

UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH

Prírodovedecká fakulta



Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

Prírodovedecká fakulta

Šrobárova 2, 04154

IČO: 00397768, DIČ: 20211570500 Košice

web: www.science.upjs.sk | e-mail: pfsekret@upjs.sk | tel: +421 55 234 2181

TECHNICKÁ SPRÁVA

Spracovanie súboru tematických priestorových údajov zameraných na potenciál obnoviteľných zdrojov energie a environmentálnych charakteristík územia Košického samosprávneho kraja (KSK)

Objednávateľ: Európske zoskupenie územnej spolupráce Via Carpatia s ručením obmedzeným

Sídlo: Námestie Maratónu mieru č. 1, 042 66 Košice

IČO: 45230030 | DIČ: 2023851126

Bankové spojenie: Všeobecná úverová banka, a. s.

IBAN: SK62 0200 0000 0036 1876 7258

Zodpovedná osoba: Ing. Julianna Máté, PhD. – riaditeľ

Kontakt: Ing. Mgr. Pamela Valentová, email: pamela.valentova@viacarpattia.eu

Dátum objednávky: 19. 8. 2025 | Dátum dodania: 15. 11. 2025

Zhotoviteľ: Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach

Prírodovedecká fakulta, Ústav geografie

Jesenná 5, 040 01 Košice

Zastúpená: doc. RNDr. Roman Soták, PhD., dekan fakulty

Riaditeľ Ústavu geografie: doc. Mgr. Ladislav Novotný, PhD.

Tel. +421 55 234 2590, email: uge@upjs.sk

Autori správy a realizátori objednávky:

- doc. Mgr. Michal Gallay, PhD. (zodpovedný riešiteľ)
- prof. Mgr. Jaroslav Hofierka, PhD.
- Mgr. Ján Šášak, PhD.
- Mgr. Michaela Nováková, PhD.
- Mgr. Katarína Onáčillová, PhD.
- Mgr. Tomáš Fedor

Miesto realizácie:

Ústav geografie, Prírodovedecká fakulta UPJŠ, Košice

Dátum vyhotovenia správy: 1

20. November 2025,

verzia: 2

OBSAH

Technická správa	1
1. Úvod.....	3
2. Priestorový rozsah, dátové formáty a súradnicový systém.....	3
3. Prehľad tematických vrstiev	4
3.1 Solárny potenciál	4
3.2 Prehrievanie povrchu	6
3.3 Veterný potenciál	10
3.4 Potenciál dažďovej vody - úhrn zrážok.....	12
3.5 Geotermálny potenciál	13
3.6 Potenciál pre tepelné čerpadlá.....	15
3.7 Dostupnosť centrálnych zdrojov tepla (CZT)	19
3.8 Vrstvy budov a hraníc administratívnych jednotiek.....	21
4. Zhrnutie	22

1. ÚVOD

V rámci objednávky „**Spracovanie súboru tematických priestorových údajov zameraných na potenciál obnoviteľných zdrojov energie a environmentálnych charakteristík územia**“ boli pripravené geopriestorové vrstvy pre územie Košického samosprávneho kraja (KSK).

Tieto vrstvy slúžia ako podklad pre interaktívnu mapu energetického mixu, ktorá bude zverejnená v GIS prostredí portálu Košického samosprávneho kraja. Výstupy sú navrhnuté tak, aby:

- vizuálne a prehľadne zobrazovali potenciál rôznych typov obnoviteľných zdrojov energie,
- upozorňovali na environmentálne riziká (prehrievanie, dostupnosť vody),
- podporili strategické plánovanie adaptačných a energetických opatrení na úrovni budov, parciel aj obcí.

Všetky vrstvy sú spracované tak, aby boli kompatibilné s existujúcim GIS portálom KSK a pripravené na publikovanie.

Vypracované údajové vrstvy a mapy možno stiahnuť cez [tento link](#). V prípade, že objednávateľ zistí akékoľvek nedostatky vo výstupoch, zaväzujeme sa ich bezodkladne a bezodplatne odstrániť.

2. PRIESTOROVÝ ROZSAH, DÁTOVÉ FORMÁTY A SÚRADNICOVÝ SYSTÉM

Všetky analýzy boli realizované pre územie Košického samosprávneho kraja. Výsledné údaje sú vzťahované k týmto priestorovým jednotkám:

- **bunky dátovej mriežky** (rastra) s priestorovým rozlíšením 2, 10, resp. 100 metrov vo formáte GeoTIFF;
- **polygóny (plochy) budov**– podľa verejnej databázy INSPIRE vo formáte ESRI Shapefile;
- **všetky vrstvy sú zjednotené a dodané v jednej geodatabáze (formát GDB) pre ArcGIS Pro.**

Výstupy sú pripravené v súradnicovom systéme WGS84 UTM34N (EPSG 32634) a dodané v štandardizovaných GIS formátoch. Formáty spĺňajú požiadavku plnej kompatibility s GIS portálom KSK a umožňujú jednoduché zverejnenie jednotlivých vrstiev ako tematických máp.

3. PREHLAD TEMATICKÝCH VRSTIEV

V rámci zadanej úlohy boli vytvorené nasledovné geopriestorové dátové vrstvy:

- 3.1 Solárny potenciál
- 3.2 Prehrievanie povrchu
- 3.3 Veterný potenciál
- 3.4 Potenciál dažďovej vody / priemerný ročný úhrn zrážok
- 3.5 Geotermálny potenciál
- 3.6 Potenciál pre tepelné čerpadlá

3.1 SOLÁRNY POTENCIÁL

Solárny potenciál územia KSK bol vypočítaný v prostredí **GRASS GIS** pomocou modulu **r.sun** na základe **digitálneho modelu povrchu (DSM 1.0)** v **pôvodnom rozlíšení 1 m** dodaného GKÚ. Tento DSM bol najskôr prevzorkovaný pomocou modulu **r.resamp.stats** (metóda *average*) na priestorové rozlíšenie 10 m a 100 m (veľkosť bunky rastrovej vrstvy), ktoré sa následne použili pri výpočtoch globálneho slnečného žiarenia. Cieľom spracovania bolo odvodiť ročný súčet globálneho žiarenia dopadajúceho na horizontálnu plochu (v kWh/m²/rok) pre rôzne úrovne podrobnosti a z neho odvodiť solárny potenciál územia a budov.

Pri výpočtoch boli v module **r.sun** zohľadnené:

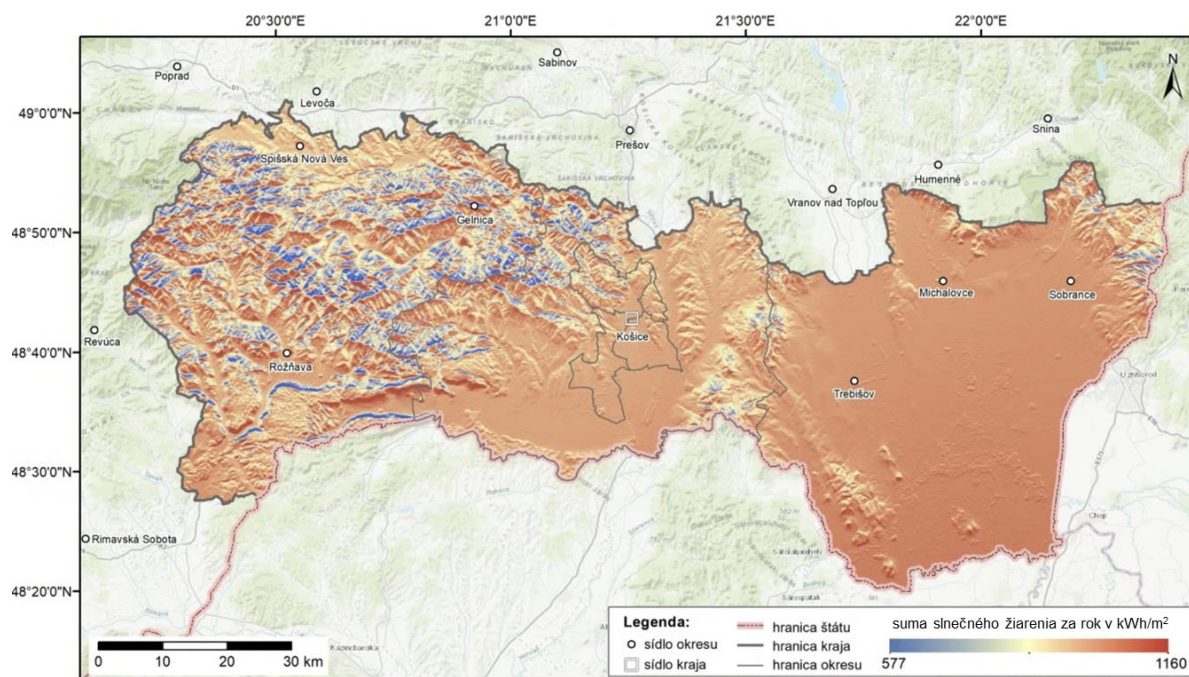
- geometria terénu (výška, sklon, expozícia) z digitálneho modelu povrchu SR 1.0 (ZBGIS, GKÚ), atmosféricka priepustnosť cez Linkeho zákalový koeficient, pri výstupoch „real“ je zohľadnený efekt oblačnosti po jednotlivých mesiacoch, predpokladaná hodnota albeda 0,15 (typická pre bežné povrchy).

