostredí GIS (geografických informačných systémov) územia jednotlivých mikropovodí a ich najnižšie položených miest s využitím výškového modelu povrchu územia HM SR Bratislavy. Tieto najnižšie položené miesta sme definovali ako terénne depresie, kde je veľmi vysoká pravdepodobnosť, že sa bude zrážková voda sústreďovať.

5.2.1. Expozícia

Do expozície obyvateľstva boli zahrnuté dva indikátory (zobrazené nižšie), a to:

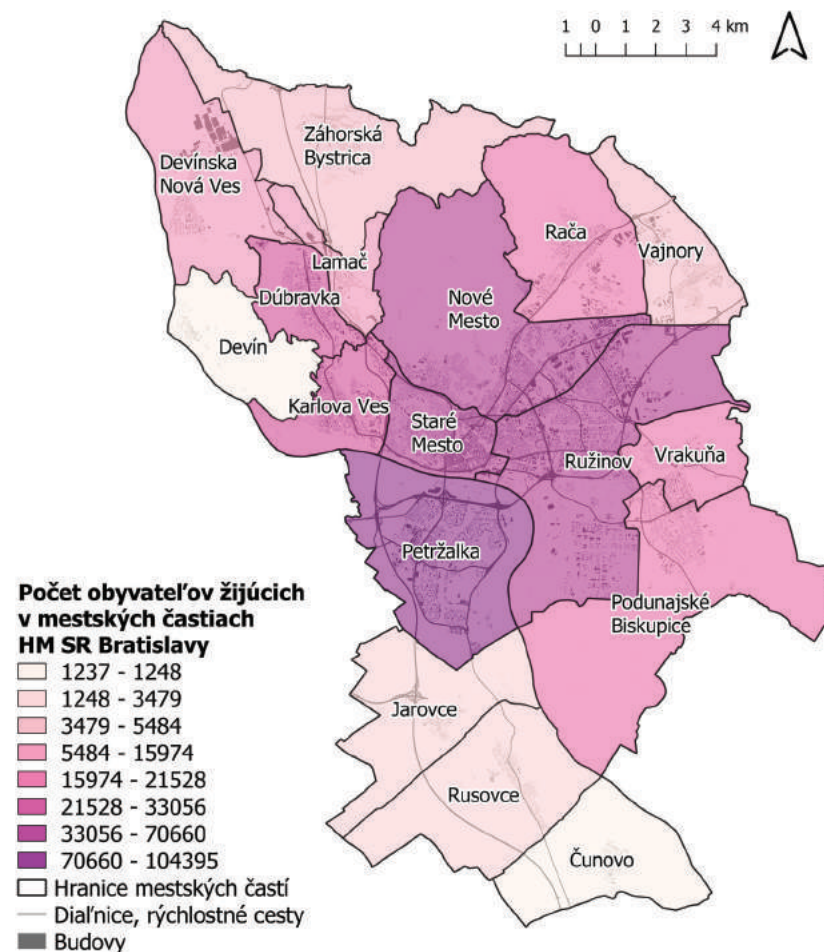
- ▶ **Počet obyvateľov mestskej časti k 31.12.2017** (indikátor E5.1.1).
- ▶ **Rozloha území so zvýšenou koncentráciou terénnych depresii infiltračných mikropovodí** (indikátor E5.1.2). Detail tohto indikátoru znázorňuje mapa na obrázku nižšie.



Obr. 16. Znáznornenie modelovania území so zvýšenou koncentráciou terénnych depresii infiltračných mikropovodí. Zdroj: Útvar hlavnej architektky HM SR Bratislava, © OpenStreetMap Contributors (2018).

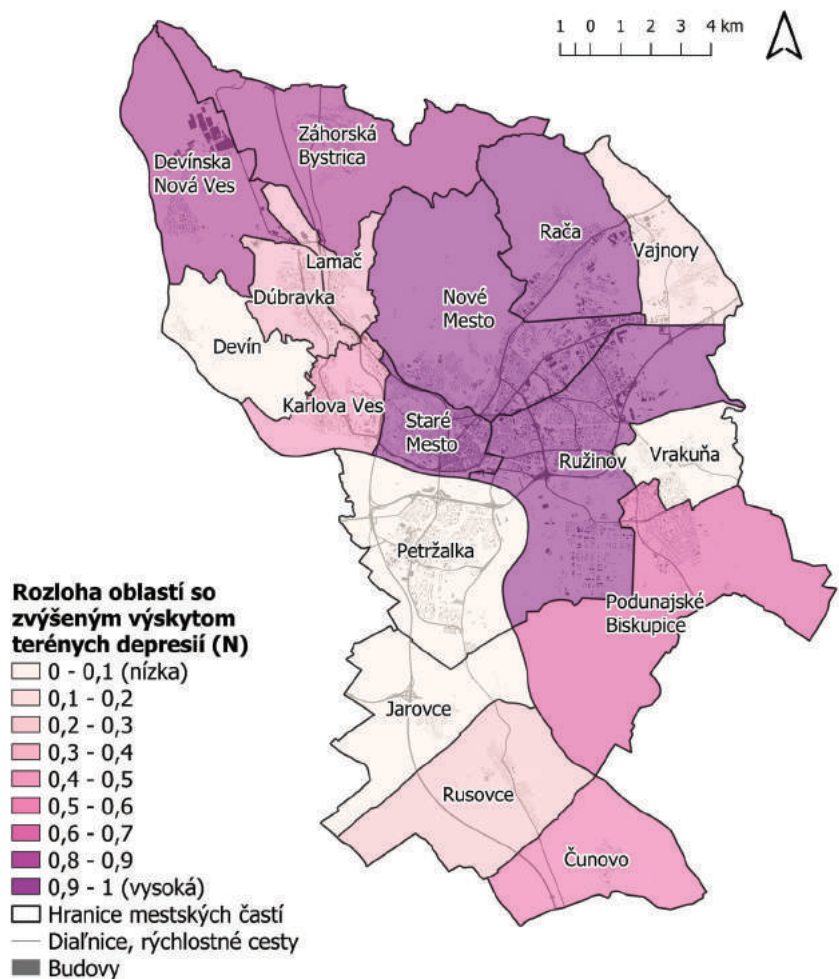
Indikátor E5.1.1

Počet obyvateľov mestskej časti k 31.12.2017 (kartogram nižšie).

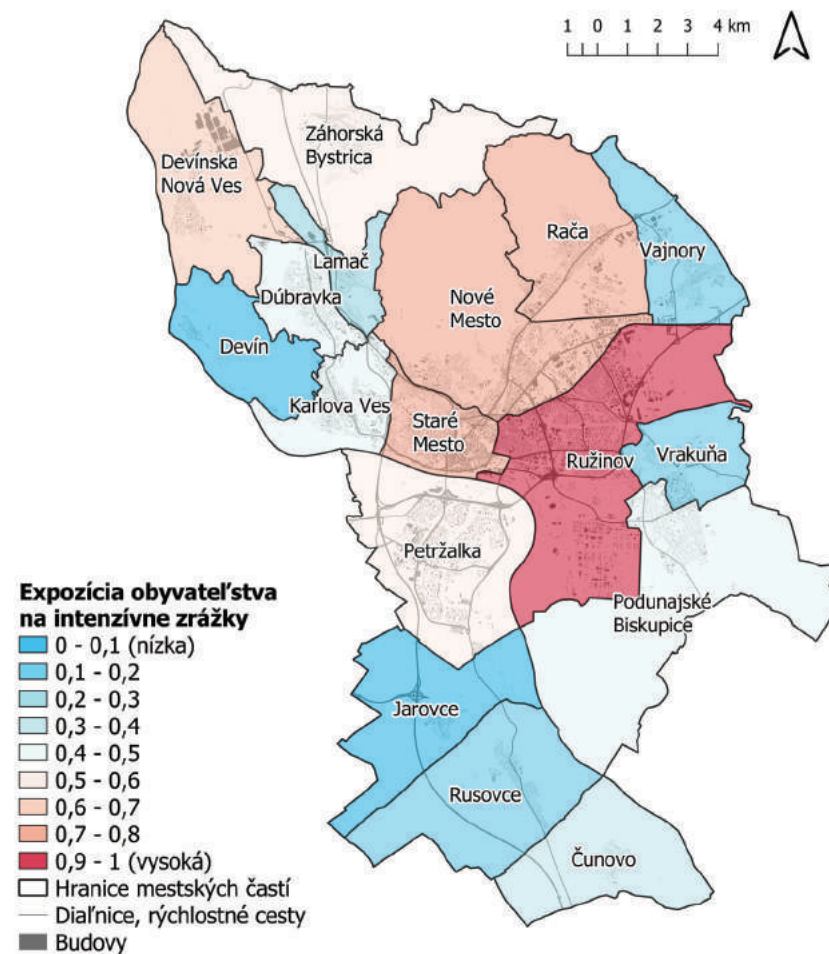


Indikátor E5.1.2

Rozloha oblastí so zvýšeným výskytom terénnych depresí – znázornený normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Záverečným výstupom pre **expozíciu** obyvateľstva na intenzívne zrážky je kartogram nižšie. Na základe použitých indikátorov je najviac exponovanou mestskou časťou Bratislava-Ružinov a najmenej Devín a Jarovce.



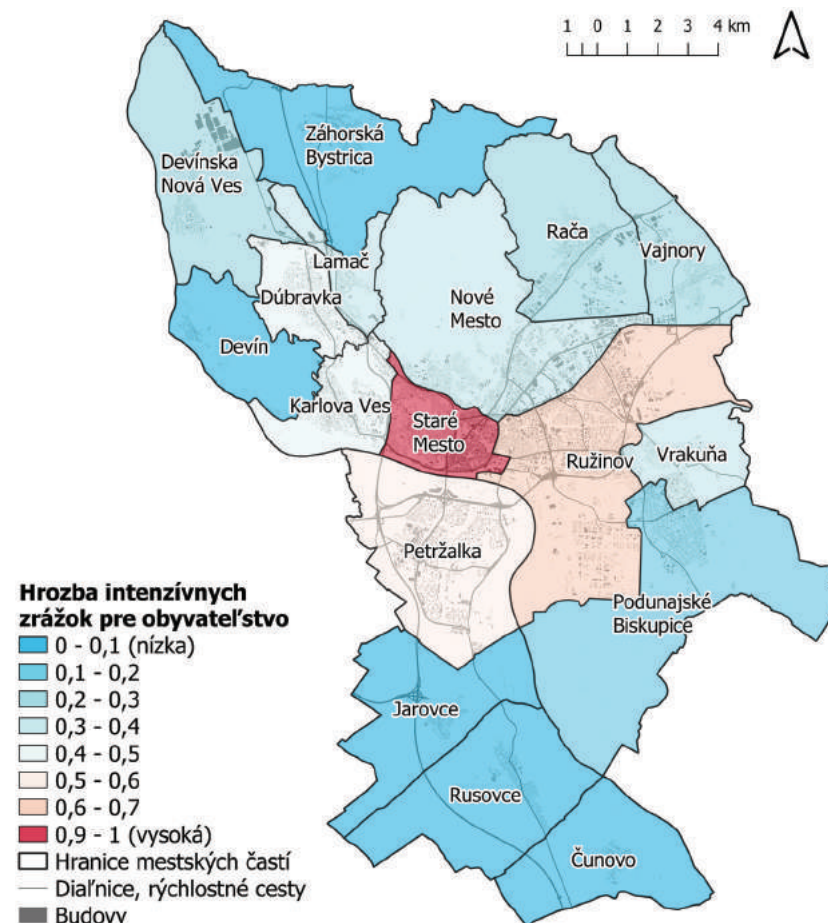
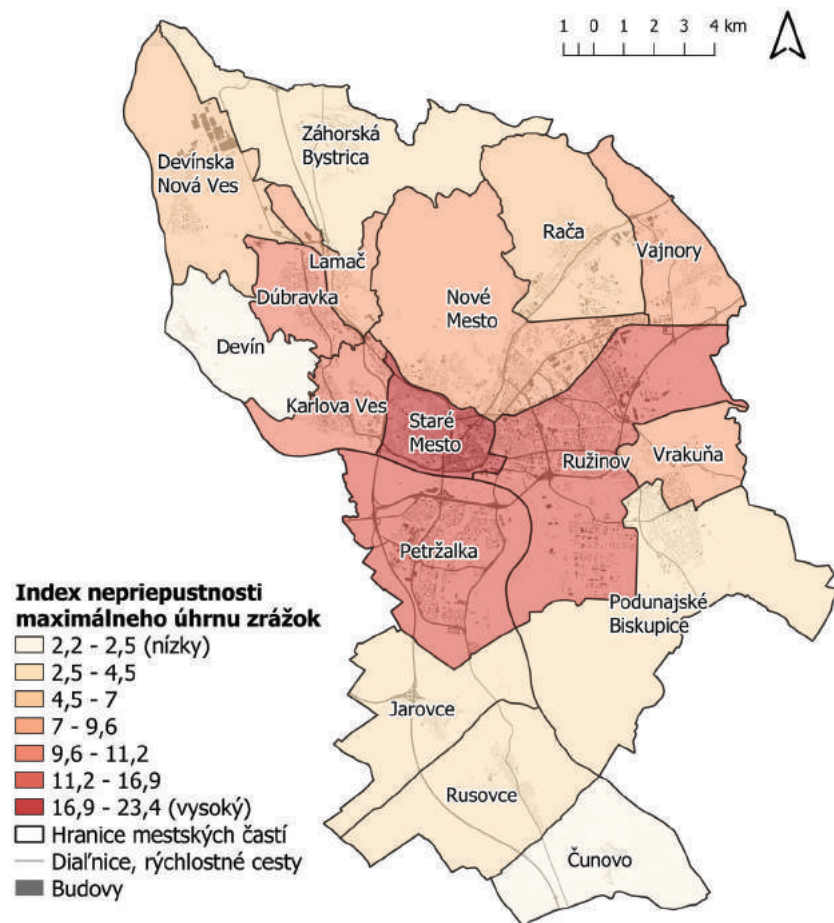


5.2.2. Hrozba

Pre získanie indikátora, ktorý by charakterizoval intenzívne zrážky, sme ako hrozbu použili iba jeden indikátor, preto je výstup pre hrozbu identický s výsledkami tohto indikátora. Indikátor bol vytvorený vynásobením priemerného maximálneho - 24h úhrnu zrážok za roky 2011-2016 a podielom nepriepustných povrchov k celkovej rozlohe mestských častí, a nazýva sa:

► **Index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok (indikátor H5)** - pomer medzi priemerným maximálnym úhrnom zrážok a podielom nepriepustným plôch (vľavo nižšie).

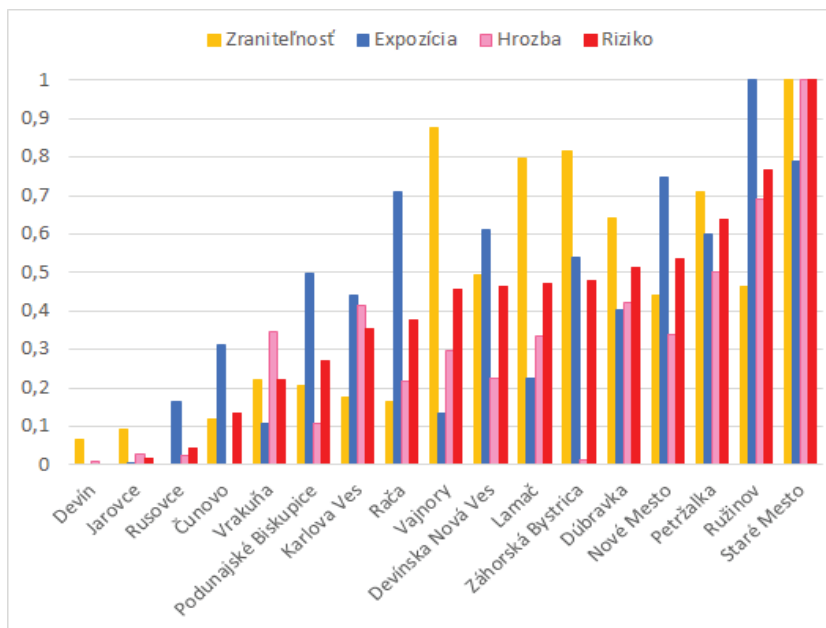
Kartogram nižšie znázorňuje výslednú mieru **hrozby**, ktorú predstavujú intenzívne zrážky pre obyvateľstvo na základe použitých indikátorov. Najviac ohrozené sú mestské časti Staré mesto a Ružinov.





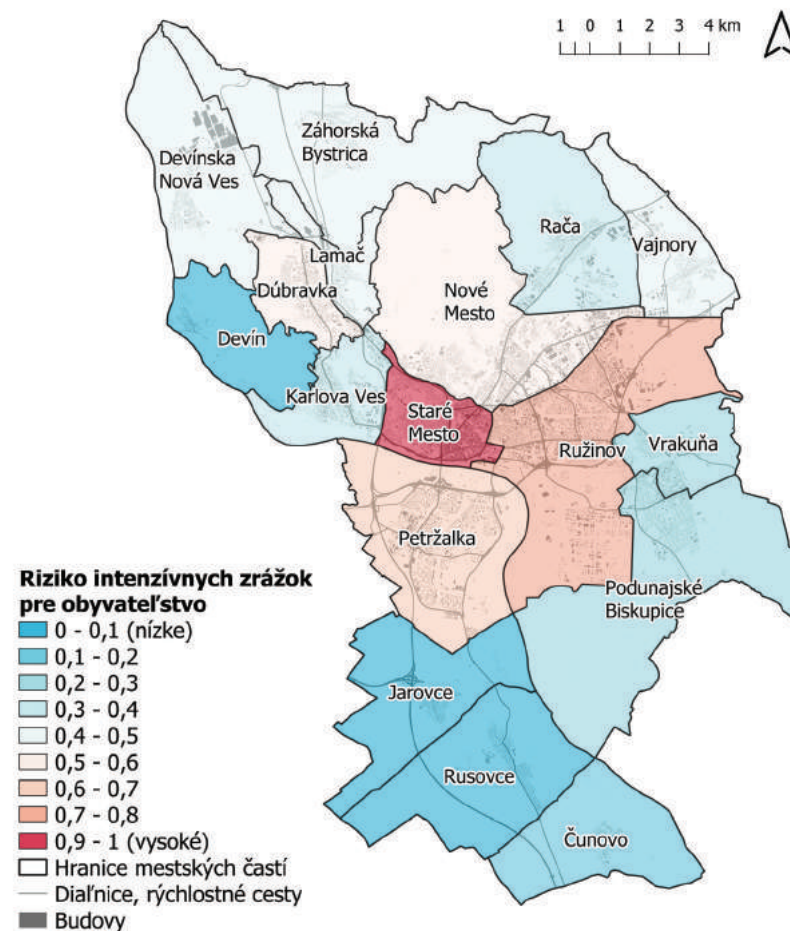
5.2.3. Riziko

Pre výpočet rizika sa brali do úvahy všetky indikátory pre expozíciu obyvateľstva na hrozbu intenzívnych zrážok, ktoré sú uvedené na predošlých stranách. Taktiež sa do rizika započítava výsledná zraniteľnosť. Všetky hodnoty sú pred agregáciou normalizované na stupnici 0-1.



Obr. 17. Hodnotenie rizika ktoré predstavujú intenzívne zrážky pre obyvateľstvo na základe postupu IVAIA s použitím spomínaných indikátorov (1 = vysoké, 0 = nízke).

Ako môžeme na grafe nižšie a na kartograme vpravo vidieť, najväčšie **riziko** predstavujú intenzívne zrážky pre obyvateľstvo práve v mestských častiach Bratislava-Staré Mesto a Ružinov. Naopak najmenej sú rizikom intenzívnych zrážok ohrozené mestské časti Bratislava-Rusovce, Jarovce a Čunovo s Devínom.





5.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia obyvateľstva intenzívnymi zrážkami

Pri hodnotení dopadov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo sme využili celkovo sedem indikátorov, z ktorých sa stanovovala zraniteľnosť obyvateľstva na tento dopad zmeny klímy. V prvom rade to boli indikátory citlivosti sledovaného objektu - v našom prípade obyvateľstva, ktoré charakterizovali napr. zaťaženie kanalizačnej siete skonzumovanou vodou z domácností, či rôznu výšku hladiny podzemnej vody na území mesta. V kontraste indikátorom pre citlivosť boli indikátory pre disponibilnú kapacitu obyvateľstva voči intenzívnym zrážkam, ktoré sledovali najmä podiel priepustných plôch (s ohľadom na prevládajúci typ substrátu a zrnitosť pôdy), ale aj prítomnosť zrážkovej kanalizácie ako aj ďalších adaptačných opatrení (retenčných nádrží a pod.) umiestnených strategicky na území mesta.

Aj keď pri hodnotení citlivosti sa ako najviac citlivé javili mestské časti na severozápadnom území hlavného mesta (Devínska Nová Ves, Záhorská Bystrica, Lamač, Dúbravka a Ružinov a pod.). Pre nízke hodnoty disponibilnej kapacity v porovnaní s citlivosťou sa stali **najviac zraniteľnými práve mestské časti ako Bratislava-Staré Mesto, Záhorská Bystrica a Vajnory** z pohľadu dopadov zrážok na obyvateľstvo.

Pre vyhodnotenie miery rizika je dôležité vhodne zvoliť indikátory pre expozíciu (vystavenie) skúmaného systému/objektu sledovanému dopadu zmeny klímy (intenzívnym zrážkam). Zvolené boli dva indikátory expozície, a to počet obyvateľov mestskej časti a rozloha území so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí v zastavanom území. **Najviac exponovanými mestskými časťami** boli práve **Bratislava-Ružinov, Staré mesto, Nové mesto a Rača**.

Miera ohrozenia obyvateľstva spolu s expozíciou sú základnými premennými pre hodnotenie rizika, ktoré predstavujú intenzívne zrážky pre obyvateľstvo hlavného mesta. Vzhľadom k rozlohe nepriepustných plôch (ktoré vstúpilo do hodnotenia rizika ako indikátor hrozby – tzv. index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok) a expozícii, sa stali **z pohľadu dopadov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo najviac rizikové** mestské časti **Bratislava-Staré mesto a Bratislava-Ružinov**.

Z hľadiska jednotlivých indikátorov by sme zdôraznili ešte oblasti so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí, a to:

- ▶ Mestská časť Bratislava-Rača: Krasňany, Rača (Stará Rača).
- ▶ Mestská časť Bratislava-Nové Mesto: Nové Mesto, Pasienky, Slovany, Tehelné pole.
- ▶ Mestská časť Bratislava-Ružinov: Starý Ružinov, Štrkovec, Trávniky, Mlynské nivy (čiastočne – východná časť), Pálenisko, Ružová Dolina.
- ▶ Mestská časť Bratislava-Staré Mesto: väčšina územia mestskej pamiatkovej rezervácie.
- ▶ Mestská časť Bratislava-Karlova Ves (ale aj Nové Mesto): Mlynská dolina (severná časť).
- ▶ Mestská časť Bratislava-Dúbravka: Podvornice
- ▶ Mestská časť Bratislava- Devínska Nová Ves: sídlisko Stred.

Vzhľadom k týmto výsledkom a použitým indikátorom, je **možné zvrátiť nepriaznivú situáciu. týkajúci sa zraniteľnosti** tým, že hlavné mesto a mestské časti budú **strategicky implementovať adaptačné opatrenia orientované na prevenciu zaplavenia z povrchového odtoku v dôsledku intenzívnych zrážok** (najmä tvorbou bioreténnych plôch umožňujúcich povrchový vsak, tvorbou detenčných alebo retenčných nádrží, suchých

poldrov, a inštaláciou rôznych ďalších druhov systémov na udržateľné hospodárenie so zrážkovou vodou), **zvyšovať podiel vodepriepustných plôch** – a to najmä v oblastiach s **vysokou koncentráciou nepriepustných plôch (a materiálov)** a s **výskytom terénnych depresíí**. Pri plánovaní zastaviteľného územia je preto vhodné vziať do úvahy aspekty o danej lokalite ako:

- ▶ morfológia terénu,
- ▶ znalosť prirodzených recipientov v území,
- ▶ miera zastavania terénu nepriepustnými plochami,
- ▶ stav hladiny podzemných vôd,
- ▶ zloženie pôd a priepustnosť podložia,
- ▶ prítomnosť a kapacita zrážkovej/zmiešanej kanalizácie,
- ▶ lokalizácia vpustov a ich stav.

Viac informácií o vhodných adaptačných opatreniach pre jednotlivé sektory je vedených v **Akčnom pláne adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy** alebo v **eKnižnici adaptačných opatrení**.



S predlžujúcimi sa obdobiami sucha je nutné zmeniť koncepciu povrchov na verejných priestranstvách. Prednosť postupne dostávajú vodopriepustné materiály a zvyšovanie podielu zelene. Tieto a mnohé ďalšie odporúčania mesto vkladá aj do záväzných stanovísk k investičnej činnosti. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Eva Streberová.

Dôsledky intenzívnych zrážok na cestnú infraštruktúru

Početnosť výskytu intenzívnych zrážok sa za posledné roky výrazne zvýšila. Lokálne zatopenie spôsobuje škody najmä na majetku, budovách a verejnej infraštruktúre. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Eva Streberová.

6.1. Hodnotenie zraniteľnosti cestnej infraštruktúry na intenzívne zrážky

Intenzívne zrážky, ktoré trvajú krátko a a sú výdatné na množstvo spadnutej vody, sa budú vplyvom zmeny klímy objavovať čoraz častejšie. Táto kapitola je zameraná na vyhodnotenie pomocou indikátorov stanovených pre citlivosť a disponibilnú kapacitu cestnej infraštruktúry vyrovnáť sa s dopadmi intenzívnych zrážok. Hlavné vstupy pre stanovenie a výpočet zraniteľnosti cestnej infraštruktúry na intenzívne zrážky sú **citlivosť systému** (cestnej infraštruktúry) na tento prejav zmeny klímy a tzv. **disponibilná kapacita systému vyrovnáť sa s týmito negatívnymi prejavmi**.

6.1.1. Citlivosť

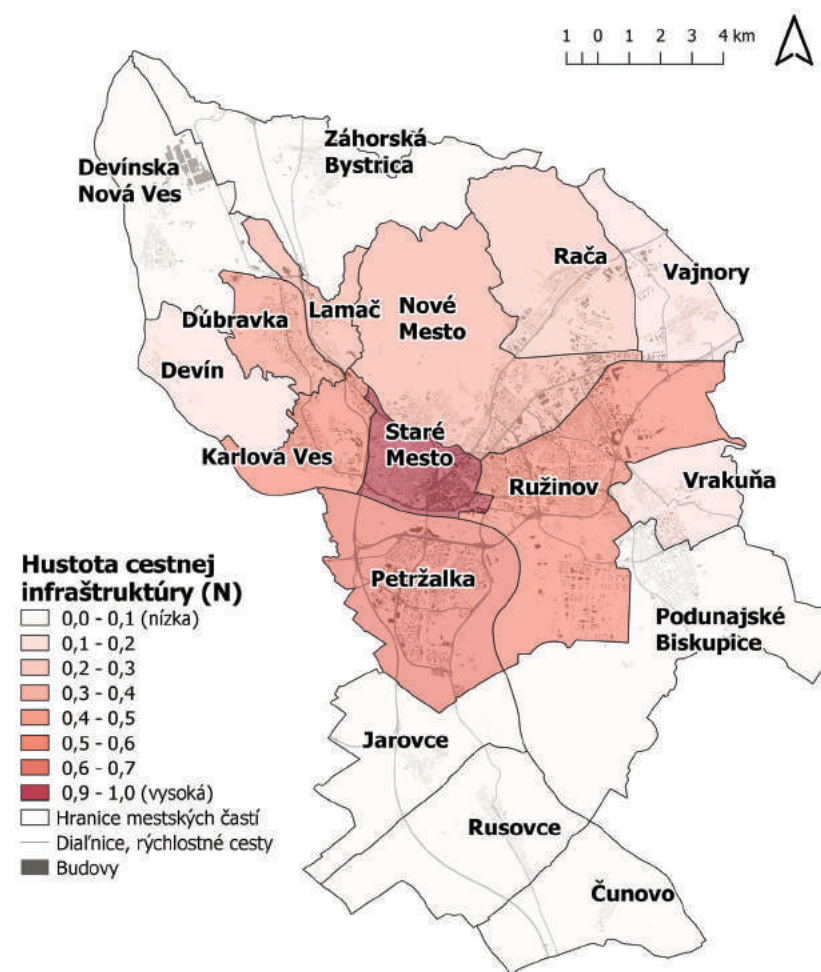
Pre hodnotenie citlivosti cestnej infraštruktúry na prejavy zmeny klímy – intenzívne zrážky boli stanovené štyri indikátory:

- ▶ **Hustota cestnej infraštruktúry v mestskej časti (indikátor C6.1.1)** – ako podiel dĺžky cestnej siete a rozlohy mestskej časti (OpenStreetMap Contributors, 2018).
- ▶ **Hustota terénnych depresíí a kritických lokalít v mestskej časti (indikátor C6.1.2)**. Terénne depresie vznikli analýzou digitálneho modelu povrchu územia HM SR Bratislavy. Medzi kritické lokality boli zaradené okrem iného aj najmä podchody a podjazdy a existujúce tunely, ako aj ďalšie lokality zaznamenané počas intenzívnych zrážok v roku 2018.
- ▶ **Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter k celkovej rozlohe MČ (indikátor C6.1.3)** na základe údajov ŠGÚDŠ, identický s indikátorom C5.1.3.
- ▶ **Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter až 2 metre k celkovej rozlohe MČ (indikátor C6.1.4)** na základe údajov ŠGÚDŠ, identický s indikátorom C5.1.4.

Ku každému z indikátorov je na ďalších stranách znázornenie pomocou dvoch kartogramov na základe vyhodnotenia dostupných údajov ako percentuálny podiel a normalizovaných hodnôt na stupnicu 0-1.

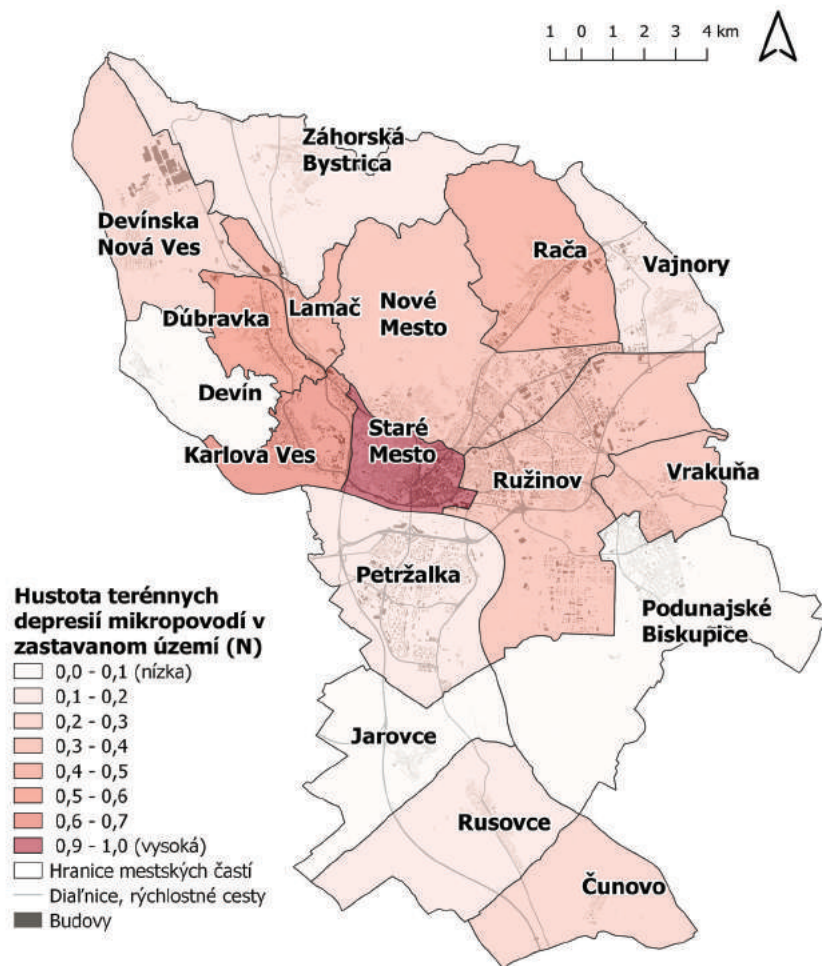
Indikátor C6.1.1

Hustota cestnej infraštruktúry v mestskej časti, znázornený normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram dole).

