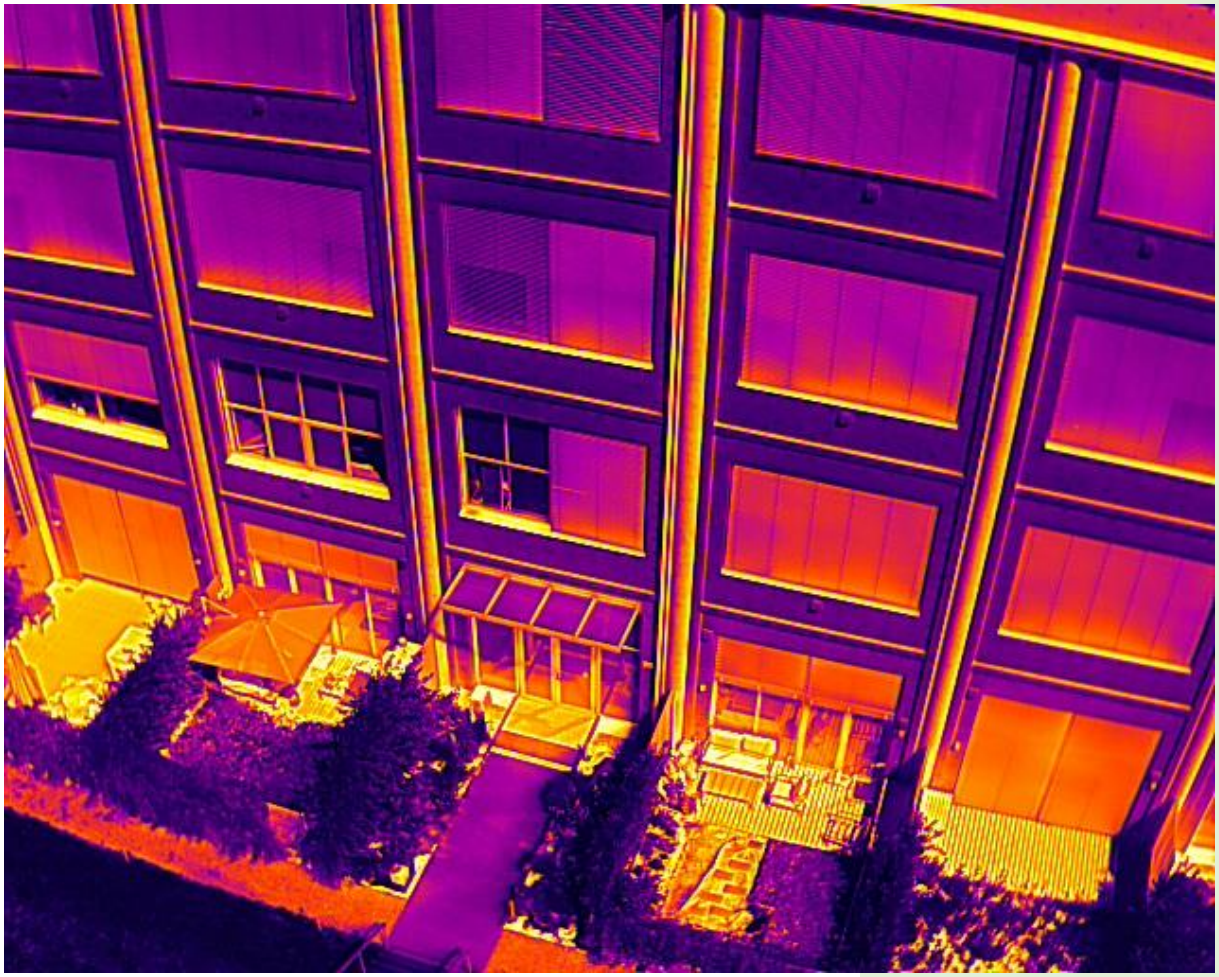
2025

Teplotní poměry za slunného dne na sídlišti PARVI Praha - Košíře



Doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.
Ing. Vladimír Jirka, CSc.
Ing. Anna Huryna, Ph.D.
RNDr. Petra Hesslerová, Ph.D.

ENKI, o.p.s.
21.10.2025

Kontakty:
Doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc. pokorny@enki.cz mobil: 602 465 099
Ing. Vladimír Jirka, CSc. jirka@enki.cz
Ing. Anna Huryna, Ph.D. huryna@enki.cz
RNDr. Petra Hesslerová, Ph.D. hesslerova@enki.cz

ENKI, o.p.s.
IČO: 25173154
Dukelská 145
Třeboň 379 01

Teplotní poměry za slunného dne na sídlišti PARVI Cibulka, Praha - Košíře

12. srpen 2025

Na základě objednávky č. 12025 České rady pro šetrné budovy, z.s. a v souladu s nabídkou ze dne 25.7.2025 v rámci probíhajícího projektu CZ 01.01.01/04/23_030/0003414, provedla ENKI, o.p.s. tyto aktivity:

Služba Energetika krajiny a sídel, metabolismus krajiny zahrnuje tyto aktivity:

- Snímkování lokality PARVI Cibulka pomocí dronu (velikost snímkovaného území 4,8 ha)
- Pozemní měření pomocí termokamery a příručních přístrojů
- Zajištění potřebného povolení pro let nad obydleným územím v k. ú. Praha
- Vyhodnocení dat
- Zpracování zprávy obsahující jednak obecnou úvodní část o sluneční energii a její distribuci a efektu rostlin na teplotu, jednak část speciální, tj. interpretaci teplotní mapy snímané lokality. Zhodnocení efektu vegetace a dalších úprav na tlumení extrémních teplot.

Úvod

Za slunných dnů narůstají teploty ve městech. Průniku slunečního světla zamezujeme žaluziemi, byty a kanceláře chladíme klimatizacemi. Média referují o nárůstu počtu tropických dnů a klimatické modely předpovídají nárůst letních veder v dalších dekádách. Jak vznikají tepelné ostrovy měst, můžeme tlumit extrémní teploty?