Vznikli tieto rastrové vrstvy:

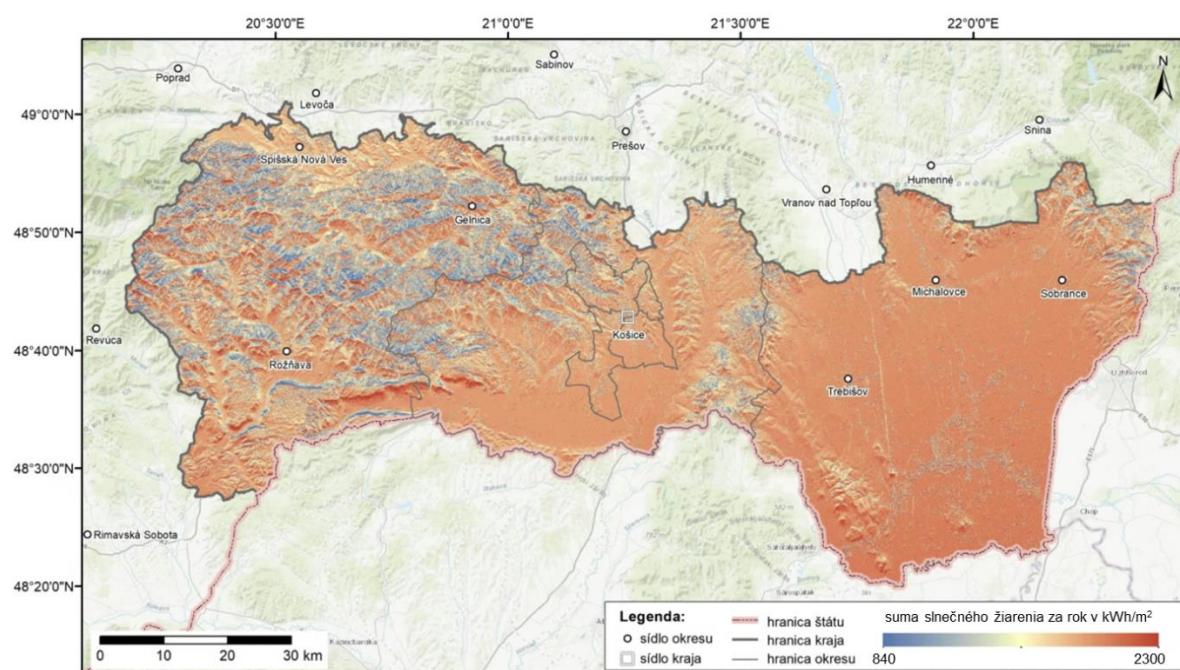
- **solarny_potencial_suma_za_rok_kWh_100m** – rozlíšenie 100 m, ročný súčet globálneho žiarenia (kWh/m²) pri zohľadnení Linkeho koeficientu a oblačnosti; výpočet pre DSM 100 m.
- **solarny_potencial_suma_za_rok_kWh_10m** – rozlíšenie 10 m, ročný súčet globálneho žiarenia (kWh/m²) pri zohľadnení Linkeho koeficientu a oblačnosti; výpočet pre DSM 10 m.
- **solarny_potencial_suma_za_rok_kWh_2m** – rozlíšenie 2 m, ročný súčet globálneho žiarenia (kWh/m²) vypočítaný pre DSM 10 m v rozlíšení 10 m a následne prevzorkovaný na 2 m bilineárnou interpoláciou. Toto jemné rozlíšenie slúži predovšetkým na detailnejšie posúdenie solárneho potenciálu v zastavanom území.

Pre potreby hodnotenia potenciálu na úrovni budov bol vytvorený vektorová dátová vrstva **solarny_potencial_budovy_suma_za_rok_kWh** (Obr. 3.1.3), v ktorej sú hodnoty globálneho slnečného žiarenia (kWh/m²/rok) dopadajúceho na štvorcový meter horizontálnej plochy strechy z vrstvy **solarny_potencial_suma_za_rok_kWh_2m** (Obr. 3.1.1) priestorovo priradené k pôdorysom budov (INSPIRE budovy). Priradenie prebiehalo pomocou **zonálnej štatistiky**, pričom ako reprezentatívna hodnota pre každú budovu bol použitý **medián** hodnôt

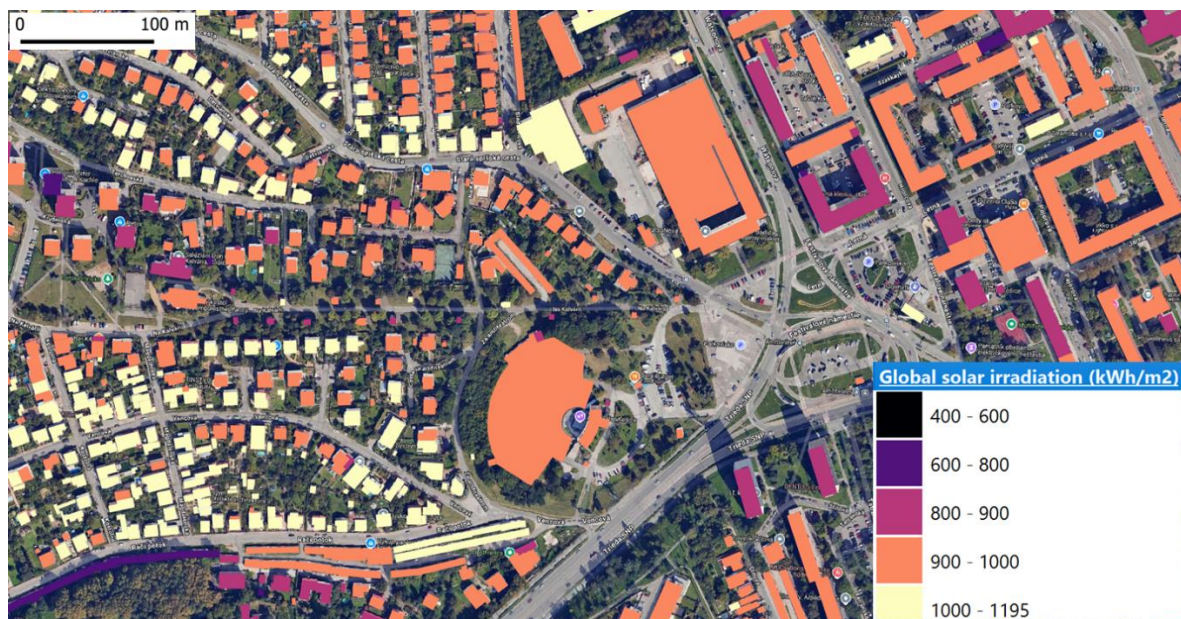
modelovaného žiarenia vnútri jej pôdorysu. Výsledkom je vektorová vrstva budov s atribútom ročného solárneho potenciálu na jednotku plochy, ktorá umožňuje priamo identifikovať objekty s najvyšším potenciálom pre inštaláciu fotovoltických (PV) panelov alebo solárnych kolektorov. **Hodnoty sú indikatívne** a pre presnejšie stanovenie PV potenciálu je potrebné uvažovať konkrétny typ inštalácie a vertikálny uhol naklonenie i orientáciu PV panelu. Vyskytujú sa susediace budovy s rozdielnymi hodnotami, čo spôsobujú faktory, ako je zatienenie budovy okolitými alebo rozličná morfológia strechy v rámci jedného polygónu budovy.



Obr. 3.1.1 Ročná suma globálneho žiarenia (kWh/m^2) pri zohľadnení oblačnosti (real sky) pre územie KSK vypočítaný s použitím modelu *r.sun* v GRASS GIS.



Obr. 3.1.2 Ročná suma globálneho žiarenia (kWh/m^2) pre celoročne bezoblačnú oblohu (clear sky) pre územie KSK vypočítaný s použitím modelu r.sun v GRASS GIS.



Obr. 3.1.3 Ročná suma globálneho žiarenia (kWh/m^2) pri zohľadnení oblačnosti (real sky) priradená pre polygóny budov na podklade Google Maps Satellite Hybrid Layer.

Použité zdroje:

- GRASS Development Team, 2024. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 8.4. Open Source Geospatial Foundation. <https://grass.osgeo.org>
- Hofierka, J., Suri, M. (2002): The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. International GRASS users conference in Trento, Italy, September 2002.
- Hofierka, J. (1997). Direct solar radiation modelling within an open GIS environment. Proceedings of JEC-GI'97 conference in Vienna, Austria, IOS Press Amsterdam, 575-584.
- Hofierka, J., Kaňuk, J. 2009. Assessment of photovoltaic potential in urban areas using open-source solar radiation tools. Renewable Energy, 34(10), 2206–2214.

3.2 PREHRIEVANIE POVRCHU

Priemerná teplota povrchu krajinskej pokrývky (Land Surface Temperature, **LST**) za jednotlivé mesiace a za celé obdobie rokov 2015–2025 (Obr. 3.2) bola spracovaná v prostredí **Google Earth Engine (GEE)** na základe satelitných produktov **Landsat 8 a Landsat 9 – Collection 2, Level-2 Science Products**. Cieľom spracovania bolo odvodiť dlhodobú priemernú mesačnú a celkovú

priemernú ročnú teplotu povrchu pre územie KSK, ktorá je podkladom na identifikáciu zón prehrievania povrchu v mestách, obciach, alebo v priemyselných zónach a poľnohospodárskych obalstiach (mestský ostrov tepla - urban heat island, urban overheating). Je potrebné zdôrazniť, že takto **odvodené hodnoty LST predstavujú jasovú** (radiometrickú) teplotu povrchu (Obr. 3.2.1), odvodenú z intenzity vyžarovaného tepelného infračerveného žiarenia, a nie priamo kinetickú teplotu materiálu povrchu. Z tohto dôvodu **nie sú hodnoty LST priamo porovnateľné s teplotou vzduchu meranou v štandardnej meteorologickej výške 2 m ani s kontaktnými meraniami teploty povrchov**, ale poskytujú konzistentný priestorový obraz tepelného zaťaženia územia. Vstupné údaje tvorili termálne infračervené pásma **ST_B10** pre Landsat 8 a 9 za obdobie **2015–2025**. Jednotlivé snímky boli v GEE filtrované podľa územného prekrytia s ROI a podľa maximálneho povoleného podielu oblačnosti ($CLOUD_COVER \leq 40\%$).

- Pre každú snímku bola vykonaná konverzia digitálnych hodnôt pásma ST_B10 na teplotu povrchu v °C pomocou štandardných kalibračných koeficientov pre Landsat Collection 2, Level-2:
 - aplikovaný **scale faktor 0,00341802** a **offset +149 K** na prevod do Kelvinov,
 - následne boli hodnoty prepočítané na stupne Celzia odčítaním **273,15**. Výsledný prepočítaný raster bol označený ako vrstva **LST** (°C).
- Na zabezpečenie kvality dát bola aplikovaná **maska kvality ST_QA**, ktorá vylučuje pixely s oblačnosťou, tieňmi, vysokou vodnou parou alebo inými rušivými atmosférickými vplyvmi ($ST_QA \leq 2$; 0 = „good“, 1 = „average“). Súčasne boli vylúčené pixely s neplatnými hodnotami ST_B10 ($ST_B10 \leq 0$). Len pixely, ktoré prešli touto maskou, boli použité na výpočet priemerov.

Pre **mesačné priemery LST** bol pre január a jún vytvorený samostatný výber snímok Landsat 8 a 9 v období 2015–2025, ktoré spĺňali vyššie uvedené podmienky. Z takto pripravených kolekcii bola pomocou funkcie **mean()** v GEE odvodená priemerná mesačná teplota povrchu za všetky roky v sledovanom období (napr. „priemerný január 2015–2025“). **Pre daný pixel ide o jasovú teplotu počas bezoblačného dňa**, preto nadobúdajú priemerné teploty za január aj okolo 20°C na strmých južných svahoch Slovenského krasu (Obr. 3.2.2). Takých dní v januári mohlo byť iba niekoľko za sledované obdobie a mohli byť teplé.