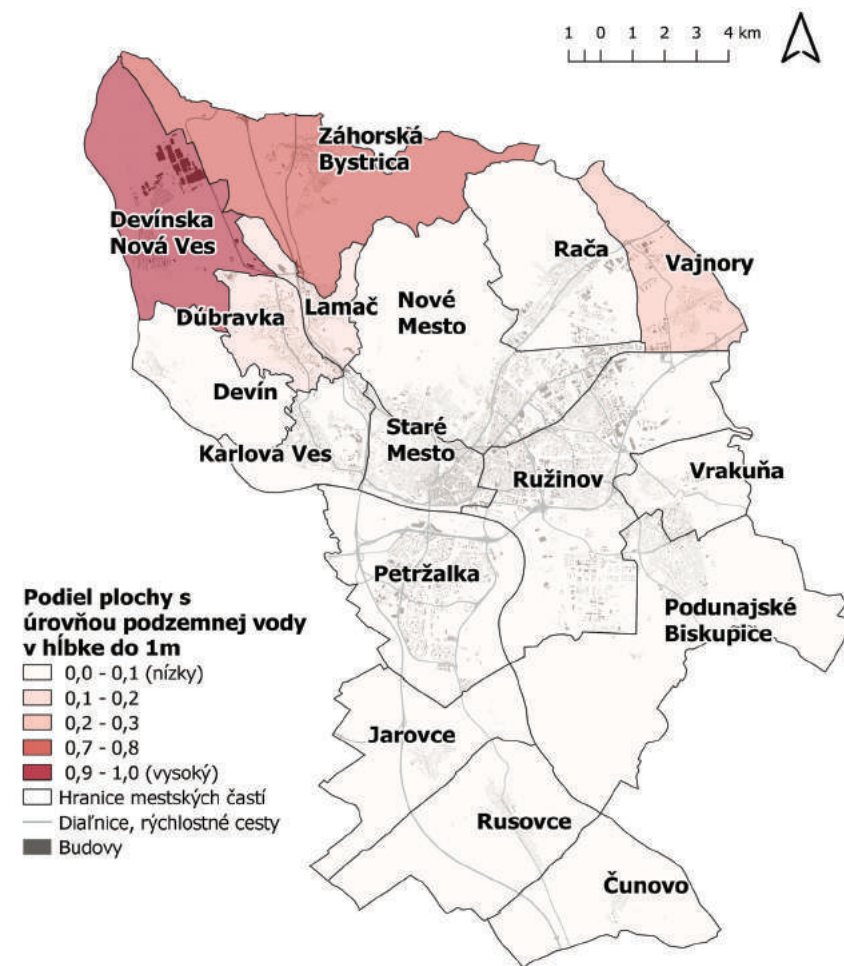


**Indikátor C6.1.2**

Hustota terénnych depresí mikropovodí a kritických lokalít v zastavanom území. znázornený ako normalizovaný na stupnicu 0-1 (kartogram nižšie).

**Indikátor C6.1.3**

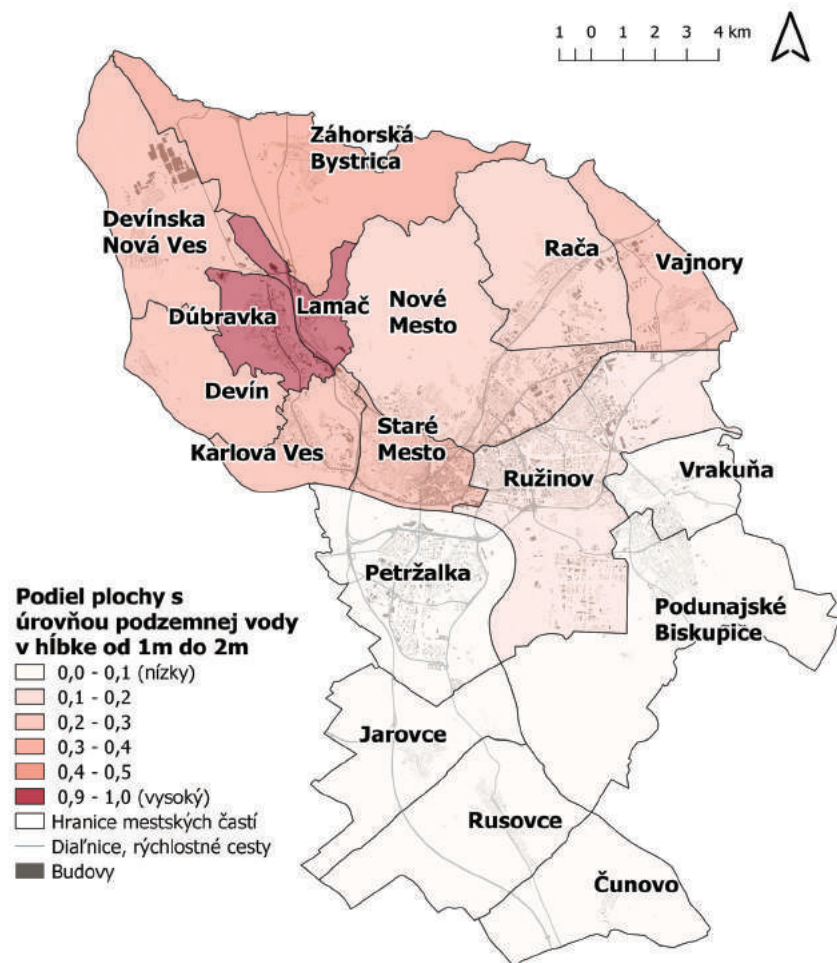
Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter k celkovej rozlohe MČ, znázornený ako normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



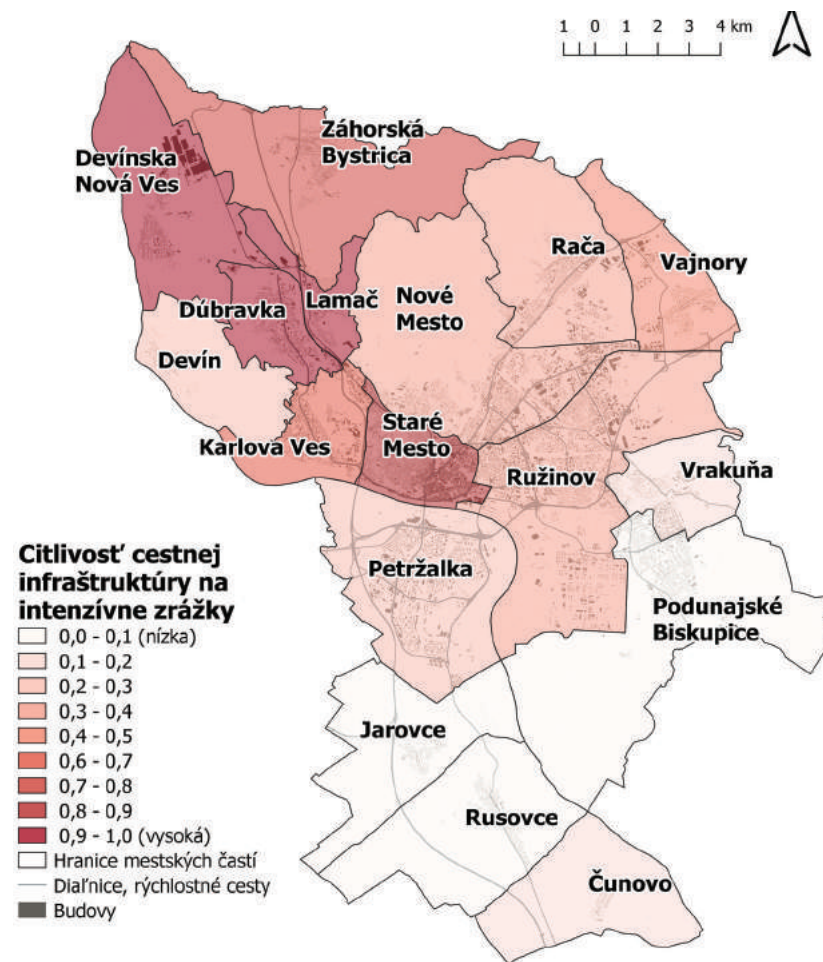


Indikátor C6.1.4

Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky od 1 m do 2 m k celkovej rozlohe MČ, normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Kartogram nižšie predstavuje vizualizáciu finálnych hodnôt **citlivosti cestnej infraštruktúry na dopady intenzívnych zrážok** na úrovni jednotlivých mestských častí s použitím spomínaných indikátorov.



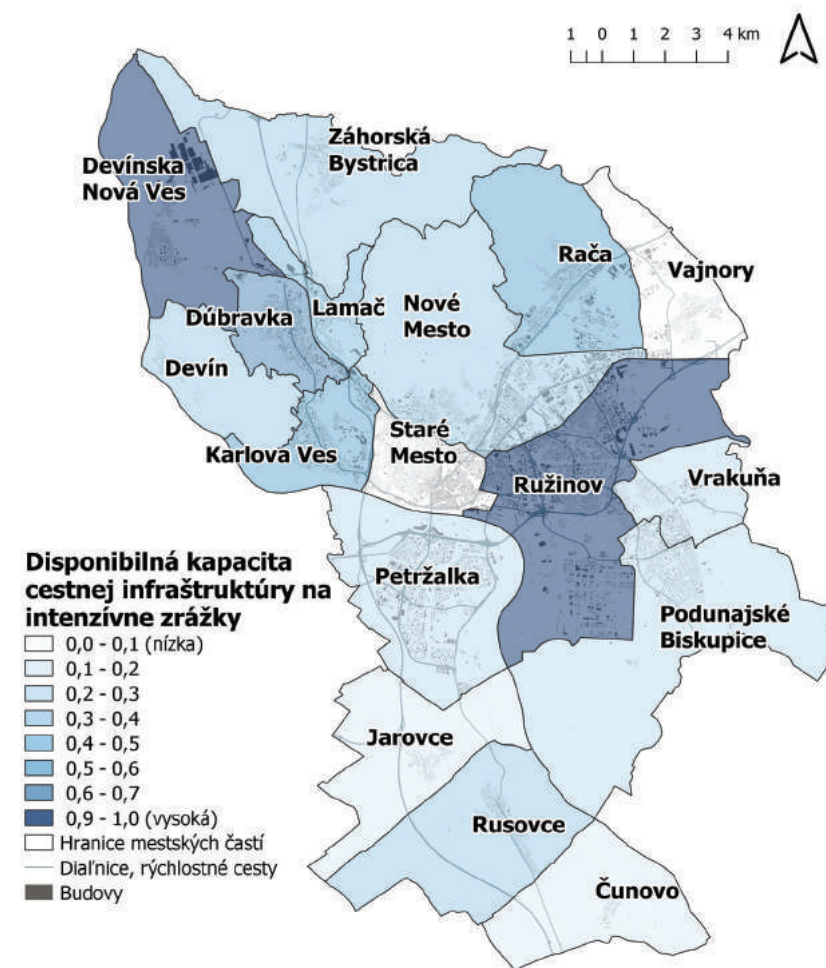


6.1.2. Disponibilná kapacita

Pre hodnotenie disponibilnej kapacity boli použité indikátory pre jednotlivé územia mestských častí (MČ), ktoré sú totožné s indikátormi pre hodnotenie disponibilnej kapacity pre obyvateľstvo na území mestských častí vo vzťahu k intenzívnym zrážkam:

- ▶ **Podiel priepustných plôch z celkovej rozlohy MČ (indikátor DK6.1.1)** – indikátor bol vytvorený na základe informácií o spôsobe využitia pozemkov podľa katastrálnej mapy HM SR Bratislavy, pričom bola zohľadnená aj miera priepustnosti pôd a kapacita substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia. (viď kapitola 5.1.2.).
- ▶ **Podiel polopriepustných plôch z celkovej rozlohy MČ (indikátor DK6.1.2)** indikátor bol vytvorený na základe informácií o spôsobe využitia pozemkov podľa katastrálnej mapy HM SR Bratislavy, pričom bola zohľadnená aj miera priepustnosti pôd a kapacita substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia (viď kapitola 5.1.2.).
- ▶ **Prítomnosť vhodných adaptačných opatrení zmiernujúcich záplavy (indikátor DK6.1.3)** - zahŕňa opatrenia najmä ako dažďová kanalizácia, retenčné nádrže, suché poldre a pod. na základe Štúdie odvádzania zrážkových vôd zo svahov Malých Karpát (2016). V prípade, ak je na území MČ prítomná aspoň jedna forma takéhoto opatrenia, indikátor má hodnotu 1, v prípade ak chýba, indikátor má hodnotu 0 (viď kapitola 5.1.2.).

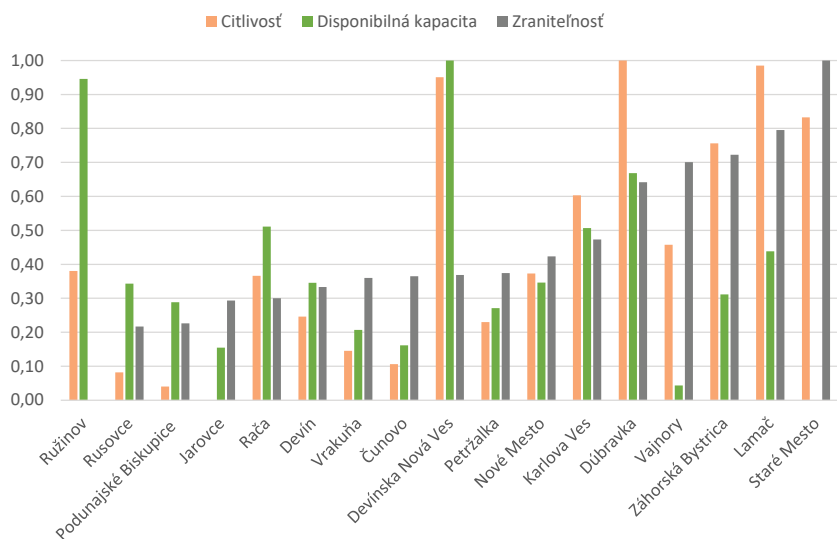
Záverečným výstupom pre **disponibilnú kapacitu cestnej infraštruktúry na intenzívne zrážky je** kartogram nižšie. Predstavuje finálny výstup na základe priradenia významnosti (váhy) všetkým spomenutým indikátorom v kapitole 6.1.1. po ich agregácii a normalizácii - prevedení na stupnicu 0-1.



6.1.3. Zraniteľnosť

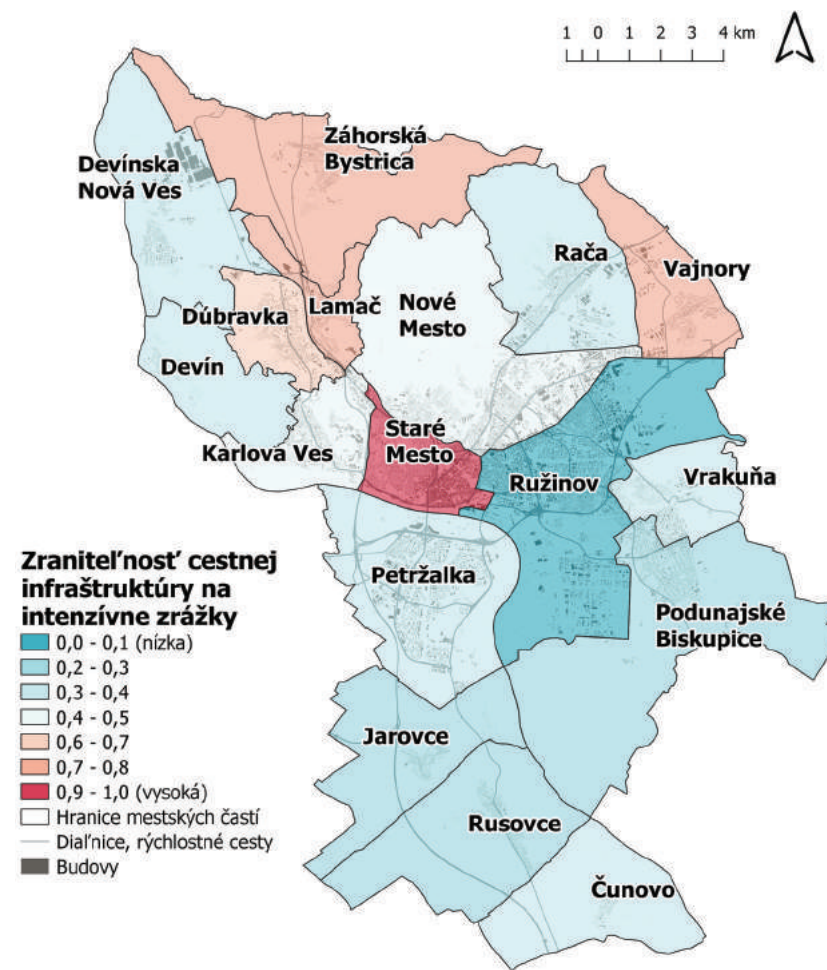
Základné vstupy pre stanovenie a výpočet zraniteľnosti na intenzívne zrážky sú citlivosť systému (v tomto prípade cestná infraštruktúra) a tzv. disponibilná kapacita systému (cestnej infraštruktúry) vyrovnat sa s týmito negatívnymi prejavmi.

Na základe použitého postupu sú najviac zraniteľné mestské časti **Staré mesto, Záhorská Bystrica, Lamač a Vajnory**. Výsledné hodnoty zraniteľnosti pre všetky mestské časti znázorňuje graf nižšie a sú premietnuté aj do kartogramu vpravo. Naopak najmenej zraniteľné sú mestské časti Rusovce, Devín a Vrakuňa. Je nutné zdôrazniť, že pri chápaní hodnotenia zraniteľnosti je potrebné výsledky hodnotenia interpretovať vždy vo vzťahu k použitému súboru indikátorov a váh.



Obr. 18. Hodnotenie citlivosti, disponibilnej kapacity a zraniteľnosti cestnej infraštruktúry na intenzívne zrážky na základe postupu IVAVIA.

Na kartograme nižšie sa nachádza vizualizácia finálnych hodnôt pre **zraniteľnosť** cestnej infraštruktúry na úrovni jednotlivých mestských častí s použitím spomínaných indikátorov.



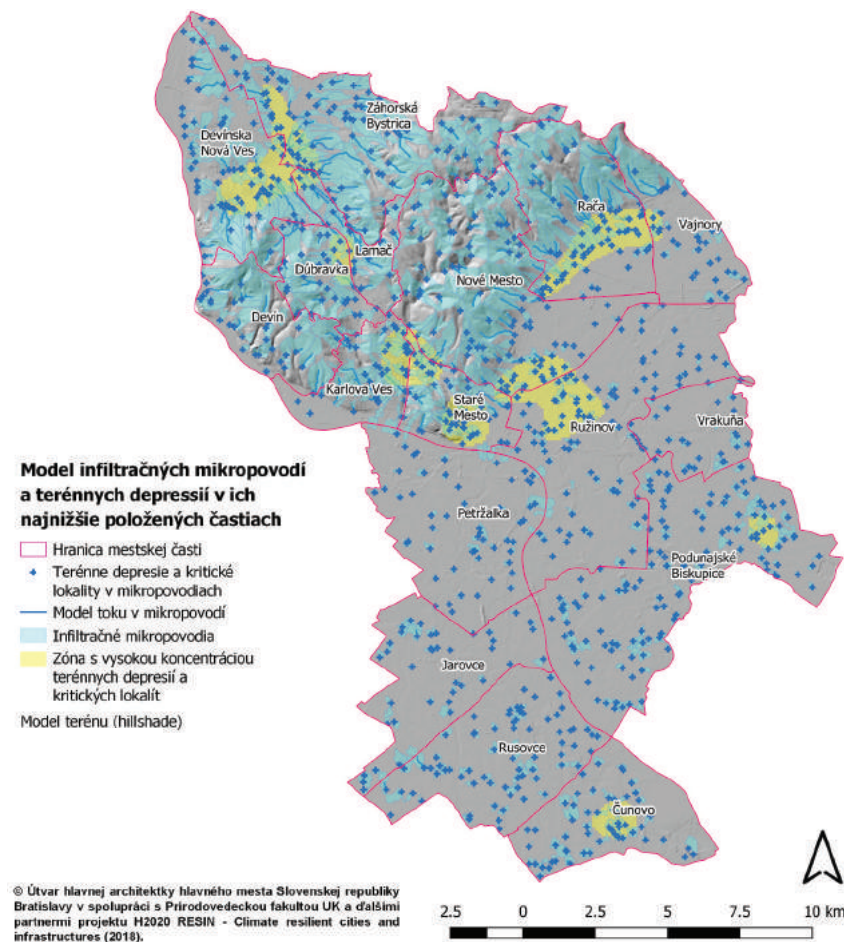
6.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia cestnej infraštruktúry intenzívnymi zrážkami

Pri stanovení rizík vstupujú do hodnotenia ďalšie premenné, a to: expozícia-systému / objektu a klimatická hrozba (v tomto prípade intenzívne zrážky).

6.2.1. Expozícia

Do expozície cestnej infraštruktúry bol zahrnutý len jeden indikátor (zobrazený nižšie), a to:

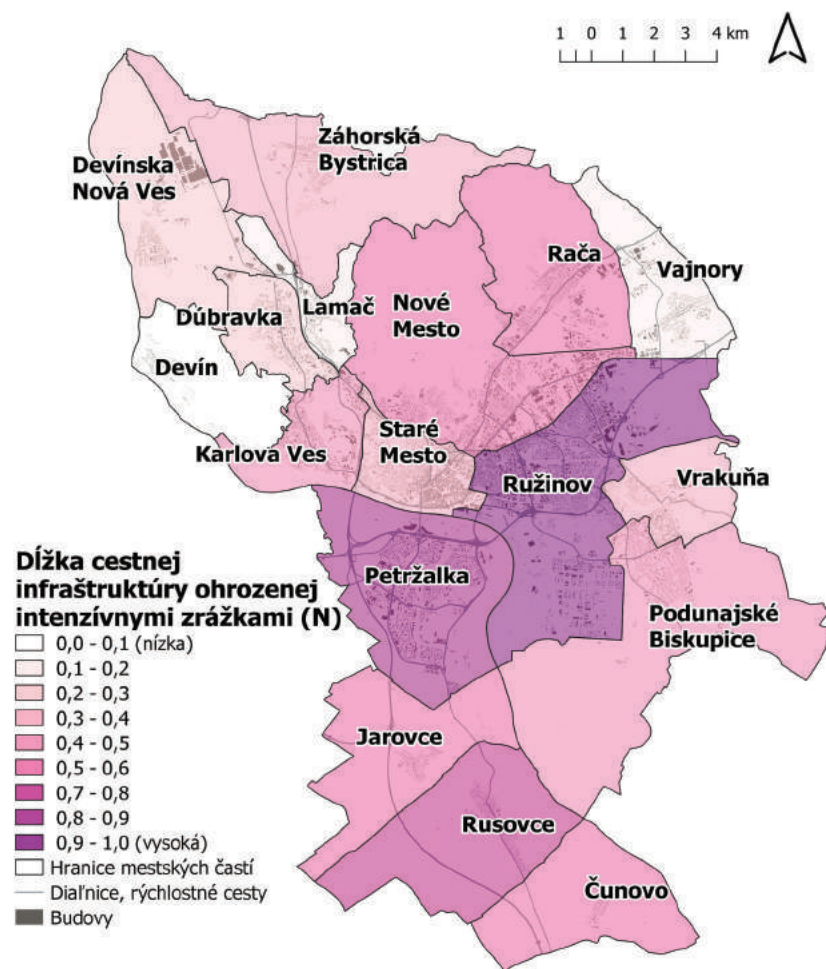
- ▶ **Dĺžka cestnej infraštruktúry (segmentov) ohrozenej intenzívnymi zrážkami v danej mestskej časti (indikátor E6.2.1)** – do tohto indikátora sú započítavané úseky cestnej infraštruktúry, nachádzajúce sa v terénnych depresiách.
- ▶ **Podiel plôch so zvýšeným výskytom terénnych depresií infiltračných mikropovodí k rozlohe MČ (indikátor E6.2.2)** – odvodený od digitálneho terénu povrchu katastrálneho územia HM SR Bratislavy.
- ▶ **Podiel rozlohy terénnych depresií a kritických lokalít infiltračných mikropovodí v zastavanom území k celkovej rozlohe MČ (indikátor E6.2.3)** – odvodený od digitálneho terénu povrchu katastrálneho územia HM SR Bratislavy.



Obr. 19. Ukážka modelu infiltračných mikropovodí vytvoreného pomocou nástrojov SAGA GIS, ktorý tvorí základ viacerých indikátorov expozície. Model bol použitý na identifikáciu polohy a rozlohy terénnych depresií v závere mikropovodí, ktoré môžu predstavovať potenciálne rizikové územia vzhľadom na intenzívne zrážky.

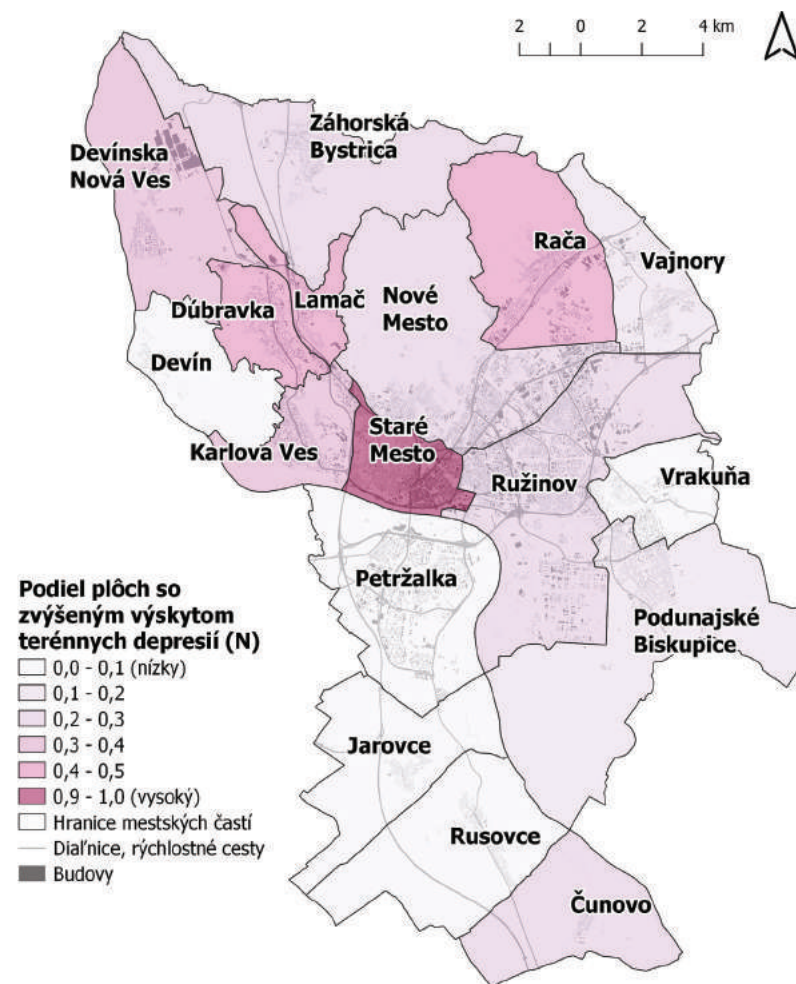
Indikátor E6.2.1

Dĺžka cestnej infraštruktúry (segmentov) ohrozenej intenzívnymi zrážkami, normalizovaná na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



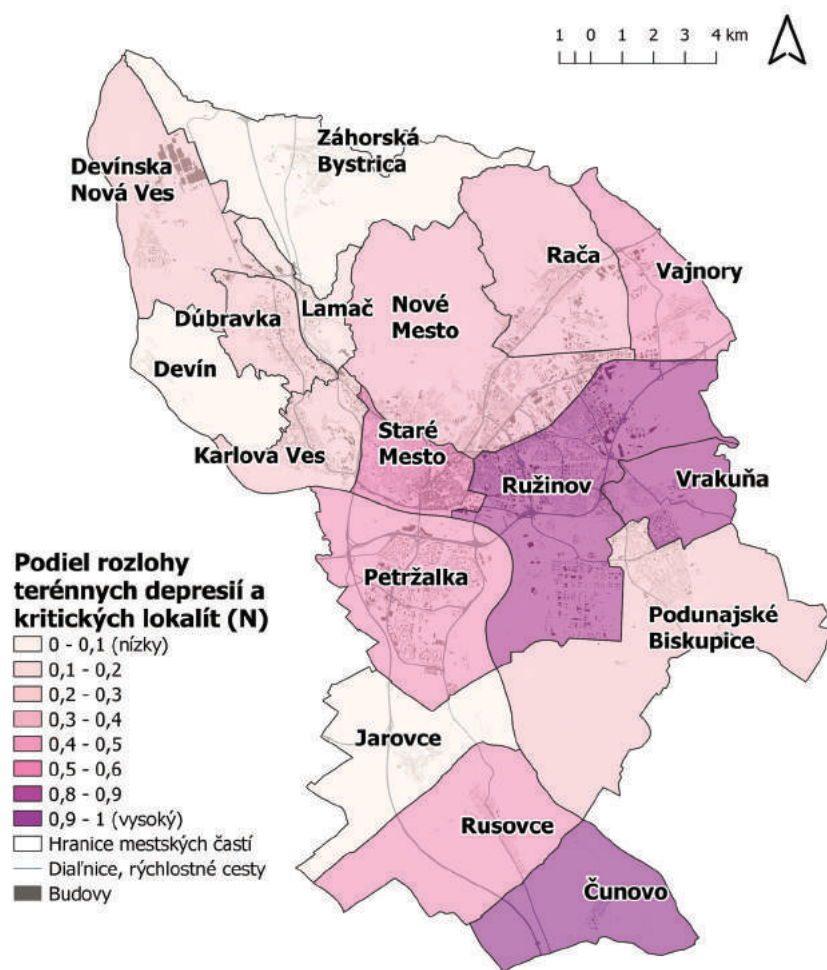
Indikátor E6.2.2

Podiel plôch so zvýšeným výskytom terénnych depresii mikropodvi k rozlohe MČ, normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

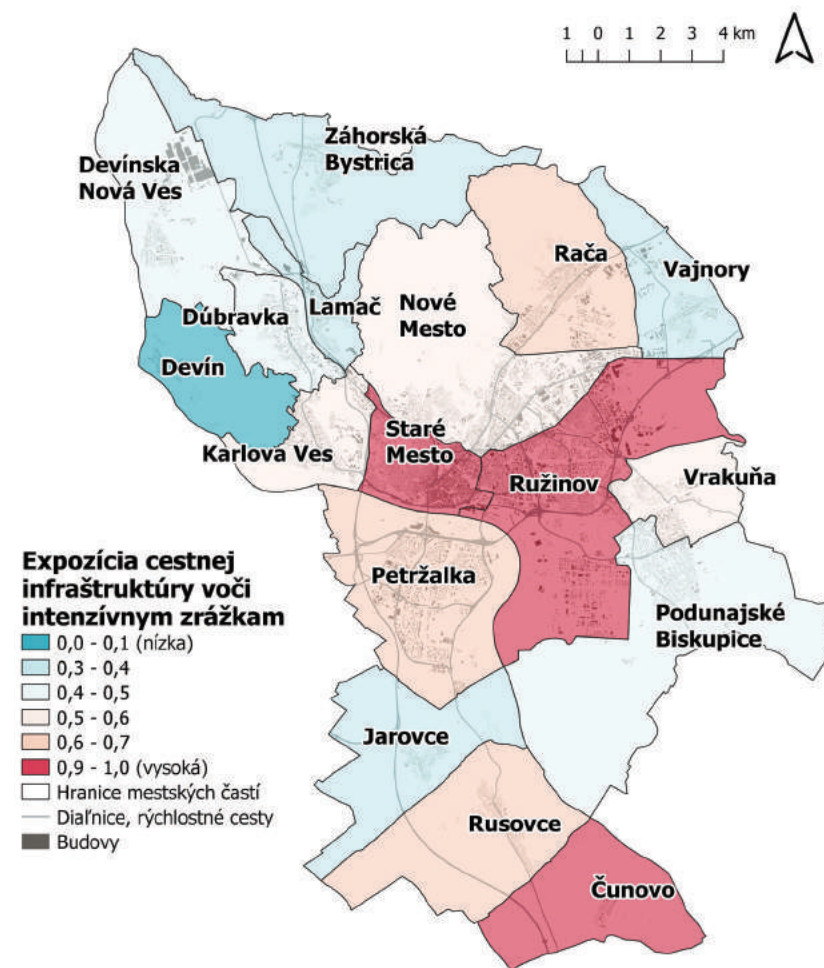


**Indikátor E6.2.3**

Podiel rozlohy terénnych depresí a kritických lokalít mikropovodí v zastavanom území k celkovej rozlohe MČ normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



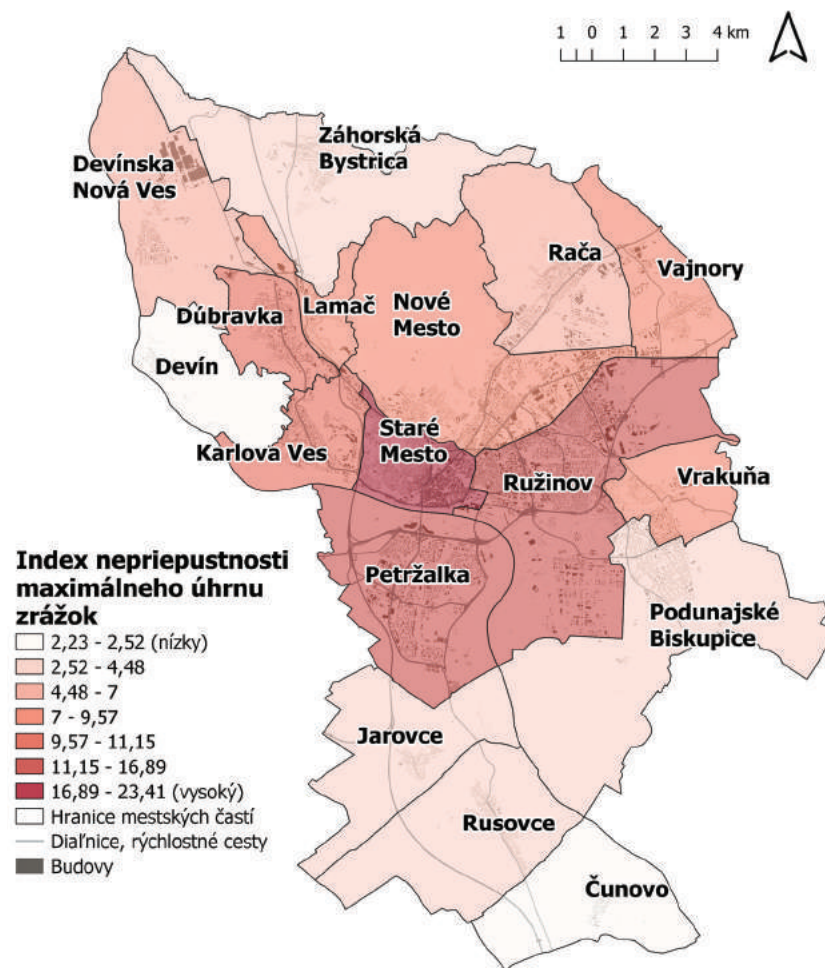
Výsledne hodnoty pre **expozíciu** cestnej infraštruktúry znázorňuje kartogram nižšie – najviac postihnutých kilometrov cestnej infraštruktúry k celkovej dĺžke cestnej infraštruktúry v danej mestskej časti je na území mestských častí Bratislava-Ružinov, Staré Mesto a Čunovo.