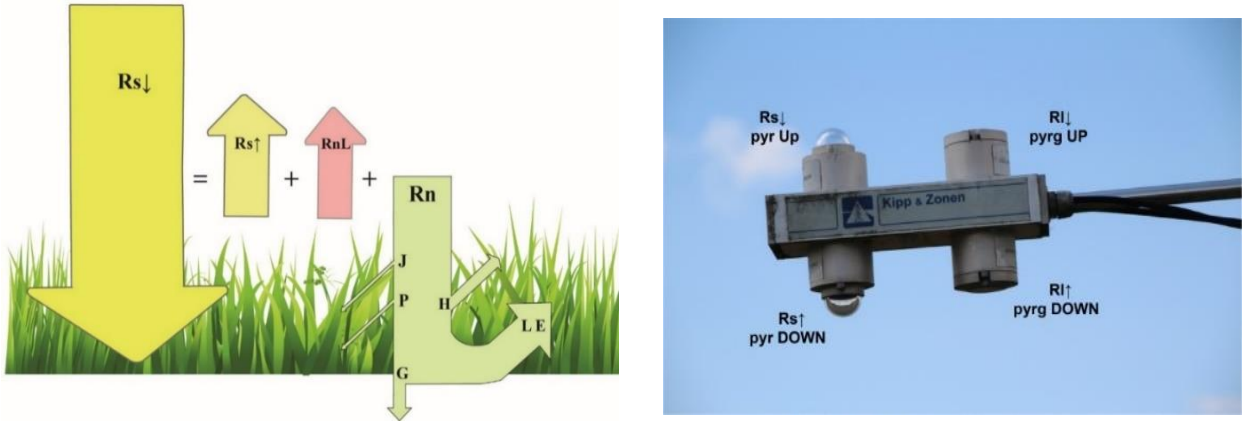
Zeleň ve městech patří v posledních letech mezi často zmiňované pojmy, a to především v souvislostech zmírňování efektu městských tepelných ostrovů a různými klimatickými adaptačními strategiemi. V souvislosti s městskou zelení se zmiňují termíny jako „klimatizační efekt“, zachycování a odrážení slunečního záření apod.

Tvrzení typu *„Nejdůležitější z hlediska chlazení prostředí jsou vzrostlé stromy (nikoliv zákrsky), protože klimatizační funkce souvisí s celkovou listovou plochou a stínící funkce s tvarem a velikostí koruny“* poukazují na nedostatečné znalosti procesu, jak klimatizační efekt vegetace ve skutečnosti funguje, na jakých je založen principech, jak ho lze hodnotit. Na porozumění těmto principům se váže schopnost navrhovat zelenou infrastrukturu tak, aby byla skutečně efektivním nástrojem pro zmírňování nepříznivého efektu městského tepelného ostrova.

Slunce ohřívá Zemi o cca 290 °C. Na čtvereční metr vnější vrstvy atmosféry přichází 1321–1312 W, podle vzdálenosti Země na její eliptické dráze kolem Slunce. V zimě přijde v mírném pásmu na 1 m^2 průměrně 1 kWh sluneční energie, v létě 5x více. Proto je léto létem a zima zimou. Za jasného dne od jara do podzimu dopadá na 1 m^2 až 1000 W sluneční energie. Zemi ohřívá sluneční záření a Země chladne vyzařováním tepla do atmosféry a dále do vesmíru. Slunce má povrchovou teplotu okolo 5700 °C (6000 K), Země kolem 18 °C (300 K). Slunce

má vysokou povrchovou teplotu a vyzařuje v souladu s Planckovým zákonem krátkovlnné záření (světlo). Povrch země je 20x chladnější a vyzařuje dlouhovlnné záření (teplo).

Na obrázku 1 je soustava čidel (netradiometr) pro měření sluneční energie. Dopadající sluneční energie (Rs↓), odražená sluneční energie (Rs↑), sálání mezi radiometrem a oblohou (RI↑) a zemským povrchem (RI↓). Vektorový součet, tedy zbytek je tzv. čisté záření (net radiation), z toho na růst rostlin (fotosyntézu) se spotřebuje pouze 1 %. **Rozhodující je, zda se sluneční energie může vázat do vodní páry nebo zda ohřívá suchý povrch. Fotosyntéza rostlin je provázena výparem vody (transpirace), při kterém se do vodní páry váží desítky procent sluneční energie.**



Obrázek 1. a) Schéma radiační bilance: dopadající sluneční energie (Rs↓), odražená sluneční energie (Rs↑), sálání mezi povrchem země a oblohou (RnL) a čistá radiace Rn. *Dopadající sluneční energie (Rs↓) se částečně odráží (Rs↑), částečně ohřívá povrch, který potom vyzařuje dlouhovlnné záření RnL. Rn je čisté záření (net radiation), které se spotřebuje na výpar vody (L.E), uvolní jako zjevné teplo (H), ohřívá půdu (G) a porost (J) a váže se fotosyntézou do biomasy rostlin (P).*

Co se děje na zemském povrchu pod příkonem slunečního záření?

Pokud nabídneme sluneční energii vodní hladinu, trávník, stromy, les, mokřad, louku, rostoucí zemědělské plodiny, tak se její velká část spotřebuje na výpar vody. Sluneční energie je potom vázána ve vodní páře a uvolní se zpět při srážení (kondenzaci) vodní páry na vodu kapalnou ve formě rosy nebo v atmosféře při tvorbě oblaků a dešťových srážek**.** Ke kondenzaci dochází v krajině na chladných místech. **Na vypaření jednoho kg |(litru) vody se spotřebuje 0,68 kWh sluneční energie. Tato energie je ve vodní páře vázána skrytě (latentní teplo), neprojevila se jako vzestup teploty. Z jednoho litru kapalné vody vznikne cca 1200 litrů vodní páry. Při srážení vodní páry zpět na vodu se uvolňuje energie skupenského tepla a klesá tlak vzduchu.**

Pokud sluneční energie dopadá na suchý povrch, tak je tímto povrchem absorbována, povrch se ohřívá a od něho se ohřívá vzduch, který stoupá rychle vzhůru. Zvyšuje se teplota povrchu i teplota vzduchu. Tím klesá jeho relativní vlhkost, a tento vzduch je „hladový“ po vodě a více vysušuje. Hovoříme o zjevném teple (pocitové teplo, sensible heat). Jestliže zamezíme výparu

vody na 1 m^2, potom se za slunného dne z této plochy 1 m^2 uvolňuje průměrně teplo 240 W. Přesvědčíme se o tomto jevu snadno měřením povrchové teploty.

Rostliny odrážejí okolo 20 % dopadající sluneční energie, voda odráží pouze okolo 10 % sluneční energie, a přesto mají voda a rostliny nejnižší povrchovou teplotu za slunného letního dne. V chladném vesmíru absorbují co nejvíce energie a využívají ji na životní pochody, výparem vody vyrovnávají teploty a udržují oběh vody.

Může člověk ovlivnit teplotu prostředí, ve kterém žije?

Člověk tvorbou prostředí, ve kterém žije, dokáže měnit toky sluneční energie v rozsahu několika set wattů na 1 m^2 a tím i teploty.

V horkém letním dni podvědomě vyhledáváme stín vzrostlých stromů, v ideálním případě rostoucích na vzrostlém zeleném trávníku. Takový strom dokáže v horkém letním dni, kdy teploty přesahují 30 °C, vypařit (pokud má vodu) například 10 litrů za hodinu a spotřebovat 6,8 kWh energie (10 litrů x 0,68 kWh). Díky tomu je pod ním příjemných 25°C. Má tedy chladící výkon jako dvě domácí klimatizační jednotky. Navíc výparem se chladí i trávník pod ním.