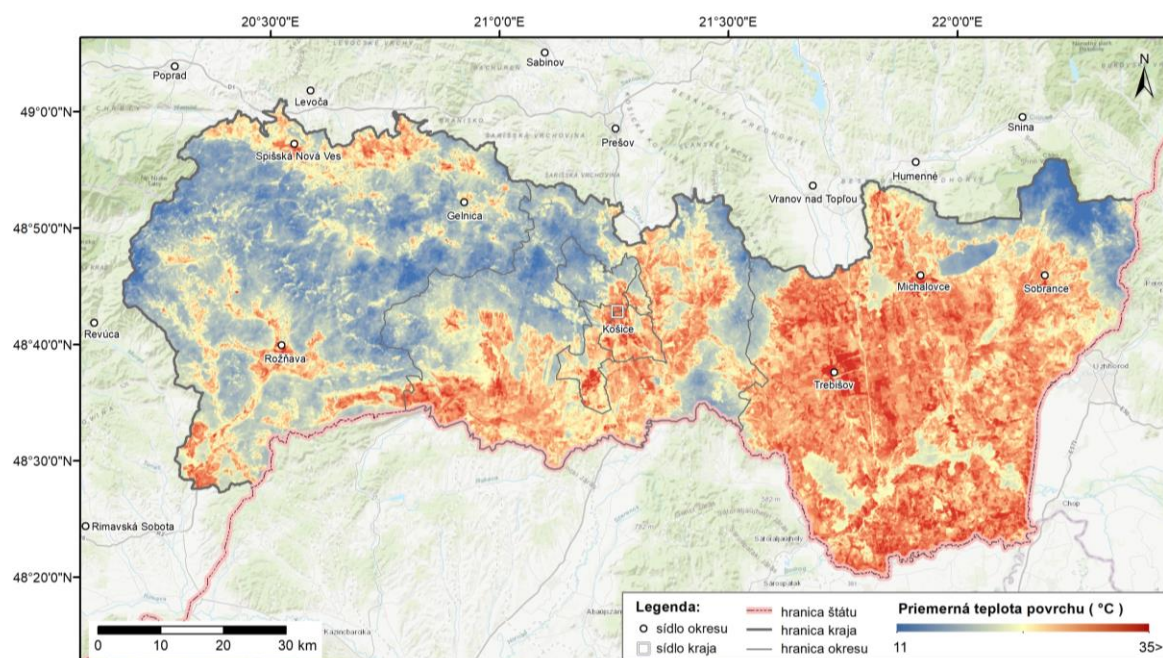
Pre **celkové priemery LST za celé obdobie 2015–2025** boli všetky vhodné snímky Landsat 8 a 9 (2015–2025) zlúčené do jednej kolekcie, predspracované rovnakým postupom (maskovanie podľa ST_QA a ST_B10, prepočet $ST_B10 \rightarrow ^\circ C$) a následne spriemerované funkciou **mean()**. Výsledkom je rastrová vrstva, ktorá reprezentuje priemernú teplotu povrchu za celé obdobie 2015–2025.

Výsledné vrstvy priemernej LST majú **priestorové rozlíšenie 30 m** a sú exportované vo formáte **GeoTIFF**, čo umožňuje ich priamu integráciu do štandardných GIS prostredí (QGIS, ArcGIS, GRASS GIS) a ich ďalšie využitie pri analýzach (napr. identifikácia zón prehrievania, štatistické analýzy podľa územných jednotiek, kombinácia s údajmi o krajínnej pokrývke).

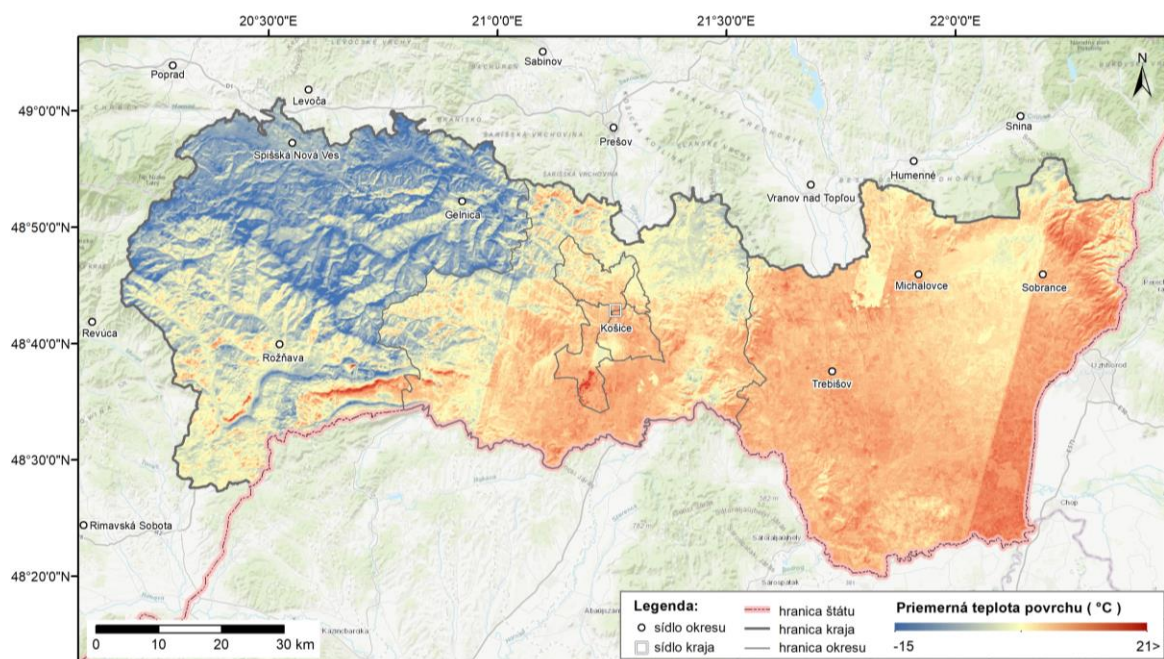
Oblasti bez dát (NoData pixely) vznikajú v dôsledku toho, že pre daný pixel neboli v celom analyzovanom období k dispozícii dostatočne kvalitné termálne údaje (napr. perzistentná oblačnosť, dlhodobý tieň, trvalo zasnežené plochy, riečne toky). Tieto pixely sú maskované už počas predspracovania v GEE a vo výsledných mapách sa zobrazujú ako „dierky“ bez hodnôt. Ide o prirodzený dôsledok prísnej kontroly kvality dát, nie o chybu vo výpočte.

Na výsledných mapách priemernej teploty povrchu je možné **lokálne pozorovať** tzv. „**skokové**“ **prechody** medzi pásmi s odlišnými hodnotami (napr. vo forme takmer zvislých línií, ako na obr. 3.2). Nejde o reálnu prudkú zmenu teploty povrchu, ale o metodický artefakt vznikajúci pri mozaikovaní viacerých preletových dráh satelitov Landsat 8 a 9, ktoré majú rozdielny počet použitých snímok, odlišné dátumy a časy preletu a nerovnomerné pokrytie bezoblačnými scénami. Keďže priemer za roky 2015–2025 je počítaný len z pixelov, ktoré prešli prísnou kvalitou (ST_QA maska), v niektorých scénach vstupuje do výpočtu iný počet pozorovaní než v susedných, čo sa na hranici scén prejaví ako ostrý vizuálny prechod – ten treba pri interpretácii vnímať ako technický jav, nie ako fyzikálnu hranicu v poli LST.

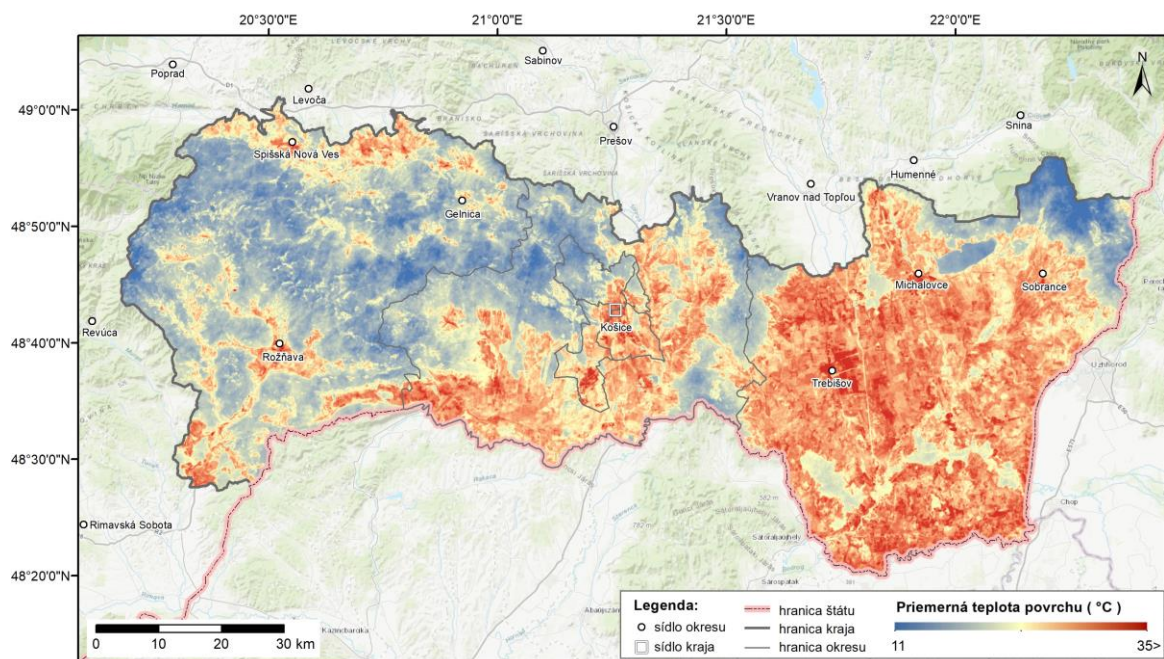
Vypočítané dlhodobé priemerné LST vrstvy poskytujú robustný obraz o priestorovom rozložení tepelného zaťaženia územia a môžu slúžiť ako podklad na identifikáciu rizikových zón prehrievania, plánovanie **zelených striech**, **tieniacych opatrení**, **zadržiavania vody** a ďalších „**urban cooling**“ **riešení** na úrovni intravilánov obcí a miest.



Obr. 3.2.1 Priemerná teplota zemského povrchu za obdobie 2014-2023 pre územie KSK na základe termálnych snímok družice LANDSAT 8 a LANDSAT 9.



Obr. 3.2.2 Priemerná teplota zemského povrchu v januári za obdobie 2014-2023 pre územie KSK na základe termálnych snímok družice LANDSAT 8 a LANDSAT 9.

