

Názov výstupu: The Study of the temperature modelling in relation to relation to the
heat island based in the urban structure of the Bratislava
Municipality Karlova Ves

Výstup z aktivity: C2

Autor: Juraj Holec

Website: www.odolnesidliska.sk



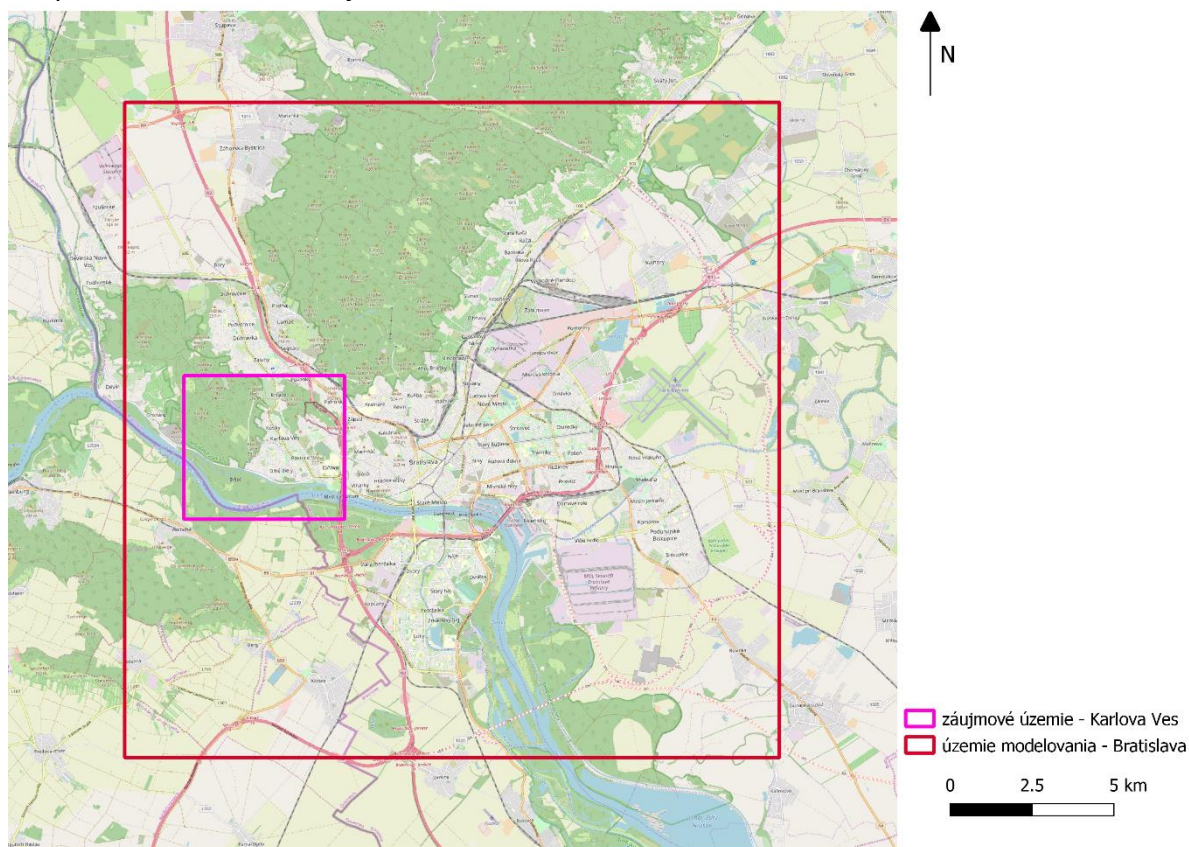
Projekt DELIVER - *DEveloping resilient, low-carbon and more LIVable urban Residential area*
DELIVER: *Sídlišká ako živé miesta odolné voči zmene klímy*, kód LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER.
Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej komisie, z finančného nástroja pre životné prostredie:
program LIFE, z podprogramu „Ochrana klímy“.

Úvod

V správe je opísaný postup prác a výsledky pri hodnotení zraniteľnosti územia Karlovej Vsi voči vlnám horúčav.

Metodika

Pre modelovanie bolo vybrané územie Bratislavy, stanovené štvorcovým tvarom s rozmermi 20x20 km. Zahŕňa oblasť mesta okrem jeho okrajových častí (Devínska Nová Ves, Jarovce, Rusovce, Čunovo). Z územia bola pre analýzu Karlovej Vsi vyčlenená menšia obdĺžniková oblasť s rozmermi 5 x 4,5 km, ktorá zaberá katastrálne územie Karlovej Vsi a jeho bezprostredné okolie. Záujmové územia sú znázornené na obr. 1.