Pokud se přemístíme na náměstí, kde stín vytvářejí pouze slunečníky a jedinou zelení jsou suché trvalky v květináčích, situace je zcela jiná. Slunečník nevypařuje vodu, dlažba nevypařuje vodu, proto se sluneční energie, která na něj dopadá, mění v teplo. Navíc na nás sálá i okolní prostředí – dlažba, fasády domů, betonové plochy a zídky a jiné materiály. Jsou to často povrchy světlé, odrážející více slunečního záření. Měly by být tedy chladnější. Ale nejsou. Proč? Nevypařují vodu, nechladí. Čelíme tedy okolním teplotám povrchů, které mnohdy přesahují 50°C. Stín domu „je vykoupen“ přehřátou střechou.

Tyto procesy lze spolehlivě hodnotit a sledovat měřením povrchových teplot za slunného dne. Povrchová teplota je indikátorem, který nám ukazuje, zda se sluneční záření, dopadající na daný povrch váže do výparu či mění do zjevného tepla. V případě, že jsou povrchové teploty nízké (tzn. nižší, či podobné teplotě vzduchu), povrch se účinně chladí výparem vody. Většinou se jedná o povrchy se zelenou vegetací, dostatečně zásobené vodou. Čím vyšší je povrchová teplota, tím roste převaha zjevného tepla, na které se mění sluneční záření. Příkladem jsou nejen povrchy umělé, ale i povrchy se suchou vegetací, kterou může představovat nevhodně posečený trávník.

Na následujících vybraných příkladech termografických snímků pořízených dronem i pozemním snímkováním sídliště PARVI v Košířích si ukážeme, jak různé typy materiálu a prvků v sídelním prostoru vytvářejí teplotní prostředí, ve kterém žijeme. Zaměříme se i na různé typy vegetačních prvků a zhodnotíme, zda nám skutečně poskytují „klimatizační efekt“, tzn., zda efektivně chladí.

Metodika

Sběr dat proběhl dne 12. srpna 2025, v čase okolo 11:00 SEČ. Pro kampaň byl použit bezpilotní letecký prostředek DJI Mavic 3T. Tento dron je vybaven širokoúhlou kamerou s 1/2" CMOS snímačem o rozlišení 48 Mpx, telekamerou a termální kamerou s rozlišením 640 × 512 px. Během mise byl realizován předem naprogramovaný letový plán s překryvem snímků 80 % ve směru letu a 80 % napříč leteckými liniemi. Let probíhal autonomně ve výšce 53 m, což odpovídá prostorovému rozlišení (GSD) přibližně 5 cm/pixel pro termografické snímky a 1,5 cm pro snímky ve viditelné části spektra. Rychlost letu byla stabilně udržována na hodnotě 7 m/s a snímkovaná plocha činila 0,05 km². Kampaň byla zahájena v poledních hodinách za následujících meteorologických podmínek: teplota vzduchu 30 °C, průměrná rychlost větru 3 m/s, maximální náraz větru 6 m/s, beze srážek a s oblačností na úrovni 3 %. Příkon sluneční energie na vodorovnou plochu během měření byl cca 900 $W.m^{-2}$. Snímkovaná plocha byla 4,8 ha.

Pro doplnění teplotního obrazu lokality byly pořízeny snímky ze země termografickou kamerou FLIR T660.

Výsledky

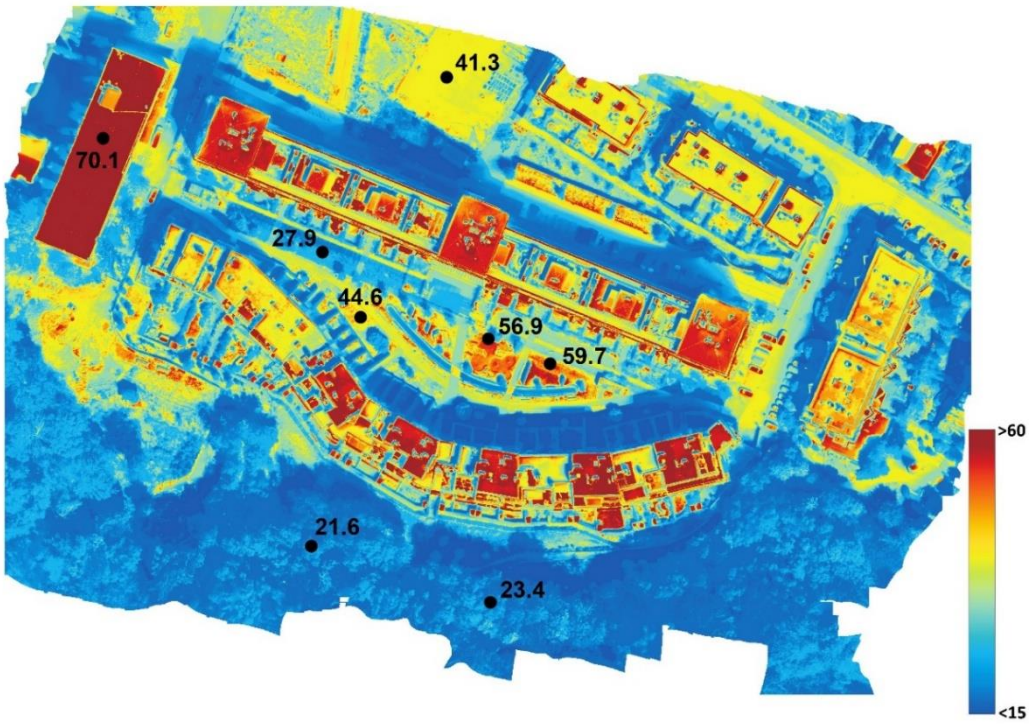
Mapa ve viditelném spektru a snímek povrchových (radiačních) teplot sídliště PARVI

Sídliště PARVI Cibulka (Naskové 1335 Praha – Košíře), představuje komplex sedmipodlažních spojených bytových domů s vnitroblokem zeleně. Jižní část komplexu navazuje systémem předzahrádek na svah se smíšeným lesním komplexem Přírodního parku Košíře – Motol. V severní části je vnitroblok zeleně s mozaikou cest, s trávníky, záhony, nepříliš vzrostlými stromy. Centrální část tvoří dětské hřiště se stínícím prvkem a umělým povrchem. V areálu je rovněž umístěn drobný vodní prvek. V sídelním komplexu se objevují zelené ploty a fasády.