6.2.2. Hrozba

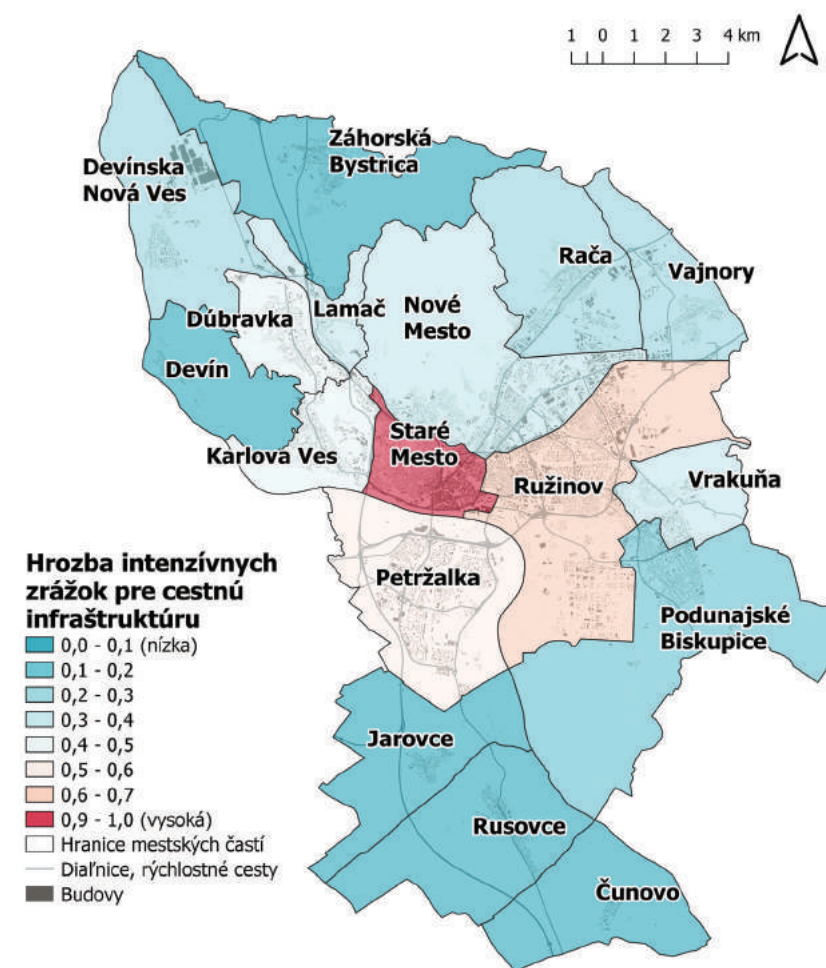
Indikátorom hrozby intenzívnych zrážok opäť rovnaký indikátor ako bol použitý v predošlej kapitole, a to:

- **Index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok (indikátor H6)** - pomer medzi priemerným maximálnym úhrnom zrážok a podielom nepriepustným plôch (kartogram nižšie). Indikátor je identický s



hodnotením dopadov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo.

Kartogram nižšie znázorňuje výsledné vyhodnotenie **hrozby**, ktorú predstavujú intenzívne zrážky pre cestnú infraštruktúru na území HM SR Bratislavy na základe použitých indikátorov. Najviac ohrozené sú mestské časti Staré Mesto a Ružinov, potom nasleduje mestská časť Petržalka.

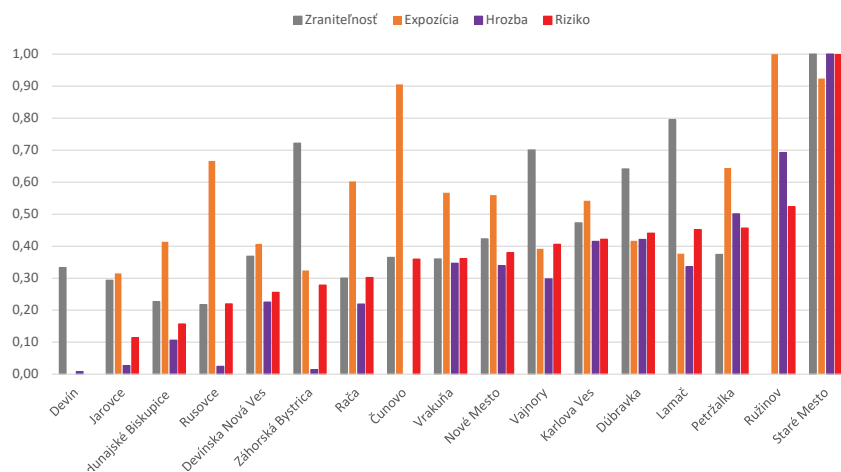




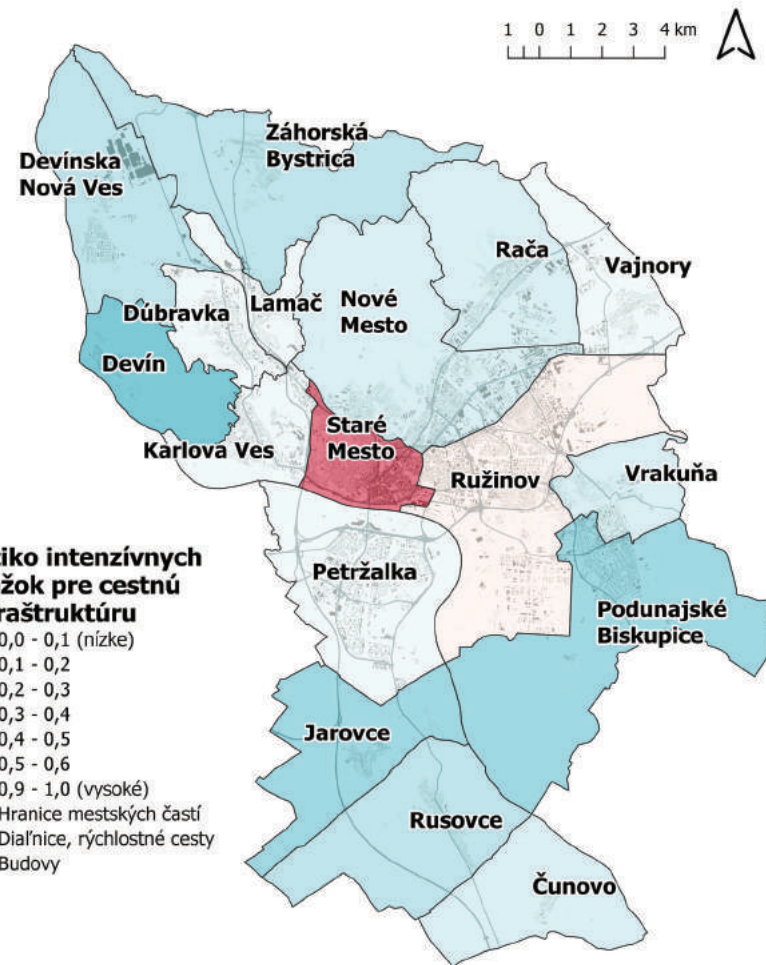
6.2.3. Riziko

Pre výpočet rizika sa brali do úvahy všetky indikátory pre expozíciu cestnej infraštruktúry na hrozbu (intenzívne zrážky) uvedené na predošlých stranách. Nakoľko sa jednalo o relatívne nízky počet indikátorov pri expozícii a hrozbe, bola im aj na základe metodického postupu IVA VIA ponechaná rovnaká významnosť (váha). Taktiež sa do rizika započítava výsledná zraniteľnosť. Všetky hodnoty sú pred agregáciou normalizované na stupnici 0-1. Výsledné hodnoty pre zraniteľnosť, expozíciu, hrozbu a riziko znázorňuje graf na obr.20 nižšie.

Ako môžeme na grafe nižšie a kartograme (vpravo) vidieť, najväčšie **riziko** predstavujú intenzívne zrážky pre cestnú infraštruktúru na území MČ **Bratislava-Staré Mesto a Ružinov**. Najmenej rizikové z tohto pohľadu sú mestské časti Devín, Podunajské Biskupice a Jarovce.



Obr. 20. Hodnotenie rizika, ktoré predstavujú intenzívne zrážky pre cestnú infraštruktúru na základe postupu IVA VIA s použitím spomínaných indikátorov (0 = nízke, 1 = vysoké).





6.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia cestnej infraštruktúry intenzívnymi zrážkami

Pri hodnotení dopadov intenzívnych zrážok na cestnú infraštruktúru sme využili celkovo 7 indikátorov, z ktorých sa stanovovala zraniteľnosť cestnej infraštruktúry na tento dopad zmeny klímy. V prvom rade to boli indikátory citlivosti sledovaného systému – cestnej infraštruktúry, ktoré charakterizovali podobne ako v predošlej kapitole rôznu výšku hladiny podzemnej vody, ale aj ďalšie faktory ako hustota cestnej siete a hustota terénnych depresíí v zastavanom území. Indikátory pre disponibilnú kapacitu infraštruktúry voči intenzívnym zrážkam boli identické s indikátormi použitými v predošlej kapitole, boli to: podiel priepustných a polopriepustných plôch (s ohľadom na prevládajúci typ substrátu a zrnitosť pôdy), prítomnosť zrážkovej kanalizácie a ďalších adaptačných opatrení (retenčných nádrží a pod.) umiestnených strategicky na území mesta.

Pri hodnotení citlivosti sa ako najviac citlivé javili mestské časti na severozápadnom území hlavného mesta - Devínska Nová Ves,, Lamač, Dúbravka, ale aj Staré Mesto (vzhľadom k hustote cestnej siete). Pre nízke hodnoty disponibilnej kapacity sa v celkovom hodnotení z pohľadu dopadov intenzívnych zrážok pre cestnú infraštruktúru stali **najviac zraniteľnými práve mestské časti ako Bratislava-Staré Mesto, Záhorská Bystrica, Lamač a Vajnory.**

Pre vyhodnotenie miery rizika je dôležité vhodne zvoliť indikátory expozície - vystavenie skúmaného cestnej infraštruktúry sledovanému dopadu zmeny klímy (intenzívnym zrážkam). Zvolené boli tri indikátory expozície, a to počet **dĺžka cestnej infraštruktúry (segmentov) ohrozenej intenzívnymi zrážkami**, rozloha území so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí infiltračných mikropodvi. **Najviac exponovanými mestskými časťami** boli práve **Bratislava-Ružinov, Staré mesto, Nové mesto a Rača.**

Miera ohrozenia cestnej infraštruktúry spolu s expozíciou sú funkciami rizika, ktoré predstavujú intenzívne zrážky pre tento typ infraštruktúry na území hlavného mesta. Vzhľadom k množstvu nepriepustných plôch (ktoré vstúpilo do hodnotenia rizika ako indikátor hrozby – tzv. index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok) a expozícii, sa stali z **pohľadu dopadov intenzívnych zrážok na cestnú infraštruktúru najviac rizikovými** mestské časti **Bratislava-Staré mesto a Bratislava-Ružinov.**

Z hľadiska jednotlivých indikátorov by sme vyzdvihli ešte oblasti so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí, a to:

- ▶ **Mestská časť Bratislava-Rača:** okolie Račianskej ulice v mestskej časti Nové mesto a Rača Krasňany, Žitná ulica v mestskej časti Bratislava-Rača,
- ▶ **Mestská časť Bratislava-Nové Mesto:** okolie Trnavského mýta, okolie križovatky Jarošova-Vajnorská, križovatka Jarošova-Račianska, Račianske mýto a okolie,
- ▶ **Mestská časť Bratislava-Ružinov:** Bajkalská ulica v úseku po križovatku Bajkalská-Trnavská cesta, ďalej úsek Ružinovskej ulice pod podjazdom Bajkalskej ulice, okolie križovatky Ružinovská-Herlianska, Trávniky, ulice Sedmokrásková a Nevädzová (aj areál strednej školy), križovatka Papradňová ulica-Nevädzová, Haburská ulica, križovatka Tomášikova-Haburská,
- ▶ **Mestská časť Bratislava-Staré Mesto:** Kapucínska a Klarinská ulica, Panská a Laurinská ulica, Staromestská ulica (úsek po Hodžovho námestie, vrátane podjazdu), Hodžovo námestie, Olejkárska ulica, Čulenova ulica,
- ▶ **Mestská časť Bratislava-Karlova Ves:** Mlynská dolina – úsek križovatky Mlynská dolina-Valašská, okolie križovatky Molecova-Karloveská,
- ▶ **Mestská časť Bratislava-Dúbravka:** okolie ulice Sekurisova, križovatka Drobného-Sekurisova, križovatka Lamačská cesta – Na Vrátkach (Janka Alexyho).

Vzhľadom k týmto výsledkom a použitým indikátorom, je **možné zvrátiť nepriaznivú situáciu, týkajúcu sa zraniteľnosti tak**, že mesto a mestské časti budú **strategicky implementovať adaptačné opatrenia orientované na prevenciu zaplavenia z povrchového odtoku v dôsledku intenzívnych zrážok** (najmä tvorbou retenčných nádrží, suchých poldrov, a pod., inštaláciou rôznych systémov na udržateľné hospodárenie so zrážkovou vodou), **zvyšovať podiel vodepriepustných plôch** – a to najmä v oblastiach s **vysokou koncentráciou nepriepustných plôch (a materiálov)** a s **výskytom terénnych depresíí**. Pri plánovaní zastaviteľného územia je preto vhodné vziať do úvahy aspekty o danej lokalite ako:

- ▶ morfológia terénu,
- ▶ znalosť prirodzených recipientov v území,
- ▶ miera zastavania terénu nepriepustnými plochami,
- ▶ stav hladiny podzemných vôd,
- ▶ zloženie pôd a priepustnosť podložia,
- ▶ prítomnosť a kapacita zrážkovej/zmiešanej kanalizácie,
- ▶ lokalizácia vpustov a ich stav.

Viac informácií o vhodných adaptačných opatreniach pre jednotlivé sektory sú vedené v **Akčnom pláne adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy** alebo v **eKnížnici adaptačných opatrení**.

Dôsledky intenzívnych zrážok na budovy

Na prenájom
For rent

+421 917 334 330
office@colliers.sk www.officemap.sk

OFFICE CENTER
POŠTOVÁ

CPI
KANCELÁRIE
A OBCHODY
NA PRENÁJOM
+ 421 915 207 232

FITINN

Profesia days
Bratislava

7.1. Hodnotenie zraniteľnosti budov na intenzívne zrážky

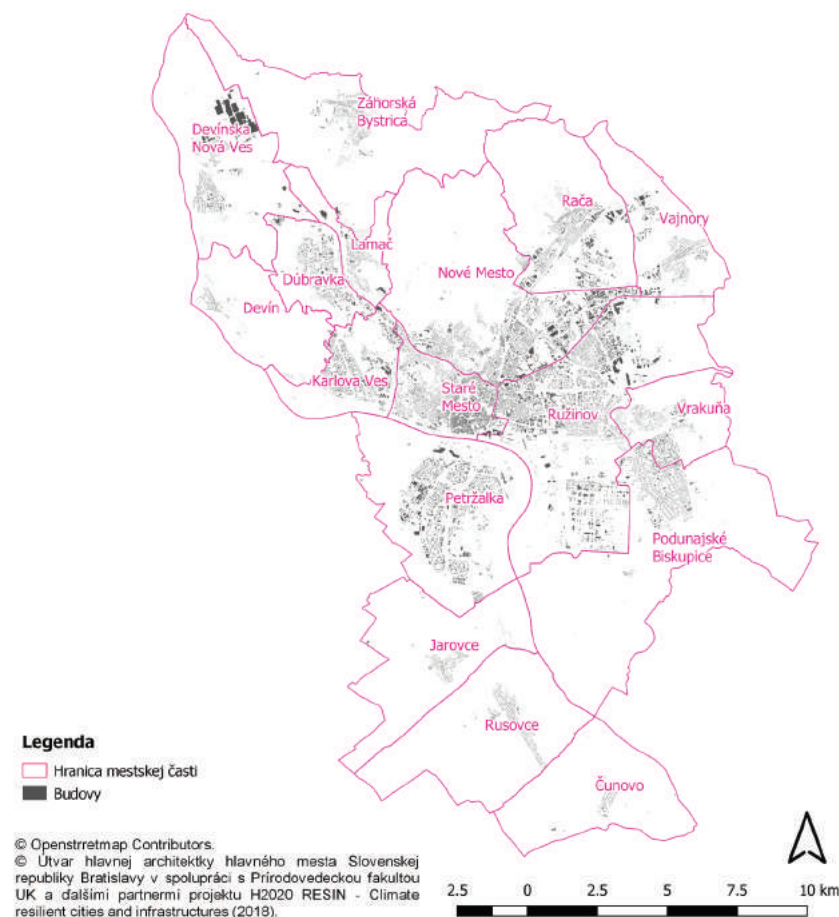
Intenzívne zrážky ohrozujú nehnuteľný majetok, či už vo verejnom alebo súkromnom vlastníctve. Táto podkapitola obsahuje vyhodnotenie zraniteľnosti pomocou indikátorov stanovených pre citlivosť a disponibilnú kapacitu budov ako sledovaného systému / objektov (v tomto prípade budov) vyrovnat sa s dopadmi intenzívnych zrážok.

7.1.1. Citlivosť

Z dostupných údajov boli vytvorené také indikátory pre citlivosť, ktoré zohľadňujú výstupy z kvalitatívnej časti hodnotenia, a pritom umožňujú charakterizovať skúmaný systém kvantitatívne z hľadiska jeho zraniteľnosti na dopady intenzívnych zrážok. Určené boli štyri indikátory:

- ▶ **Hustota budov v mestskej časti (indikátor C7.1.1)** - ako podiel počtu budov v celkovej rozlohe mestskej časti.
- ▶ **Podiel zrážkových vôd odvedených z nepriepustných plôch a zachytených kanalizačnou sieťou (indikátor C7.1.2)** - je odvodený od rozlohy nepriepustných povrchov v každej MČ a rozdielu medzi skonzumovanou pitnou vodou a celkovým množstvom odpadovej vody odvedenej kanalizačnou sieťou. Identický s indikátorom C5.1.2 a C6.1.2.
- ▶ **Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1m k celkovej rozlohe MČ (indikátor C7.1.3)** na základe údajov ŠGÚDŠ, identický s indikátorom C5.1.3 a C6.1.3.
- ▶ **Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 2m k celkovej rozlohe MČ (indikátor C7.1.4)** na základe údajov ŠGÚDŠ, identický s indikátorom C5.1.4 a C6.1.4.

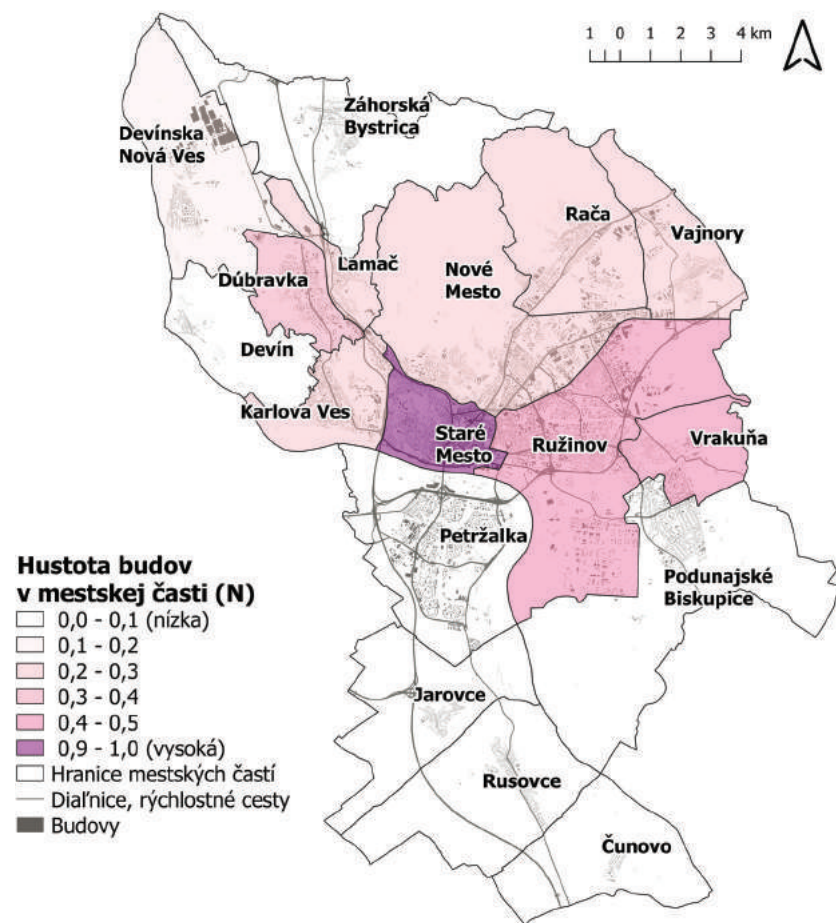
Indikátory 7.1.2 až 7.1.4 nie sú znázornené, nakoľko je možné ich nájsť v predošlých kapitolách venovaných citlivosti obyvateľstva (5.1.1.) a cestnej infraštruktúry (6.1.1.) na intenzívne zrážky.



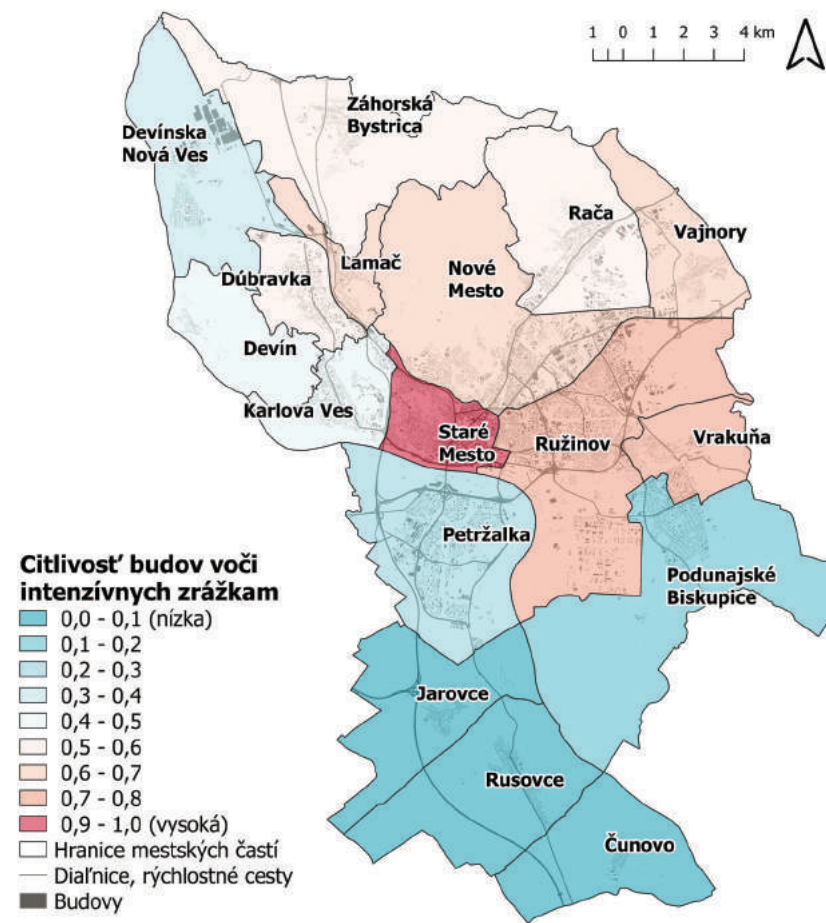
Obr. 21. Ukážka vstupných priestorových údajov pre citlivosť voči intenzívnym zrážkam, ktoré vstupujú do hodnotenia ako indikátor C 7.1.1 „hustota budov v mestskej časti“.

**Indikátor C 7.1.1**

Hustota budov v mestskej časti – podiel počtu budov v celkovej rozlohe mestskej časti, normalizovaný na stupnicu 0-1 (kartogram nižšie).



Záverečným výstupom pre **citlivosť budov** na intenzívne zrážky je kartogram dole. Predstavuje finálny výstup na základe priradenia významnosti (váhy) všetkým spomenutým indikátorom v kapitole 7.1.1. po ich agregácii a normalizácii (prevedení) na stupnici od 0-1.



7.1.2. Disponibilná kapacita

Disponibilná kapacita vyrovná sa s nepriaznivými prejavmi zmeny klímy vo vzťahu k budovám bola hodnotená na základe indikátorov totožných s indikátormi pre disponibilnú kapacitu obyvateľstva a cestnej infraštruktúry.

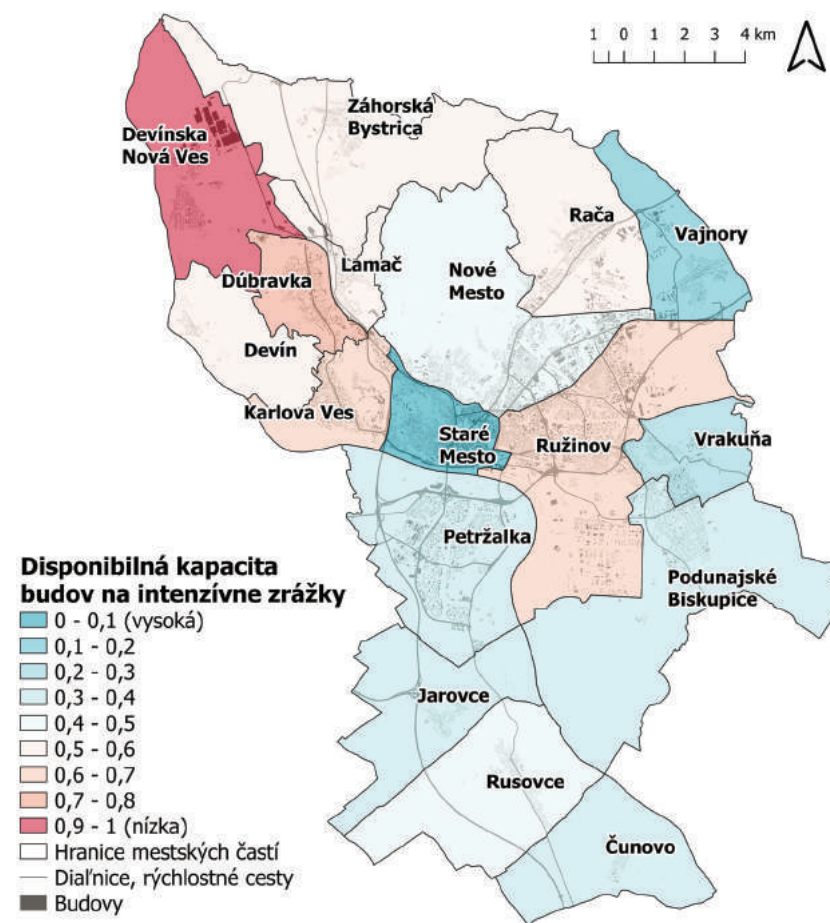
Tieto indikátory preto nie sú v tejto kapitole zobrazené formou kartogramov. Jedná sa o indikátory:

- ▶ **Podiel priepustných plôch k celkovej rozlohe MČ (indikátor DK7.1.1)** – zohľadňuje aj mieru priepustnosti pôd a kapacitu substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia.
- ▶ **Podiel polopriepustných plôch k celkovej rozlohe MČ (indikátor DK7.1.2)** – zohľadňuje aj mieru priepustnosti pôd a kapacitu substrátu zadržiavať podzemnú vodu mimo zastavaného územia.
- ▶ **Prítomnosť adaptačných opatrení zmiernujúcich záplavy (indikátor DK7.1.3)** – zahŕňa opatrenia najmä ako prítomnosť zrážkovej kanalizácie na území MČ, protipovodňových zábran a lužných lesov.



Zrážková voda spôsobuje škody aj na kultúrnom dedičstve. Dvetisíc rokov starú hrnčiarску pec, ktorú tu zanechali Kelti (Apponyiho palác), dnes ohrozujú výdatné zrážky a vlhkosť. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Eva Streberová.

Záverečným výstupom pre **disponibilnú kapacitu budov** na intenzívne zrážky je kartogram nižšie. Predstavuje finálny výstup na základe priradenia významnosti (váhy) všetkým spomenutým indikátorom v kapitole 7.1.2. po ich agregácii a normalizácii (prevedeníu na stupnicu 0-1).