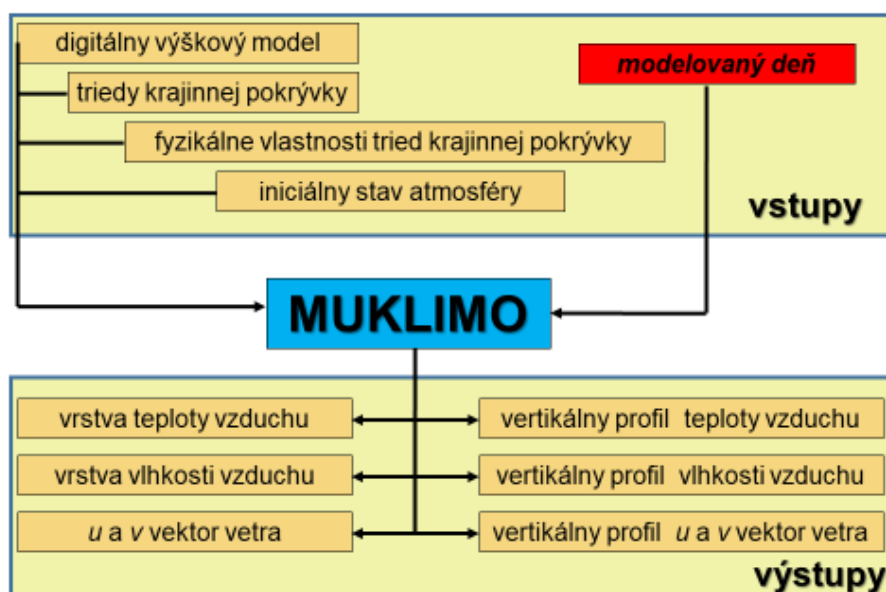


Obr. 1: Záujmové územie a jeho poloha v rámci územia modelovania teploty vzduchu.

Pre modelovanie teploty vzduchu v predmetnom území bol použitý model MUKLIMO. Model bol vyvinutý Nemeckou meteorologickou službou (DWD) najmä na výskum mestskej klímy (Sievers 2012, 2016). Vstupy potrebné do modelu a výstupy z modelu sú znázornené na obr. 2.



Správa je realizovaná v rámci projektu „*Sídlišká ako živé miesta odolné voči zmene klímy*“, DELIVER - *DEveloping resilient, low-carbon and more LIVable urban Residential area*, kód LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER. Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej komisie, z finančného nástroja pre životné prostredie: program LIFE, z podprogramu „Ochrana klímy“.



Obr. 2: Schéma vstupov a výstupov modelu MUKLIMO

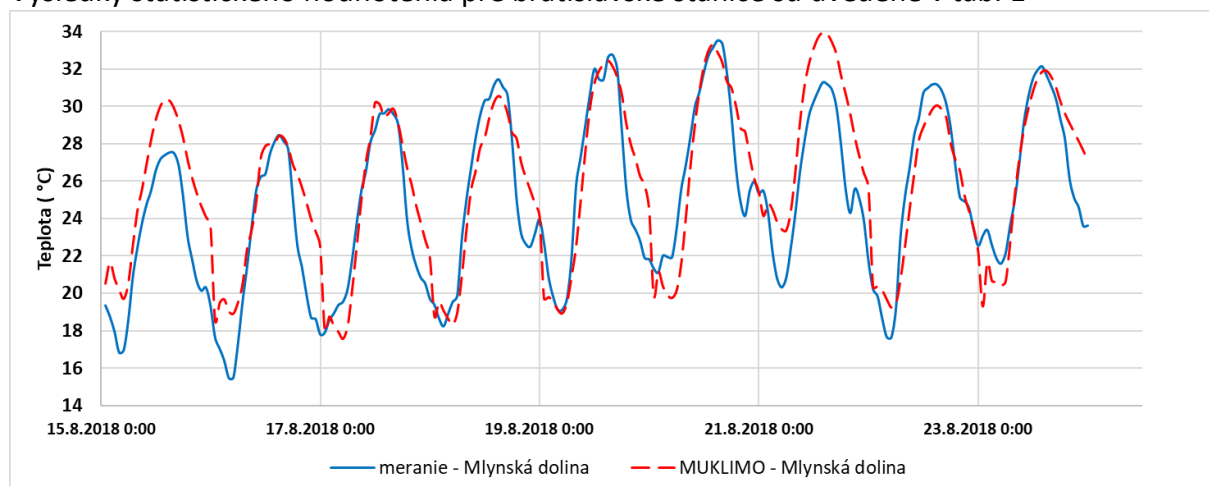
Ako vstupná vrstva výškopisu bol použitý voľne dostupný digitálny terénny model SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) v rozlíšení 30 m (<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), ktorý bol orezaný záujmovým územím a prevzorkovaný do rozlíšenia 100 m. Pri vstupe tried krajiny pokrývky bol použitý koncept vychádzajúci z klasifikácie autorov Stewart a Oke (2012) do tzv. lokálnych klimatických zón (LCZ), klasifikácia však bola ďalej detailizovaná v zmysle práce Szatmári a kol. (2018) do 45 tried krajiny pokrývky/využitia krajiny (*angl. LC/LU class*). Klasifikácia vychádza z databázy Urban Atlas a z klasifikácie satelitných snímok z obdobia roku 2016, je dostupná aj na webe (<http://www.geography.sav.sk/pdf/Rozsirena%20legenda%20Urban%20Atlas%202012.pdf>).

K vrstve krajiny pokrývky prislúcha tabuľka s vlastnosťami tried krajiny pokrývky. Tu sú uvedené napr. priemerné výšky budov, priemerné pomery výšok a plochy budov, priemerná hodnota prekrytej pôdy, priemerné výšky stromov a kríkov v nezastavaných areáloch a pod. Model MUKLIMO ďalej potrebuje meteorologické vstupy zo štyroch výškových hladín: Pre referenčnú výšku 2 m boli použité údaje z meteorologickej stanice Bratislava-letisko, z troch hladín vo voľnej atmosfére boli použité údaje z aerologických pozorovaní stanice Viedeň-Hohe Warte. Ďalej boli použité vstupy pre teplotu pôdy v hĺbke 1 m, teplotu vody, a priemernú oblačnosť zo stanice Bratislava-letisko. Pri hodnotení výstupov sme sa zamerali na modelovanú teplotu vzduchu.