Obrázek 2. Celkový pohled na sídliště PARVI ve viditelném spektru

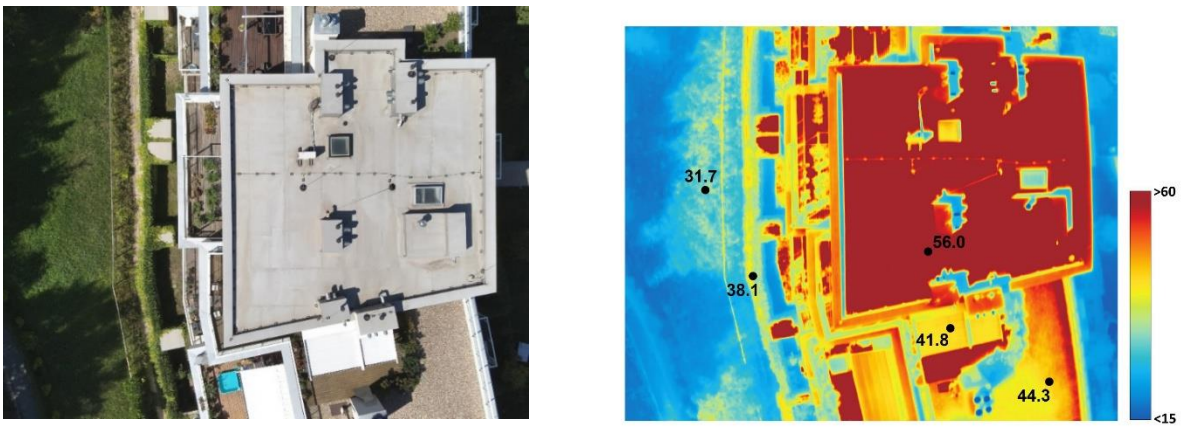
Teplotní snímek sídelního areálu PARVI zobrazuje distribuci teplot za horkého letního dne v rozmezí cca 15–89 °C. Teplota povrchu je projevem způsobu distribuce slunečního záření. Závisí především na tom, na jaký typ povrchu (s vegetací, bez vegetace) sluneční záření dopadá a zda je dané místo nasyceno vodou.

Nápadně vysoké jsou povrchové teploty plochých střech, které přesahují 60 °C. Naopak původní lesní porost v jižní části snímku má povrchovou teplotu 21,6 – 23,4 °C. Plochy střech se podílejí nejvíce na efektu tepelného ostrova, zvyšují povrchovou teplotu až o 40 °C. Stín domu o teplotě cca 21 °C je tedy „vykoupen“ přehřátou střechou a vzestupným proudem ohřátého vzduchu, který odnáší vlhkost. Z nepropustných ploch se odvádí dešťová voda do kanalizace bez dalšího využití. Vegetační střechy by snížily teplotu výparem vody a přispěly k udržení krátkého oběhu vody. Vysoké teploty na snímku (i přes 70 °C), i když plošně ne tak plošně rozsáhlé, jsou vázány na specifické typy povrchů v předzahrádkách a na terasách jednotlivých bytů (viz. dále).



Obrázek 3. Povrchové teploty sídliště PARVI (termografický snímek).

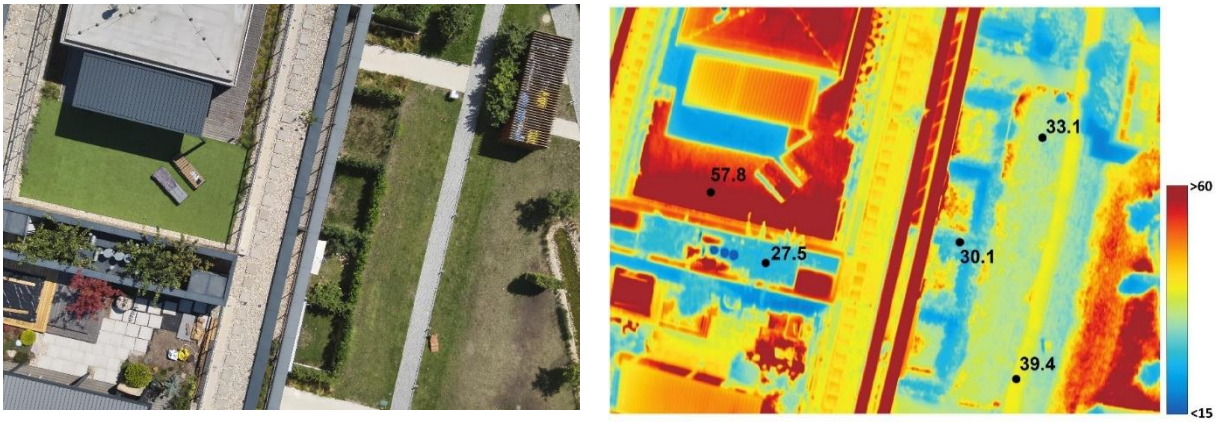
Střecha domu (Obrázek 4) má povrchovou teplotu okolo 56 °C. Přehřátý čtyřúhelník na fotografii má plochu 183 m^2 a ohřívá vzduch a své okolí výkonem 183 x 400 $W.m^{-2}$ = 73 200 W = 73 kW. Sluneční energie se mění na zjevné teplo, nevyužívá se pro oběh vody ani pro životní pochody. Střecha pokrytá vegetací by měla teplotu kolem 30 °C. Teplota výsuvné markýzy je 41,8 °C. Markýza poskytuje stín, ale také hřeje, nechladí aktivně výparem vody.



Obrázek 4. Střecha domu ve viditelném spektru a její termografický snímek

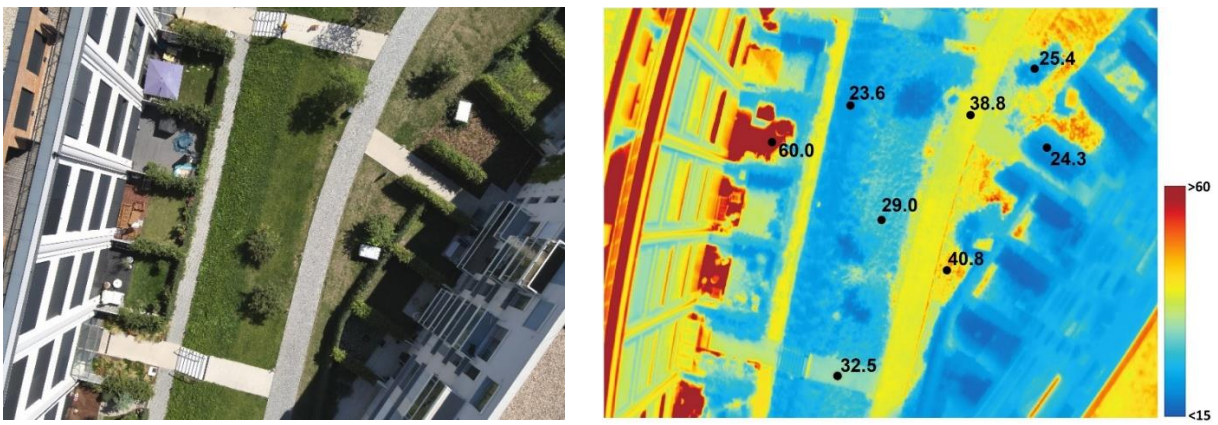
Umělý trávník na střeše domu (Obrázek 5) má povrchovou teplotu 57,8 °C, sousední keře 27,5 °C, osluněný přírodní trávník ve vnitrobloku má povrchovou teplotu kolem 30 °C. Umělý trávník má podobně vysokou teplotu jako kovové zábradlí a tmavé plechy, až 60 °C. Umělý trávník je zelený jako trávník přirozený/živý, přesto má na slunci téměř o 30 °C vyšší teplotu nežli živá tráva. O teplotě povrchu nerozhoduje barva (odraz, albedo) ale výpar. Tráva vypařuje