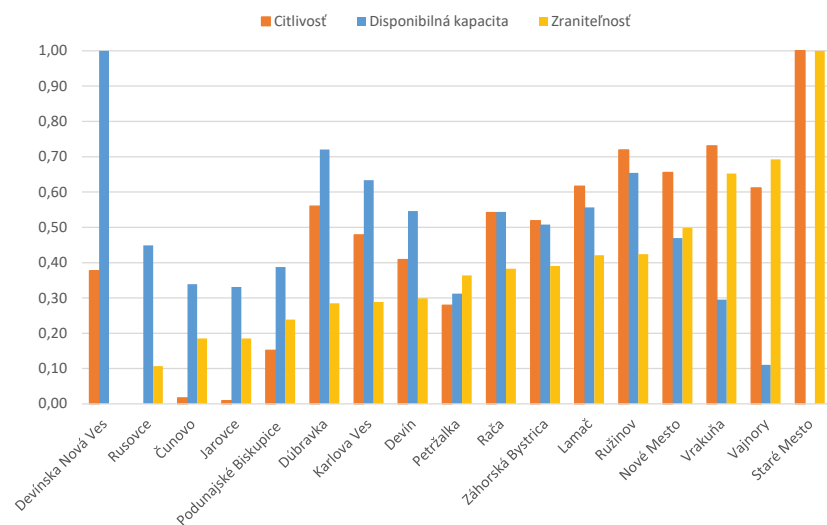




7.1.3. Zraniteľnosť

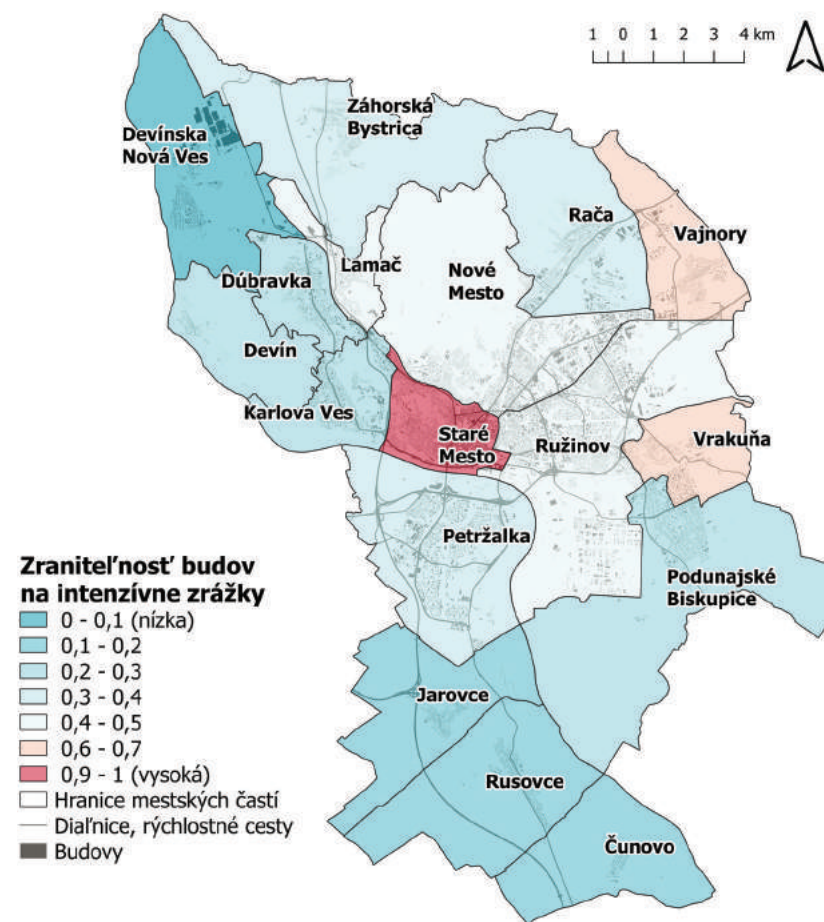
Vzhľadom k použítym indikátorom sú najviac zraniteľné mestské časti Bratislava-Staré Mesto, Vrakuňa a Vajnory. Výsledné hodnoty zraniteľnosti pre všetky mestské časti znázorňuje graf nižšie a sú premietnuté aj do kartogramu (vpravo).

Naopak najmenej zraniteľné sú mestské časti Bratislava-Devínska Nová Ves, Rusovce, Čunovo a Jarovce. Je nutné zdôrazniť, že pri chápaní hodnotenia zraniteľnosti je potrebné výsledky hodnotenia interpretovať vždy vo vzťahu k použitému súboru indikátorov a váh.



Obr. 22. Hodnotenie zraniteľnosti, ktoré predstavujú intenzívne zrážky pre budovy na základe postupu IVAVIA s použitím spomínaných indikátorov (0 = nízka, 1 = vysoká).

Obrázok nižšie zobrazuje vizualizáciu finálnych hodnôt pre **zraniteľnosť budov** na území jednotlivých mestských častí z hľadiska dopadu intenzívnych zrážok a s použitím spomínaných indikátorov.



7.2. Hodnotenie miery rizika ohrozenia budov intenzívnymi zrážkami

Pri stanovení **rizík**, ktoré predstavujú pre mesto prejavy zmeny klímy (jeho obyvateľstvo, budovy v rámci zastavaného územia či infraštruktúru) vstupujú do hodnotenia ďalšie premenné: **expozícia** a klimatická **hrozba** (v tomto prípade intenzívne zrážky).

7.2.1. Expozícia

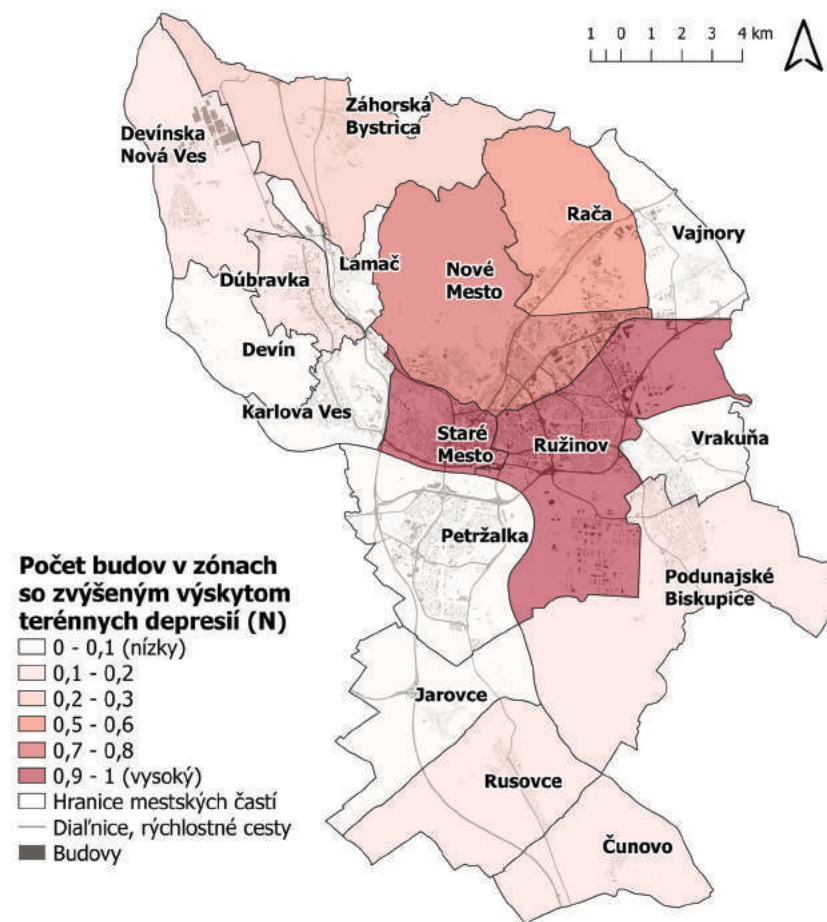
Expozícia vyjadruje mieru, do akej je daný systém vystavený nepriaznivému pôsobeniu prejavov zmeny klímy. Podobne, ako pri cestnej infraštruktúre, aj v prípade hodnotenia expozície budov voči intenzívnym zrážkam bolo potrebné modelovať v prostredí GIS mikropovodia na podklade výškového modelu povrchu územia HM SR Bratislavy a zamerať sa na najnižšie položené časti mikropovodí, kde sa bude zrážková voda zhromažďovať v dôsledku intenzívnej zrážkovej činnosti.

Do expozície budov boli zahrnuté nasledovné indikátory:

- ▶ **Počet budov v zónach so zvýšeným výskytom terénnych depresíí (indikátor E7.2.1)** – t.j. plôch so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí mikropovodí.
- ▶ **Počet budov v terénnych depresíách v najnižšie položených segmentoch mikropovodí (indikátor E7.2.2).**
- ▶ **Podiel plôch so zvýšeným výskytom terénnych depresíí mikropovodí k rozlohe MČ (indikátor E7.2.3)** - odvodený od digitálneho terénu povrchu na území HM SR Bratislavy.
- ▶ **Podiel rozlohy terénnych depresíí a kritických lokalít v zastavanom území k celkovej rozlohe MČ (indikátor E7.2.4)** – odvodený od digitálneho terénu povrchu na území HM SR Bratislavy.

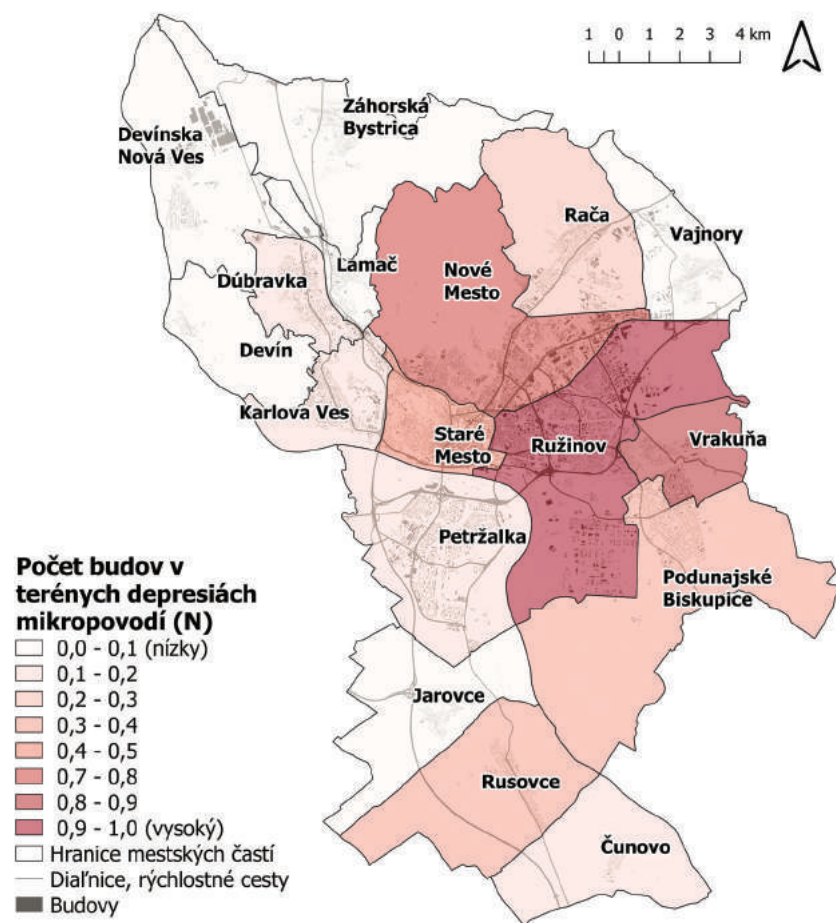
Indikátor E7.2.1

Počet budov v zónach so zvýšeným výskytom terénnych depresíí – t.j. plôch so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí mikropovodí, znázornený ako normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

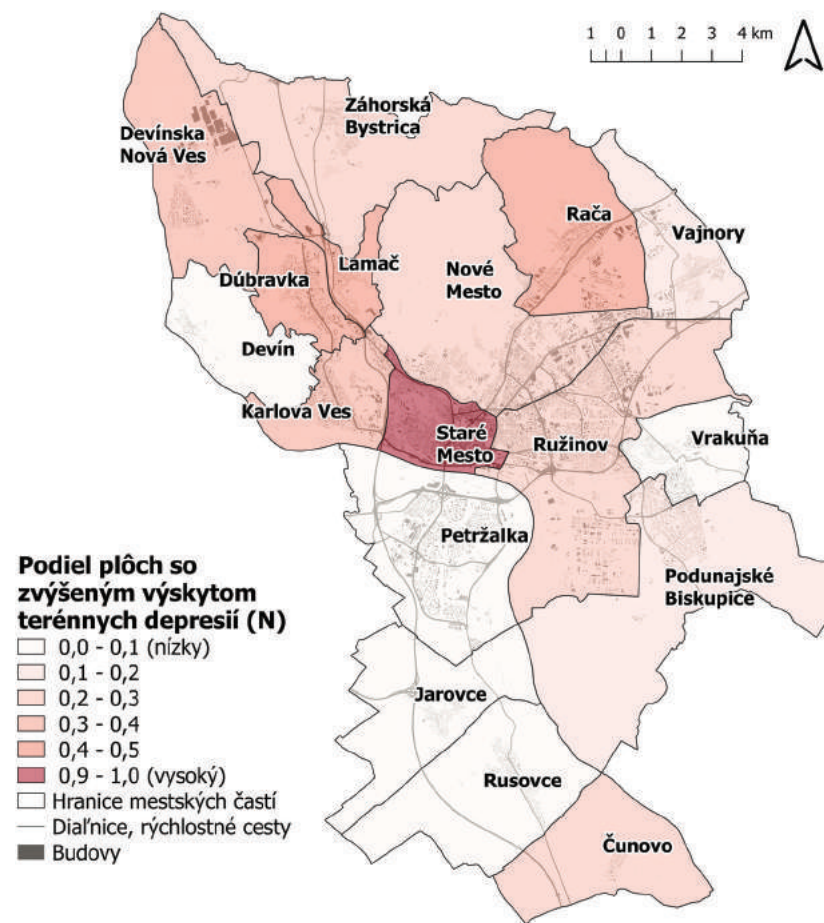


**Indikátor E7.2.2**

Počet budov v terénnych depresiách mikropovodí, znázornený na normalizovanej na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

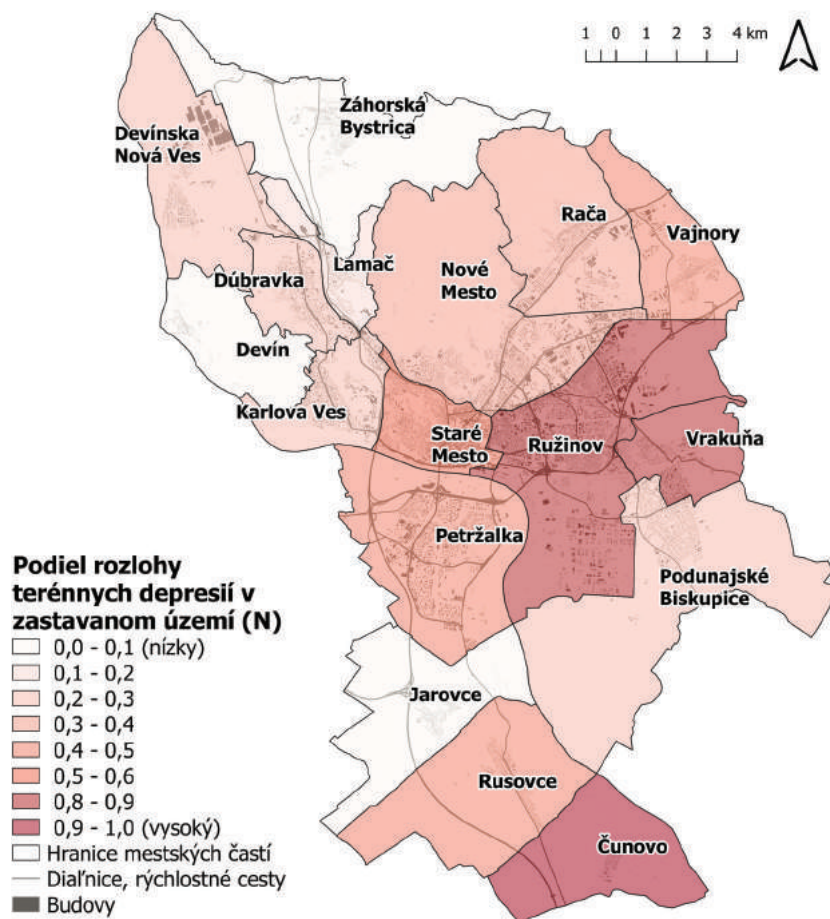
**Indikátor E7.2.3**

Podiel plôch so zvýšeným výskytom terénnych depresií mikropovodí k rozlohe MČ znázornený na normalizovanej na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).

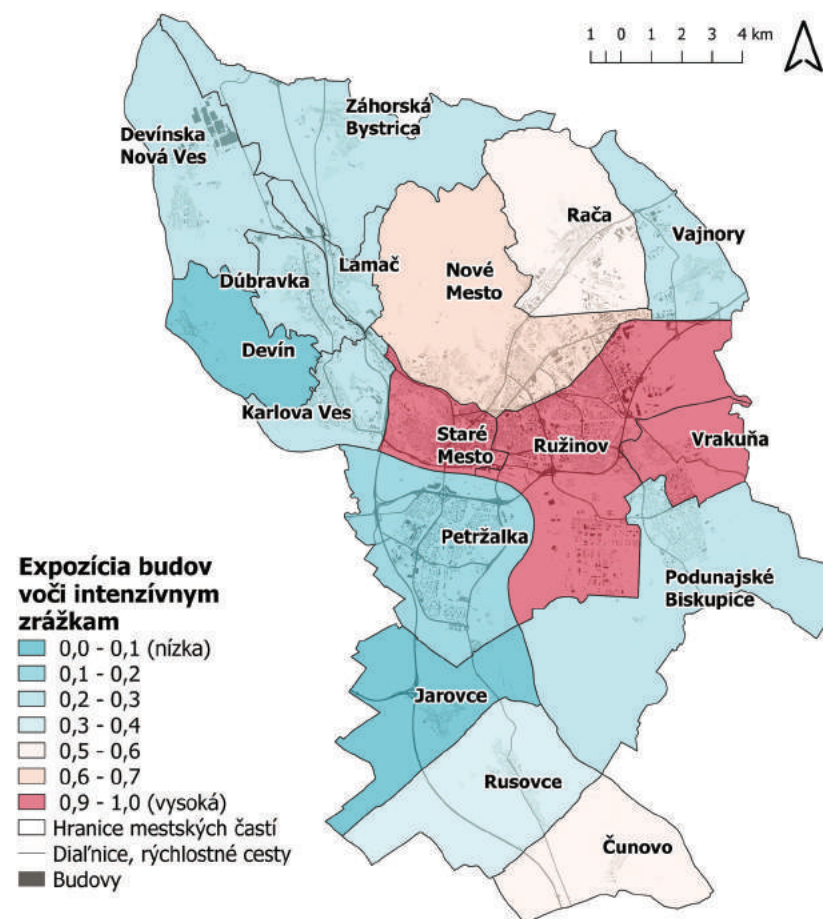


Indikátor E7.2.4

Podiel rozlohy terénnych depresí a kritických lokalít v zastavanom území k celkovej rozlohe MČ znázornený ako normalizovaný na stupnici 0-1 (kartogram nižšie).



Výsledné hodnoty **expozície budov**, nachádzajúcich sa na území jednotlivých katastrálnych území mestských častí z pohľadu dopadov intenzívnych zrážok znázorňuje kartogram nižšie. Najviac exponované sú budovy na území mestských častí Bratislava-Ružinov, Staré Mesto a Vrakuňa.

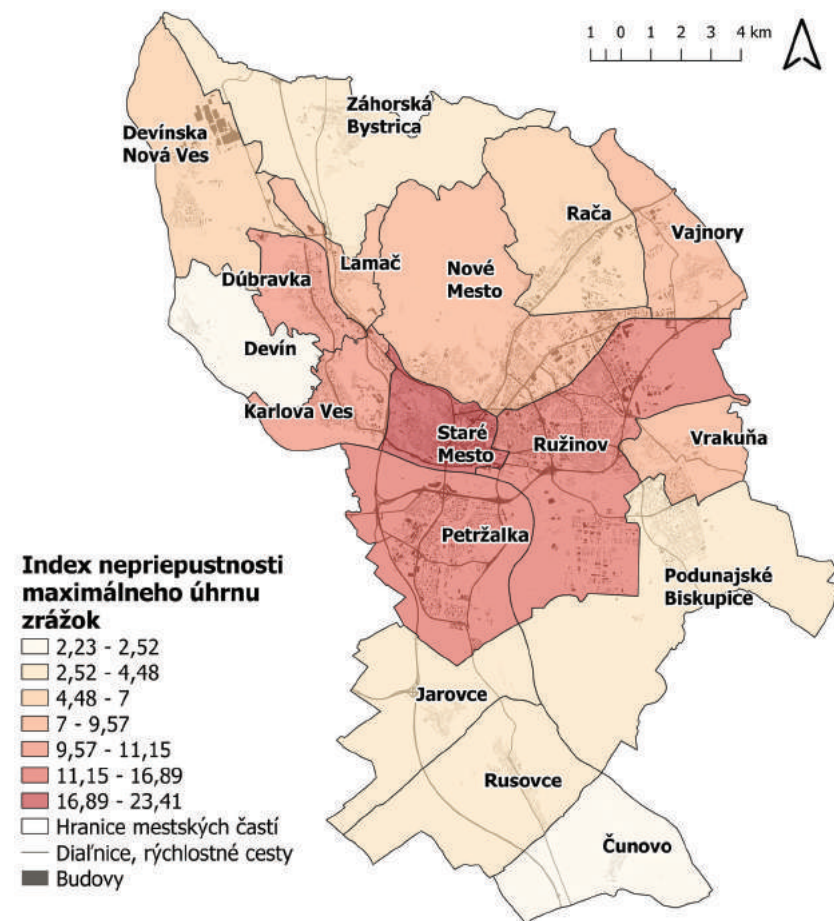




7.2.2. Hrozba

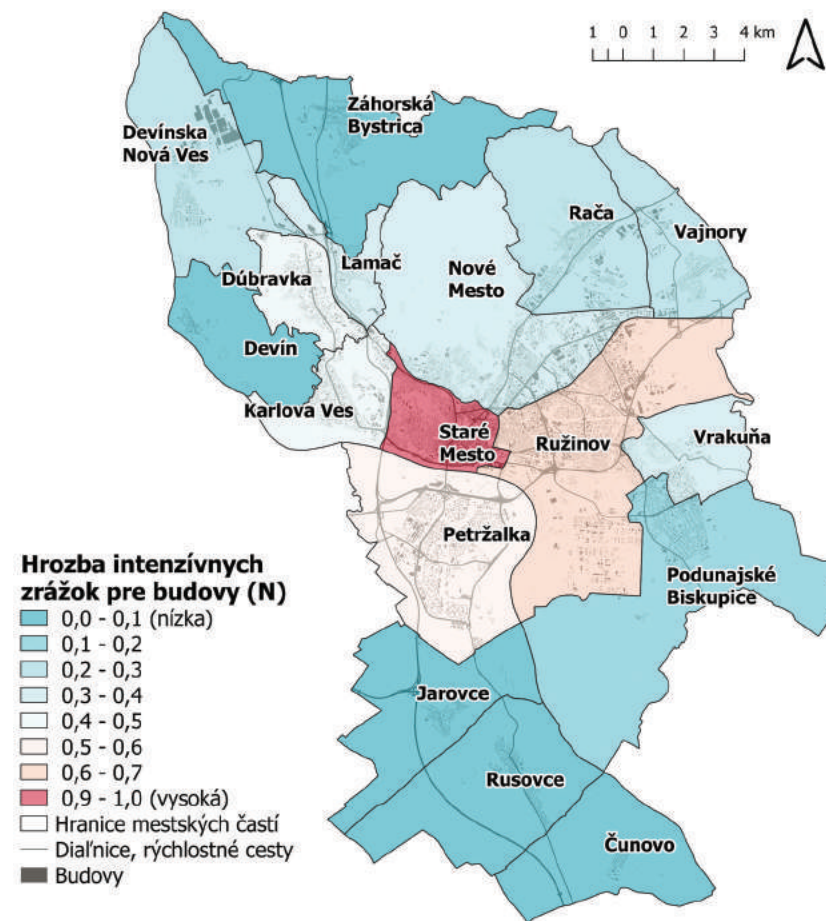
Indikátory pre hrozbu sú identické s indikátorom v kapitole 5.2.2. a 6.2.2., a to:

- **Index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok (indikátor H7)** – pomer medzi priemerným maximálnym úhrnom zrážok a podielom nepriepustným plôch. Indikátor je identický s hodnotením dopadov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo a cestnú infraštruktúru. Bol vytvorený vynásobením priemerného maximálneho 24h úhrnu zrážok za roky



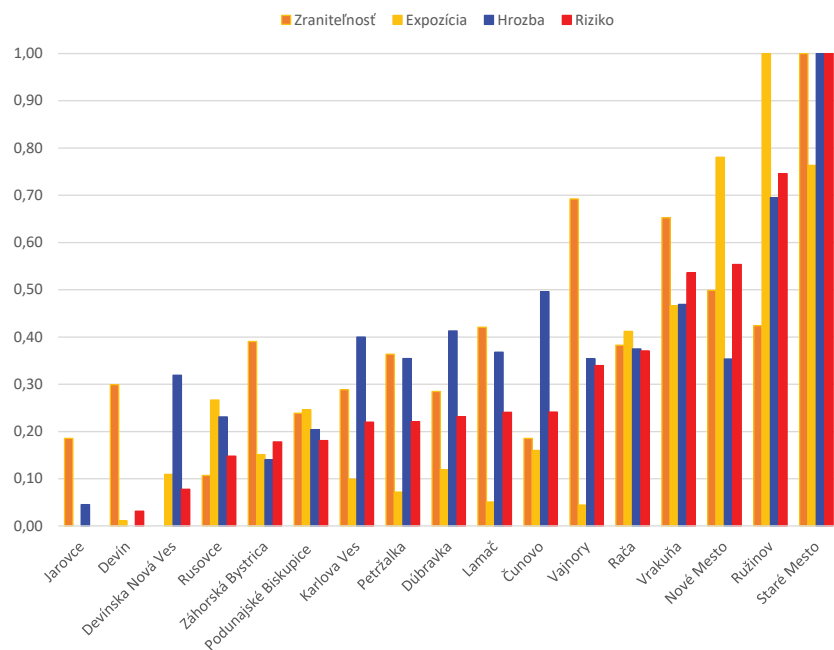
2011-2016 a podielom nepriepustných povrchov (na podklade katastrálnej mapy a spôsobu využitia pozemkov) k celkovej rozlohe územia mestských častí.

Kartogram nižšie vyjadruje **hrozbu**, ktorú predstavujú intenzívne zrážky pre budovy nachádzajúce sa na území jednotlivých mestských častí Bratislavy na základe použitých indikátorov. Najviac ohrozenými sú mestské časti Bratislava-Staré Mesto a Ružinov.



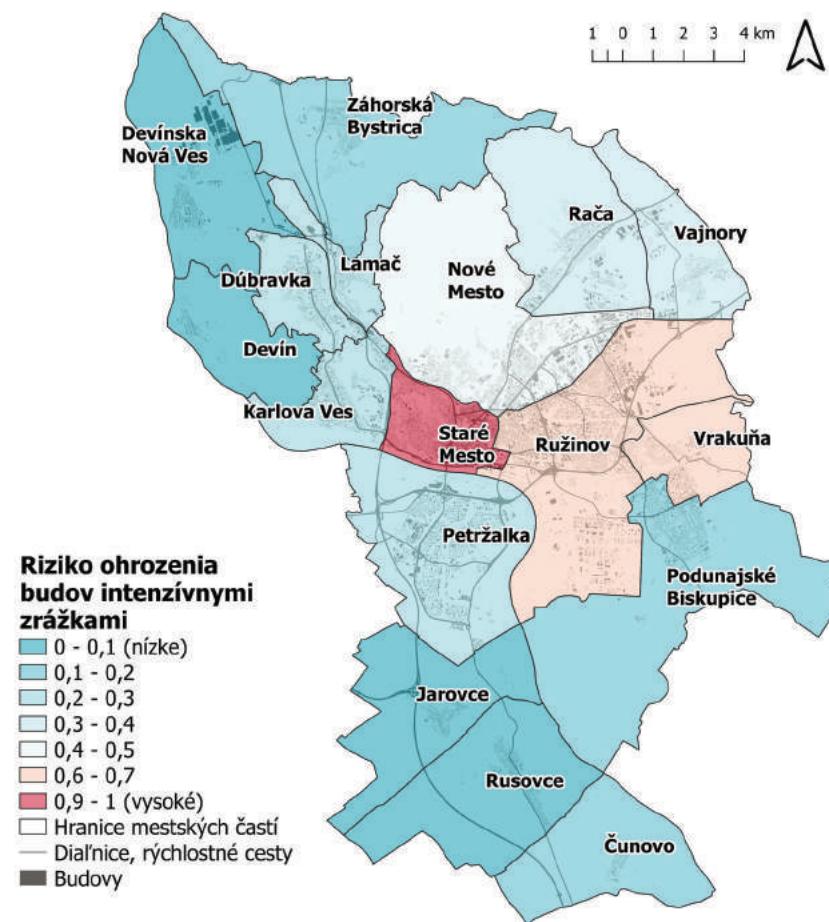
7.2.3. Riziko

Pre výpočet rizika sa brali do úvahy všetky indikátory pre expozíciu budov na hrozbu (intenzívne zrážky) uvedené na predošlých stranách. Taktiež sa do rizika započítava výsledná zraniteľnosť. Všetky hodnoty boli pred agregáciou normalizované na stupnicu 0-1. Výsledné hodnoty pre zraniteľnosť, expozíciu, hrozbu a riziko znázorňuje graf nižšie.



Obr. 23. Hodnotenie rizika, ktoré predstavujú intenzívne zrážky pre budovy na základe postupu IVAVIA s použitím spomínaných indikátorov (0 = nízke, 1 = vysoké).

Ako môžeme na grafe a kartograme (nižšie vpravo) vidieť, najväčšie **riziko** predstavujú intenzívne zrážky pre budovy nachádzajúce sa na území mestských častí Bratislava-Staré Mesto, Ružinov a Nové Mesto. Najmenej rizikové z tohto pohľadu sú budovy ležiace v katastrálnom území mestských častí Bratislava-Jarovce, Devín a Devínska Nová Ves.





7.2.4. Zhrnutie zraniteľnosti a miery rizika ohrozenia budov intenzívnymi zrážkami

Najväčšie riziko predstavujú intenzívne zrážky pre budovy nachádzajúce sa na území mestských častí **Bratislava-Staré Mesto, Ružinov a Vrakuňa**. Najmenej rizikové z tohto pohľadu sú budovy ležiace v katastrálnom území mestských častí Bratislava-Jarovce, Devín a Devínska Nová Ves.

Pri hodnotení dopadov intenzívnych zrážok na budovy na území hlavného mesta sme využili celkovo sedem indikátorov, z ktorých sa stanovovala zraniteľnosť budov na tento dôsledok zmeny klímy. V prvom rade to boli indikátory citlivosti budov z hľadiska ich polohy, ktoré charakterizovali podobne ako v predošlej kapitole rôznu výšku hladiny podzemnej vody, ale aj ďalšie faktory ako **hustota budov v jednotlivých mestských častiach a podiel zrážkových vôd odvedených z nepriepustných plôch** (zachytených kanalizačnou sieťou). Indikátory pre disponibilnú kapacitu budov voči intenzívnym zrážkam, sledovali najmä podiel priepustných plôch (s ohľadom na prevládajúci typ substrátu a zrnitosť pôdy), ale aj prítomnosť zrážkovej kanalizácie a ďalších adaptačných opatrení (retenčných nádrží a pod.) umiestnených strategicky na území mesta, rovnako, ako to bolo v predchádzajúcej kapitole.

Aj keď pri hodnotení citlivosti sa ako najviac citlivé javili mestské časti na severozápadnom území hlavného mesta (Bratislava-Devínska Nová Ves, Záhorská Bystrica, Lamač, Dúbravka a Ružinov a pod.), pre slabé hodnoty disponibilnej kapacity sa stali **najviac zraniteľnými práve mestské časti ako Bratislava-Staré Mesto, Záhorská Bystrica a Vajnory**.

Pre vyhodnotenie miery rizika je dôležité vhodne zvoliť indikátory pre expozíciu (vystavenie) skúmaného systému / objektu sledovanému dôsledku zmeny klímy

(intenzívnym zrážkam). Zvolené boli až štyri indikátory expozície, a to počet budov v tzv. zónach so zvýšeným výskytom terénnych depresíí a počet budov nachádzajúcich sa aspoň čiastočne v terénnych depresióch, podiel plôch so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí a podiel rozlohy terénnych depresíí a kritických lokalít v zastavanom území k celkovej rozlohe MČ. Najviac exponovanými mestskými časťami boli na základe použitých indikátorov **Bratislava-Ružinov, Staré mesto, a Vrakuňa**.

Miera ohrozenia obyvateľstva spolu s expozíciou sú určujúce pre mieru rizika, ktoré predstavujú intenzívne zrážky pre budovy na území hlavného mesta. Vzhľadom k množstvu nepriepustných plôch (ktoré vstúpilo do hodnotenia rizika ako indikátor hrozby – tzv. index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok) a expozícii, sa stali **z pohľadu dopadov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo najviac rizikovými** mestské časti **Bratislava-Staré mesto a Bratislava-Ružinov**.

Z hľadiska jednotlivých indikátorov by sme vyzdvihli ešte oblasti so zvýšenou koncentráciou terénnych depresíí, a to:

- ▶ **mestská časť Bratislava-Rača:** Krasňany, Rača (Stará Rača),
- ▶ **mestská časť Bratislava-Nové Mesto:** Nové Mesto, Pasienky, Slovany, Tehelné pole,
- ▶ **mestská časť Bratislava-Ružinov:** Starý Ružinov, Štrkovec, Trávniky, Mlynské nivy (čiastočne – východná časť), Pálenisko, Ružová Dolina,
- ▶ **mestská časť Bratislava-Staré Mesto:** mestská pamiatková rezervácia,
- ▶ **mestská časť Bratislava-Karlova Ves (čiastočne aj Nové Mesto):** Mlynská dolina (severná časť),
- ▶ **mestská časť Bratislava-Dúbravka:** Podvornice,
- ▶ **mestská časť Bratislava- Devínska Nová Ves:** sídlisko Stred.