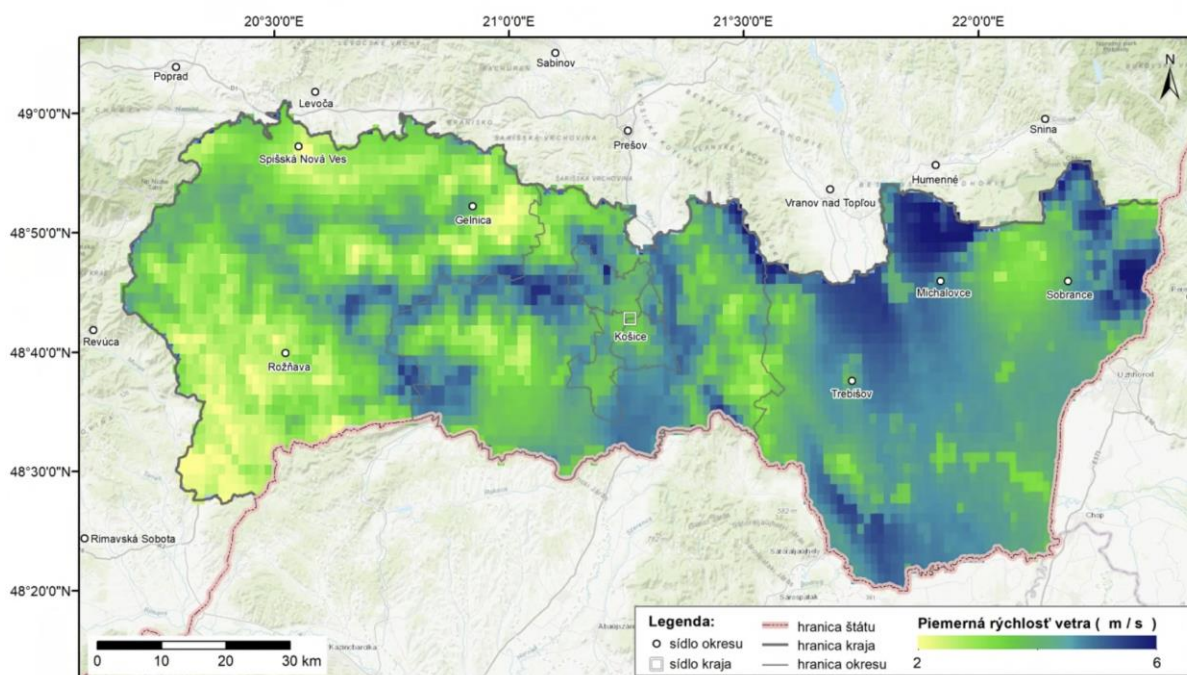


Obr. 3.2.3 Priemerná teplota zemského povrchu v júni za obdobie 2014-2023 pre územie KSK na základe termálnych snímok družice LANDSAT 8 a LANDSAT 9.

3.3 VETERNÝ POTENCIÁL

Priemerná ročná rýchlosť vetra vo výške 10 metrov and terénom (**Vietor_rychlost_rocny_priemer_2014_2023_100m**) (Obr. 3.3) bola vypočítaná z meteorologického numerického modelu:

- Veterné pomery boli vypočítané pomocou **modelu WRF-ARW vo verzii 4.2** (Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF). Ide o štandardne používaný atmosférický model, ktorý simuluje počasie na pravidelnej mriežke.
- Ako vstupné („forcingové“) údaje bola použitá **reanalýza ERA5 od ECMWF**. Reanalýza kombinuje merania na meteorologických staniciach a model počasia, čím poskytuje konzistentný, dlhodobý súbor meteorologických dát.
- Simulácie pokrývajú obdobie **1. 1. 2014 – 31. 12. 2023 (10 rokov)**. Z tohto obdobia bola pre každú bunku mriežky vypočítaná **priemerná rýchlosť vetra vo výške 10 metrov and terénom** ako dlhodobý priemer rýchlosti za každú hodinu počas dňa za 10 rokov, aby sa eliminovala náhodná medziročná variabilita.
- Použitá **horizontálna mriežka má rozlíšenie 0,014°** (približne **1,5 km**) a veľkosť **162 × 52 buniek**, čo pokrýva územie Košického samosprávneho kraja a jeho širšie okolie. Výsledná dodaná vrstvá je prevzorkovaná na veľkosť bunky 100 x100 metrov.



Obr. 3.3. Priemerná ročná rýchlosť vetra za obdobie 2014-2023 pre územie KSK.

Z takto vypočítaného fyzikálneho poľa priemernej rýchlosti vetra vo výške **10 m nad terénom** bola odvodená výsledná vrstva veterného potenciálu. Ide o dlhodobý klimatologický priemer, teda súčet všetkých hodinových rýchlostí vetra za 10 rokov vydelený počtom hodín, ktorý zahŕňa aj obdobia bezvetria, noci so slabým vetrom či stabilné letné situácie. Preto sú priemerné hodnoty v

10 m výške vo vnútrozemí Európy typicky len okolo 2–4 m/s a hodnoty 5–6 m/s už predstavujú veľmi veterné, nadpriemerne vhodné lokality.

Vypočítaná vrstva môže byť použitá pre stanovenie vhodnosti pre vybudovanie malých veterných turbín. **Malé veterné turbíny v tejto štúdii** chápeme ako zariadenia s inštalovaným výkonom približne do 50–100 kW, určené na lokálnu výrobu elektriny (domy, farmy, menšie prevádzky) na stožiaroch výšky rádovo 10–30 m.

Pre zobrazenie na geoportále KSK navrhujeme použiť nasledovné prahové hodnoty:

- < 3,0 m/s – *nevhodné pre malé veterné turbíny*
- 3,0–4,5 m/s – *menej vhodné podmienky*
- > 4,5 m/s – *vhodné až veľmi vhodné podmienky pre malé veterné turbíny*

Alebo **detailnejšie (4 triedy)**:

- < 3,0 m/s – *nevhodné*
- 3,0–4,0 m/s – *menej vhodné*
- 4,0–5,0 m/s – *vhodné*
- > 5,0 m/s – *veľmi vhodné*

Prahové hodnoty priemernej ročnej rýchlosti vetra pre kategórie „nevhodné – menej vhodné – vhodné“ boli nastavené na základe odporúčaní medzinárodných sprievodcov pre malé veterné turbíny (napr. NREL/DOE, Energy Saving Trust, CLASP), ktoré ako minimálnu hranicu ekonomicky zmysuplného využitia malých turbín uvádzajú priemernú ročnú rýchlosť okolo **4–4,5 m/s**, pričom hodnoty **≥ 5 m/s** sú považované za dobré až veľmi vhodné lokality pre malé veterné turbíny.

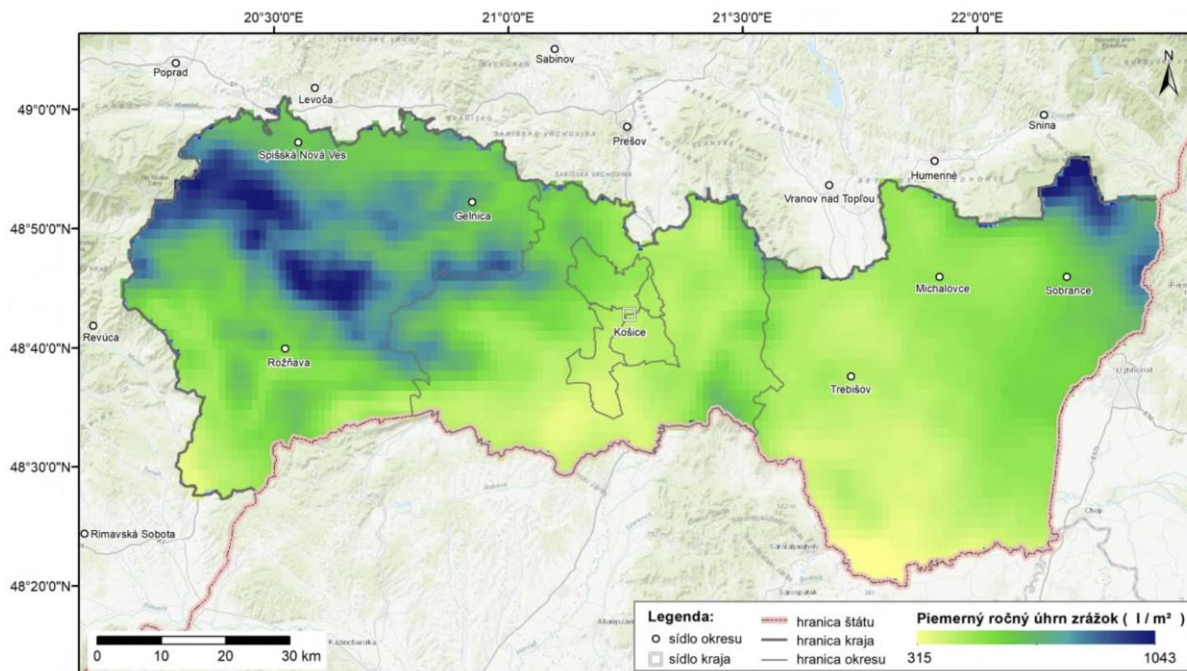
Použité zdroje:

1. Skamarock, W. C. et al. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4 (WRF-ARW v4.2). University Corporation for Atmospheric Research (UCAR). Dostupné z: https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/technote/v4_technote.pdf
2. ECMWF. ERA5: ECMWF Reanalysis v5. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Dostupné z: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>
3. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Small Wind Electric Systems: A U.S. Consumer's Guide.
4. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Electricity Generation Using Small Wind Turbines for Home or Farm Use.
5. CLASP. Planners' Reference Guide No. 6: Small Wind.
6. Energy Saving Trust. Location, Location, Location: Domestic Small-Scale Wind Field Trial Report.
7. International Electrotechnical Commission (IEC). IEC 61400-2: Wind turbines – Part 2: Small wind turbines.

3.4 POTENCIÁL DAŽĎOVEJ VODY - ÚHRN ZRÁŽOK

Pre stanovenie potenciálu dostupnosti dažďovej vody sme vypočítali **priemerný ročný úhrn zrážok** (**Zrazky_rocny_uhnr_priemer_2014_2023_100m**, Obr. 3.4) z meteorologického numerického modelu pre celé územie KSK. Postup výpočtu bol analogický ako pri vetre:

- Zrážkové pomery boli vypočítané pomocou modelu **WRF-ARW vo verzii 4.2** (Weather Research and Forecasting – Advanced Research WRF). Ide o štandardne používaný atmosférický model, ktorý simuluje počasie na pravidelnej mriežke.
- Ako vstupné („forcingové“) údaje bola použitá **reanalýza ERA5** od ECMWF. Reanalýza kombinuje merania na meteorologických staniciach, družiciach a ďalších zdrojoch s numerickým modelom počasia, čím poskytuje konzistentný, dlhodobý súbor meteorologických dát.
- Simulácie pokrývajú obdobie **1. 1. 2014 – 31. 12. 2023 (10 rokov)**. Z tohto obdobia bol pre každú bunku mriežky vypočítaný **priemerný ročný úhrn zrážok** ako dlhodobý priemer – najprv sa zrážky kumulovali do ročných súčtov a následne sa spriemerovali za 10 rokov, čím sa eliminovala náhodná medziročná variabilita.
- Použitá **horizontálna mriežka** má rozlíšenie **0,014° (približne 1,5 km)** a veľkosť **162 × 52 buniek**, čo pokrýva územie Košického samosprávneho kraja a jeho širšie okolie. Výsledná dodaná vrstva je prevzorkovaná na veľkosť bunky 100 × 100 metrov, aby bola kompatibilná s ostatnými vrstvami a s geoportálom KSK.