vodu (transpirace) a do vodní páry se na jednom metru čtverečném váže za slunného dne několik set wattů sluneční energie.



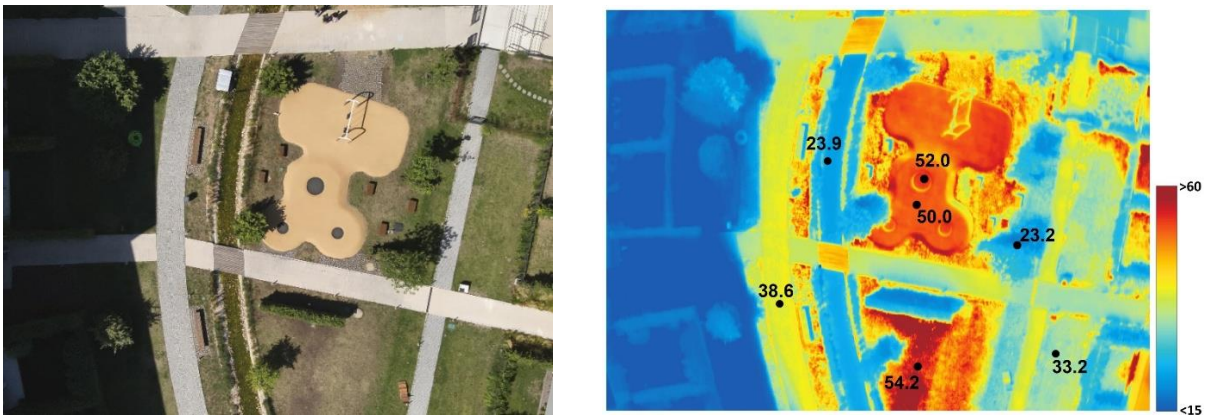
Obrázek 5. Umělý trávník na střeše domu ve viditelném spektru a termografický snímek. Povrchová teplota umělého trávníku dosahuje 57,8 °C. Povrchová teplota keřů a živého trávníku ve vnitrobloku kolem 30 °C.

Osluněný vyšší trávník ve vnitrobloku (Obrázek 6) má povrchovou teplotu 23,6 °C, nižší trávník 29,0 °C, „ušlapaný“ nízký trávník 40,8 °C, povrch cesty 38,8 °C, Je tedy patrné, že výška travního porostu dokáže teplotu ovlivnit v desítkách °C. Keře mají teplotu kolem 25 °C. Nepropustné povrchy u domu mají teplotu kolem 60 °C. Teplota cesty v odpoledních hodinách ještě stoupne. Na snímku je také patrné, jak teplotu malé zahrádky ovlivní její povrch. Pevný povrch má teplotu přes 60 °C. Na takovou terasu je lépe v létě nechodit a její teplota ovlivňuje i teplotu v přilehlé místnosti. Navíc, od teplého povrchu se ohřívá vzduch, který stoupá rychle vzhůru a vysušuje.



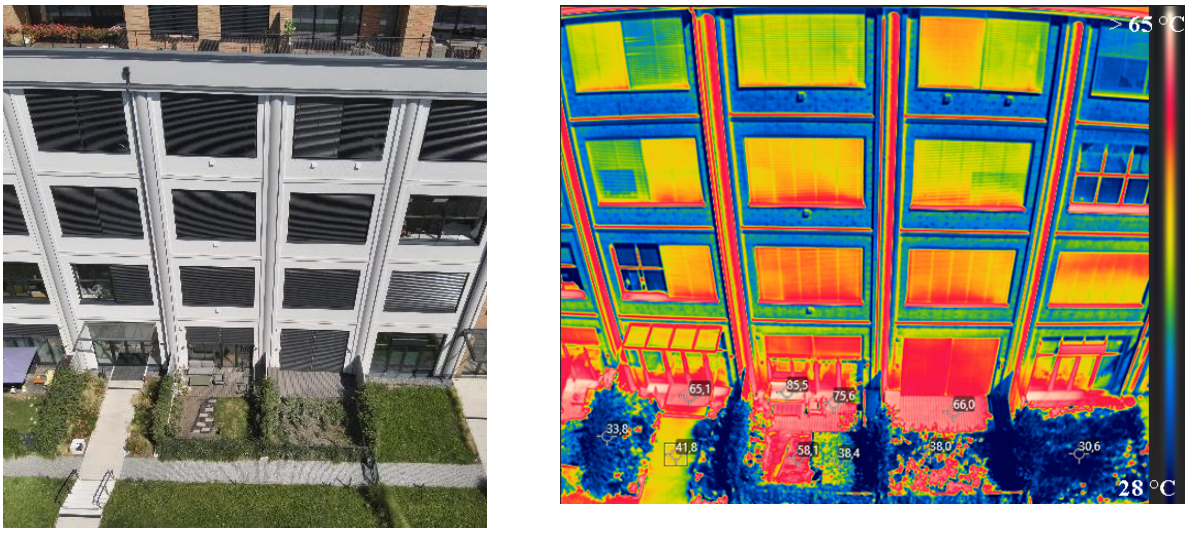
Obrázek 6. Trávník a další plochy ve vnitrobloku. Různé povrchové teploty trávníku jsou dány jeho výškou a stavem. Trávník sešlapaný má povrchovou teplotu 40,8 °C, trávník o výšce 20 cm je zřetelně chladnější, má povrchovou teplotu 23,6 °C.

Dětské hřiště pokryté plastem (Obrázek 7) má povrchovou teplotu okolo 50 °C, sešlapaný trávník 54,2 °C, vyšší trávník a keře 23,2 °C, 23,9 °C, tedy o více než 25 °C nižší. Děti v létě posíláme se “péct” do horka na dětském hřišti a na krátko sekané trávníky v okolí pomáhají vzniku tepelného ostrova. Řešením by mohlo být několik vyšších stromů, které stíní část hřiště, v okolí hřiště vhodně umístěné keře a trávník udržovaný na výšce kolem 20 cm.