Vzhľadom k týmto výsledkom a použitým indikátorom, **je možné zvrátiť nepriaznivú situáciu, týkajúcu sa zraniteľnosti tak, že mesto a mestské časti budú strategicky implementovať adaptačné opatrenia orientované na prevenciu zaplavenia z povrchového odtoku v dôsledku intenzívnych zrážok** (najmä tvorbou retenčných nádrží, suchých poldrov, inštaláciou rôznych systémov na udržateľné hospodárenie so zrážkovou vodou), **zvyšovať podiel vodepriepustných plôch** – a to najmä v oblastiach s **vysokou koncentráciou nepriepustných plôch (a materiálov)** a s **výskytom terénnych depresíí**. Pri plánovaní zastaviteľného územia je preto vhodné vziať do úvahy aspekty o danej lokalite ako:

- ▶ morfológia terénu,
- ▶ znalosť prirodzených recipientov v území,
- ▶ miera zastavania terénu nepriepustnými plochami,
- ▶ stav hladiny podzemných vôd,
- ▶ zloženie pôd a priepustnosť podlažia,
- ▶ prítomnosť a kapacita zrážkovej/zmiešanej kanalizácie,
- ▶ lokalizácia vpuštov a ich stav.

Viac informácií o vhodných adaptačných opatreniach pre jednotlivé sektory sú vedené v **Akčnom pláne adaptácie na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy** alebo v **eKnížnici adaptačných opatrení**.



Na novovybudovaných električkových tratiach v Karlovej Vsi je umiestnený vegetačný zvršok, ktorý bude napomáhať k zníženiu celkového prehrievania povrchov na Karloveskej radiále v letných mesiacoch. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Eva Streberová.

8. PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA - Využitie Atlasu pre účely posúdenia lokality vplyvov nepriaznivých prejavov zmeny klímy na príklade spracovania urbanistickej štúdie Rozvojová os Petržalky

„Urbanistická štúdia – Riešenie centrálnej rozvojovej osi Petržalky“ sa zaoberá prehodnotením rozvoja územia pozdĺž severojužnej osi okolo Chorvátskeho ramena v mestskej časti Bratislava-Petržalka. Hlavné ciele riešenia urbanistickej štúdie sú nasledovné:

- ▶ prehodnotiť územný plán mesta z roku 2007 v riešenom území v znení zmien a doplnkov a v zmysle navrhovanej koncepcie rozvoja územia navrhnuť jeho zmeny a doplnky, pripraviť podklad pre reguláciu zástavby územia - územné plány zón (ÚPN-Z),
- ▶ podporiť prírodný charakter priestoru okolo Chorvátskeho ramena ako regionálneho biokoridoru a formovať ho ako lineárny park („zelená línia“ prepojení parkových a krajinárskych úprav s pozdĺžnymi a priečnymi zelenými koridormi), pričom je nevyhnutné zohľadniť jeho väzby na okolitú mestskú krajinu a súvislosti s prvkami ekologickej stability čo má pozitívny prínos aj z hľadiska adaptácie na zmenu klímy,
- ▶ navrhnuť urbanistickú koncepciu územia centrálnej osi Petržalky rozvíjajúcu súčasný potenciál územia s dôrazom na tvorbu multifunkčného mestského prostredia s výrazným doplnením občianskej vybavenosti mestského a nadmestského významu,
- ▶ navrhnuť koncepciu dlhodobu udržateľnej mobility s dôrazom na pešiu a cyklistickú dopravu v prepojení na MHD, eliminovať paralelné pozdĺžne prepojenie dopravnej komunikácie s električkou v zmysle platného ÚP mesta a dopracovanie priečných prepojení,
- ▶ navrhnuť koncepciu verejných priestorov urbánneho a prírodného charakteru odvíjajúcich sa okolo uzlov MHD a prírodného koridoru Chorvátskeho ramena ako významného prírodného prvku Petržalky, a definovať nezastavaný priestor.

Riešené územie má lineárny tvar na severe ohraničený ul. Bosákova a na juhu železničnou traťou. Pozdĺžne hranice územia sú vymedzené prevažne obalovou štruktúrou panelových domov. Dĺžka riešeného územia je cca 4260m (4,26 km), priemerná šírka 350 m (0,35 km). Celkovo má toto územie rozlohu 161,69 ha (cca 1,62 km²) (viď obrázok 24.).



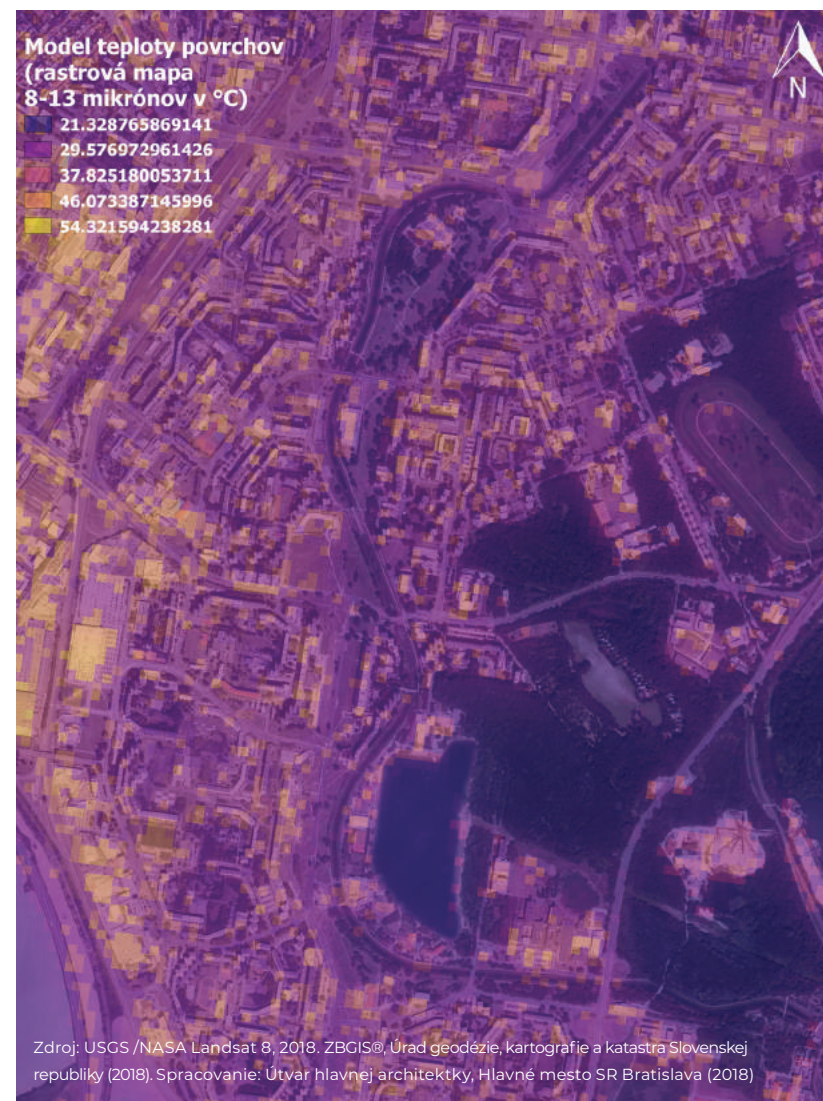
Obr. 24. Poloha riešeného územia – centrálnej rozvojovej osi Petržalky.
Foto: www.participacia-petrzalka.bratislava.sk

Pre účely posúdenia lokality z hľadiska vplyvov vln horúčav a intenzívnych zrážok na obyvateľstvo, prostredie a infraštruktúru nachádzajúcu sa v blízkosti Chorvátskeho ramena sme preto využili niektoré tematické mapy z Atlasu ako aj výsledky z hodnotenia zraniteľnosti, expozície a miery rizika, ktorému je mestská časť Bratislava-Petržalka vystavená v súvislosti s týmito prejavmi zmeny klímy.

8.1. Všeobecná charakteristika mestskej časti Petržalka z pohľadu vplyvov extrémnych horúčav na obyvateľstvo

Na základe indikátorov z kapitoly č.4, ktorá sa venuje horúčavam, je zrejmé, že v tejto mestskej časti sa nachádza pomerne vysoký počet lôžok nemocničných a sociálnych zariadení. Obyvateľov, ktorých zdravotný stav je natoľko vážny, že musia byť v týchto zariadeniach, radíme medzi zraniteľnú časť populácie. Ďalší poznatok, ktorý nám robí mestskú časť Petržalka druhou najzraniteľnejšou mestskou časťou v Bratislave je, že sa v nej nachádza vysoký podiel plôch s mierne teplými a teplými povrchmi, pričom je značne vysoký aj podiel budov v ostrovoch teplých plôch v porovnaní s inými mestskými časťami.

Na druhej strane pozitíva, vďaka ktorým sa obyvateľom v Petržalke ulaví od letných teplotných extrémov sú práve pomerne veľké plochy so stromovou vegetáciou a vodné plochy (štrkoviská). Tento fakt zohľadňuje indikátor „dostupnosť tzv. ostrovov chladných povrchov“ (dostupnosťou sa myslí počet budov vo vzdialenosti do 300 m od chladných povrchov) a podiel veľmi chladných plôch. Tieto územia nájdeme v Petržalke najmä v jej severnej a východnej časti- Sú tvorené lužnými lesmi a čiastočne aj riekou Dunaj, ako aj spomínanými štrkoviskami s okolitou stromovou vegetáciou. V celkovom hodnotení miery rizika, ktorú horúčavy predstavujú pre obyvateľov, je MČ Bratislava-Petržalka na treťom mieste (za Starým Mestom a Ružinovom).



Obr. 25. Vyhodnotenie teplôt povrchov s využitím multispektrálnej satelitnej snímky z programu NASA Landsat 8 v rozlíšení 30 m x 30 m z dňa 12.8.2018.

8.2. Teplota povrchov v okolí Chorvátskeho ramena

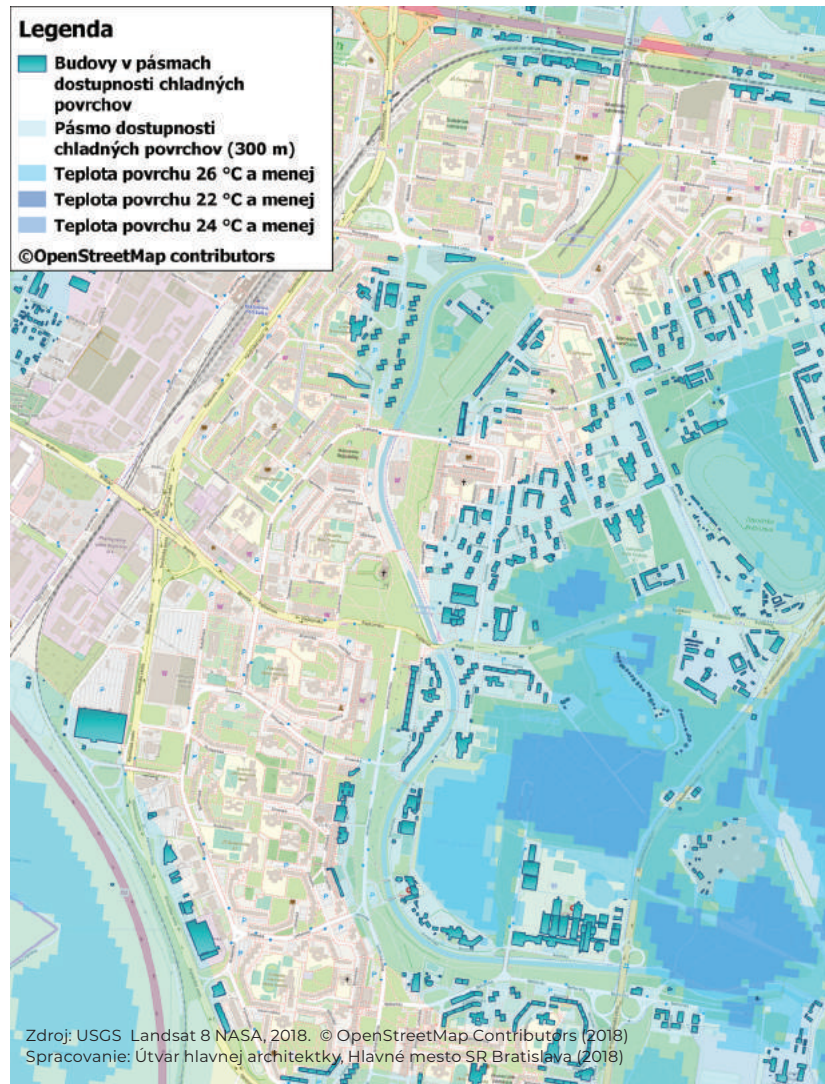
Multispektrálne satelitné snímky nám dokážu poskytnúť množstvo informácií a sú voľne dostupné – napríklad snímky Landsat 8 alebo Sentinel. Vďaka nim vieme analyzovať druh krajinej pokrývky a v ďalších krokoch im priradiť hodnoty emisivity na základe prevládajúcich materiálov, a tak určiť aj priemernú teplotu povrchov v rôznom rozlíšení (napr. 30 m x 30 m). Ako je možné vidieť na obrázku č. 26, prehriate oblasti sú tvorené priestormi a budovami určenými na skladovanie, logistiku a služby s prídruženými spevnenými plochami, či nákupnými centrami najmä v miestnej časti Kopčany a Stará Petržalka, a potom aj výstaviskom Incheba a nákupným centrom Aupark s príslušnými parkovacími plochami. Satelitná snímka, ktorú sme použili bola zo dňa 12.8.2018, ktorému predchádzala niekoľko dňová vlna horúčav. V čase vzniku snímky (10:38 hod) sa priemerná teplota vzduchu na území Bratislavy pohybovala v rozmedzí 24-28 °C. Vďaka tejto snímke vieme, že Chorvátske rameno a jeho okolie je koridorom mierneho až chladného vzduchu, a to najmä v porovnaní s okolím, ktoré tvoria budovy (obytné domy), spevnené plochy a cestná infraštruktúra. Tieto objekty väčšinu žiarenia pohlcujú a teplo následne ešte pomaly uvoľňujú.

Významné ochladenie v Petržalke poskytujú skôr husté porasty v okolí štrkovísk alebo dostihovej dráhy. resp. samotné štrkoviská. Inak povedané, naozaj chladné ostrovy sú tvorené stromovou vegetáciou alebo vodnými plochami rádovo väčšími, čo sa týka rozlohy, ako je Chorvátske rameno. Drobné ostrovčeky tvorené niekoľkými stromami preto pri vlnách horúčav nemajú až taký chladiaci efekt, akoby sa mohlo zdať, nehovoriac o prehriatych a vysušených trávnatých plochách, ktoré sa bez zavlažovania ľahko presušia a strácajú schopnosť ochladzovať evapotranspiráciou. Má však potenciál, stať sa naozaj „oázou“ chladného vzduchu, ak sa pretvorí na lineárny park s významnou ekosystémovou službou - adaptáciou mestského prostredia na dôsledky zmeny klímy - extrémne horúčavy, intenzívne zrážky a suchá. Už dnes je však Chorvátske rameno pre obyvateľov žijúcich v okolí tejto rozvojovej osi významnou mikroklimatickou oblasťou, a je v kontraste s „vyhriatymi plochami“ z okolia Kopčian a Starej Petržalky, či z okolia Einsteinovej ulice.



Obr. 26. Znázornenie ostrovov teplých a chladných povrchov s využitím multispektrálnej satelitnej snímky z programu NASA Landsat 8 v rozlíšení 30 m x 30 m z dňa 12.8.2018.

8.3. Všeobecná charakteristika mestskej časti Petržalka z pohľadu vplyvov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo, budovy a cestnú infraštruktúru



Obr. 27. Budovy v pásme dostupnosti ostrovov chladných povrchov (300 m široké pásmo).
Odvodené od zhodnotenia teploty povrchov s využitím satelitnej snímky.

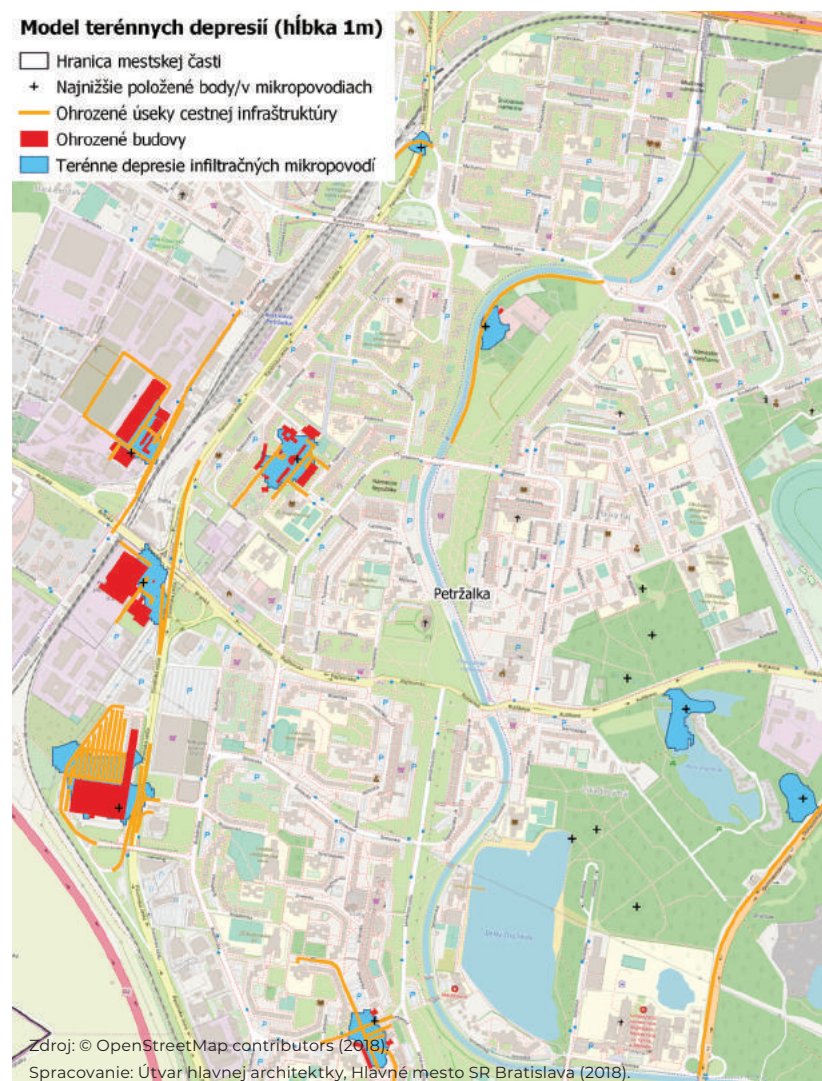
Atlas sa nevenuje len otázke horúčav, ale skúma aj zraniteľnosť budov a cestnej infraštruktúry voči intenzívnym zrážkam. Pod intenzívnymi zrážkami sa myslia zrážky, ktoré trvajú približne polhodinu a sú výdatne na množstvo zrážkovej vody. Často sa však stáva, že naše územie hlavného mesta postihne niekoľko za sebou výdatných búrok. Napríklad v lete v roku 2018 spadlo v priebehu 24 hodín aj 80 mm zrážok. Počas hustých „lejakov“, ktoré trvajú len niekoľko desiatok minút sa stávajú kritickými práve tie lokality, ktoré sú v zníženinách – terénnych depresiách a sú tvorené prevažne nepriepustnými povrchmi. V prípade intenzívnych zrážok žiaľ často nestačí ani kapacita zrážkovej kanalizácie, resp. zmiešanej kanalizácie. Aj preto sme sa v Atlase zamerali práve na identifikáciu takýchto terénnych depresí o hĺbke 1 metra, a následne sme identifikovali budovy a úseky ciest, ktoré sa v nich nachádzali ako potenciálne ohrozené.

Pri hodnotení zraniteľnosti obyvateľstva jednotlivých mestských častí voči intenzívnym zrážkam sme vychádzali najmä z podielu obyvateľstva, podielu priepustných, polopriepustných a nepriepustných plôch ako aj z prítomnosti rôznych adaptačných opatrení na území mestských častí. Z tohto hodnotenia vyšla mestská časť Bratislava-Petržalka ako mestská časť so stredne vysokou mierou zraniteľnosti, t.j. približne rovnako ako mestské časti Bratislava-Devín, Dúbravka, či Lamač.

Napriek relatívne vysokej hustote budov a cestnej infraštruktúry v území MČ Bratislava-Petržalka, nepatrí mestská časť k najrizikovejším mestským častiam v rámci Bratislavy. Je to hlavne pre nízky počet a malú rozlohu terénnych depresí v zastavanom území, ktoré sme identifikovali ako rizikové územia z hľadiska vzniku záplav z povrchového odtoku (viď obr. 28).

V prípade Chorvátskeho ramena je zrejmé, že v území máme recipienta zrážkovej vody – tzn. prirodzené miesto, kam môže zrážková voda odtekať alebo vsakovať. Ako rizikové je možno označiť lokality v oblasti Kopčany a Stará Petržalka (napr. nákupné centrá) - vid' obr. 28. Preto v iných územiach, ktoré sú rovinaté, alebo sú tvorené terénnymi depresiami, je nutné vziať v úvahu nasledovné kritériá pri plánovaní zastavania územia:

- ▶ morfológia terénu,
- ▶ znalosť prirodzených recipientov v území,
- ▶ miera zastavania terénu nepriepustnými plochami,
- ▶ stav hladiny podzemných vôd,
- ▶ zloženie pôd a priepustnosť podložia,
- ▶ prítomnosť a kapacita zrážkovej/zmiešanej kanalizácie,
- ▶ lokalizácia vpustov a ich stav.



Obr. 28. Model potenciálneho rizika záplav z povrchového odtoku pre budovy a cestnú infraštruktúru v záujmovom území a jeho širšom okolí.



Voda má v mestskom prostredí pre zmierňovaní dopadov zmeny klímy obrovský význam. Tým že sa odparuje a jej hladina odráža slnečné žiarenie, ochladzuje okolité prostredie. Prírodná zeleň, vodné plochy a toky pri správnej starostlivosti podporujú aj mestskú biodiverzitu. Foto: © Metropolitný inštitút Bratislavy – Zora Paulíniová.

9. Použitá literatúra

BMZ, 2014. The vulnerability sourcebook. Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn, Germany, 2014. Dostupné na: https://gc21.giz.de/ibt/var/app/wp342deP/1443/wp-content/uploads/filebase/va/vulnerability-guides-manuals-reports/Vulnerability_Sourcebook_-_Guidelines_for_Assessments_-_GIZ_2014.pdf.

Campbell, J. B. (1996): Introduction to Remote Sensing. Taylor & Francis, London, 622 s.

Dobrovolný, P. (1998). Dálkový průzkum Země: digitální zpracování obrazu. Brno: Masarykova univerzita, 208 s.

Európska komisia, 2015. Dohovore primátorov a starostov o klíme energetike, Európska komisia (Dostupné na <www.eumayors.eu>).

Erich Rome, Manfred Bogen, Daniel Lücknerath, Oliver Ullrich, Hans Voss, Norman Voß, Rainer Worst. IVAVIA Guideline, 2018. Impact and Vulnerability Analysis of Vital Infrastructures and built-up Areas. Dostupné na <http://www.resin-cities.eu/resources/tools/ivavia/>.

Feranec, J., Oľahel, J. (2001). Krajinná pokrývka Slovenska. Bratislava. Veda.

IPCC, 2012. Glossary of terms. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)].

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ([Core writing team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC Geneva, Switzerland, 151 pp.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. (1994): Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 750 s.

Lobaccaro G., Acero J. A. (2014). Comparative analysis of green actions to improve outdoor thermal comfort inside typical urban street canyons. Urban Climate. 14, 251-274.

Oke, T. R. (1997): Urban climates and global environmental change. In: Thompson, R. D., Perry, A. eds.: Applied Climatology. Principles & Practices. Routledge, London, New York, s. 273-287.

Pauditšová E., Boor B., Streberová, E. 2018: Verifikácia efektu adaptačných opatrení prostredníctvom termovízneho snímkovania (prípadová štúdia Bratislava, Slovensko), Acta Environ. Univ. Comeniana. (v tlači).

Perini K. & Magliocco A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. Urban Forestry and Urban Greening. 13, 495-506.

Souch C, Grimmond S (2006) Applied climatology: urban climate. Prog Phys Geogr 30:270-279

Sproul J., Wan M. P., Mandel B. H. & Rosenfeld A. H. (2013). Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States, Energy and Buildings 71, 2014: 20-2.

Slovenský hydrometeorologický ústav, 2016. Správa o kvalite ovzdušia a podiele jednotlivých zdrojov na jeho znečistení v Slovenskej republike. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Bratislava, 2016. Dostupné na: http://www.shmu.sk/File/oko/rocnky/SHMU_Sprava_o_kvalite_ovzdušia_SR_2015.pdf.

Synnefa A., Dandou A., Santamouris M., Tombrou M. & Soulakellis N. (2008). On the Use of Cool Materials as a Heat Island Mitigation Strategy. *Jourl of applied meteorology and climatology*, Volume 47, 11 p.

Sobrino, J., Oltra-Carrió, J., Jimenez-Munoz, C. (2012). Emissivity mapping over urban areas using a classification-based approach: Application to the Dual-use European Security IR Experiment (DESIREX). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18(1):141-147. DOI: 10.1016/j.jag.2012.01.022

Slovenský hydrometeorologický ústav (2019) Správa o kvalite ovzdušia v Slovenskej republike. [online]. Bratislava : Slovenský hydrometeorologický ústav, Sept. 2019. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/File/oko/roccenyk/SHMU_Sprava_o_kvalite_ovzdušia_SR_2018_v3.pdf>.

Šťastník, S., Hollan, Steuer, R. 2010. Možnosti určení emisivity materiáľů pomocí infračervenej termografie [online] *Vysoké Učení Technické v Brne*. Dostupné online: <http://amper.ped.muni.cz/jenik/LW-infrared/omitky06.pdf> (Cit: 10-1-2019).

ŠÚ SR (2013) Štatistická ročenka hlavného mesta SR Bratislavy 2013. [online]. Bratislava : Štatistický úrad Slovenskej republiky, Dec. 2013. Dostupné na internete: <<https://sekarl.euba.sk/arl-eu/sk/csg/?repo=eurepo&key=78896538279>>. ISBN 978-80-8121-298-7. 2014.

ŠÚ SR (2014) Štatistická ročenka hlavného mesta SR Bratislavy 2014. [online]. Bratislava : Štatistický úrad Slovenskej republiky, Dec. 2014. Dostupné na internete: <<https://sekarl.euba.sk/arl-eu/sk/csg/?repo=eurepo&key=44550085367>>. ISBN 978-80-8121-366-3.

ŠÚ SR (2015) Štatistická ročenka hlavného mesta SR Bratislavy 2015. [online]. Bratislava : Štatistický úrad Slovenskej republiky, Dec. 2015. Dostupné na internete: <<https://slovak.statistics.sk/PortalTraffic/fileServlet?Dokument=-c5a8d3d3-60e4-4ec1-8368-4211adad611b>>. ISBN 978-80-8121-455-4

ŠÚ SR (2016) Štatistická ročenka hlavného mesta SR Bratislavy 2016. [online]. Bratislava : Štatistický úrad Slovenskej republiky, Dec. 2016. Dostupné na internete: <<https://slovak.statistics.sk/PortalTraffic/fileServlet?Dokument=b59c02b3-84b9-42a3-bfb8-8c7183144967>>. ISBN 978-80-8121-534-6.

ŠÚ SR (2017) Štatistická ročenka hlavného mesta SR Bratislavy 2017. [online]. Bratislava : Štatistický úrad Slovenskej republiky, Dec. 2017. Dostupné na internete: <<https://slovak.statistics.sk/PortalTraffic/fileServlet?Dokument=9893868f-f292-48d6-a176-aecd6920ecc5>>. ISBN 978-80-8121-612-1.

ŠÚ SR (2018) Štatistická ročenka hlavného mesta SR Bratislavy 2018. [online]. Bratislava : Štatistický úrad Slovenskej republiky, Dec. 2018. Dostupné na internete: <<https://slovak.statistics.sk/PortalTraffic/fileServlet?Dokument=faedd1a3-924b-41d5-b54c-a2a9a8dfbb6c>>. ISBN 978-80-8121-680-0.

Webové stránky, online databázy, WMS služby a i.:

Informačný systém katastra nehnuteľností, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (2018): Vektorová katastrálna mapa hl. mesta SR Bratislavy.

Odvádzanie zrážkových vôd zo svahov Malých Karpát – štúdia. Geografický informačný systém. (2016). Magistrát hlavného mesta SR Bratislava. Objednávateľ: Hydrocorp, s.r.o. Zhotoviteľ: AUREX s.r.o.

Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky: mapový podklad – ortofotomapa (WMS). Dostupné na: <https://www.geoportalsk/sk/sk/sluzby/mapove-sluzby/wms/wms-zbgis.html>

USGS High Resolution Spectral Library. Dostupné na: <https://www.usgs.gov/labs/spec-lab/capabilities/spectral-library>

Príloha 1. Vyhodnotenie teploty povrchov na území hlavného mesta SR Bratislavy s využitím riadenej klasifikácie krajinej pokrývky z multispektrálnych satelitných snímok

Cieľom vyhodnotenia bolo získať reprezentatívnu klasifikáciu krajinej pokrývky a interpretovať ju vo vzťahu k emitovanej tepelnej energii jednotlivých objektov, ktoré sú súčasťou krajinej pokrývky. Inými slovami, zistiť, ktoré povrchy a oblasti územia hlavného mesta sú prehrievané a ktoré sú naopak chladné.

Pre analýzu sme zvolili satelitné snímky satelitu z programu USGS/NASA Landsat 8, ktorý je postavený na multispektrálnych satelitoch vyvíjaných v rámci programu USGS a NASA (National Aeronautics and Space Administration of USA) od približne 70tych rokov minulého storočia. Tento druh satelitov je veľmi vhodný pre environmentálny výskum, pod ktorý spadá čiastočne aj problematika zmeny klímy.

1.1. Výber vhodnej satelitnej snímky pre hodnotenie teploty povrchov

Krajinná pokrývka predstavuje zhmotnený priemet prírodných priestorových daností (morfopolohových a bioenergetických), a zároveň súčasného využívania krajiny, t.j. spoločnosťou, resp. človekom pretvorenej (kultivovaných objektov) alebo vytvorenej (umelých objektov) krajiny. Krajinnú pokrývku možno preto chápať aj ako deskripciu - opis objektov zemského povrchu (napr. tráva, stromy, skaly, budovy, voda a pod.)“ (Feranec, Oťahel, 2001). Pre získanie reprezentatívnych indikátorov do hodnotenia zraniteľnosti obyvateľstva a rizík spojených s extrémnymi horúčavami nás preto zaujímala teplota povrchu – krajinej pokrývky na území hlavného mesta SR Bratislavy.

Výber vhodných satelitných snímok sa riadil kritériami: aktuálnosť, nízka oblačnosť, a aby priemerná najvyššia denná teplota vzduchu bola nad 25°C. Na základe stanovených kritérií sa výber snímok zúžil na letné mesiace rokov 2017-2018. Z nich najaktuálnejšia snímka s dostatočne nízkou oblačnosťou, ktorá nepokrývala nami sledované územie hlavného mesta bola v snímka LC08_L1TP_189027_20180812_20180815_01_T1_2018-08-12 zo satelitu OLI/

Landsat-8. Deň, kedy vznikla táto snímka (12.8.2019, 10:38 CET) nasledoval po vlně horúčav, ktorá trvala od 29.7. do 10.8. kedy najvyššia denná teplota neklesla pod hranicu 35°C na území mesta. V deň, z ktorého pochádza daná satelitná snímka, bola nameraná najvyššia priemerná denná teplota vzduchu na území HM SR Bratislavy 29°C.