Obr. 3.4. Priemerný ročný úhrn zrážok za obdobie 2014-2023 pre územie KSK v litroch na štvorcový meter (resp. v mm).

Výsledná vrstva predstavuje **dlhodobý klimatologický priemer zrážok**, t. j. priemerný ročný úhrn, ktorý zahŕňa roky s nadpriemernými aj podpriemernými zrážkami, obdobia intenzívnych zrážok aj dlhšie suché epizódy. Takto definovaný priemer je vhodným podkladom na **odhad**

potenciálu dažďovej vody – po prepojení s vektorovou vrstvou budov (plocha striech) umožňuje odhadnúť, aké množstvo dažďovej vody je možné potenciálne zachytiť a zadržať na úrovni jednotlivých objektov, parciel alebo obcí.

Pre potreby zobrazenia na geoportáli KSK navrhujeme pre priemerný ročný úhrn zrážok (a tým aj pre potenciálne zachytiteľné množstvo dažďovej vody, pričom 1 mm = 1 l/m²) dve alternatívy kvalitatívnej klasifikácie, z ktorých si môže zadávateľ zvoliť.

Jednoduchšia klasifikácia s 3 triedami:

- **< 550 mm/rok (l/m²/rok)** – *nízky potenciál dažďovej vody*
- **550 – 750 mm/rok** – *stredný potenciál dažďovej vody*
- **> 750 mm/rok** – *vysoký potenciál dažďovej vody*

Toto je veľmi čitateľné pre neexpertov – jasné „málo / priemer / veľa“.

Detailnejšia klasifikácia so 4 triedami:

- **< 550 mm/rok** – *nízky potenciál dažďovej vody*
- **550 – 700 mm/rok** – *mierne zvýšený potenciál*
- **700 – 900 mm/rok** – *vysoký potenciál*
- **> 900 mm/rok** – *veľmi vysoký potenciál dažďovej vody*

Obe schémy vychádzajú zo stredoeurópskych klimatických pomerov a umožňujú prehľadne oddeliť suššie časti územia od oblastí s výrazne vyšším potenciálom zadržiavania dažďovej vody.

Použité zdroje:

1. Skamarock, W. C. et al. *A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4 (WRF-ARW v4.2)*. University Corporation for Atmospheric Research (UCAR). Dostupné z: https://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/technote/v4_technote.pdf
2. ECMWF. *ERA5: ECMWF Reanalysis v5*. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Dostupné z: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>

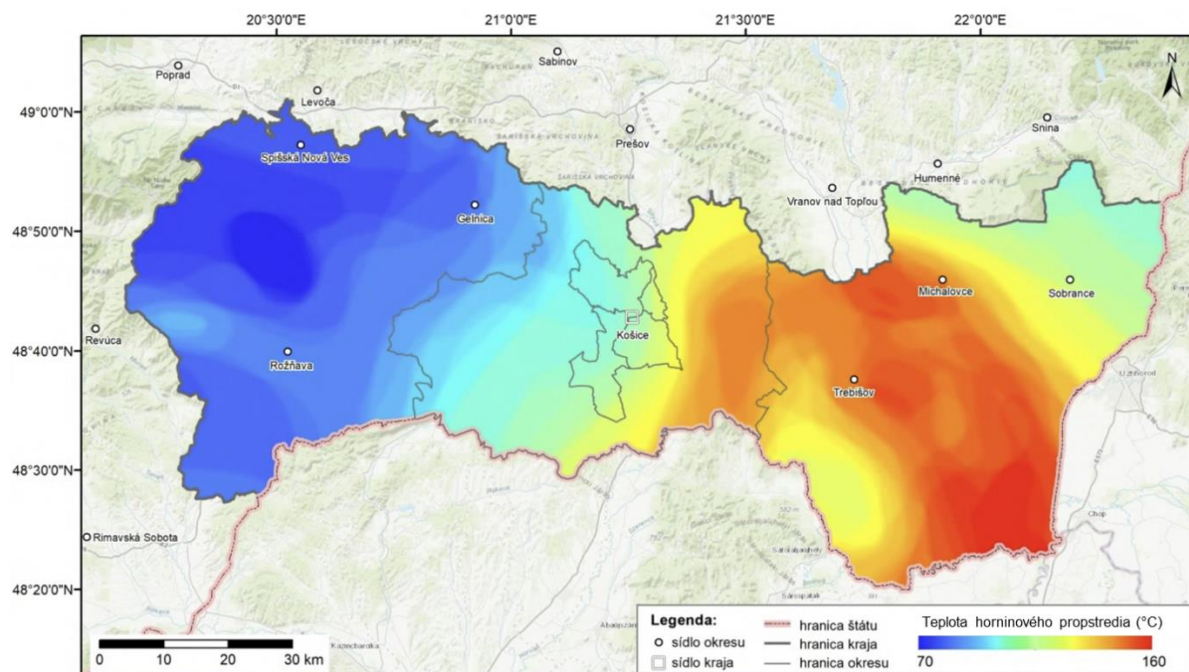
3.5 GEOTERMÁLNY POTENCIÁL

Geotermálny potenciál územia KSK bol hodnotený **na základe máp geotermálneho potenciálu Slovenskej republiky zo Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra** (Franko et al. 2010), ktoré vychádzajú z Atlasu geotermálnej energie Slovenska. Ide o päť mapových diel zobrazujúcich teplotu podzemnej vody v hĺbkach 1 000, 2 000, 3 000, 4 000 a 5 000 m pod povrchom. Územie Slovenska je na týchto mapách rozdelené do areálov (polygónov), pričom každý areál má priradený teplotný interval, nie konkrétnu hodnotu teploty.

Pre potreby tejto štúdie boli z uvedených máp vybrané všetky areály, ktoré priestorovo zasahujú do územia Košického samosprávneho kraja. Keďže pôvodné údaje sú definované ako intervaly teplôt, najskôr bola pre každý polygón vypočítaná priemerná hodnota teploty, čím sa interval nahradil jednou reprezentatívnou teplotou podzemnej vody v danej hĺbke. Následne bola tejto teplote priradená číselná hodnota (index), ktorá vyjadruje geotermálny potenciál – čím je teplota vyššia, tým vyšší je priradený index, a teda aj geotermálny potenciál danej lokality.

Tento postup bol samostatne aplikovaný pre všetkých päť mapových súborov, teda pre hĺbky 1 000, 2 000, 3 000, 4 000 a 5 000 m. Výsledkom je päť vrstiev geotermálneho potenciálu (indexov) pre jednotlivé hĺbkové úrovne. V ďalšom kroku boli tieto vrstvy v GIS prostredí skombinované – hodnoty geotermálneho potenciálu v jednotlivých polygónoch boli spriemerované naprieč všetkými zohľadnenými hĺbkami a zaokrúhlené na celé čísla. Takto vznikla syntetická rastrová vrstva **potencial_geothermal** geotermálneho potenciálu pre územie KSK, ktorá zohľadňuje teplotné pomery v intervale hĺbok 1–5 km pod povrchom.

Uvedený postup poskytuje syntetický teplotný index geotermálneho potenciálu na úrovni kraja, ktorý má charakter skríningového (prehľadového) ukazovateľa. Nezahŕňa ďalšie kľúčové faktory reálnej využiteľnosti geotermálnych zdrojov, ako sú hydrogeologické pomery (vydatnosť a prietok kolektorov, permeabilita), geochemické vlastnosti vôd či technicko-ekonomická uskutočniteľnosť vŕtov v rôznych hĺbkach. Priemerovanie teplotných intervalov na jednu reprezentatívnu hodnotu a polygónová generalizácia zároveň znamenajú, že lokálna variabilita teplôt v rámci jednotlivých areálov nie je zachytená. **Výsledná mapa preto nie je určená na detailnú lokalizáciu jednotlivých vŕtov, ale na identifikáciu relatívne priaznivejších a menej priaznivých zón z pohľadu teplotných podmienok.**



Obr. 3.6.1 Geotermálny potenciál pre územie KSK.

Výsledná vrstva tak predstavuje priestorovo generalizovaný index geotermálneho potenciálu, kde oblasti s vyššími hodnotami indexu predstavujú z geotermálneho hľadiska perspektívnejšie lokality (napr. pre centrálnu zásobovanie teplom alebo balneologické využitie), zatiaľ čo oblasti s nižšími

hodnotami majú znížený potenciál. Vrstvu je možné ďalej kombinovať s informáciami o geológii, chránených územiach, osídlení či technickej infraštruktúre pri detailnejšom hodnotení možností využitia geotermálnej energie.

Použité zdroje:

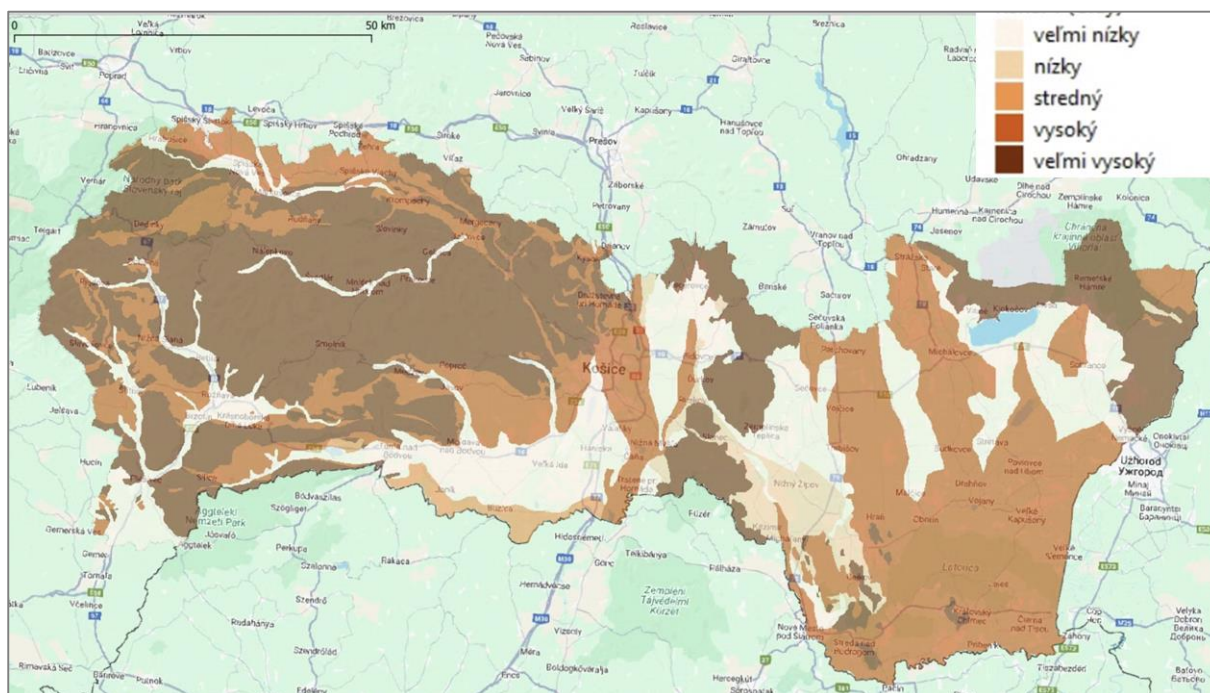
Franko, O. - Remšík, A. - Fendek, M. a kol.: Atlas geotermálnej energie Slovenska [online]. Bratislava: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, 2010. Dostupné na internete: <http://apl.geology.sk/atlasge>.