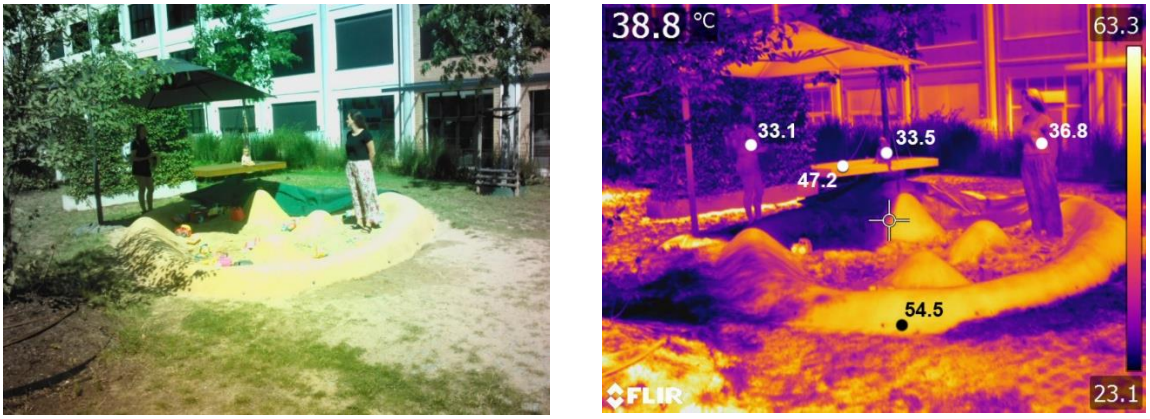
Obrázek 7. Dětské hřiště ve vnitrobloku viditelný a termografický snímek. Umělý povrch dětského hřiště má na slunci povrchovou teplotu okolo 50 °C.

Zajímavý pohled na předzahrádky poskytují šikmé snímky pořízené z nižší letové výšky. Je na nich dobře patrná teplotní heterogenita různých prvků a typů povrchů. Teplota sedačky umístěné na jedné z předzahrádek přesahuje 85 °C. Je umístěna na zpevněné ploše s teplotou nad 75 °C. Zbytek předzahrádky je rozdělen na holý povrch (58 °C) a řídký nízký trávník (38 °C). V tomto prostoru na nás tedy působí nejen „ohřev“ 900 W.m^{-2}, které na nás dopadají ze Slunce, ale i další energie z okolního prostředí. Tuto energii můžeme odhadnout z rozdílu teplot člověka (36 °C) a jeho okolního prostředí – např. sedačky, na které sedí (85 °C), či podlahy (75 °C). Podle Stefanova-Boltzmannova zákona můžeme odvodit, že na jeden stupeň rozdílu teploty mezi dvěma tělesy připadá 5 W.m^{-2}. Jestliže je rozdíl teploty mezi člověkem a sedačkou téměř 50 °C, odpovídá to 250 W.m^{-2} (50x5), které nás navíc ohřívají (sálají) zespodu. Podlaha přidá dalších 200 W.m^{-2} (40x5). Obyvatel předzahrádky zcela vpravo je na tom o poznání lépe. Teplota jeho trávníku se pohybuje okolo 30 °C, je tedy nižší než teplota člověka. V tomto případě nám trávník poskytuje chlazení 30 W.m^{-2} (6x5).



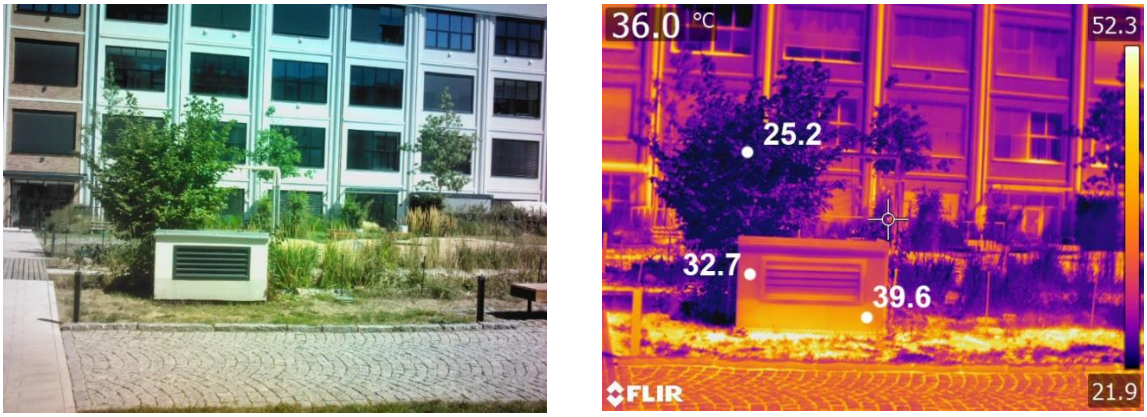
Obrázek 8. Šikmé snímky z dronu poskytují detailní pohled do předzahrádek. I na malých plochách jsou teplotní rozdíly 50 °C. Fungující, tedy chladící vegetace na předzahrádkách má teplotu okolo 30 °C. Podlahy, sedačky a další prvky nad 60 °C.

Snímek pořízený se země termovizní kamerou FLIR T660 (teplotní škála „roztavené železo“) (Obrázek 9). Dětské hřiště pokryté světlým plastem má povrchovou teplotu až 54 °C. Lidské postavy mají povrchovou teplotu o 20 °C nižší, 33 – 36,8 °C. Malé dítě sedí na podložce o teplotě 47,2 °C, na plném slunečním svitu, sálá na něj přehřátá plocha hřiště a proudí kolem něho ohřátý vzduch. Patrná je nízká teplota korun stromů (okolo 25 ºC) a rostlin u domu ve srovnání s vysokou teplotu slunečníku.



Obrázek 9. Viditelný a termografický snímek pořízený termovizní kamerou se země. Povrchová teplota hřiště je přes 50 °C, lidské postavy jsou chladnější než povrch hřiště. Na stole o teplotě 47,2 °C sedí malé dítě! Koruny stromů a jejich stín mají teplotu okolo 25 ºC.

Snímek pořízený ze země termovizní kamerou FLIR T660 (teplotní škála „roztavené železo“) (Obrázek 10). Keře a malé stromy mají povrchovou teplotu okolo 25 °C. Sešlapaný trávník okolo 50 °C. Snímek byl pořízen ve 12:10 letního času. Slunce je poměrně vysoko, paprsky dopadají na fasádu pod šikmým úhlem. Stromy keře snižují za slunného letního dne povrchovou teplotu i o více než 25 ºC. Podobně sníží teplotu fasády i popínavé rostliny.