1.2 Riadená klasifikácia multispektrálnej satelitnej snímky v prostredí QGIS

Jednotlivé pásma vybranej satelitnej snímky boli spracovávané pomocou nástroja na riadenú klasifikáciu SCP Plugin (Semi-automated classification plugin) v prostredí QGIS 3.X, čo je open source nástroj s primárnym využitím v oblasti diaľkového prieskumu Zeme (DPZ) – konkrétne umožňuje riadenú klasifikáciu, automatizované získavanie satelitných snímok a ponúka ďalšie nástroje pre ich úpravu pred spracovaním a po spracovaní. Pomocou SCP plugin, ako voliteľného rozšírenia programu QGIS, sme pre ďalšiu analýzu použili vybrané pásma prístrojov OLI (Operational Land Imager) a TIRS (Thermal Infrared Sensor) satelitu Landsat-8, a to konkrétne pásma 2,3,4,5,6,7 a 10 v rozlíšení 30m x 30m (vid tabuľka 1). Po atmosferickej korekcii snímok funkciou DOS-1 bolo ďalším krokom vytvorenie makrotried pre klasifikáciu krajinej pokrývky, vytvorenie tzv. trénovacích polygónov a následne **klasifikácia krajinej pokrývky (land-cover)**. Pre vytvorenie klasifikácie bol použitý algoritmus „*Maximum Likelihood Classifier (MLC)*“ - klasifikátor maximálnej pravdepodobnosti, ktorý vychádza z predpokladu, že zhluky pixelov v tzv. trénovacích množinách (polygónoch) majú normálne rozdelenie (pričom kvantitatívne hodnotí hodnoty rozptylu, koreláciu a kovarianciu každej triedy pri zaradovaní neznámeho pixelu) (Lillesand a Kiefer 1994, Campbell 1996, Dobrovolný, 1998).

1.3 Výpočet emisivity a teploty povrchu krajinej pokrývky

Po klasifikácii sme pristúpili k reklasifikácii makrotried na základe odporúčaných hodnôt emisivity pre jednotlivé typy krajinej pokrývky charakterizujúce nami zvolené makrotriedy. Emisivita vyjadruje relatívnu schopnosť plochy vyžarovať infračervené žiarenie odpovedajúce jeho teplote, pričom závisí na charaktere povrchu (resp. na materiáli z ktorého pozostáva) (Šťastník et al., 2010). Jej interval je stanovený na 0-1, pričom emisivita tzv. čierneho telesa sa rovná 1. Aj preto emisivita vodných plôch a lesov je takmer blízka hodnote 1. Pri pridelení hodnôt emisivity jednotlivým makrotriedam sme vychádzali z dostupných literárnych zdrojov (Sobrino et al., 2012) a Spektrálnej knižnice USGS.

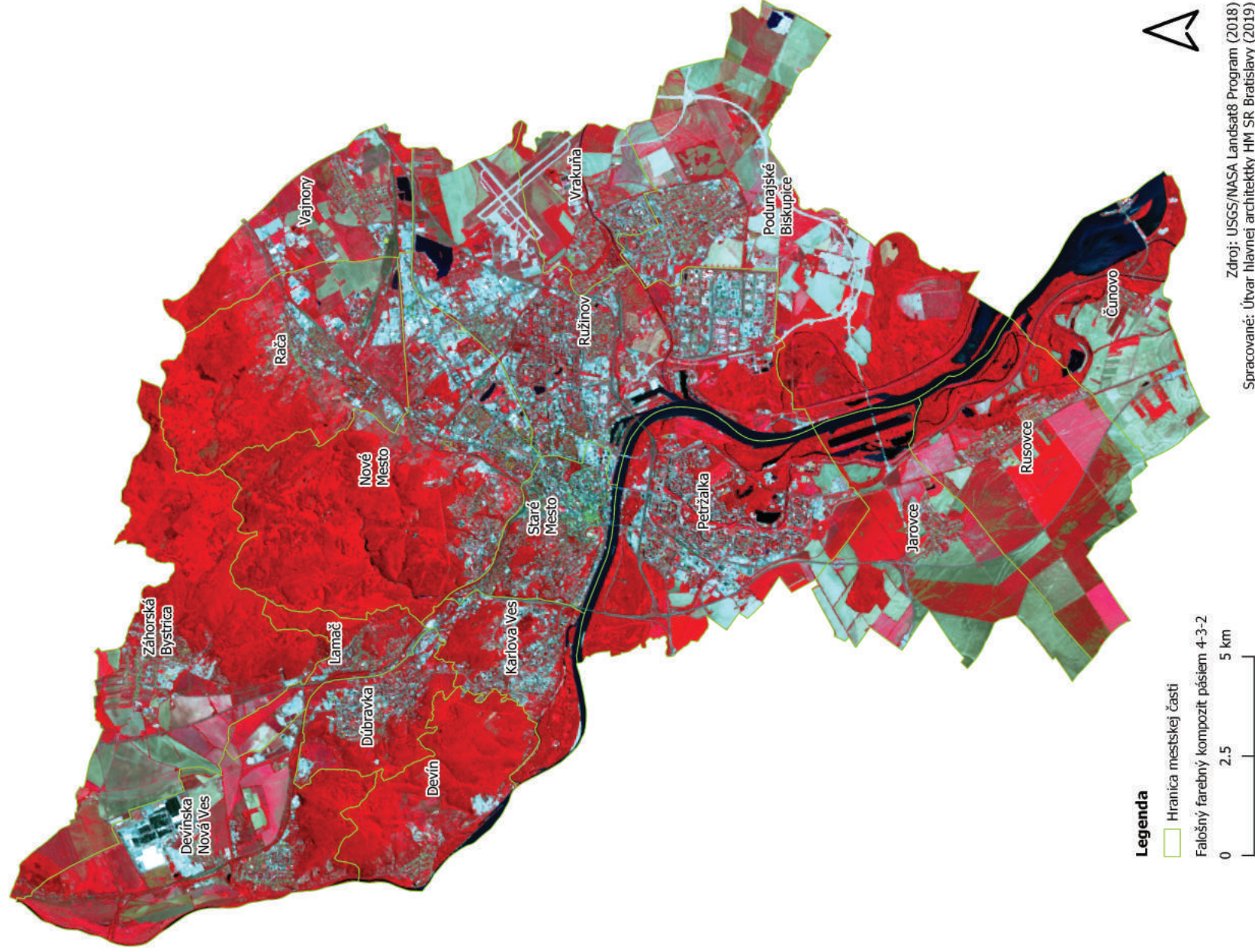
Pre náš výpočet sme použili termálne infračervené pásmo (TIRS1) 10 zo satelitu OLI/Landsat-8 (centrálna vlnová dĺžka je $\lambda = 10,8 \mu\text{m}$). V poslednom kroku sme výpočtom získali **reklasifikáciu na výsledný rastrový výstup teploty povrchov na území HM SR Bratislavy v deň 12.8.2018 v stupňoch Celzia**, ktorý znázorňuje obrázok 2.

Mestský tepelný ostrov je definovaný v odbornej literatúre väčšinou ako prehrievanie centrálnych častí miest voči neurbanizovanému okoliu. Strechy a steny budov, dlažby a asfaltové ulice a ostatné druhy spevnených plôch cez deň pohlcujú žiarenie, postupne sa oteplujú a neskôr počas dňa (hlavne večer a v noci keď dôjde k ochladeniu) vyžarujú teplo ako dlhovlnné žiarenie. Najmä kvôli materiálom, ktoré sú zastúpené v urbanizovanom prostredí, a ktoré sú schopné teplo pohlcovať a postupne ho emitovať, je

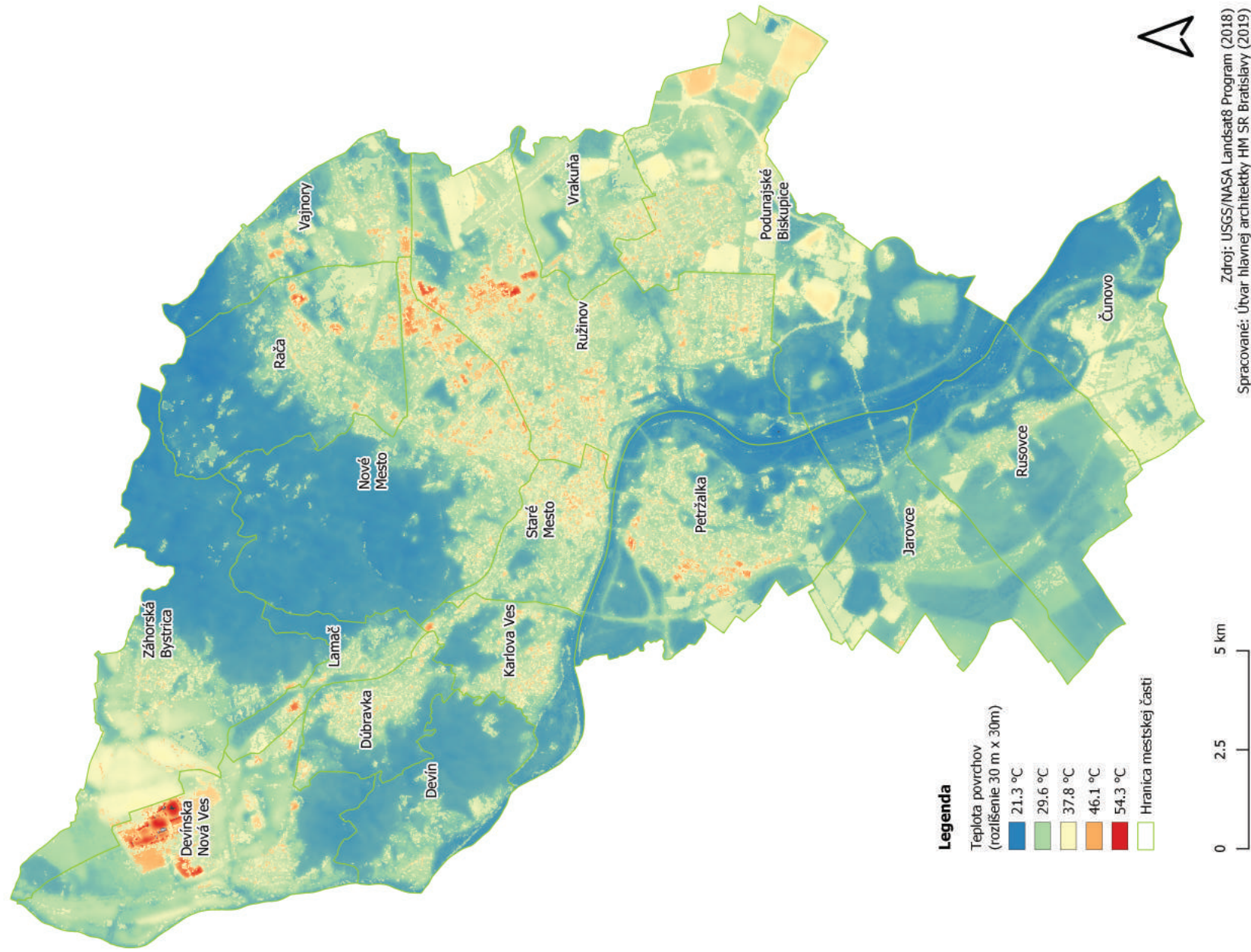
zrejme koncentrácia povrchov s vyššou teplotou v hustejšie zastavaných častiach Bratislavy ako v nezastavanom území, ktoré má vysoký podiel vegetácie alebo vodných plôch, či tokov. Tepelný ostrov je možné sledovať počas dňa (maximálne hodnoty dosahuje spravidla v letných mesiacoch) ako aj v noci, kedy je možné pozorovať tepelné ostrovy najmä v miestach s antropogénnymi zdrojmi tepla (priemyselné zóny a pod.) (Oke, 1987, Souch a Grimmond, 2006). Na základe tejto definície je teda možné konštatovať, že maximum intenzity tepelného ostrova sa vyskytuje v lete a minimum najčastejšie v zime. Výpočet teploty povrchu (krajinej pokrývky) na území HM SR Bratislavy sme využili na lokalizáciu ostrovov teplých a chladných povrchov (nie ostrovov teplého vzduchu), ktoré vstúpili do ako indikátory do hodnotenia rizika, ktoré predstavujú extrémne teploty v tomto Atlase.

Tabuľka 1. Pásmo OLI/Landsat-8 použité pre vyhodnotenie teploty povrchov na území HM SR Bratislavy

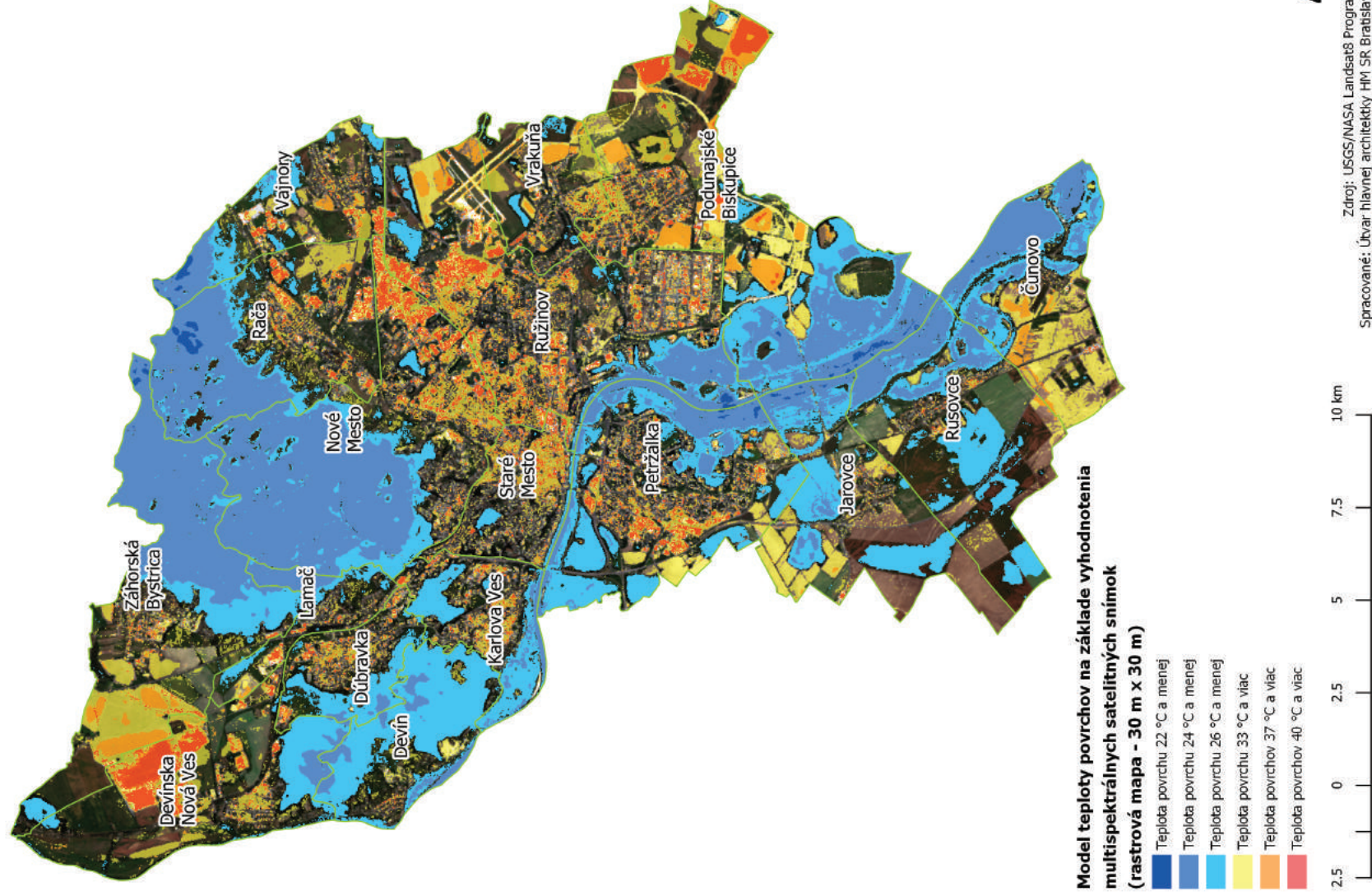
Pásmo satelitu OLI/Landsat 8	Vlnová dĺžka [mikrometre]	Rozlíšenie [metre]
Pásmo 2 - Modré	0.45 - 0.51	30
Pásmo 3 - Zelené	0.53 - 0.59	30
Pásmo 4 - Červené	0.64 - 0.67	30
Pásmo 5 - Blízko infračervené (NIR)	0.85 - 0.88	30
Pásmo 6 - Krátkovlnné infračervené (SWIR 1)	1.57 - 1.65	30
Pásmo 7 - Krátkovlnné infračervené SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Pásmo 10 - Termálne infračervené (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 (30)



Obr. 1. Snímka ako farebný kompozit na základe zobrazenia pásieš 4-3-2 (NIR-near infra red, červené a zelené pásieš) – odráža červenú farbu tam, kde sa v čase snímky nachádza aktívny chlorofyl (zelené farbivo v rastlinnej zložke).








Obr. 2. Vyhodnotenie teplôt povrchov na základe satelitnej snímky získanej zo satelitu z programu NASA Olandsat 8 z dňa 12.8.2018. v čase 10:38 hod. CET.

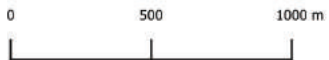
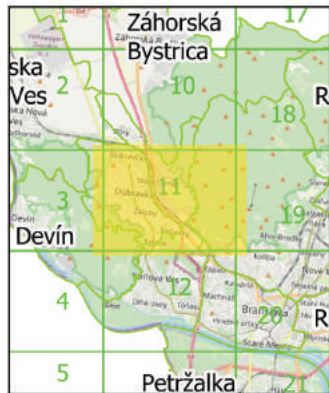


Obr. 3. Znázornenie ostrovov teplých a chladných povrchov na základe vyhodnotenia teplot krajiny pokrývky multispektrálnej satelitnej snímky získanej zo satelitu z programu NASA Landsat 8 z dňa 12.8.2018 v čase 10:38 hod. CET.

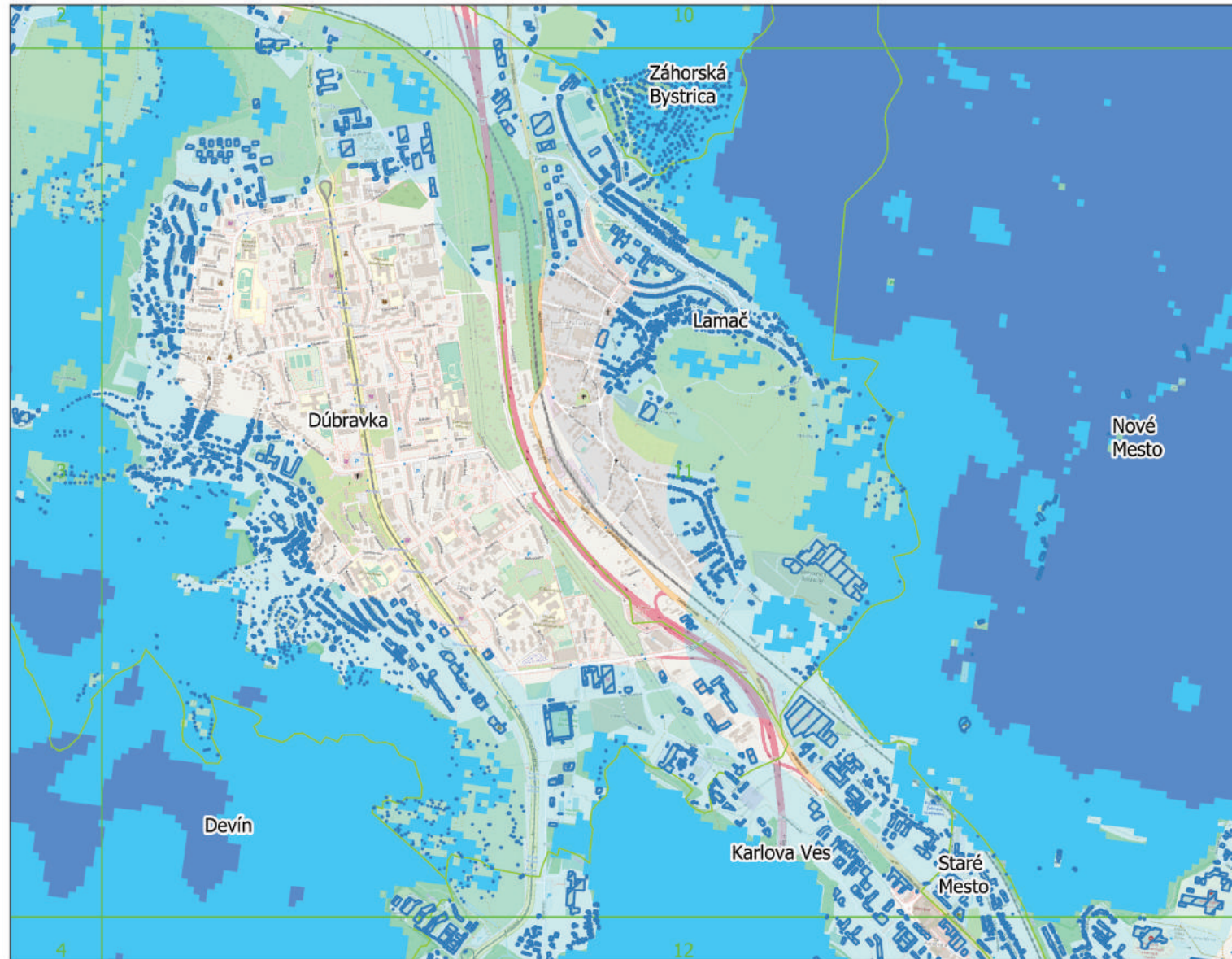
Model teploty povrchov, pásiem dostupnosti chladných povrchov na území HM SR Bratislavy (rastrová mapa 30 m x 30 m)

-  Budovy v pásmach dostupnosti chladných povrchov
-  Hranica mapového listu
-  Teplota povrchu 24 °C a menej
-  Teplota povrchu 26 °C a menej
-  Pásmo dostupnosti chladných povrchov (300 m)

©OpenStreetMap contributors



SGS/NASA Landsat Program (2018), ZBGIS®, Úrad eodáže, kartografie a katastra lovenskej republiky (2018), Spracoval Útvar hlavnej rchitektky (2019).



Obr. 4. Znázornenie ostrovov chladných povrchov a pásma ich dostupnosti na základe vyhodnotenia multispektrálnej satelitnej snímky zo satelitu z programu NASA Landsat 8 (dátum: 12.8.018, v čase 10:38 CET (teplota vzduchu v tom čase na území mesta dosiahla maximálne 29°C).

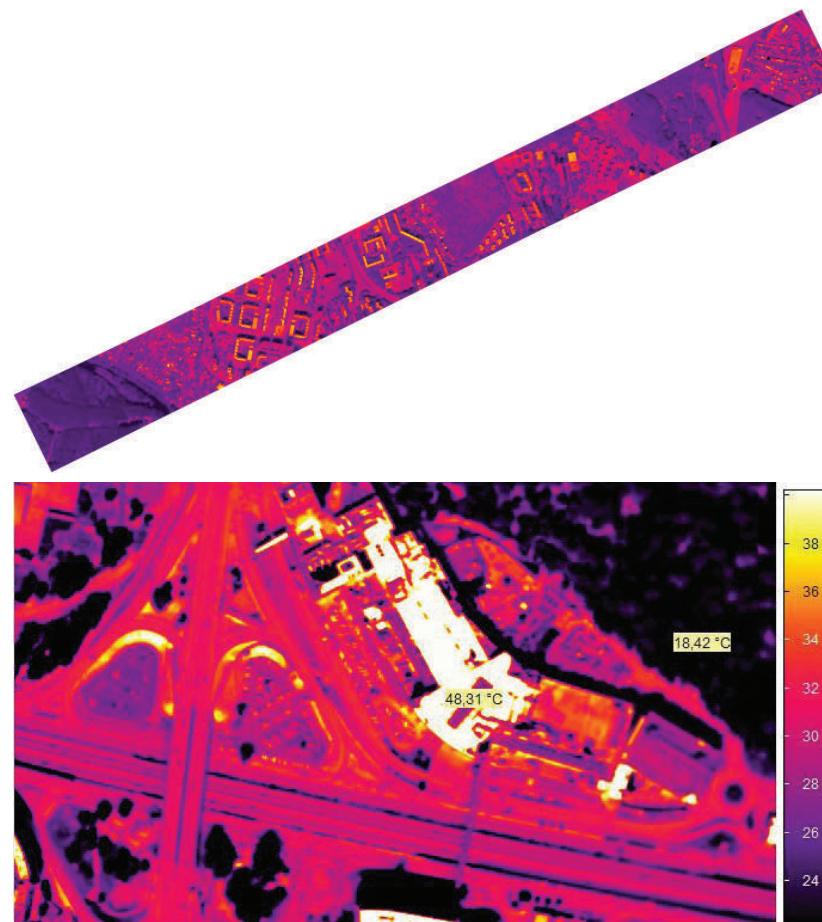
Príloha 2. Vyhodnotenie termovízneho snímkovania vybraných koridorov územia hlavného mesta SR Bratislavy a využitie výstupov

Základná problematika, ktorá je z pohľadu adaptácie na zmenu klímy často diskutovaná je schopnosť rôznych povrchov, materiálov resp. celých objektov a prvkov krajinej štruktúry ovplyvňovať teplotu a vlhkosť okolitého vzduchu (mikroklimu) – či už pozitívne (jeho ochladzovaním) alebo negatívne (jeho ohrievaním).

Cieľom vyhodnocovania termovíznych snímok bolo identifikovať práve tie vlastnosti povrchov v urbanizovanom prostredí HM SR Bratislavy, ktoré prispievajú k tomu, že daný povrch, prvok alebo objekt prispieva k nárastu teploty vzduchu v jeho bezprostrednom okolí, alebo naopak spôsobuje ochladenie okolitého vzduchu.

Tieto poznatky, ktoré nájdeme zdokumentované v množstve odbornej literatúry podporenej výskumami (napr. Synnefa et al., 2008; Sproul et al. 2013; Lobaccaro, Acero, 2014; Perini, Magliocco, 2014) je možné využiť pri výbere vhodných materiálov a konkrétnych adaptačných opatrení pre zmiernenie nepriaznivých prejavov zmeny klímy v urbanizovanom prostredí.

Útvar hlavnej architektky HM SR Bratislavy (ÚHA), ako odborný garant projektu „Bratislava sa pripravuje na zmeny klímy – pilotná aplikácia opatrení v oblasti zadržiavania zrážok v urbanizovanom prostredí“ (realizovaného v období 2014 – 2017 s podporou grantu EHP a Nórska, a s príspevkom zo štátneho rozpočtu SR) spoločne s partnerom projektu Prírodovedeckou fakultou Univerzity Komenského v Bratislave (Katedrou krajinej ekológie) zostavili metodický postup využitia údajov z líniového termovízneho snímkovania na účely získania informácií o potenciálnom ohrievaní povrchov celého územia HM SR Bratislavy a pripravili výstupy vo forme využiteľnej pre potreby územného a strategického plánovania.

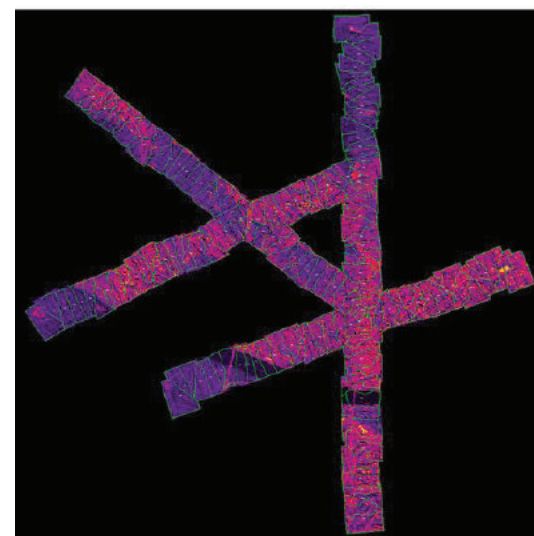
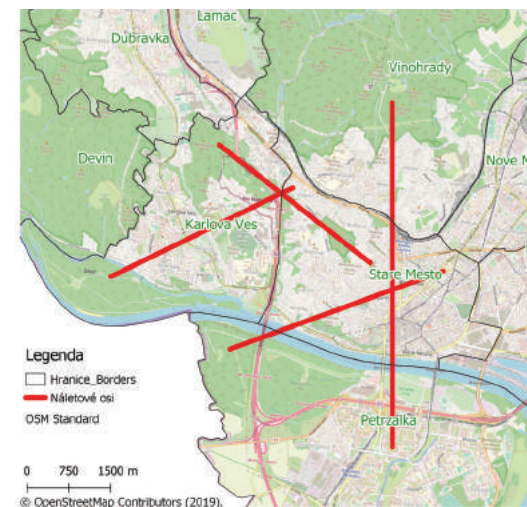


Obr. 5. Ukážka rastrového obrazu jednej zo štyroch náletových osí leteckého termovízneho snímkovania zosnímaná pomocou digitálnej fotogrametrickej kamery IGI DigITherm dňa 1.9.2016 (hore) a detail s ukázkou teplotných rozdielov stešnej krytiny nákupného centra a korún stromov v Sade Janka Kráľa (dole). Zdroj: Archív Útvar hlavnej architektky, HM SR Bratislava (2016).

2.1. Postup vyhodnocovania výstupov z termovízneho snímkovania

Dňa 1. 9. 2016 sa konalo v rámci projektu „Bratislava sa pripravuje na zmenu klímy – pilotná aplikácia opatrení v oblasti zadržiavania zrážok v urbanizovanom prostredí“ letecké termografické snímkovanie vybraných koridorov mesta Bratislavy. V tento deň dosiahla teplota vzduchu maximum 29°C počas obedných hodín, kedy prebiehalo aj letecké termografické snímkovanie. Celkovo bolo nasnímkovaných 400 snímok v štyroch radách resp. koridoroch (obr. 2) s pozdĺžnym prekryvom cca 80 – 85 %. Snímkovanie prebehlo s podporou GPS-INS aparatúry, bola použitá digitálna fotogrametrická kamera IGI DigiTherm, čo umožňovalo zosnímkovanie tepelnej energie emitovanej rôznymi druhmi povrchov na území HM SR Bratislava a krajiny pokrývky mimo zastavaného územia mesta.

V prvom kroku sme termografické snímky porovnávali s digitálnou farebnou ortofotomapou (s priestorovým rozlíšením 0,50 m) vybraných koridorov hlavného mesta SR Bratislavy, ktorá slúžila ako podklad pre priestorovú orientáciu dodaných termografických údajov. Na rastrových termovíznych snímkach boli identifikované plochy podľa ich spôsobu funkčného využitia a z týchto plôch boli na úrovni pixelov v °C odčítavané zaznamenané teploty povrchov. Keďže detailnosť analýzy mapového podkladu jednotlivých druhov povrchov zodpovedala podrobnosti katastrálnej mapy, teploty zaznamenané z pixelov prináležiacich zodpovedajúcemu polygónu katastrálnej mapy (druhu pozemku) boli spriemerované (pre každý druh pozemku sa odčítavala najvyššia a najnižšia nameraná teplota v rámci polygónu). Na termovíznych snímkach boli teda identifikované plochy zodpovedajúce klasifikácii územia podľa druhov pozemkov. Komparáciou takto získaných priemerných teplôt polygónov bol následne v rámci rovnakého druhu pozemku stanovený významný interval teplôt. Následne sme v zmysle kartografických pravidiel vytvorili zo zaznamenaných a spriemerovaných teplôt povrchov 5 stupňovú teplotnú škálu (viď tabuľka 2).



Obr. 6. Náletové osi pre termovízne snímkovanie zo dňa 1. 9. 2016 (vľavo), sekvenca jednotlivých termografických snímok v rámci náletových osí (vpravo) (Zdroj: Archív ÚHA).

2.1. Postup vyhodnocovania výstupov z termovízneho snímkovania

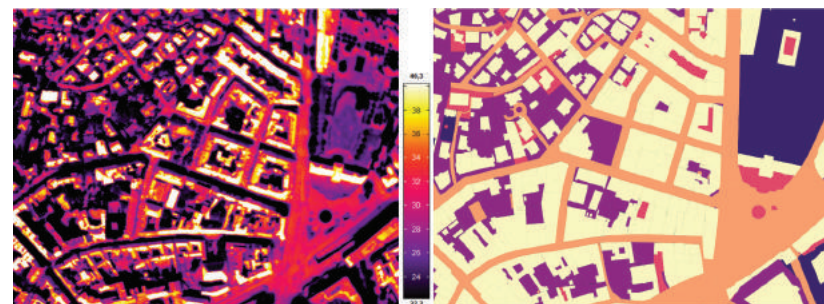
V ďalšom kroku bola stanovená teplotná škála aplikovaná prostredníctvom determinácie druhov pozemkov na celé územie mesta Bratislava. Ako podklad bola použitá vektorová katastrálna mapa mesta. Každému polygónu reprezentujúcemu určitý druh pozemku bola v zmysle stanovenej teplotnej škály pridelená teplota, t. j. jednotlivé polygóny podkladovej mapy sme rozdelili do 5 kategórií. Medzi najteplejšie povrchy sa radili najmä budovy, cestné komunikácie a pod. Naopak najchladnejšie boli plochy s vysokým zastúpením vegetácie, najmä lesné porasty, okrasná a sídlisková zeleň, vodné plochy a toky.