Pre hodnotenie mestského ostrova tepla (*angl. urban heat island, ďalej len UHI*) bolo modelované obdobie v dňoch 15.8.2018-23.8.2018, kedy bolo Slovensko zasiahnuté vlnou horúčav. Model bol verifikovaný meraniami z piatich meteorologických staníc, porovnanie modelovaných a meraných dát bolo štatisticky zhodnotené, použitý bol index zhody (*angl. Index of agreement*, Wilmott, 1981). Pre väčšinu dní prevyšoval hodnotu 0,9 (veľmi dobrá zhoda medzi modelom a realitou, jeho najnižšia hodnota bola 0,75. Výsledky modelovania teda možno považovať za dôveryhodné. Ukážka priebehu meranej teploty na stanici Bratislava



– letisko a modelovanej teploty pomocou modelu MUKLIMO sú znázornené v grafe na obr. 3. Výsledky štatistického hodnotenia pre bratislavské stanice sú uvedené v tab. 1



Obr.3: Teplota vzduchu na stanici Mlynská dolina a modelovaná teplota vzduchu pre danú stanicu.

Tab.1: Štatistické hodnotenie pomocou ukazovateľa index zhody (Wilmott, 1981) pre bratislavské stanice v období 15.8.2018-23.8.2018.

stanica	15.8.2018	16.8.2018	17.8.2018	18.8.2018	19.8.2018	20.8.2018	21.8.2018	22.8.2018	23.8.2018
MLY	0,85	0,89	0,96	0,96	0,95	0,94	0,86	0,97	0,94
KOL	0,86	0,92	0,95	0,92	0,84	0,94	0,89	0,90	0,91
LET	0,75	0,86	0,96	0,97	0,94	0,95	0,76	0,96	0,95
TMY	0,96	0,89	0,94	0,91	0,85	0,96	0,93	0,88	0,94
MAM	0,80	0,92	0,98	0,96	0,95	0,93	0,84	0,95	0,94
MLY - Mlynská dolina; KOL - Koliba; LET - letisko; TMY - Trnavské mýto; MAM - Mamateyova									

Z vrstiev pre dni modelovaného boli vytvorené odchýlky teploty vzduchu od referenčného vidieckeho územia – zvolené boli tri body na rakúskej strane územia priľahlého ku Karlovej Vsi, ktoré sa nachádzali na areáloch poľnohospodárskej pôdy. Nástrojom rastrovej kalkulačky v prostredí GIS bol vykonaný rozdiel medzi modelovaným teplotným poľom a priemerom hodnoty teploty z referenčných bodov. Tým bola stanovená intenzita efektu mestského ostrova tepla. Obdobie deviatich dní bolo spriemerované a boli vytvorené vrstvy priemerného efektu UHI v termínoch o 15.00 hodine a 21. hodine. 15. hodina predstavovala prejav UHI v poobedňajších hodinách v čase výskytu maximálnych teplôt, 21. hodina predstavovala prejav UHI vo večerných hodinách po západe slnka, kedy je efekt UHI výraznejší ako počas dňa. Limitom modelu MUKLIMO je fakt, že neráta s charakterom vegetácie a výškou stromov v zastavaných triedach krajiny pokrývky, tento parameter má len pre nezastavané triedy. Preto bola v zastavaných triedach vytvorená korekcia modelu na základe metodiky z práce Geneletti a kol. (2020), pri ktorej bol zohľadnený chladiaci efekt vegetácie. Cieľom tejto korekcie bolo priblíženie ku konkrétnym mikroklimatickým podmienkam jednotlivých lokalít. Chladiaci efekt vegetácie bol počítaný nad triedami extrahovanými z vrstvy Urban Atlas, do ktorých bola z databáz o zeleni, ktoré má k dispozícii MČ Karlova Ves, pridaná hodnota pre chladiaci a tieniaci efekt.

Päť výsledných kategórií tienenia bolo konvertovaných na percentuálne hodnoty v zmysle metodiky Geneletti a kol. (2020). Táto škála bola následne prekonvertovaná na odhad možného ochladenia v °C. Konverzia bola vytvorená jednak 1) na základe dát



z mikroklimatických meraní v Karlovej Vsi, iných častiach Bratislavy a v Košiciach, kde boli určené teplotné rozdiely medzi blízkymi zónami s rôznou mierou chladiaceho efektu) a 2) na základe modelovaní modelom MUKLIMO s porovnaním nezastavaných areálov a príľahlých zastavaných areálov.

Z hodnôt rozdielov teplôt a daného chladiaceho efektu bol lineárnou regresiou stanovený vzťah pre 15. hodinu:

$$y = 0,015 \cdot x$$

a pre 21. hodinu:

$$y = 0,0075 \cdot x$$

kde y je ochladenie vyjadrené v °C a x je chladiaci efekt v škále 0-100. Teda 100% chladenie činí chladiaci efekt približne 1,5°C o 15. hodine a 0,75°C o 21. hodine.

Od pôvodných vrstiev teplotného poľa z modelu MUKLIMO bola odpočítaná vrstva chladiaceho efektu.