Obrázek 10. Viditelný a termografický snímek pořízený termovizní kamerou se země. Teplota sešlapaného trávníku dosahuje až 52 °C. Teplota zděného objektu až 39,6 °C. Koruny stromů mají povrchovou teplotu kolem 25 °C. Skutečné teplotní poměry zaznamenává detailní šikmý pohled seshora na obrázku 8. Povrchové teploty suchých ploch předzahrádek u domu přesahují 60 ºC.

Identifikace klimatizačně-funkčních ploch a vyčíslení efektu zeleně na místní klima

Pro hodnocení sídelního prostoru z hlediska identifikace klimatizačně-funkčních ploch lze využít následující přístupy.

a) hodnocení rozdílu teploty povrchu a teploty vzduchu
b) hodnocení rozdílu povrchové teploty a teploty člověka – tzv. tepelná pohoda

Hodnocení rozdílu teploty povrchu a teploty vzduchu

První přístup je založen na hodnocení rozdílu teploty povrchu a teploty vzduchu (Hesslerová et al. 2013, Hesslerová et al. 2022). V případě, že povrch tvoří vegetace v dobrém zdravotním stavu, která je dobře zásobena vodou, v době vysokého příkonu slunečního záření vypařuje vodu, transpiruje. Dopadající sluneční energie je vázána do výparu a neohřívá porost/povrch, naopak dochází k jeho ochlazování. Díky procesu výparu (evapotranspirace)[1] funguje klimatizační funkce vegetace. Tento jev se projevuje tím, že povrchová teplota je buď stejná, či o několik stupňů nižší než teplota vzduchu. V případě, že sluneční záření dopadá na holý povrch, povrch s nedostakem vody či suchou vegetací, je povrchová teplota vyšší, než je teplota vzduchu. Obrázek 11 znázorňuje teplotní rozdíl (T_d) mezi teplotou povrchu a teplotou vzduchu, která byla v době měření 30 °C.

$T_d = T_s – T_a$

T_s – povrchová teplota měřená pomocí dronu

T_a – teplota vzduchu měřená meteostanicí (či jiným teploměrem) ve 2 metrech nad zemí; v hodnoceném případě 30 °C

Indikátor rozdílu povrchových teplot i teploty vzduchu byl použit i pro hodnocení sídliště PARVI. Pro tento účel bylo původní širší hodnocené území (celková plocha náletu cca 5 ha) oříznuto na menší plochu (18794 m^2), která je zaměřena pouze na plochu zájmové sídelní struktury (Obrázky 11 a 12). Teplota vzduchu byla 30 °C. Z analýzy byly vynechány stíny vržené budovami, drobnější zastíněné plochy u budov (zejména na střechách) byly v hodnocení ponechány. Stejně tak byl ponechán v hodnocení stín stromu, neboť ten není v porovnání se stínem domu „kompenzován teplotou střechy“.

Aktivně chladící plochy, tedy plochy, které vypařují a mají teplotu nižší, než 30 °C zaujímají cca 27 % rozlohy. Jedná se především o plochu v jižní části sídliště, která přiléhá k lesoparku (cca 800 m^2). Uvnitř zástavby jsou aktivními chladícími prvky především stromy, byť zatím nepříliš vzrostlé, keře a živé ploty okolo předzahrádek i umístěné v prostoru. Ze zatravněných ploch chladí pouze travní porost při vstupu do areálu ze západní strany, který má zachovanou vyšší výšku porostu. Tyto plochy mají povrchovou teplotu o cca 3 – 8 °C nižší, než je teplota vzduchu. Na ostatních plochách převažuje uvolňování zjevného tepla nad výparem. U povrchů, které mají teplotu povrchu vyšší cca o 5 °C, není rozdíl v distribuci těchto dvou toků ještě příliš patrný (cca 12 % rozlohy areálu). Při vyšších teplotách se poměr latentního tepla výparu a zjevného tepla výrazně odlišuje. V případech povrchů bez vegetace se do zjevného tepla může

[1] Evapotranspirace = souhrnný výpar vody z půdy (evaporace) a vegetace (transpirace)

vázat mnohonásobně více energie, než do výparu. Rozdíly teploty povrchu a vzduchu na těchto plochách dosahují i více než 20 °C (Pokorný et al. 2025). Jedná se nejen o střechy budov (rozdíl 30 °C), ale i o povrch dětského hřiště (rozdíl 20 °C), sekaný a sešlapaný trávník (rozdíl více než 25 °C). Teplotními rekordmany jsou pak podlahy na střešních zahrádkách a předzahrádkách, s rozdíly přesahujícími i 50 °C. Tyto plochy na sledovaném území zaujímají až 60 %.

Pro vyčíslení efektu zeleně na místní klima využíváme data[2] umožňující kvalifikovaný odhad na základě průměrného výparu vody za slunného počasí a spotřeby sluneční energie. Chladící výkon vegetace vypočteme z množství vody, která se odpařuje. Průměrná rychlost výparu vody z vegetace zásobené vodou za slunného počasí je: 100 $mg.m^{-2}.s^{-1}$ tj. 240 W (skupenské teplo výparu vody při 20 ºC je 2,4 MJ/kg, 2,4 kJ/g = 2400 J/g, 240 J/100mg). V případě povrchů (do 30 °C), kde funguje chlazení jako je nesečený trávník, strom, živý plot můžeme přiřadit chlazení 300 $W.m^{-2}$. Naproti tomu suchý osluněný povrch se přehřívá. Převládá produkce zjevného tepla. Dle povrchové teploty byla jednotlivým plochám přiřazena hodnota produkce zjevného tepla či výparu (viz. Tabulka 1).

Tabulka 1. Energetická a teplotní kvantifikace ploch na sídlišti PARVI.