Tab. 2. Škála teplôt stanovená na základe priemerných teplôt povrchov odčítaných z termovíznych snímok nalietaých pre HM SR Bratislava v r. 2017

Stupeň škály	Charakteristika stupňa škály	Priemerná teplota stanovená prostredníctvom snímok z termovízneho merania
1	Veľmi chladné povrchy	22,6 °C a menej
2	Chladné povrchy	22,7 °C – 27,2 °C
3	Mierne teplé povrchy	27,3 °C – 31,8 °C
4	Teplé povrchy	31,9 °C – 36,4 °C
5	Veľmi teplé povrchy	36,5 °C a viac

Určité druhy pozemkov na podkladovej katastrálnej mape boli z hľadiska teplotnej klasifikácie problematické. Nebolo možné na základe termovízneho snímkovania identifikovať ich priemernú teplotu, čo v konečnom dôsledku zvyšovalo chybovosť výsledku. Išlo najmä o druh pozemku č. 37 (skaly, svahy a rokliny) a druh pozemku č. 99 (iné). Z tohto dôvodu bola klasifikácia takýchto druhov pozemkov manuálne zadefinovaná, pričom boli zohľadňované okolité teploty povrchov. Takto sa dosiahlo zníženie chybovosti výsledku reprezentujúceho teplotnú mapu mesta podľa zvoleného metodického postupu na približne 2,5 %. Príčlenením stupňa z 5 stupňovej teplotnej škály každému polygónu (druhu pozemku) na katastrálnej mape mesta bol vytvorený interpretovaný vektorový podklad teplotnej mapy mesta zodpovedajúcej obdobiu, kedy bolo realizované termovízne nalietanie (obr. 7).

Uvedená klasifikácia územia v prostredí GIS – kategorizácia polygónov v mapovom podklade umožnila vytvoriť vektorovú teplotnú mapu Bratislavy na úrovni presnosti katastrálnej mapy mesta. V poslednom kroku sme na základe odporúčaní odbornej verejnosti vytvorili z vyhotoveného vektorového podkladu rastrovú mapovú vrstvu, ktorá predstavuje zjednodušenie modelovania termovízneho leteckého snímkovania teploty povrchu. Zvolili sme grafické rozlíšenie 100 m x 100 m, t. j. každému dielu mapového podkladu o veľkosti 100 m x 100 m bola priradená taká teplota, aký bol podiel rozlohy prevládajúcich polygónov s rovnakou priemernou teplotou. Tento spôsob zobrazenia v tzv. gride je vhodnejší pre účely vyhodnocovania na celomestskej úrovni.

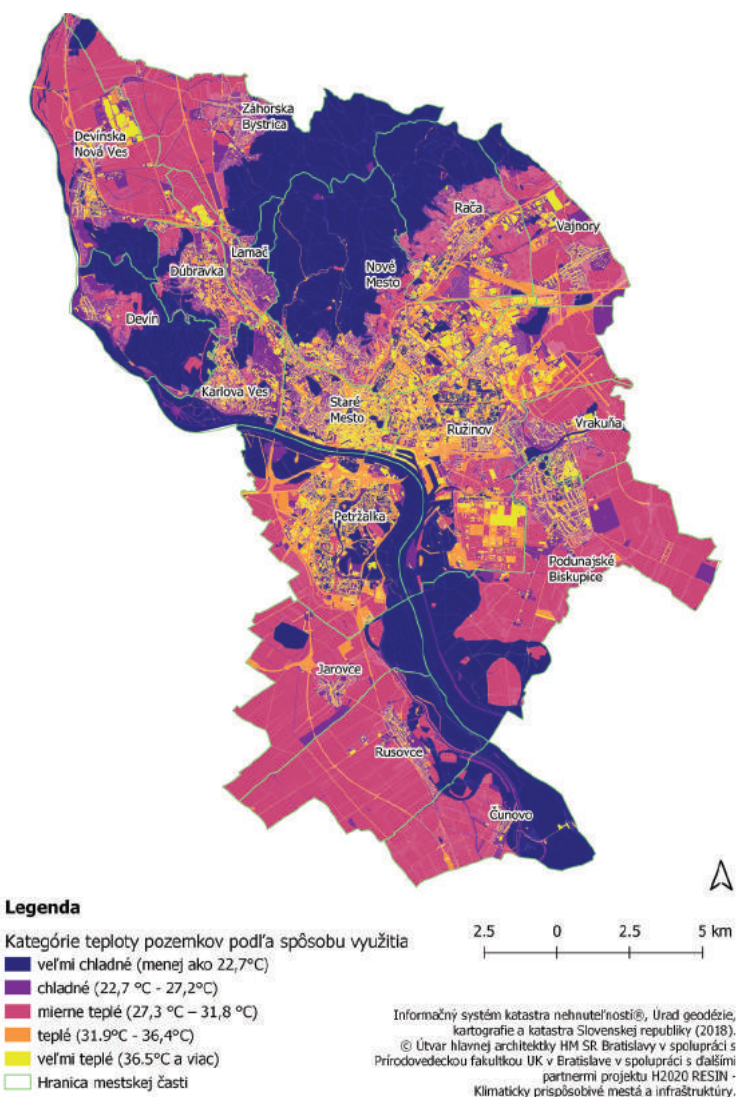


Obr. 7. Porovnanie termovízneho leteckého snímkovania teploty povrchu v lete v roku 2016 (vľavo) a jeho modelovanie pomocou GIS na podklade katastrálnej mapy (vpravo). Zdroj: Informačný systém katastra nehnuteľností, Úrad geodézie, kartografie a katastra SR (2018). Spracované: Útvar hlavnej architektky, HM SR Bratislava.

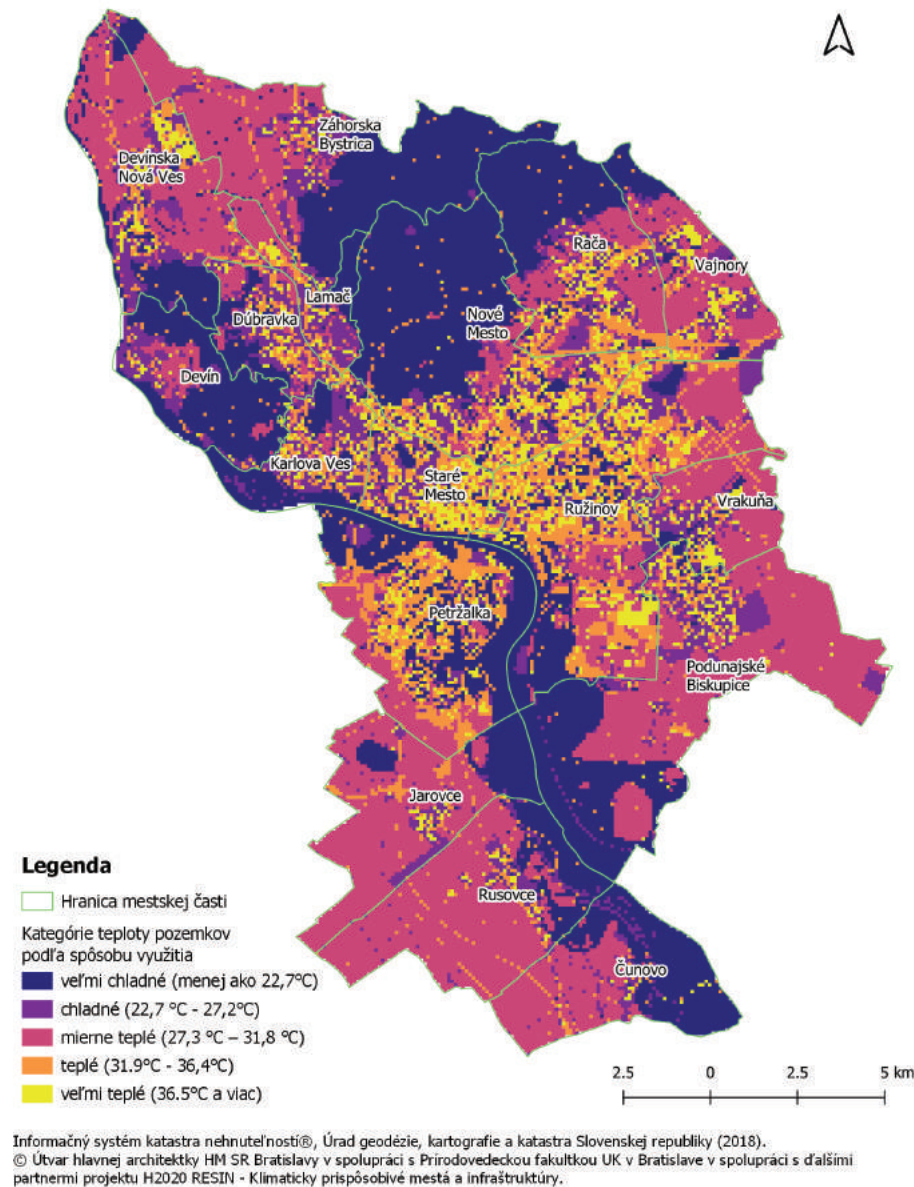
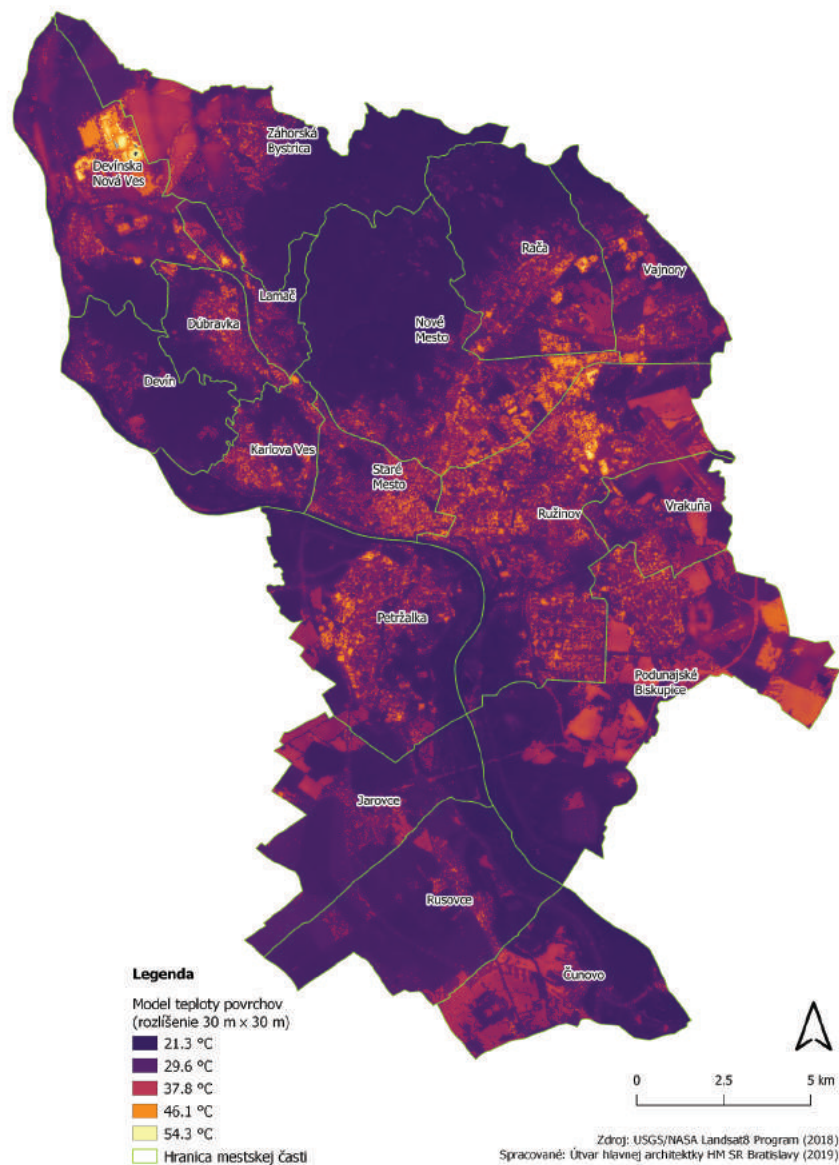
2.2. Využitie výstupov termovízneho snímkovania

Rastrová interpretácia údajov o teplote povrchov je tiež vhodným formátom pre ďalšie dátové interpretácie a požadované kalkulácie v prostredí GIS (obr. 4). Pri tvorbe výstupov bolo testovaných viacero podkladových máp z rôznych dostupných zdrojov. Nakoniec bol ako najvhodnejší variant identifikovaný podklad vychádzajúci z katastrálnej mapy. Nakoľko ide o podklad, ktorý má evidenčný charakter, je nutné brať do úvahy aj istú mieru chybovosti tohto modelovania, ktorá je však pri vyhodnotení termovízneho leteckého snímkovania teploty povrchu s rozlíšením 100 m x 100 m zanedbateľná.

Výstupy z termovízneho snímkovania sú použité ako jeden z indikátorov, ktorý vstupuje do hodnotenia zraniteľnosti HM SR Bratislavy na zmenu klímy v rámci Akčného plánu adaptácie HM SR Bratislavy na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy (Opatrenia 1.1., 1.2, 1.3). Tieto úlohy z Akčného plánu adaptácie mesto realizuje v zastúpení Útvárom hlavnej architektky s podporou projektu Horizont 2020 RESIN – Mestá a infraštruktúry odolné voči zmene klímy (Resilient cities and infrastructures - RESIN). Výsledky termovízneho snímkovania sú východiskom pre tvorbu indikátorov pre citlivosť a disponibilnú kapacitu obyvateľstva v hodnotení vo vzťahu k extrémnym horúčavám – t.j. indikátory „podiel veľmi chladných“, „chladných“, „mierne teplých“, „teplých“ a „veľmi teplých“ plôch k celkovej rozlohe príslušnej MČ. Výstupy termovízneho snímkovania sú spracované aj v grafickom rozlíšení 100 m x 100 m, aby ich kvalita bola vyhovujúca pre účely územného plánovania, ako informačný podklad pri posudzovaní investičných zámerov, manuálov verejných priestorov, plánovania implementácie adaptačných opatrení a pod.



Obr. 8. Vektorová teplotná mapa Bratislavy - kategorizácia polygónov na úrovni presnosti katastrálnej mapy mesta na základe priemerných teplôt spôsobu využitia pozemkov odvodených od termovízneho snímkovania.



Obr. 9 a 10. Porovnanie rôznych prístupov k vyhodnoteniu teplôt povrchov: vľavo - na základe satelitnej snímky získanej zo satelitu z programu NASA Landsat 8 z dňa 12.8.2018 s rozlíšením 30 m x 30 m (vľavo) a mapa vytvorená s využitím termovízneho snímkovania vybraných koridorov územia HM SR Bratislavy v rozlíšení 100 m x 100 m 1.9.2016 (vpravo).

Príloha 3. Stanovenie priepustnosti povrchov využitia pozemkov na území hlavného mesta SR Bratislavy

Pre stanovenie priepustnosti povrchov na území HM SR Bratislavy bola ako podkladová mapa použitá katastrálna mapa. Pri kategorizácii pozemkov sme vychádzali z vyhlášky Ministerstva životného prostredia SR č.397/2003 Z. z., podľa ktorej sa pre výpočet súčiniteľa odtoku rozdeľujú povrchy na:

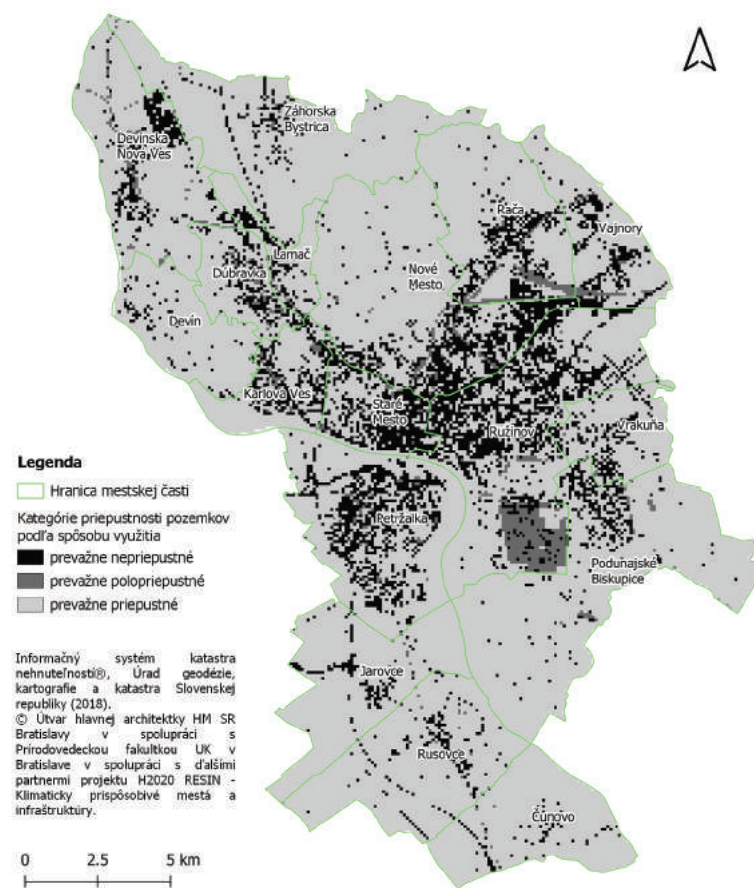
- zastavané a málo priepustné spevnené plochy (strechy, betónové a asfaltové povrchy)
- častočne priepustné spevnené plochy (dlažby s vyšpárovaným pieskom, štrkom a pod.)
- dobro priepustné plochy pokryté vegetáciou (trávniky, záhrady a pod.).

Uvedená klasifikácia územia v prostredí GIS (kategorizácia polygónov v mapovom podklade) umožnila vytvoriť vektorovú mapu priepustnosti Bratislavy na úrovni detailnosti katastrálnej mapy mesta a klasifikácie pozemkov na základe spôsobu využitia pozemku podľa vyhlášky č. 461/2009 Z. z. Úradu geodézie, kartografie a katastra SR.

Medzi **priepustné** povrchy boli na základe tejto kategorizácie zaradené pozemky využívané ako orná pôda, vinič, ovocné sady a lúky, trvalé trávnaté porasty, vodné plochy a toky, rybníky, záhrada, záhradkárske oblasti, botanické záhrady, okrasná a ochranná zeleň a pod. Medzi **polopriepustné** boli zaradené pozemky využívané ako železničné a iné dráhy, športové dráhy a ihriská, dvory, skaly, svahy a rokliny. Medzi **nepriepustné** povrchy boli zaradené pozemky kategorizované ako budovy (aj rozostavané), cestné komunikácie, skladové plochy, prístavacie, vzletové, rolovacie dráhy a manipulačné plochy letiska, mosty a nadjazdy.

Podiely priepustných, nepriepustných a polopriepustných plôch boli použité ako indikátory pre hodnotenie dopadov intenzívnych zrážok (na obrázku 11 vpravo) a sú vizuálne sprostredkované na mape na obrázkoch na nasledujúcich stranách. Pre potreby plánovania rozvoja mesta a posudzovanie investičnej činnosti bola mapa transformovaná do rastrovej podoby s rozlíšením priepustnosti v gride 100 m x 100 m (na obrázku 4 dole). pretože takéto zobrazenie je vhodnejšie pre účely vyhodnocovania ukazovateľov na celomestskej úrovni. Rastrová interpretácia údajov je tiež vhodným formátom pre ďalšie dátové spracovávanie, rôzne výpočty v prostredí GIS a interpretáciu výstupov.

Pri tvorbe výstupov bolo testovaných viacero podkladových máp z rôznych dostupných zdrojov. Nakoniec bol ako najvhodnejší variant identifikovaný podklad vychádzajúci z katastrálnej mapy. Nakoľko ide o podklad, ktorý má evidenčný charakter, je nutné brať do úvahy aj istú mieru chybovosti tohto modelovania, ktorá je však pri vyhodnotení priepustnosti povrchu s rozlíšením 100 m x 100 m zanedbateľná.



Obr. 11. Ukážka modelu priepustnosti povrchu ako rastrová mapa upravená na rozlíšenie v gride 100 m x 100 m (vychádzajúca z katastrálnej mapy).

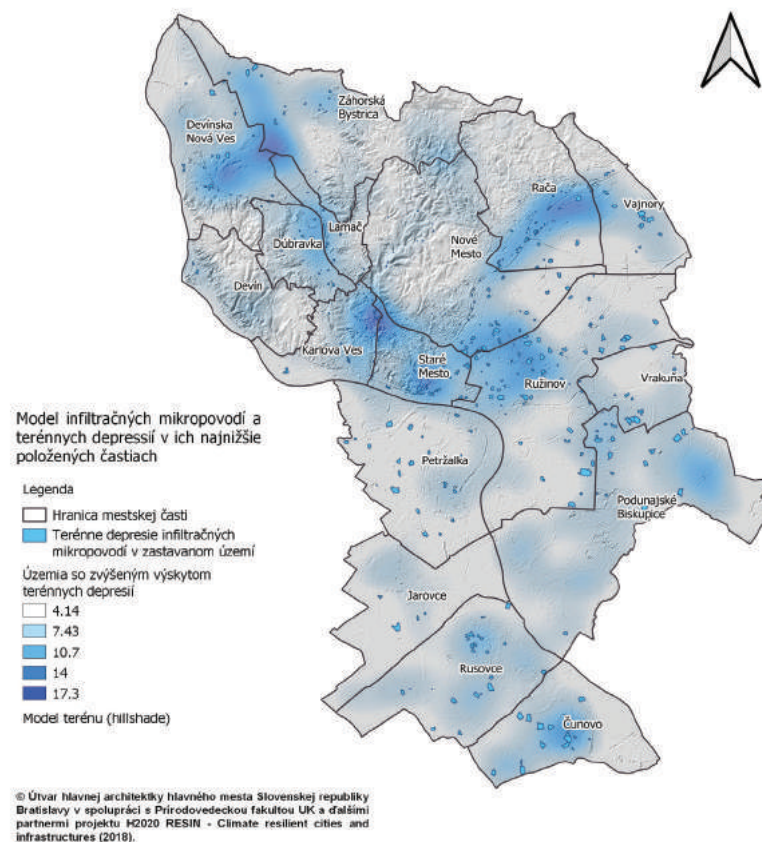
Príloha 4. Modelovanie rizika intenzívnych zrážok pre budovy a cestnú infraštruktúru na území mestských častí Hlavného mesta SR Bratislavy – ukážka priestorovej syntézy vybraných indikátorov

Model výskytu infiltračných mikropovodí a terénnych depresíí vychádza z vektorovej vrstvy výškových bodov a terénnych hrán územia hlavného mesta SR Bratislavy (Magistrát HM SR Bratislavy, 2016).

V prvom kroku bol trianguláciou vektorovej vrstvy výškových bodov vytvorený rastrový digitálny model povrchu (DTM) a vektorová mapa vrstevníc (vertikálne rozlíšenie 1 m). Z DTM sme v ďalšom kroku vygenerovali rastrový model terénu pomocou nástrojov aplikácie SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses, ktoré sú súčasťou QGIS 2.X a 3.X), ktorý umožnil ďalej generovať výstupy ako: rastrový výstup infiltračných povodí a vektorový výstup línií a bodov znázorňujúcich toky, ich pramene a ústia.

Rastrový výstup infiltračných povodí bol po konverzii na vektorovú vrstvu skombinovaný s vektorovým výstupom ústí tokov a vektorovou mapou vrstevníc. Extrakciou najnižšie položených častí infiltračných povodí s prevýšením 1 m, v ktorých ležali ústia modelovaných tokov, sme vytvorili hranice terénnych depresíí. Tieto depresie predstavujú územia s potenciálnym rizikom vzniku lokálnych záplav z povrchového odtoku v prípade intenzívnych zrážok, tak ako tomu bolo napr. v roku 2018, keď v rámci 24h spadlo na území HM SR Bratislavy takmer 80 mm zrážok.










V poslednom kroku sme z vektorovej vrstvy budov a dopravnej infraštruktúry OpenStreetMaps (2018) extrahovali tie objekty (budovy, úseky cestnej infraštruktúry – okrem mostov a nadjazdov, nespevnených ciest a chodníkov pre peších), ktoré zasahovali čiastočne, alebo úplne, do týchto terénnych depresíí. Tieto objekty tvoria množinu potenciálne ohrozenej cestnej infraštruktúry (jej úsekov) a poteciálne ohrozených budov intenzívnymi zrážkami. Obidve tieto množiny vstupovali ako indikátory do hodnotenia dopadov zmeny klímy opísanej v kapitolách 5 až 7 v tomto Atlase, pričom z nich bolo odvodených viacero indikátorov ako napríklad index hustoty terénnych depresíí, či podiel budov alebo podiel cestnej infraštruktúry ohrozenej intenzívnymi zrážkami. Ukážky týchto indikátorov sú znázornené na obr. 11 a 12.

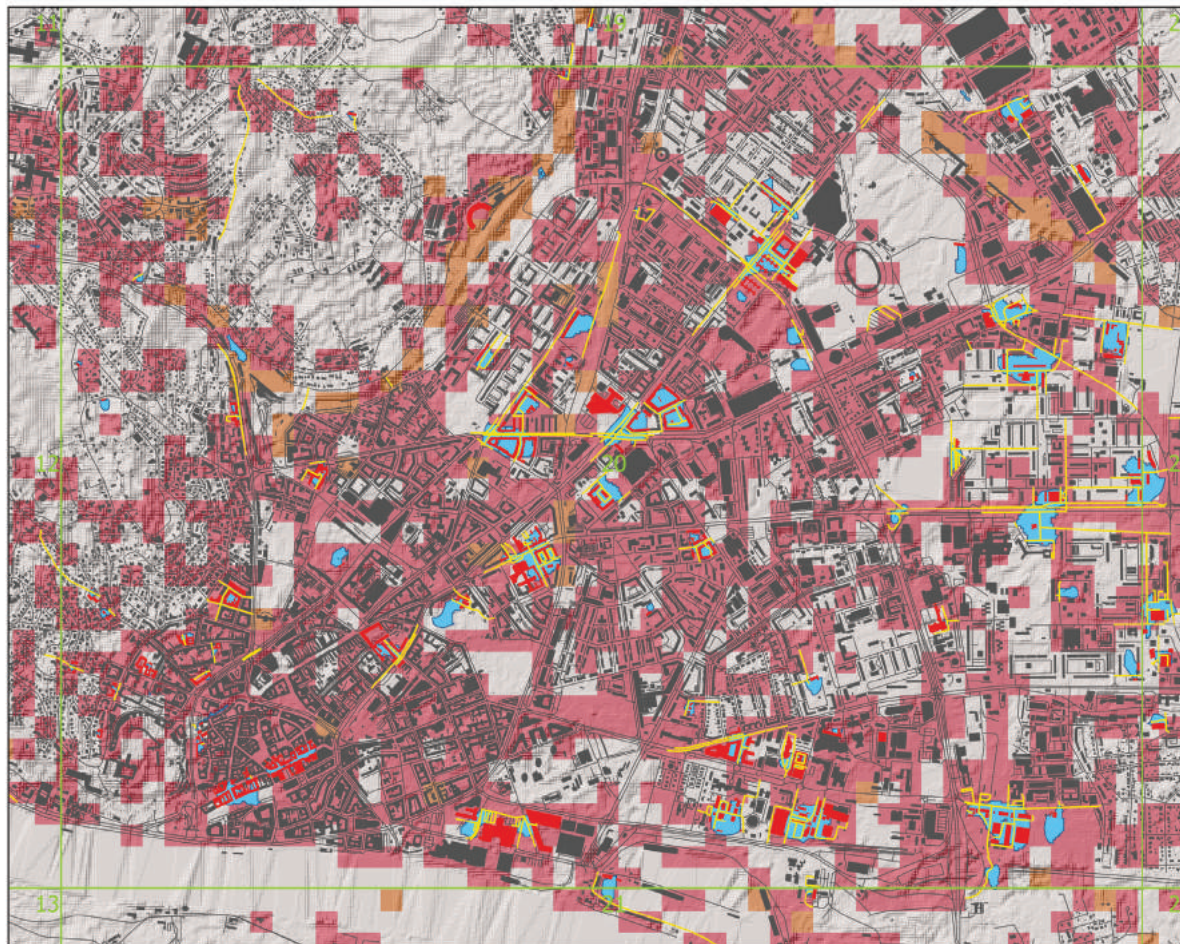


Obr. 11. Hustota výskytu terénnych depresíí (rádius 1500 m) – ako výstup modelu infiltračných mikropovodí a terénnych depresíí.

Potenciálne riziko intenzívnych zrážok pre budovy a cestnú infraštruktúru na území HM SR Bratislavy podľa priepustnosti povrchov

Legenda

-  Hranica mapového listu
 -  Ohrozené úseky cestnej infraštruktúry
 -  Cestná infraštruktúra
 -  Ohrozené budovy
 -  Budovy
 -  Terénne depresie infiltračných mikropovodí v zastavanom území
- Podiel nepriepustných povrchov
-  vysoký
 -  stredný
 -  nízky



© Útvár hlavnej architektky hlavného mesta Slovenskej republiky Bratislavy v spolupráci s Prírodovedeckou fakultou UK a ďalšími partnermi projektu H2020 RESIN - Climate Resilient Cities and Infrastructures (2018). © OpenStreetMaps Contributors (2018).



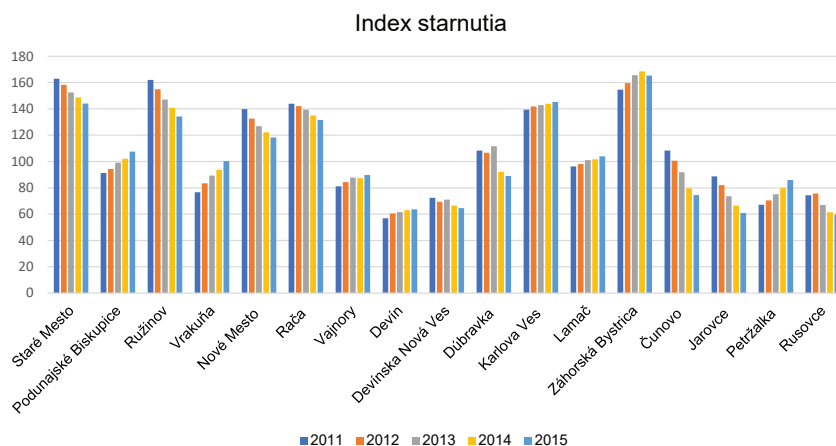
Obr. 12. Modelovanie rizika intenzívnych zrážok pre budovy a cestnú infraštruktúru na území mestských častí HM SR Bratislavy – ukážka priestorovej syntézy vybraných indikátorov.

Príloha 5. Stresory a možné dôsledky extrémnych horúčav

Vlny horúčav predstavujú jeden dôsledkov zmeny klímy, ktoré ovplyvňujú zraniteľnosť mesta. Pri hodnotení zraniteľnosti Bratislavy určili odborníci v rámci expertného hodnotenia v kvalitatívnej časti metodického postupu uvedeného v kapitole 2.1 rôzne stresory v oblasti zmien využitia územia, demografických zmien, zdravia obyvateľstva, hospodárskeho rozvoja a zmeny kvality zložiek prírodného prostredia.

Zmena využitia územia sa prejavila najmä úbytkom poľnohospodárskej pôdy. Kým v roku 2011 zaberala poľnohospodárska pôda 14 km², v roku 2015 sa jej rozloha zmenšila na 13,7 km². Daný pokles o 0,3 km² reprezentuje hlavne zníženie rozlohy ornej pôdy. Dôvodom zmeny využívania územia je urbanizácia, predovšetkým zvyšovanie zastavanosti územia mesta Bratislava. Rozvoj v tomto zmysle nastal vo veľkom rozsahu v roku 2013 v okrese Bratislava V, kedy sa začala rozsiahla bytová výstavba. V roku 2015 sa začala významne zväčšovať zastavanosť aj v okresoch Bratislava I a IV.

Z hľadiska demografických zmien bol sledovaný **index starnutia populácie** vo všetkých mestských častiach (MČ) Bratislavy (graf1). Zvýšený podiel obyvateľstva nižších vekových kategórií medzi rokmi 2011 a 2015 vykazujú mestské časti Bratislava-Staré Mesto, Ružinov, Nové Mesto, Rača, Devínska Nová Ves, Dúbravka, Čunovo, Jarovce a Rusovce. Naopak, podiel obyvateľstva v poproduktívnom veku narástol v mestských častiach Bratislava-Podunajské Biskupice, Vrakuňa, Vajnory, Devín, Karlová Ves, Lamač, Záhorská Bystrica a Petržalka, čím vzrástol počet obyvateľstva náchylnejšieho na horúčavy.