Pre komplexnejšie zhodnotenie zraniteľnosti sme pristúpili aj k vytvoreniu mapy povrchovej teploty v oblasti Karlovej Vsi. Ako zdrojové dáta pre jej vytvorenie slúžili údaje zo satelitných snímok LANDSAT 8. Snímky sú zhotovené okolo 12. hodiny LSEČ. Bližší opis metodiky tvorby teploty povrchu zo satelitných snímok poskytujú napr. Rajeshwari a Mani (2014). Bolo vybraných 5 letných dní z rokov 2015, 2018 a 2019, kedy sa nevyskytovala oblačnosť, ktorá by mohla zabraňovať spoľahlivému výpočtu povrchovej teploty. Boli vybrané nasledovné dátumy: 15.8.2015, 31.8.2015, 7.8.2018, 23.8.2018, 10.8.2019. Od vypočítanej povrchovej teploty bola odčítaná teplota referenčného trávnatého povrchu. Za referenčný trávnatý povrch boli určené tri body na kosených trávnikoch v blízkosti Prírodovedeckej fakulty UK a Fakulty elektrotechniky a informatiky STU. Odčítaním vznikla mapa odchýlok povrchovej teploty od referenčnej plochy, ktorá slúžila ako jeden z výstupov a vstup do finálneho hodnotenia zraniteľnosti.

Do hodnotenia zraniteľnosti teda vo forme odchýlok teploty od referenčného miesta vstupovali nasledovné vrstvy:

- 1) Teplota vzduchu korigovaná chladiacim efektom vegetácie v časoch o 15. a 21. hodine
- 2) Teplota povrchu

Pomocnou vrstvou bola vrstva katabatických prúdení, ktorá korigovala reklasifikovanú teplotu o 21. hodine, kedy sa katabatické prúdenia začínajú výraznejšie prejavovať.

Vrstvy teploty vzduchu a povrchu boli reklasifikované do štyroch kategórií ohrozenia: 0 (bez ohrozenia – chladné, alebo neutrálne lokality), 1 (mierny efekt UHI), 2 (stredne silný efekt UHI), 3 (silný efekt UHI).

Reklasifikácia vrstiev odchýlok teploty od referenčného vidieckeho miesta (resp. trávinatej plochy v prípade teploty povrchu) do štyroch kategórií podľa zraniteľnosti prebehla pomocou nasledovnej schémy:

Odchýlky teploty vzduchu pre 15. hodinu:

menej ako -1,5°C – kategória 0

-1,5°C až -0,5°C – kategória 1

-0,5°C až +0,5°C – kategória 2

0,5°C a viac – kategória 3

Odchýlky teploty vzduchu pre 21. hodinu:

menej ako 0°C – kategória 0



0°C – 0,5 °C – kategória 1

0,5°C – 1°C – kategória 2

1°C a viac – kategória 3

Odchýlky teploty povrchu (LST):

menej ako 0,5°C – kategória 0

0,5 – 1,5°C – kategória 1

1,5 – 2,5 °C – kategória 2

2,5°C a viac – kategória 3

Pri reklasifikácii bolo brané do úvahy špecifikum Karlovej Vsi, nakoľko sa jedná o relatívne chladnejšiu časť Bratislavy, boli hodnoty zraniteľnosti škálované vzhľadom k danej časti mesta, nie k celému územiu Bratislavy. Ak by boli škálované vzhľadom k celej Bratislave, pravdepodobne celé územie Karlovej Vsi by spadlo do kategórie 0, resp. 1. Preto v prípade 15. hodiny aj záporné odchýlky od teploty vidieku spadajú do kategórií zraniteľnosti 1, resp. 2.

Reklasifikovaná vrstva zraniteľnosti pre 21. hodinu bola korigovaná expertne vymapovanou vrstvou katabatických prúdení, ktorá v miestach katabatických prúdení mohla znížiť hodnotu zraniteľnosti o 1, resp. o 2. stupne. Jednalo sa o vymapovanie malých údolí a depresných polôh, ktoré nebol model MUKLIMO pri svojej rozlišovacej schopnosti schopný zachytiť. Zamerali sme sa na kataster MČ Karlova Ves, viacero podobných údolí sa nachádza aj v Malých Karpatoch mimo katastra MČ Karlova Ves.