3.6 POTENCIÁL PRE TEPELNÉ ČERPADLÁ

V rámci hodnotenia potenciálu pre tepelné čerpadlá boli analyzované dva typy systémov: **zem – voda** a **voda – voda**. Pre každý typ boli zvolené rozdielne vstupné údaje a kritériá, ktoré odrážajú fyzikálne princípy prenosu tepla v podloží a podzemnej vode. Výsledkom je tematická vrstva, ktorá územie KSK rozdeľuje na **vhodné, menej vhodné a nevhodné** oblasti pre daný typ tepelného čerpadla.

Tepelné čerpadlá zem – voda

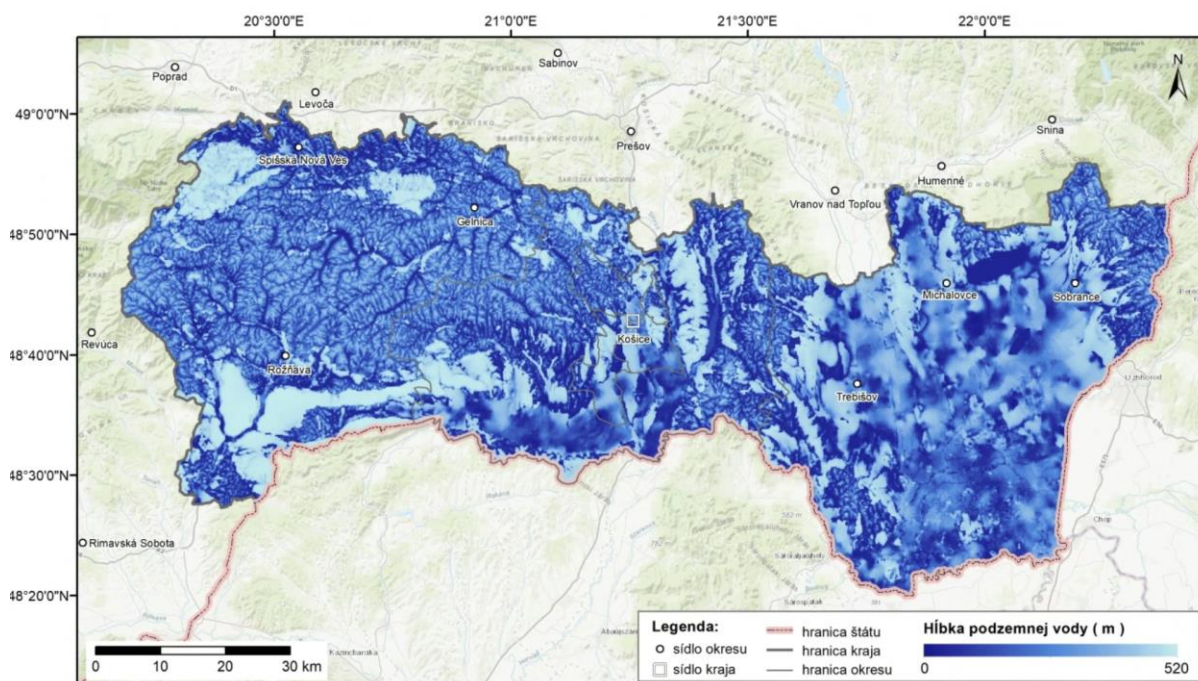
Pre tepelné čerpadlá typu **zem – voda** sme analyzovali tepelnú vodivosť pôdy a geologického podložia, ktorá je hlavným faktorom ovplyvňujúcim potenciál inštalácie vrtov. Vo všeobecnosti platí, že kompaktné horniny a kamenistá pôda majú vysokú tepelnú vodivosť a sú preto najvhodnejšie pre realizáciu vertikálnych vrtov a kolektorov. Naopak, piesky a štrky majú nízku tepelnú vodivosť a z hľadiska dlhodobého a stabilného odoberania tepla sú menej vhodné. Na základe priestorového rozloženia geologických jednotiek z geologickej mapy 1 : 50 000 (ŠGÚDŠ) bola vytvorená rastrová vrstva **potencial_tepelne_cerpadla_zem_voda**, ktorá územie klasifikuje podľa vhodnosti pre systémy zem – voda (Obr. 3.6.1).

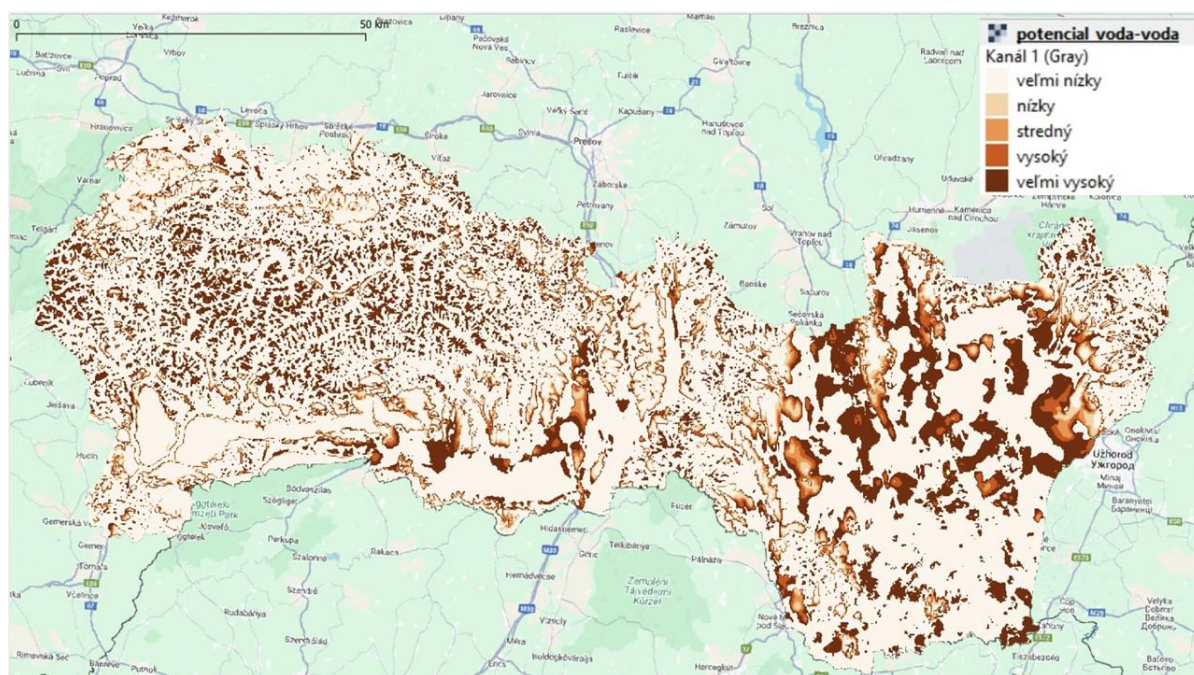


Obr. 3.6.1 Potenciál pre použitie tepelného čerpadla typu zem-voda pre územie KSK na podklade Google Maps Road Layer.

Tepelné čerpadlá voda – voda

Pre tepelné čerpadlá typu **voda – voda** bola kľúčovou veličinou **výška hladiny podzemnej vody pod terénom**. Hladina podzemnej vody veľmi blízko povrchu (do cca 5 m) je viac náchylná na sezónne a denné výkyvy teploty a z technického hľadiska nie je vhodná pre stabilnú prevádzku tohto typu čerpadla. Rovnako podzemná voda vo veľkých hĺbkach (cca 30 m a viac) síce vykazuje vysokú tepelnú stabilitu, avšak realizácia hlbokých vrtov a čerpania je energeticky a finančne náročná. Za najvhodnejšie sa javia **hĺbky približne 5–15 m**, kde je teplota vody len minimálne ovplyvňovaná teplotou vzduchu a čerpanie je technicky aj ekonomicky relatívne nenáročné. Na základe mapy úrovně hladiny podzemnej vody pod terénom (ŠGÚDŠ) bola odvodená vrstva vhodnosti pre systémy voda – voda (**potencial_tepelne_cerpadla_voda_voda**).





Obr. 3.6.2 Hĺbka hladiny podzemnej vody (hore) a potenciál pre použitie tepelného čerpadla typu voda-voda (dole) pre územie KSK na podklade Google Maps Road Layer.

Prahové hodnoty hĺbky hladiny podzemnej vody (**potencial_tepelne_cerpadla_voda_voda_hlbka_vody**) navrhujeme tak, aby odrážali kompromis medzi tepelnou stabilitou vody (zlepšuje sa s hĺbkou) a rastúcimi nákladmi na realizáciu vrtov a čerpania; za optimálne podmienky pre TČ voda–voda sa považuje interval 5–15 m pod povrchom.

Návrh klasifikácie do 3 tried (hladina podzemnej vody = hĺbka pod povrchom, v metroch)

- < 5 m – nevhodné (nestabilná teplota, riziko sezónnych výkyvov, technické problémy)
- 5 – 15 m – vhodné (stabilná teplota vody, rozumné náklady na čerpanie)
- 15 m – menej vhodné až nevhodné (teplota vody síce stabilnejšia, ale rýchlo rastú náklady na vrtý a čerpanie)

Návrh do 4 tried:

- < 5 m – nevhodné
- 5 – 15 m – vysoký potenciál
- 15 – 30 m – stredný potenciál
- 30 m – nízky potenciál / energeticky a finančne nevhodné

Použité zdroje:

- Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ): Úroveň hladiny podzemnej vody pod terénom, mierka 1 : 50 000. Digitálny priestorový dataset.

- Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ): Geologická mapa Slovenskej republiky, mierka 1 : 50 000. Digitálny priestorový dataset.

Tepelné čerpadlá vzduch – voda

Potenciál pre inštaláciu tepelných čerpadiel typu vzduch – voda závisí predovšetkým od vonkajšej teploty vzduchu a od typu vykurovacieho systému. Tepelné čerpadlá vzduch – voda dosahujú najvyššiu účinnosť pri **nízkoteplotných vykurovacích systémoch** (napr. podlahové kúrenie), kde teplota vykurovacej vody je približne 30–40 °C. Z hľadiska vonkajšej teploty sú tieto zariadenia najefektívnejšie v intervale **5–15 °C**. Pri teplotách vyšších ako 15 °C význam vykurovania postupne klesá, pri teplotách nižších ako 5 °C naopak klesá účinnosť tepelného čerpadla a rastie potreba bivalentného zdroja (elektrický/plynový dohrev).