Graf 1. Vývoj indexu starnutia HM SR Bratislavy podľa mestských častí za roky 2011-2015.

Zdroj: Štatistický úrad SR (2018). Spracované: Útvar hlavnej architektky, HM SR Bratislava.

Najväčší **nárast počtu obyvateľov** od roku 2012 do roku 2017 bol v MČ Bratislava-Ružinov, naopak pokles počtu obyvateľov bol zaznamenaný v MČ Bratislava-Petržalka. V rámci demografických ukazovateľov bola sledovaná aj hustota obyvateľstva mesta Bratislava. Mestská časť Bratislava-Staré Mesto si udržiavalo v sledovaných rokoch pozíciu najľudnatejšej časti, zatiaľ čo najnižší počet obyvateľov mala MČ Bratislava-Čunovo (ŠÚ SR, 2013-2018). Charakteristiky územia týkajúce sa zmien vo využívaní územia a vybraných demografických ukazovateľov úzko súvisia s prejavmi tepelných ostrovov v mestskom prostredí a s ich dopadom na zdravie obyvateľstva. Ako ďalší súvisiaci ukazovateľ zdravia obyvateľov mesta identifikovali experti v kvalitatívnej časti hodnotenia mieru **pracovnej neschopnosti obyvateľstva**. Tento ukazovateľ je možné okrajovo akceptovať v súvislosti s hodnotením dopadov extrémnych horúčav. Nie je možné exaktne numericky vyjadriť mieru práce neschopnosti obyvateľov mesta, ktorá vznikla výlučne v dôsledku horúčav v meste, či už ako priamy dopad (napr. vážna dehydrácia organizmu, problémy srdcovocievneho systému) alebo sekundárny (napr. príjem potravy pokazenej v dôsledku horúčav).

Najviac **tropických dní** bolo v Bratislave v rámci sledovaného obdobia nameraných v rokoch 2012 a 2015, pričom v roku 2012 bolo zaznamenané najvyššie percento pracovnej neschopnosti (priemerné percento pracovnej neschopnosti za rok sa vypočítava ako pomer počtu kalendárnych dní pracovnej neschopnosti v dôsledku choroby a úrazu a priemerného počtu osôb, na ktoré sa vzťahuje nemocenské poistenie, vynásobené počtom kalendárnych dní roka). V roku 2015 bol v Bratislave evidovaný najvyšší počet prípadov pracovnej neschopnosti v dôsledku choroby a úrazu, počet pacientov s akútnymi infekčnými ochoreniami spôsobenými inými organizmami a pacientov so salmonelózou, ako aj najvyššia úmrtnosť. Najmenej tropických dní zo sledovaných rokov bolo v roku 2014, kedy bolo aj najmenej prípadov pracovnej neschopnosti z dôvodu choroby alebo úrazu a najnižšia úmrtnosť. Väčší počet po sebe nasledujúcich horúcich dní zapríčiňuje okrem zdravotných rizík aj prehrievanie vodných tokov a plôch a s tým súvisiace množenie baktérií.

Tepelné **znečistenie otvorených vodných útvarov** a tokov bolo sledované na vodných plochách Zlaté piesky (Bratislava II), Kuchajda (Bratislava III), Vajnory (Bratislava III), Veľký Draždiak (Bratislava V), Rusovce (Bratislava V) a Čunovo (Bratislava V). V daných vodných útvaroch sa objavili koncentrácie baktérií *Escherichia coli*, *Enteric enterococi*, Cyanobaktérie (sinice). Všetky spomenuté druhy baktérií mali najvyššie koncentrácie vo vodnej ploche Kuchajda.

Príloha 6. Stresory a možné dôsledky bleskových povodní z intenzívnych zrážok

Pre hodnotenie zraniteľnosti mesta Bratislava na dopady bleskových povodní boli sledované hydrometeorologické ukazovatele, ako úhrn zrážok a hydrologické charakteristiky riek a potokov. Medzi stresory, ktoré boli taktiež identifikované účastníkmi participatívnych workshopov v rámci kvantitatívnej fázy tvorby atlasu, boli zaradené tiež: znečistenie ovzdušia, narastajúci dopyt po bývaní, parkovaní a s tým súvisiaci nárast spotreby vody a zvýšený podiel spevnených plôch, ako stresory zapríčiňujúce bleskové povodne v sídelnom prostredí.

V roku 2017 patrili medzi najväčších znečisťovateľov ovzdušia na území mesta Bratislava podniky SLOVNAFT, a.s., VOLKSWAGEN SLOVAKIA, a.s., PPC Energy, a.s., TERMMING, a.s., Bratislavská teplárenská, a.s., Veolia Energia Slovensko, a.s., Duslo, a.s. a Odvoz a likvidácia odpadu a.s. (tabuľka č. 1). Množstvo emisií pôdnych znečisťovateľov v priebehu rokov 2012 až 2017 kolísalo, pričom rozdiel rokov 2012 a 2017 bol pokles daných emisií o 72,41 tony za rok. Najväčší podiel na emisiách pôdnych znečisťovateľov pochádzal z okresu Bratislava II. Medzi rokmi 2012 a 2017 bol zaznamenaný pokles emisií oxidu siričitého (SO_2), oxidov dusíka (NO_x), no nárast oxidu uhoľnatého. Medziročný rozdiel v hodnotách v rokoch 2016 a 2017 však ukázal nárast emisií NO_x a CO a naopak pokles emisií SO_2 .

Na základe sledovania meraní imisíí Slovenským hydrometeorologickým ústavom v monitorovacích staniciach v lokalitách Kamenné námestie, Koliba, Mamateyova ulica a Trnavské mýto boli najväčšie koncentrácie imisíí PM_{10} , CO a benzolu a NO_x s najčastejším prekročením limitnej hodnoty za rok v lokalite Trnavské mýto. Producentom emisií znečisťujúcich látok sú okrem spomenutých podnikov aj doprava a vykurovanie domácností. Od roku 2012 do roku 2018 bol nárast počtu všetkých vozidiel v Bratislave o 24,6 %. Počet osobných vozidiel vzrástol o 30,5 %, paralelne vzrástol deficit parkovacích miest, čo sa prejavilo v zvýšenom počte nevhodne a nelegálne parkovaných automobilov.

Zvýšený počet automobilov v meste Bratislava súvisí s viacerými faktormi: hospodársky rast firiem a podnikov prejavujúci sa zvýšenou kúpnu silou, relatívne ľahká možnosť kúpy automobilu (dostupné sú lacné jazdené

autá alebo nové automobily získané formou systému splátok), zvýšený počet domácností s viac ako 1 automobilom, zvýšená dochádzka (automobilmi) ľudí za prácou do mesta, nevyhovujúca kvalita mestskej hromadnej dopravy a v neposlednom rade je to rastúci počet bytov vo všetkých okresoch Bratislavy, ktoré sú osídľované ľuďmi s a aj bez trvalého bydliska v Bratislave.

Bleskové povodne zo zrážok predstavujú hrozbu šírenia infekčných chorôb a hospodárskych dôsledkov a škôd na majetku. Medzi rokmi 2012 a 2016 bol zaznamenaný nárast črevných infekcií spôsobených inými organizmami. Pre zabránenie poškodenia majetku v dôsledku povodní bolo v roku 2013 použitých „iba“ 5 571,94 EUR na zmierňovanie dopadov pri fluvialných záplavách z riek Morava a Dunaj, pričom hlavné náklady v sume 31 mil. EUR boli v meste Bratislava preinvestované na výstavbu protipovodňovej ochrany v MČ Devínska Nová Ves, Devín, Karlova Ves, Staré Mesto, Petržalka, Ružinov do roku 2013.



Počet osobných automobilov v Bratislave narastá z roka na rok. Sprievodnými javmi je zhoršujúce sa ovzdušie a nárast nárokov na parkovacie miesta. Foto: © Hlavné mesto SR - Marel Velček.

Tab. 3. Najväčší znečisťovatelia v HM SR Bratislava podľa množstva emisií za rok 2017 – tuhých znečisťujúcich látok, SO₂, NO₂ a CO. Zdroj: Slovenský hydrometeorologický ústav (2018).

Tuhé znečisťujúce látky		
Prevádzkovateľ / zdroj	Okres	Emisie [t]
SLOVNAFT, a.s.	Bratislava II	92,94
VOLKSWAGEN SLOVAKIA, a.s.	Bratislava IV	22,76
PPC Energy, a.s.	Bratislava III	6,83
TERMMING, a.s.	Bratislava II	4,18
Veolia Energia Slovensko, a.s.	Bratislava V	3,84

SO ₂		
Prevádzkovateľ / zdroj	Okres	Emisie [t]
SLOVNAFT, a.s.	Bratislava II	2359,30
Duslo, a.s.	Bratislava III	185,99
Odvoz a likvidácia odpadu a.s.	Bratislava II	7,05
Bratislavská teplárenská, a.s.	Bratislava II	0,99
PPC Energy, a.s.	Bratislava III	0,82

NO ₂		
Prevádzkovateľ / zdroj	Okres	Emisie [t]
SLOVNAFT, a.s.	Bratislava II	2073,33
PPC Energy, a.s.	Bratislava III	136,78
VOLKSWAGEN SLOVAKIA, a.s.	Bratislava IV	93,33
Odvoz a likvidácia odpadu a.s.	Bratislava II	92,29
Veolia Energia Slovensko, a.s.	Bratislava V	79,20
Bratislavská teplárenská, a.s.	Bratislava III	53,70
Bratislavská teplárenská, a.s.	Bratislava IV	49,48
TERMMING, a.s.	Bratislava II	45,67

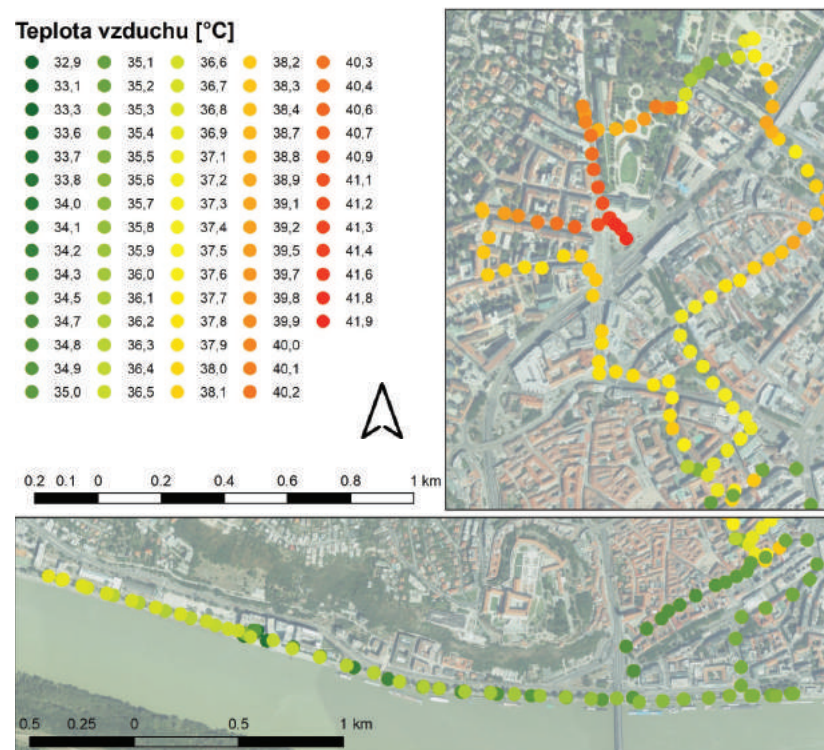
CO		
Prevádzkovateľ / zdroj	Okres	Emisie [t]
SLOVNAFT, a.s.	Bratislava II	472,11
PPC Energy, a.s.	Bratislava III	123,63
Veolia Energia Slovensko, a.s.	Bratislava V	29,42
VOLKSWAGEN SLOVAKIA, a.s.	Bratislava IV	29,24
Duslo, a.s.	Bratislava III	26,69

Príloha 7. Doplnkové merania atmosférickej teploty prostredníctvom zberača dát (data logger)

Na začiatku augusta v roku 2017 bolo v spolupráci s Prírodovedeckou fakultou UK v Bratislave realizované meranie teploty vzduchu na úrovni chodca (cyklistu) v čase skorého popoludnia (1.8.2018 v čase 12:46 - 14:38, teplota vzduchu v Bratislava centrum bola 34°C). Cieľom merania bolo zistiť vplyv druhov povrchov počas pretrvávajúcich horúčav v centre mesta Bratislava na teplotu vzduchu, ktorá má vplyv na zdravie a kvalitu života obyvateľov. Výber trasy sa odvíjal od zámeru zaevidovať teploty v miestach s rôznym podielom zastavanej plochy, spevnených a nespevnených plôch, zelene a vodných prvkov (rieka Dunaj, fontány) v okruhu 50 metrov. Zároveň trasa reflektovala komunikácie a námestia s vyššou frekvenciou výskytu chodcov alebo cyklistov.

Meranie bolo uskutočnené prostredníctvom záznamníka teploty a vlhkosti (zberač dát – datalogger typ FA 31.1054 DTHK Log32), ktorý je určený na zber a presun dát do počítača. Zaznamenávané boli parametre prostredia: teplota vzduchu, vlhkosť, rosný bod, nadmorská výška a čas. Zároveň sa lokalizácia nameraných hodnôt v čase zachytávala vďaka GPS lokátoru v smart hodinách chodca/cyklistu. Nameraným hodnotám sledovaných ukazovateľov boli priradené GPS súradnice (súradnicový systém WGS 84) a boli znázornené aj graficky v mapovej podobe. Na rastrovom mapovom podklade – ortofotomape, boli vyznačené body s priradenými jedinečnými parametrami, (obr. 12) vo farebnej škále od zelenej farby (nižšie teploty: 32,9°C) po červenú farbu (najvyššie teploty: 41,9°C).

Na základe grafického znázornenia bolo možné prísť k záveru, že pri dlhšie pretrvávajúcich horúčavách má voda vo fontáne nepatrný vplyv na teplotu ovzdušia (Hodžovo námestie), no veľké vodné plochy, ako je rieka Dunaj, spolu s vyšším zastúpením stromov sú dôležitými faktormi, ktoré priaznivo regulujú teplotu. Sledovaná trasa prechádzala nábrevím, námestiami, ako Hviezdoslavovo, Hodžovo, Kollárovo námestie, Námestie slobody, Kamenné námestie, Námestie SNP a ulicami, ako Obchodná a Štefániková. zachytená bola aj časť záhrady Prezidentského paláca. Najvyššie teploty dosahovalo Hodžovo námestie, kde sa nenachádza vyššia zeleň, prevažujú spevnené plochy a je križovaním frekventovaných cestných komunikácií, zatiaľ čo najnižšie teploty boli namerané na nábreví s líniou stromov a znížené teploty sa tiahli až k Hviezdoslavovmu námestiu, čo môže byť dôkazom pozitívneho vplyvu rieky Dunaj.



Obr. 12. Body s nameranými hodnotami teploty vzduchu prostredníctvom záznamníka údajov v 1. augusta 2017 (Tvzduch = 34°C) na úrovni chodca/cyklistu v MČ Staré Mesto, Bratislava. Zdroj: Podkladová mapa ZBGIS®, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky (2018). Spracované: Útvar hlavnej architektky, HM SR Bratislava (2018).



Na sídliskách nachádzame veľa nevyužitých plôch v nevyhovujúcom stave, ktoré majú potenciál slúžiť ako multifunkčný verejný priestor a odvádzať a zadržiavať zrážkovú vodu. Foto: © Hlavné mesto SR Bratislava - Eva Streberová.

Príloha 8. Termovízne snímkovanie v rámci HM SR Bratislavy – Dom seniorov ARCHA (MČ Bratislava-Nové Mesto)

Domov seniorov ARCHA je jedna z lokalít, kde boli sledované dopady **adaptačných opatrení**, realizovaných v rámci projektu „Bratislava sa pripravuje na zmeny klímy – pilotná aplikácia opatrení v oblasti zadržiavania zrážok v urbanizovanom prostredí“ realizovaného v rokoch 2014 – 2017 s podporou grantu EHP a Nórska a príspevkom zo štátneho rozpočtu SR (odborným garantom projektu bol Útvar hlavnej architektky HM SR Bratislavy v spolupráci s Prírodovedeckou fakultou Univerzity Komenského v Bratislave). Efekt opatrení bol sledovaný aj v rámci projektu Horizont 2020 RESIN.

Dom seniorov ARCHA sa nachádza v zastavanom území mestskej časti Bratislava – Nové Mesto, lokalita Kramáre. Lokalita bola vybraná o i. aj z toho dôvodu, že sú tu združení obyvatelia reprezentujúci citlivú a ohrozenú skupinu ľudí v rámci hodnotenia dopadov zmeny klímy v urbánnom prostredí (vek nad 65 rokov).

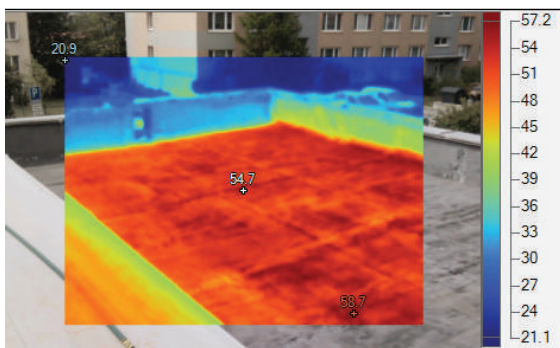
V areáli Domu seniorov ARCHA sa nachádza výsadba okrasných drevín a kríkov, ktoré v podrade dopĺňajú okrasné byliny. Časť areálu pokrýva upravený trávnik. Mikroklimu v areáli priaznivo ovplyvňuje hydrický prvok vo forme záhradného jazierka. Okolie areálu tvorí bytová zástavba a zástavba garáží, cesty, chodníky, sídelná zeleň, sadovnícky upravené plochy. V rámci realizácie adaptačného opatrenia, ktorým bolo zriadenie zelenej strechy sa sledovalo zníženie teploty povrchu budov, využitie dažďovej vody a vplyv na mikroklimu areálu (obr. 13).

Na lokalite sme **pomocou termovízneho snímkovania** kamerou FLUKE TIS45 Thermal IMAGER zaznamenávali **teplotu povrchov** jednotlivých **striech Domu seniorov ARCHA** (viď obr. 14-16) a hodnotili sme teplotné rozdiely medzi jednotlivými typmi povrchov striech použitých v rámci architektonického riešenia daného urbánneho priestoru (strecha plechová, strecha vegetačná – s vegetačnou pokrývkou s dominanciou druhov rodu Sedum a s vegetáciou s dominanciou trávových zmení). Jedno z meraní sa uskutočnilo 26. 07. 2017 pričom teplota vzduchu v čase merania dosahovala 25 °C.

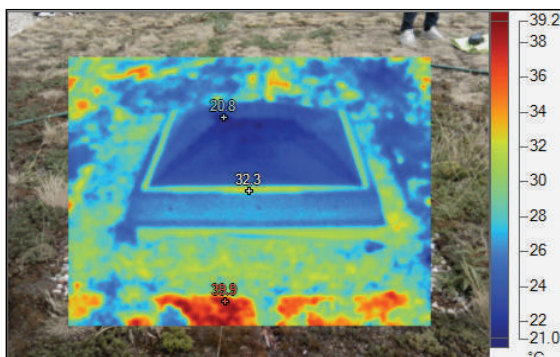


Obr. 13: Zelená strecha, Dom seniorov Archa, 26.07. 2017. Foto: E. Pauditšová.

Na fóliovej polyetylénovej streche (obr. 16) bez vegetačnej úpravy priemerná povrchová teplota dosahovala hodnotu 53,3 °C, zatiaľ čo zaznamenané **maximum bolo 58,7 °C**. Povrch strechy s vegetačnou úpravou (obr. 15) dosahoval **priemernú teplotu 27,9 °C** pričom maximum povrchovej teploty dosiahlo úroveň 39,9 °C. Ochladzovací efekt vegetačnej pokrývky s dominanciou druhov rodu *Sedum*, ktoré boli použité v rámci architektonického riešenia zelenej strechy, je jednoznačný. Podieľa sa na rozdieli v maximálnej teplote povrchu o 18,8 °C. Na obrázku 18 je zachytená fóliová strecha, na časti ktorej sa drží dažďová voda.

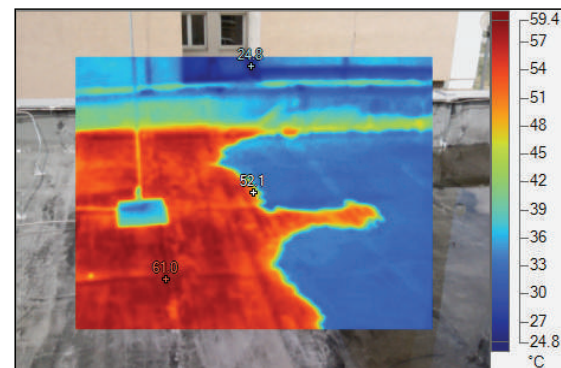


Obr. 14: Fóliová strecha (26.07.2017).

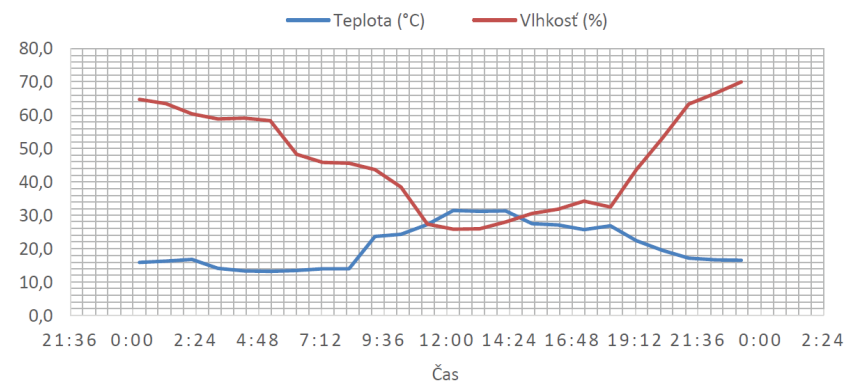


Obr. 15: Vegetačná strecha s dominanciou druhov rodu *Sedum* (26.07.2017).

Časť strechy pokrytá vodou dosahuje priemernú povrchovú teplotu 33,6 °C, zatiaľ čo priemerná povrchová teplota zvyšnej časti strechy je na úrovni 55,6 °C. **Maximum teploty povrchu strechy** dosiahlo až na **61,0 °C**. Periodické zamokrenie vplyvom meteorologických javov sa taktiež odzrkadľuje na mikroklimáte daného prostredia. Výrazný teplotný rozdiel viditeľný v termovíznom farebnom spektre v časti strechy bez vody je spôsobený farbou daného objektu. Ide o svetlý panel, ktorý ukotvuje bleskozvod, a ktorého priemerná teplota povrchu je 39,3 °C.



Obr. 16: Pohľad na fóliovú strechu, na ktorej sa drží dažďová voda (26.07.2017).



Graf 2: Priebeh teplôt a vlhkosti vzduchu počas dňa 26. 07. 2017 (zdroj: zberač dát – datalogger typ FA 31.1054 DTHK Log32 umiestnený na streche Domu seniorov Archa).

Príloha 9. Zoznam použitých indikátorov

Hodnotenie dôsledkov horúčav na obyvateľstvo

Indikátory spoločenskej citlivosti

- i. Podiel obyvateľov vo veku do 14 rokov (indikátor SC4.1.1.1) a nad 65 rokov (indikátor SC4.1.1.2) k celkovému počtu obyvateľov v mestskej časti, na základe údajov za rok 2017 poskytnutých Štatistickým úradom SR.
- ii. Podiel obyvateľov bez domova z celkového počtu obyvateľov v mestskej časti (indikátor SC4.1.1.3) na základe údajov zo sčítavania osôb bez domova vykonávaného HM SR Bratislavou v roku 2016.
- iii. Počet lôžkových nemocničných a ústavných zariadení v mestskej časti (indikátor SC4.1.1.4) na základe údajov poskytnutých Národným centrom zdravotníckych informácií SR za rok 2017.
- iv. Podiel pacientov s kardiovaskulárnym ochorením a ochorením dýchacej sústavy k celkovému počtu obyvateľov mestskej časti (indikátor SC4.1.1.5) na základe údajov poskytnutých Národným centrom zdravotníckych informácií SR za rok 2017.
- v. Podiel počtu lôžok v sociálnych zariadeniach k celkovému počtu obyvateľov (indikátor SC4.1.1.6). Na základe údajov Bratislavského samosprávneho kraja k 8/2018.

Indikátory environmentálnej citlivosti

- i. Podiel mierne teplých plôch k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor SC4.1.1.7) k celkovej rozlohe danej mestskej časti (v rozmedzí 27,3 °C - 31,8 °C).
- ii. Podiel teplých plôch k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor SC4.1.1.8) k celkovej rozlohe danej mestskej časti (v rozmedzí 31,9°C – 36,4 °C).
- iii. Podiel veľmi teplých plôch k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor SC4.1.1.9) k celkovej rozlohe danej mestskej časti (v rozmedzí 36,5 °C a viac).

Indikátory spoločenskej disponibilnej kapacity

- i. Dostupnosť ambulancií pre deti a dorast (indikátor SDK4.1.2.1) ako

podiel počtu ambulancií k celkovému počtu obyvateľov spadajúcich do kategórie „deti a dorast“ v MČ (2017).

- ii. Dostupnosť ambulancií všeobecných lekárov pre dospelých (indikátor SDK4.1.2.2) ako podiel počtu ambulancií k celkovému počtu obyvateľov spadajúcich do kategórie „dospelí“ v MČ (2017).
- iii. Dostupnosť ambulancií sociálnych zariadení (indikátor SDK4.1.2.3) ako podiel počtu ambulancií k celkovému počtu obyvateľov v MČ (2018).

Indikátory environmentálnej disponibilnej kapacity

- i. Podiel chladných (indikátor EDK4.1.2.1) a veľmi chladných plôch (indikátor EDK4.1.2.2) k celkovej rozlohe mestskej časti.
- ii. Podiel budov dostupnosti do 300 m od tzv. chladných povrchov (EDK4.1.2.3) k celkovému počtu budov v mestskej časti.

Indikátory expozície

- i. Podiel budov v ostrovoch tvorených teplými povrchmi ($T_{\text{povrch}} \geq 37^{\circ}\text{C}$) z celkového počtu budov v mestskej časti (indikátor E4.2.1).
- ii. Podiel rozlohy povrchov s teplotou 37°C a viac z celkovej rozlohy mestskej časti (indikátor E4.2.2).

Indikátor hrozby

- i. Index maximálnej teploty (indikátor H4).

Hodnotenie dôsledkov intenzívnych zrážok na obyvateľstvo

Indikátory citlivosti

- i. Podiel odpadových vôd pochádzajúcich z konzumovanej pitnej vody odvedenej kanalizačnou sieťou (indikátor C5.1.1) – údaje sú odvodené od množstva obyvateľov žijúcich v každej mestskej časti na základe údajov Štatistického úradu SR (2017).
- ii. Podiel zrážkových vôd odvedených z nepriepustných plôch a

zachytených kanalizačnou sieťou (indikátor C5.1.2) - je odvodený od rozlohy nepriepustných povrchov v každej mestskej časti a rozdielu medzi skonsumovanou pitnou vodou a celkovým množstvom odpadovej vody odvedenej kanalizačnou sieťou na základe údajov Štatistického úradu SR (2017).

- iii. Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor C5.1.3).
- iv. Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky od 1 meter do 2 metrov k celkovej rozlohe MČ (indikátor C5.1.4).

Indikátory disponibilnej kapacity

- i. Podiel priepustných plôch z celkovej rozlohy mestskej časti (indikátor DK5.1.1)
- ii. Podiel polopriepustných plôch z celkovej rozlohy mestskej časti (indikátor DK5.1.2)
- iii. Prítomnosť vhodných adaptačných opatrení zmierňujúcich záplavy (indikátor DK5.1.3)

Expozícia

- i. Počet obyvateľov mestskej časti k 31.12.2017 (indikátor E5.1.1).
- ii. Rozloha území so zvýšenou koncentráciou terénnych depresí infiltračných mikropovodí (indikátor E5.1.2).

Hrozba intenzívnych zrážok

- i. Index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok (indikátor H5) - pomer medzi priemerným maximálnym úhrnom zrážok a podielom nepriepustným plôch.

Hodnotenie dôsledkov intenzívnych zrážok na cestnú infraštruktúru na území HM SR Bratislavy

Indikátory citlivosti intenzívnych zrážok

- i. Hustota cestnej infraštruktúry v mestskej časti (indikátor C6.1.1).
- ii. Hustota terénnych depresí a kritických lokalít v mestskej časti (indikátor C6.1.2).
- iii. Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor C6.1.3).
- iv. Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 meter až 2 metre k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor C6.1.4).

Indikátory disponibilnej kapacity

- i. Podiel priepustných plôch z celkovej rozlohy mestskej časti (indikátor DK6.1.1).
- ii. Podiel polopriepustných plôch z celkovej rozlohy mestskej časti (indikátor DK6.1.2).
- iii. Prítomnosť vhodných adaptačných opatrení zmierňujúcich záplavy (indikátor DK6.1.3).

Hrozba intenzívnych zrážok

- i. Index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok (indikátor H6) - pomer medzi priemerným maximálnym úhrnom zrážok a podielom nepriepustným plôch.

Expozícia intenzívnych zrážok

- i. Dĺžka cestnej infraštruktúry (segmentov) ohrozenej intenzívnymi zrážkami v danej mestskej časti (indikátor E6.2.1).
- ii. Podiel plôch s vysokou koncentráciou terénnych depresí infiltračných mikropovodí k rozlohe mestskej časti (indikátor E6.2.2).
- iv. Podiel rozlohy terénnych depresí a kritických lokalít infiltračných mikropovodí v zastavanom území k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor E6.2.3).

Príloha 9. Zoznam použitých indikátorov

Hodnotenie dôsledkov intenzívnych zrážok na budovy

Citlivosť budov na intenzívne zrážky

- i. Hustota budov v mestskej časti (indikátor C7.1.1)
- ii. Podiel zrážkových vôd odvedených z nepriepustných plôch a zachytených kanalizačnou sieťou (indikátor C7.1.2)
- iii. Podiel plochy s podzemnou vodou do hĺbky 1 m k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor C7.1.3)
- iv. Podiel plochy s podzemnou vodou v hĺbke od 1 m do 2m k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor C7.1.4)

Indikátory disponibilnej kapacity budov

- i. Podiel priepustných plôch z celkovej rozlohy mestskej časti (indikátor DK7.1.1).
- ii. Podiel polopriepustných plôch z celkovej rozlohy mestskej časti (indikátor DK7.1.2).
- iii. Prítomnosť vhodných adaptačných opatrení zmierňujúcich záplavy (indikátor DK7.1.3).

Indikátory expozície budov

- i. Počet budov v tzv. exponovaných zónach (indikátor E7.2.1).
- ii. Počet budov v terénnych depresiách v najnižšie položených segmentoch mikropovodí (indikátor E7.2.2).
- iii. Podiel plôch so zvýšenou koncentráciou terénnych depresí mikropovodí k rozlohe mestskej časti (indikátor E7.2.3).
- iv. Podiel rozlohy terénnych depresí a kritických lokalít v zastavanom území k celkovej rozlohe mestskej časti (indikátor E7.2.4).

Hrozba

- i. Index nepriepustnosti maximálneho úhrnu zrážok (indikátor H7) - pomer medzi priemerným maximálnym úhrnom zrážok a podielom nepriepustným plôch.

Indikátory sú znázornené ako kartogramy v kapitolách č. 4 až č. 7. Kartogramy predstavujú jednu z foriem kartografickej vyjadrovacej metódy pre relatívne kvantitatívne ukazovatele (indikátory). Kartogramy sú doplnené o vrstvy budov a vybranej cestnej infraštruktúry (OpenStreetMap Contributors, 2018), ktoré slúžia len na ilustráciu zastavaného územia, nemajú však priamy vplyv alebo vzťah k zobrazovanému indikátoru.

Zodpovedná:

Ing. arch. Ingrid Konrad

Spracovateľ:

Mgr. Eva Streberová, PhD.

Kolektív autorov (v abecednom poradí):

Dipl.-Inform. Manfred Bogen, Ph.D., Ing. arch. Ingrid Konrad, prof. RNDr. Mária Kozová, CSc., Daniel Lückérath, Doc. RNDr. Eva Pauditšová, PhD., Mgr. Jozef Pecho, Mgr. Eva Streberová, PhD., Ing. et Ing. Miroslava Šteflovíčová, Ing. et Ing. Monika Šteflovíčová

Hlavné mesto Slovenskej republiky Bratislava

Primaciálne námestie 1

814 99 Bratislava

2020

ISBN 978-80-570-2203-9