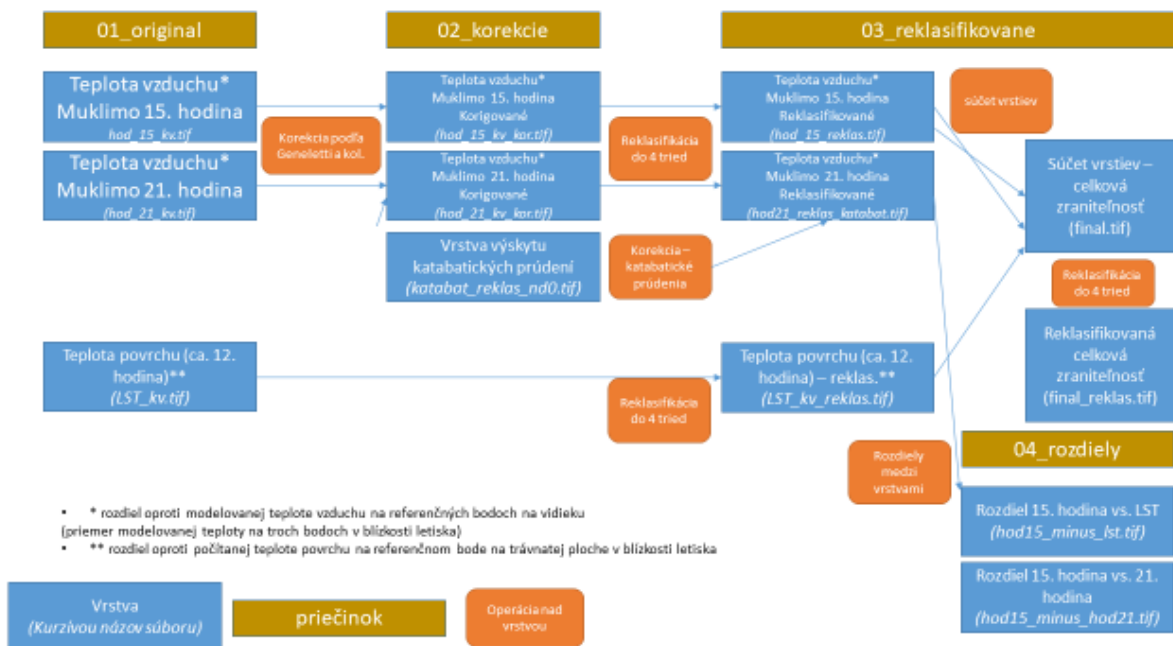
Tri reklasifikované vrstvy hodnotiace zraniteľnosť pre 15. hodinu, 21. hodinu a zraniteľnosť z povrchových teplôt boli následne sčítané do finálnej vrstvy, ktorá mohla teoreticky dosahovať hodnoty 0 až 9, v praxi dosahovala hodnoty 0 až 8. Bola reklasifikovaná podľa schémy v tab. 2. Do reklasifikovanej kategórie 0 bola priradená aj hodnota finálnej vrstvy 1 – jednalo sa najmä o územie lesa v blízkosti Sitiny.

Tab. 2: Reklasifikácia finálnej vrstvy zraniteľnosti

Kategória finálnej vrstvy	Reklasifikácia (hodnota zraniteľnosti)
0 - 1	0
2 - 3	1
4 - 6	2
7 - 9	3

Pracovný postup je znázornený na obr. 4 a v priloženom súbore „*schema postupu_KV.pptx*“. V modrých obdĺžnikoch sú kurzívou uvedené názvy GIS vrstiev, ktoré boli zaslané v rámci jednotlivých priečinkov znázornených béžovou farbou.

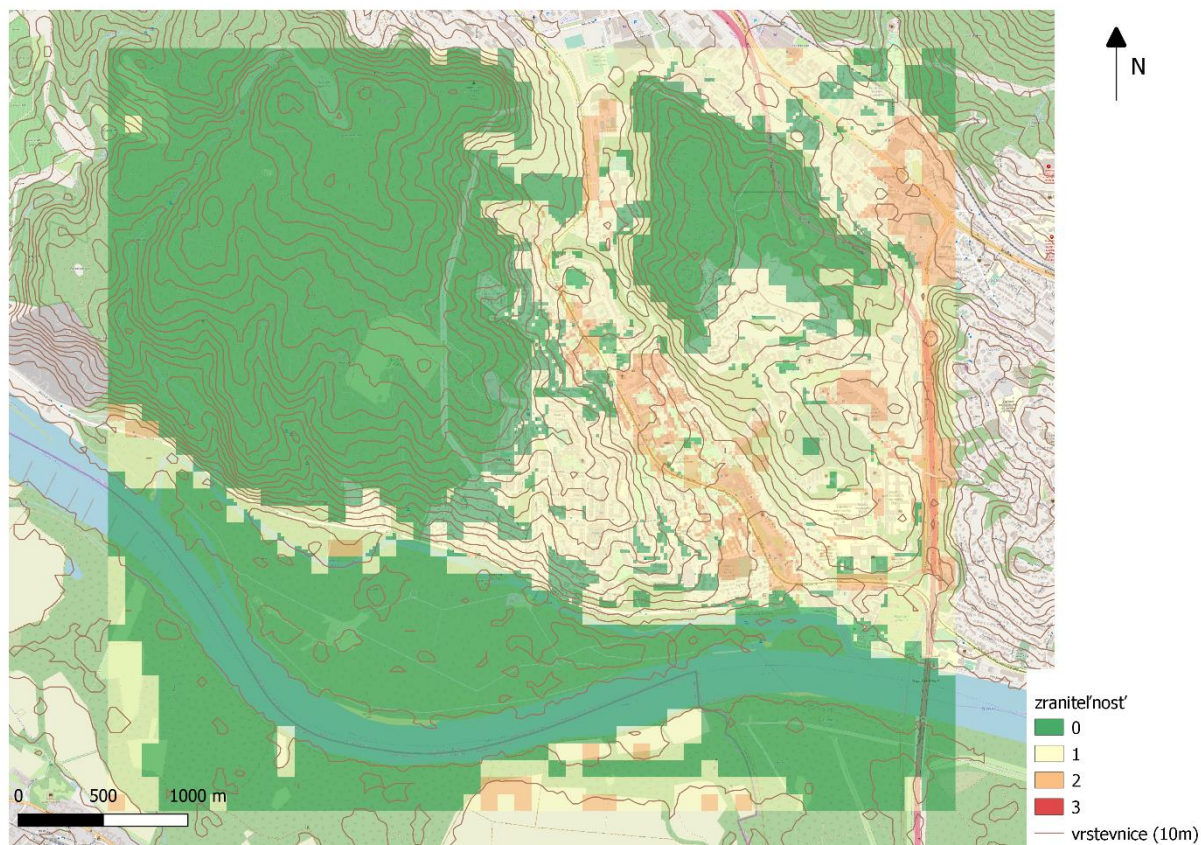




Obr. 4: Schéma pracovného postupu pri príprave vrstiev pre Karlovu Ves

Výsledky

Tri vrstvy, ktorých súčet vytváral celkovú zraniteľnosť vykazovali medzi sebou odlišnosti. V nasledujúcich riadkoch sa zameriame na ich zhodnotenie.