Ako východisková priestorová informácia bola použitá **vrstva priemernej ročnej teploty vzduchu** pre územie Košického samosprávneho kraja. Vrstva reprezentuje priemer z hodinových meraní/odhadov teploty vzduchu za 10-ročné obdobie, pričom zahŕňa všetky mesiace roka. Keďže tepelné čerpadlo je z hľadiska vykurovania relevantné najmä počas vykurovacej sezóny, bolo potrebné priemernú ročnú teplotu upraviť tak, aby lepšie reprezentovala **teplotné podmienky v zimnom období**. Vytvorená rastrová vrstva má názov **potencial_tepelne_cerpadla_vzduch_voda**.

Postup:

1. Priemerná ročná teplota vzduchu

Z hodinových údajov za 10 rokov bola pre každú priestorovú jednotku (pixel) vypočítaná priemerná ročná teplota vzduchu. Výsledkom je raster priemernej ročnej teploty pre celé územie KE kraja.

2. Korekcia na vykurovacie obdobie

Analýza časového priebehu teploty ukazuje, že priemerná teplota vzduchu počas vykurovacej sezóny (približne september – apríl) je zhruba o **4,5 °C nižšia** než ročný priemer. Z tohto dôvodu bola priemerná ročná teplota v každom pixeli **znížená o 4,5 °C**, čím sa získal odhad priemernej teploty vzduchu počas vykurovacieho obdobia:

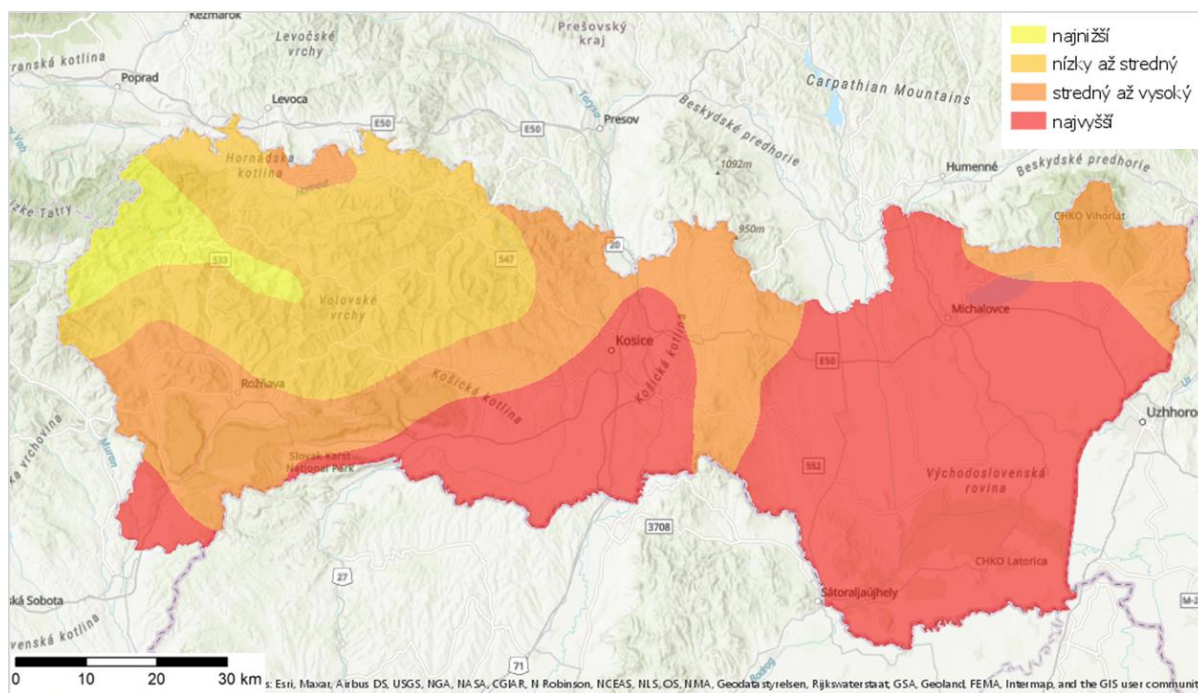
$$T_{\text{vykurovacie obdobie}} = T_{\text{ročný priemer}} - 4,5^{\circ}\text{C}$$

3. Priradenie indexu potenciálu: **Na základe korigovanej teploty vzduchu boli jednotlivým hodnotám teploty priradené indexové hodnoty potenciálu pre inštaláciu tepelných čerpadiel vzduch – voda.** Priradenie vychádza z účinnosti čerpadla:

- teploty v pásme okolo **5–15 °C** zodpovedajú **najvyššiemu potenciálu** (optimálne podmienky pre efektívnu prevádzku TČ),
- pri nižších teplotách ako 5 °C je potenciál nižší z dôvodu poklesu účinnosti,
- pri vyšších teplotách ako 15 °C význam vykurovania klesá, hoci zariadenie môže byť celoročne využiteľné aj na prípravu teplej vody.

Hodnoty teploty boli preto transformované na **bezrozmerný index potenciálu**, pričom **vyššia hodnota indexu** znamená **vyšší potenciál** pre efektívne využitie tepelného čerpadla vzduch – voda v nízko-teplotných vykurovacích systémoch.

Rozsah vypočítaných priemerných teplôt vzduchu počas vykurovacieho obdobia (2,6–8,6 °C) navrhujeme rozdeliť **do 4 tried**: 2,6–4,1 °C (index 1 – najnižší potenciál), 4,1–5,6 °C (index 2 – nižší až stredný potenciál), 5,6–7,1 °C (index 3 – stredný až vyšší potenciál) a 7,1–8,6 °C (index 4 – najvyšší potenciál). Vyšším priemerným teplotám zodpovedá vyšší index, a teda aj vyšší potenciál pre efektívnu prevádzku tepelných čerpadiel vzduch–voda. (Obr. 3.6.3).



Obr. 3.6.3. Potenciál pre použitie tepelného čerpadla typu vzduch-voda pre územie KSK.

Výsledná vrstva predstavuje priestorové rozdelenie **indexu potenciálu pre inštaláciu tepelných čerpadiel vzduch – voda** v podmienkach nízko-teplotného vykurovania. Vzhľadom na to, že korigované priemerné teploty vzduchu sa na území Košického samosprávneho kraja pohybujú približne v intervale **2–8 °C**, možno konštatovať, že **celé územie kraja je z klimatického hľadiska potenciálne vhodné** na inštaláciu tohto typu tepelných čerpadiel, pričom priestorové rozdiely v teplote sa odrážajú v rozdielnej výške indexu potenciálu. Vrstva má charakter **teplotného indexu vhodnosti** a je určená predovšetkým na regionálne hodnotenie a porovnanie jednotlivých častí územia; pri návrhu konkrétnych inštalácií je vhodné ju doplniť o detailnejšie lokálne klimatické údaje a technické parametre konkrétnych systémov.

3.7 DOSTUPNOSŤ CENTRÁLNYCH ZDROJOV TEPLA (CZT)

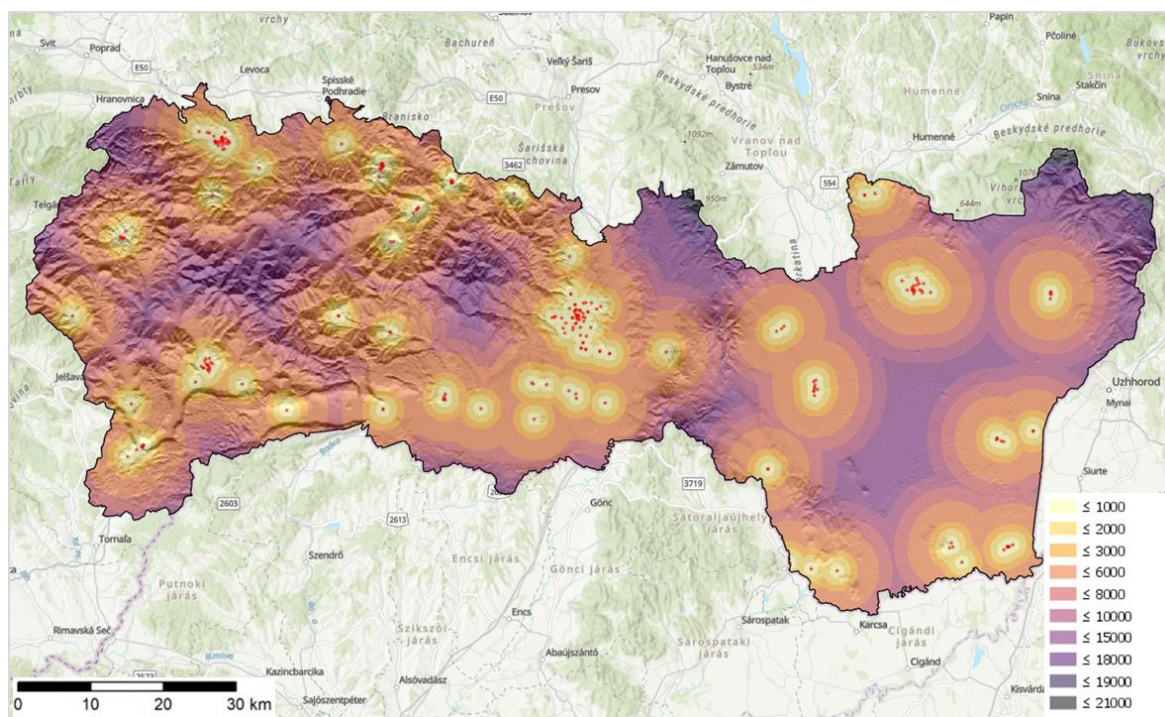
Napojenie na CZT prináša viaceré prínosy – umožňuje efektívnejšie využívanie palív a obnoviteľných zdrojov, integráciu odpadového tepla, znižovanie lokálnych emisií znečisťujúcich látok a často aj stabilnejšiu a bezpečnejšiu dodávku tepla v porovnaní s individuálnymi zdrojmi. Účelom vytvorenej vrstvy je preto priestorovo vyhodnotiť potenciál napojenia existujúcich budov a plánovaných rozvojových plôch na CZT a identifikovať územia, kde je z hľadiska vzdialenosti k

centrálnym zdrojom tepla pripojenie technicky a investične perspektívnejšie. Vrstva bola vytvorená s cieľom hodnotiť potenciál napojenia existujúcich budov a plánovaných rozvojových plôch na sústavy centralizovaného zásobovania teplom.