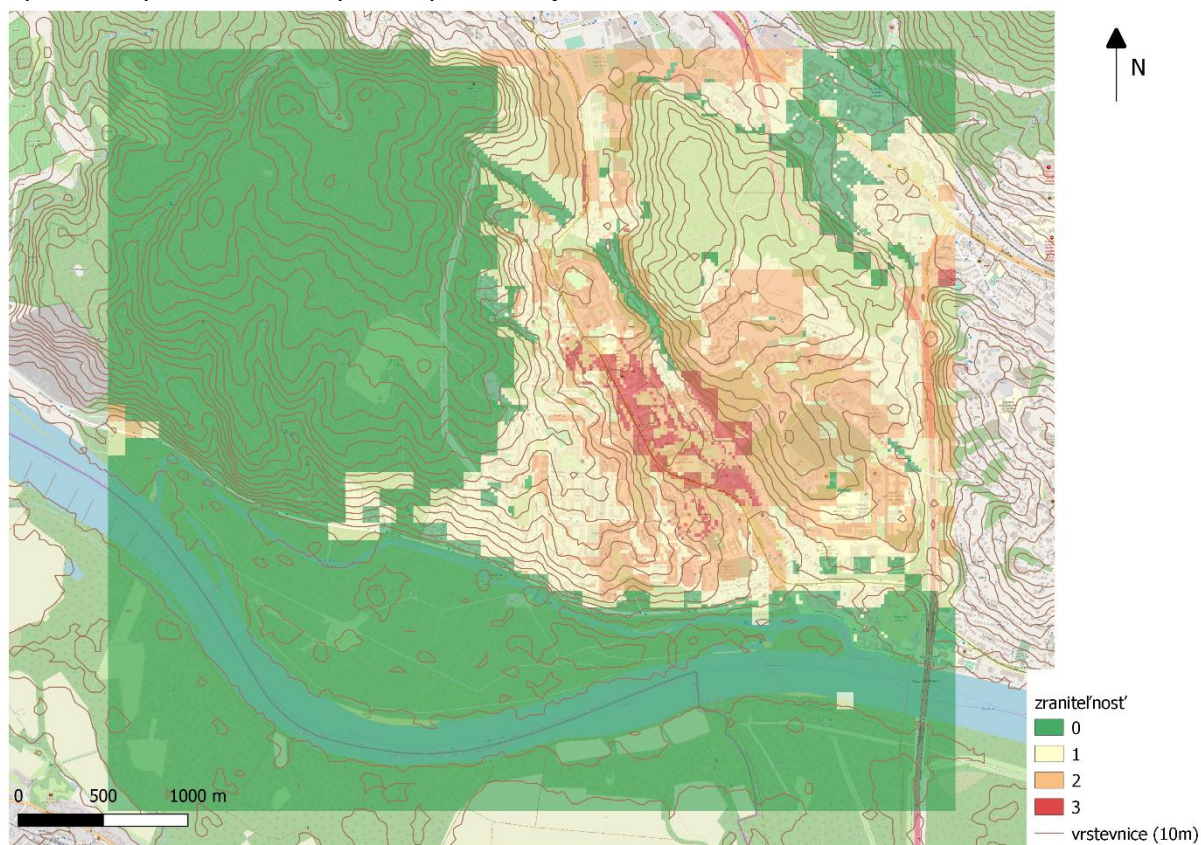
Obr. 5: Zraniteľnosť územia o 15. hodine



Správa je realizovaná v rámci projektu „Sídlišká ako živé miesta odolné voči zmene klímy“, DELIVER - DEveloping resilient, low-carbon and more LIVable urban Residential area, kód LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER. Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej komisie, z finančného nástroja pre životné prostredie: program LIFE, z podprogramu „Ochrana klímy“.

O 15. hodine nie je efekt UHI natoľko výrazne vyvinutý, väčšina predmetného územia je chladnejšia ako referenčné body na vidieku. Preto nebol do reklasifikácie priradený najvyšší stupeň zraniteľnosti. Druhý stupeň sa vyskytuje najmä pozdĺž Mlynskej doliny a v prerušovanom pásme od Molecovej približne po obratisko električiek v Karlovej Vsi. V pásme bola korekciami znížená zraniteľnosť najmä v oblasti staršej panelovej zástavby v Karlovej Vsi (napr. od okolia Spojenej školy Tilgnerova po Čavojského). Do prvej kategórie zraniteľnosti spadá väčšina územia Dlhých dielov, časti Karlovej Vsi aj širšie územie v okolí fakúlt UK a STU, internátov a cintorínu v Mlynskej doline. Do kategórie 0 spadá najmä prírodné prostredie Sitiny, Sihote a príľahlých lesov Devínskych Karpát. Mapa zraniteľnosti pre 15. hodinu je znázornená na obr. 5

O 21. hodine (obr. 6) sa najvyššia kategória zraniteľnosti vyskytuje v prerušovanom pásme od Jurigovho námestia po MiÚ Karlova Ves, do druhej kategórie spadá časť Dlhých dielov na svahoch príľahlých ku Karloveskej ulici a protiľahlé svahy smerom k ulici Staré Grunty. Tie síce nie sú zastavané, no dôvodom vyššej teploty je zrejme ich juhozápadná orientácia, kedy sa v poobedných hodinách výrazne prehrievajú.

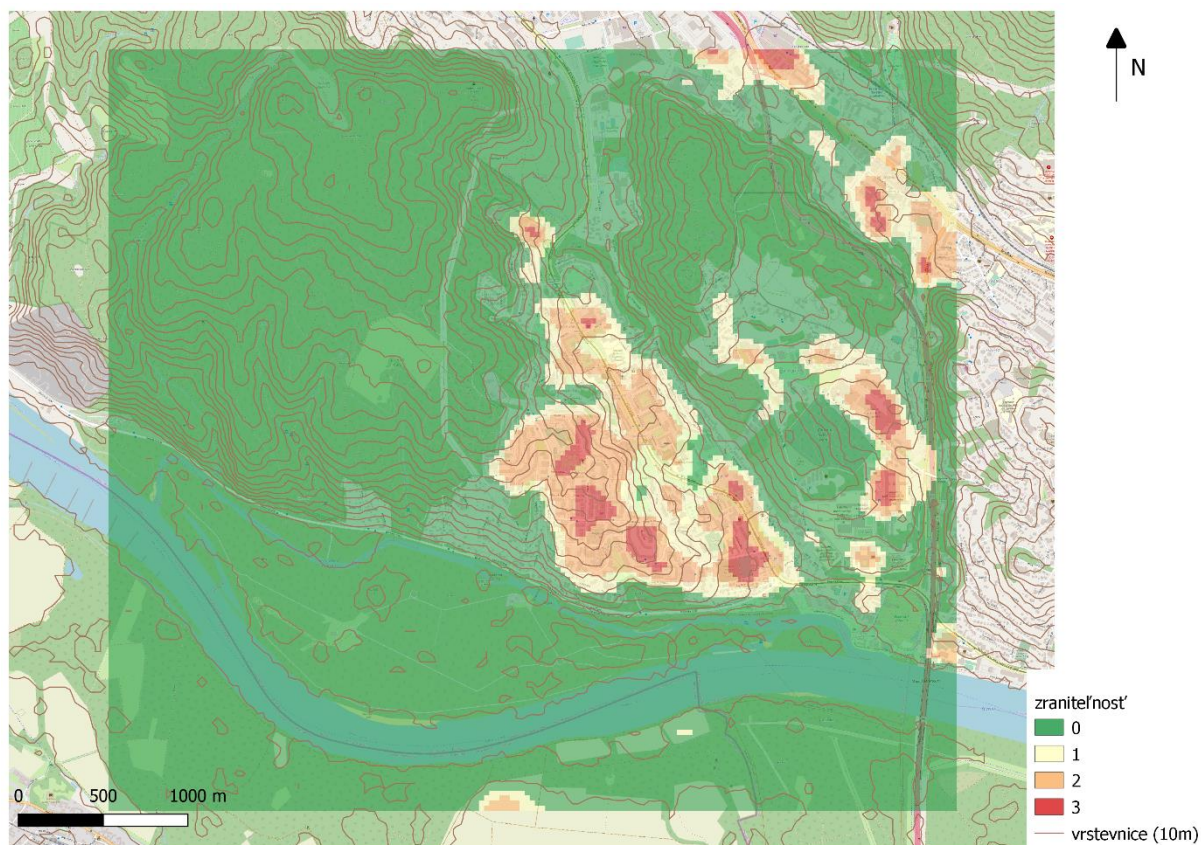


Obr. 6: Zraniteľnosť územia o 21. hodine

Zraniteľnosť odvodená z teploty povrchu poskytuje trochu iný obraz ako predošlé dve charakteristiky (obr. 7). Vysoké hodnoty zraniteľnosti sa pomerne tesne viažu na miesta s vysokým percentom plôch prekrytých umelými povrchmi. Oblasť 3. stupňa zraniteľnosti sa nachádza v priestore Dlhých Dielov pri uliciach Majerníkova, Pribišova a Kolískova, a taktiež pri Molecovej. Okrem toho takéto zóny možno pozorovať aj okolo areálu Slovenskej televízie, či pri Patrónke. Do druhej kategórie spadá pomerne široká zóna na Dlhých dieloch a v severnej



časti Karlovej Vsi. Väčšina územia s malým percentom areálov prekrytých umelými povrchni spadá do kategórie 0.