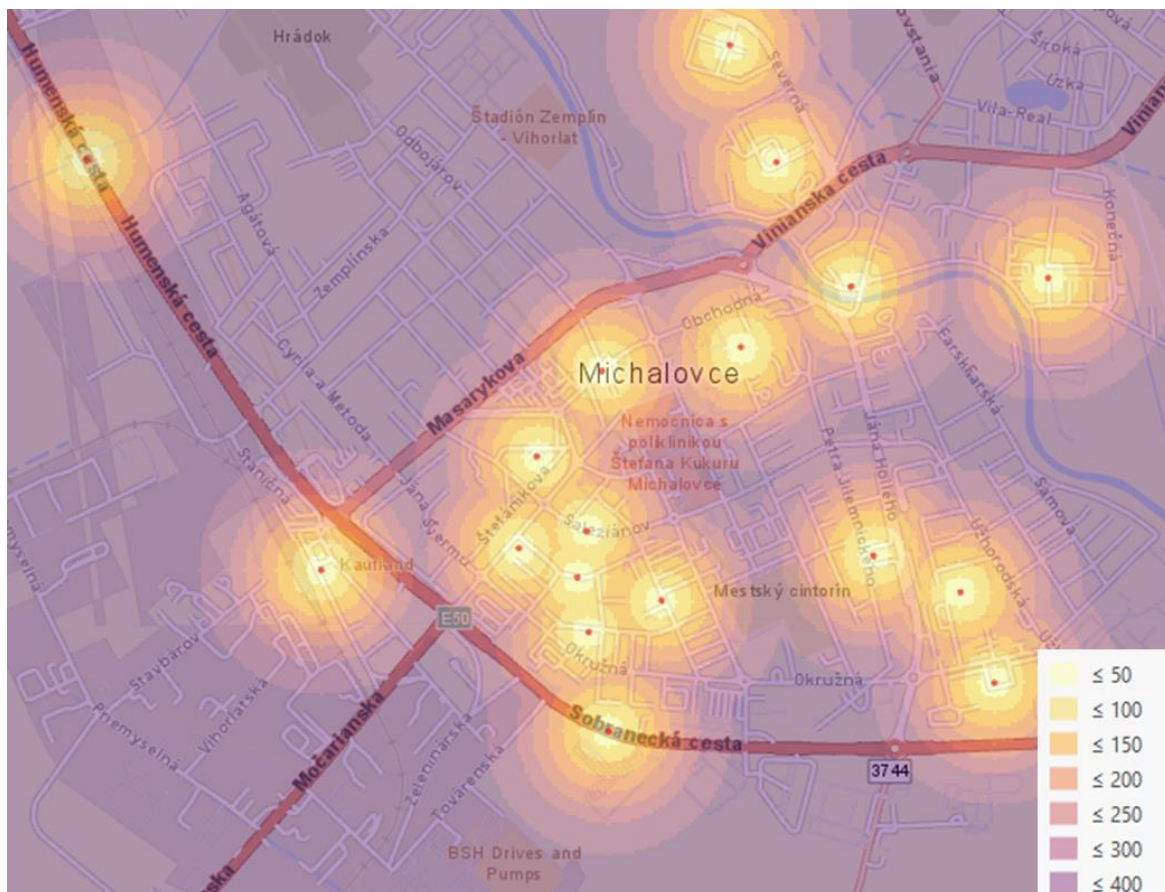
Základným vstupom boli **adresy centrálnych zdrojov tepla** zverejnené na portáli tepelnej mapy (TEHO Košice a.s.) dostupnom na stránke Slovenskej inovačnej a energetickej agentúry (<https://tepelnamapa.siea.sk/>). Tieto adresné údaje boli skontrolované (odstránenie zjavných chybných alebo duplicitných záznamov) a **geokódované** na bodové priestorové súradnice zemepisnej šírky a dĺžky. Výsledkom bola bodová vrstva reprezentujúca polohu jednotlivých CZT (**CZT_centralne_zdroje_tepla**).

Na základe tejto bodovej vrstvy bola v ArcGIS Pro prostredí vypočítaná vrstva vzdialenosti k CZT ako **rastrová vrstva**, ktorá vyjadruje pre každú bunku vzdialenosť k najbližšiemu CZT. Bol použitý euklidovský model vzdialenosti (priame línie), pričom výstupný raster bol generovaný v dvoch **priestorových rozlíšeniach**: **100 m** – pre regionálne hodnotenie na úrovni celého kraja (**CZT_dostupnost_100m**), **10 m** – pre detailnejšiu analýzu v intravilánoch a rozvojových územiach (**CZT_dostupnost_10m**). Hodnotou každej bunky je vzdialenosť v metroch k najbližšiemu centrálnemu zdroju tepla (Obr. 3.7.1).

Vzniknutá vrstva dostupnosti CZT slúži ako podklad pre hodnotenie potenciálu napojenia budov na CZT – **čím je vzdialenosť menšia, tým je potenciál napojenia spravidla vyšší** (nižšie investičné náklady na pripojovací rozvod, technická realizovateľnosť). Vrstvu je možné ďalej kombinovať s vrstvami budov, územnoplánovanej dokumentácie a inými tematickými vrstvami pri identifikácii vhodných lokalít pre rozšírenie sústav CZT.



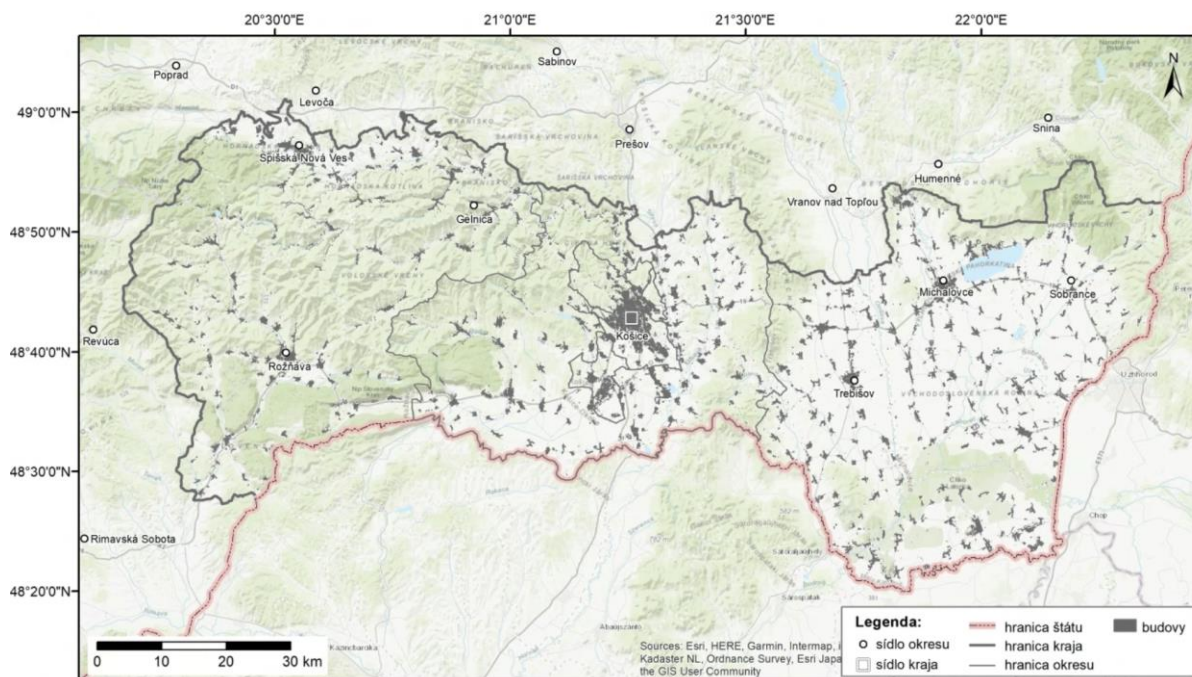
Obr. 3.7.1. Vzdialenosť ku CZT v KSK v metroch.



Obr. 3.7.2. Vzdialenosť ku CZT v KSK v metroch v Michalovciach.

3.8 VRSTVY BUDOV A HRANÍC ADMINISTRATÍVNYCH JEDNOTIEK

Pre potreby analýz boli použité verejne dostupné priestorové údaje z prostredia ZBGIS a Registra priestorových informácií. Hranica Košického samosprávneho kraja bola prevzatá z datasetu ZBGIS – Administratívne hranice (GKÚ), ktorý poskytuje oficiálne hranice územnosprávnych jednotiek SR v súradnicovom systéme S-JTSK. Vrstva budov pochádza z dátovej sady INSPIRE – Budovy, ktorá obsahuje vybrané triedy objektov zo ZBGIS podľa špecifikácie INSPIRE Buildings a je zaradená medzi datasety s vysokou hodnotou (HVD) v tematickej kategórii „Geopriestorové údaje“. Tieto vrstvy tvorili základ pre priestorové ohraničenie analýz na územie kraja a umožnili naviazovať hodnotené energetické potenciály na konkrétne objekty zástavby (Obr. 3.7.1).



Obr. 3.7.1. použitá vrstva hraníc KSK a budov v rámci KSK.

Použité zdroje:

Geodetický a kartografický ústav Bratislava. Dátová sada INSPIRE – Budovy [geopriestorové údaje]. Register priestorových informácií SR, kategória „Geopriestorové údaje“ (HVD). Dostupné na internete: <https://rpi.gov.sk/metadata/4d6b8451-7fb1-4783-98d7-da2eecf97244>

Geodetický a kartografický ústav Bratislava. ZBGIS® – Územnosprávne jednotky (administratívne hranice) [geopriestorové údaje]. Dostupné na internete: <https://www.gku.sk/gku/produkty-sluzby/na-stiahnutie/zbgis.html#usj>

4. ZHRNUTIE

V rámci zadanej úlohy boli pre územie Košického samosprávneho kraja spracované a vzájomne prepojené viaceré tematické geopriestorové vrstvy zamerané na potenciál obnoviteľných zdrojov energie a environmentálne charakteristiky územia. Pomocou kombinácie otvorených dát, špecializovaných nástrojov GIS (GRASS GIS, QGIS, Google Earth Engine, ArcGIS Pro) a numerických modelov (WRF–ARW, ERA5, r.sun) boli odvodené vrstvy solárneho a veterného potenciálu, priemerného ročného úhrnu zrážok a potenciálu dažďovej vody, teploty povrchu (LST) a prehrievania územia, ako aj geotermálneho potenciálu a vhodnosti územia pre rôzne typy tepelných čerpadiel (zem – voda, voda – voda, vzduch – voda).

Všetky výstupy sú spracované v podobe geografickej databázy GDB vo formáte ArcGIS Pro. Vztahujú sa na priestorové jednotky v podobe buniek pravidelnej dátovej mriežky (rastra) alebo budov. Vrstvy sú pripravené na priamu integráciu do geoportálu Košického samosprávneho kraja, kde môžu slúžiť ako podklad pre strategické plánovanie energetických a adaptačných opatrení, identifikáciu rizikových zón prehrievania, podporu vodozádržných riešení a efektívnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie na úrovni obcí, regiónu aj jednotlivých objektov.