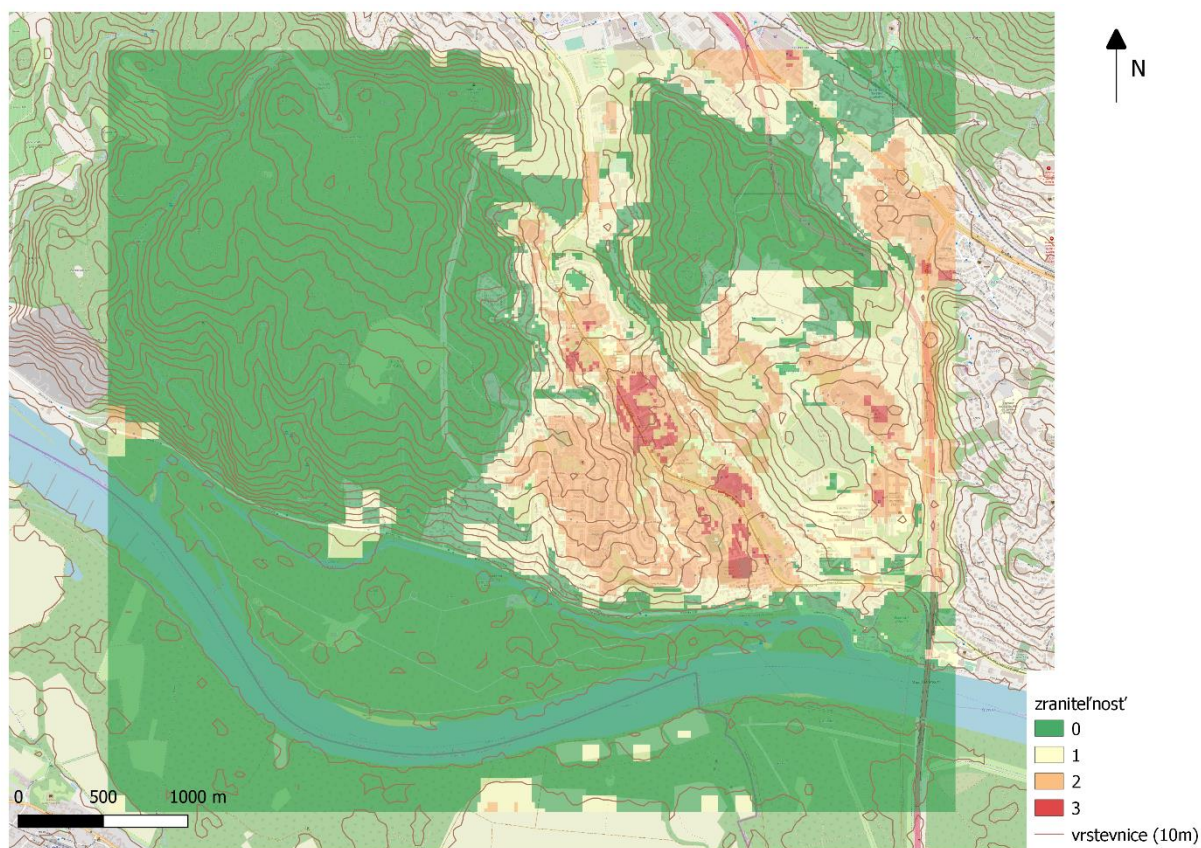


Obr. 7: Zraniteľnosť územia odvodená z teploty povrchu

Celková zraniteľnosť (obr. 8), ktorá vznikla súčtom troch vrstiev zraniteľnosti má najvyššiu kategóriu zastúpenú len v menších ostrovčekovitých areáloch v okolí Molecovej, Jurigovho námestia a MiÚ Karlova Ves. Druhý stupeň zasahuje pomerne veľké územie sídliskových častí Dlhých dielov a Karlovej Vsi. Prvý stupeň zasahuje aj na územie v blízkosti fakúlt UK a STU a svahy pri Starých Gruntoch. Bez ohrozenia sú najmä lesnaté územia Sihote, Devínskych Karpát a v rámci nich aj Sitiny.



Správa je realizovaná v rámci projektu „Sídľiská ako živé miesta odolné voči zmene klímy“, DELIVER - DEveloping resilient, low-carbon and more LIVable urban Residential area, kód LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER. Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej komisie, z finančného nástroja pre životné prostredie: program LIFE, z podprogramu „Ochrana klímy“.



Obr. 8: Celková zraniteľnosť územia



Správa je realizovaná v rámci projektu „Sídlišká ako živé miesta odolné voči zmene klímy“, **DELIVER** - **D**Eveloping resilient, low-carbon and more **LIV**able urban **R**esidential area, kód LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER. Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej komisie, z finančného nástroja pre životné prostredie: program LIFE, z podprogramu „Ochrana klímy“.

Zdroje:

Geneletti, D., Cortinovis, C., Zardo, L., & Esmail, B. A. (2020). Developing Ecosystem Service Models for Urban Planning: A Focus on Micro-Climate Regulation. In *Planning for Ecosystem Services in Cities* (pp. 31-42). Springer, Cham.

Rajeshwari, A., & Mani, N. D. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122-126.

Sievers, U. (2012). Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. Teil 1: Theoretische Grundlagen, PC Basisversion, Validierung. In: *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Band 240. Deutscher Wetterdienst: Offenbach am Main.

Sievers, U. (2016). Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. Teil 2: Thermodynamische Erweiterung. In: *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Band 248. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach am Main.

[Stewart, D. I., Oke, T. R. \(2012\): Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 1879–1900.](#)

SZATMÁRI, Daniel - KOPECKÁ, Monika - FERANEC, Ján - SVIČEK, Michal. Rozšírená legenda Urban Atlas 2012 : (APVV-15-0136). Bratislava : Geografický ústav SAV, 2018. 48 s. Dostupné na internete: [<http://www.geography.sav.sk/pdf/Rozsirena%20legenda%20Urban%20Atlas%202012.pdf>](http://www.geography.sav.sk/pdf/Rozsirena%20legenda%20Urban%20Atlas%202012.pdf). ISBN 978-80-89548-06-4

Willmott, C. J. (1981). On the validation of models. *Physical Geography*, 2(2), 184-194.

Internetové zdroje:

<https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>



Správa je realizovaná v rámci projektu „Sídliiská ako živé miesta odolné voči zmene klímy“, DELIVER - DEveloping resilient, low-carbon and more LIVable urban Residential area, kód LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER. Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej komisie, z finančného nástroja pre životné prostredie: program LIFE, z podprogramu „Ochrana klímy“.