Teplota povrchu (°C)	Rozdíl teploty povrchu a teploty vzduchu (30° C) (°C)	Plocha v daném teplotním intervalu (m^2)	% rozlohy území v daném teplotním intervalu	Rozloha m^2/ % rozlohy v daném teplotním intervalu	Sluneční energie – (spotřebovaná na výpar) / + (uvolněná ve formě zjevného tepla) $W.m^{-2}$ vyjádřená pro plochy v daném teplotním intervalu	Sluneční energie – (spotřebovaná na výpar) / + (uvolněná ve formě zjevného tepla) na dané ploše
10 – 30	-20 až 0	4849	27,2	4849 / 27,2	- 300 chlazení	- 1,45 MW chlazení
30 – 37	0 – 7	2171	12,2	2127 / 12,2	+350 teplo	0,76 MW teplo
37 – 40	7 – 10	3682	15,1	11774 / 60,6	+370 teplo	1,36 MW teplo
40 – 50	10 – 20	3986	22,4		+400 teplo	1,59 MW teplo
50-95	20 – 65	4106	23,1		+500 teplo	2,05 MW teplo

Na sledovaném území se cca 27 % plochy aktivně chladí výparem. Tyto plochy jsou však poměrně fragmentované, nepříliš rozsáhlé. Odhadovaný chladící efekt těchto ploch je 1,45 MW. Pro zvýšení chladícího efektu lze doporučit zvýšení jejich podílu především v sídlištním vnitrobloku. V průběhu let lze očekávat růst stromů, které dosud nemají vyvinutou korunu pro dostatečný chladící výkon. Chladící výkon stromu o poloměru 3 metry je 6,7 kW (3 x 3 x 3,14 = 28 m^2; 28 x 0,24 kW = 6,7 kW). Takový strom nejenom chladí ale poskytuje též stín před přímým slunečním zářením osobám, které jsou venku (děti, matky s kočárkem, odpočívající na lavičce). Těchto parametrů v areálu dosahuje cca 5 jedinců.

[2] Data z dlouhodobého monitoringu energetických toků v krajině z meteorologické stanice ENKI, o.p.s. v Domaníně u Třeboně. Doplňková data z měřící kampaně ENKI u Fakulty sociálních věd UK ze dne 12.8.2025 (12:00).

Problémovým místem celého vnitrobloku je prostor v okolí dětského hřiště (cca 1000 m^2). V důsledku absence vzrostlé vegetace, sešlapaného trávníku a umělého povrchu, můžeme počítat s produkcí zjevného tepla z této plochy cca 0,4 MW (1000 x 400), bez výraznějšího kompenzačního efektu vodní plochy. V případě kvantifikace tepla z ploch bez chladící schopnosti (60 % plochy sídliště), lze odhadnout produkci tepla z těchto ploch 5 MW.

Hodnocení rozdílu povrchové teploty a teploty člověka – tzv. tepelná pohoda

Druhý přístup hodnotí sídelní prostor podle toho, zda se člověk o teplotě 37 °C od povrchů aktivně chladí tím, že do nich vyzařuje energii, či naopak je od těchto povrchů aktivně ohříván. Znázorňuje „tepelnou pohodu", neboli jak člověk může vnímat teplo či naopak chlad z okolního prostředí. Toto hodnocení je založeno na principu výměny tepelné energie mezi dvěma tělesy. Energetické působení dvou těles je závislé na teplotě každého tělesa, přičemž teplejší těleso vyzařuje směrem ke studenějšímu. Pokud je teplota člověka 36,5 °C, bude se vyzařovat (chladit) do ploch, které mají teplotu nižší, než je jeho. Obrázek 12. znázorňuje tepelnou pohodu (T_{poh}) v prostředí sídliště, která byla vyhodnocena na základě vztahu:

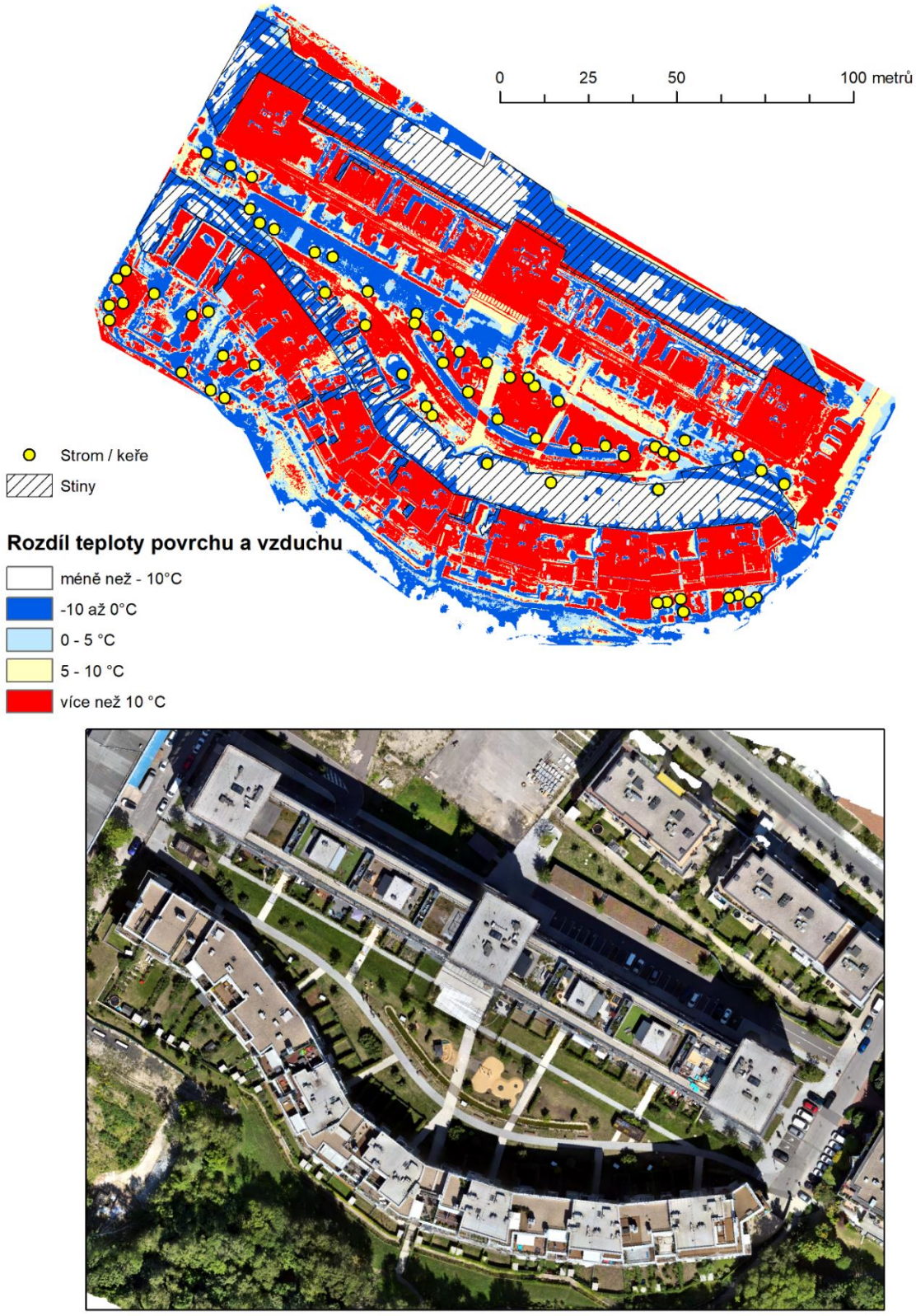
$T_{poh} = T_s - 36{,}5$

kde T_s – povrchová teplota měřená dronem

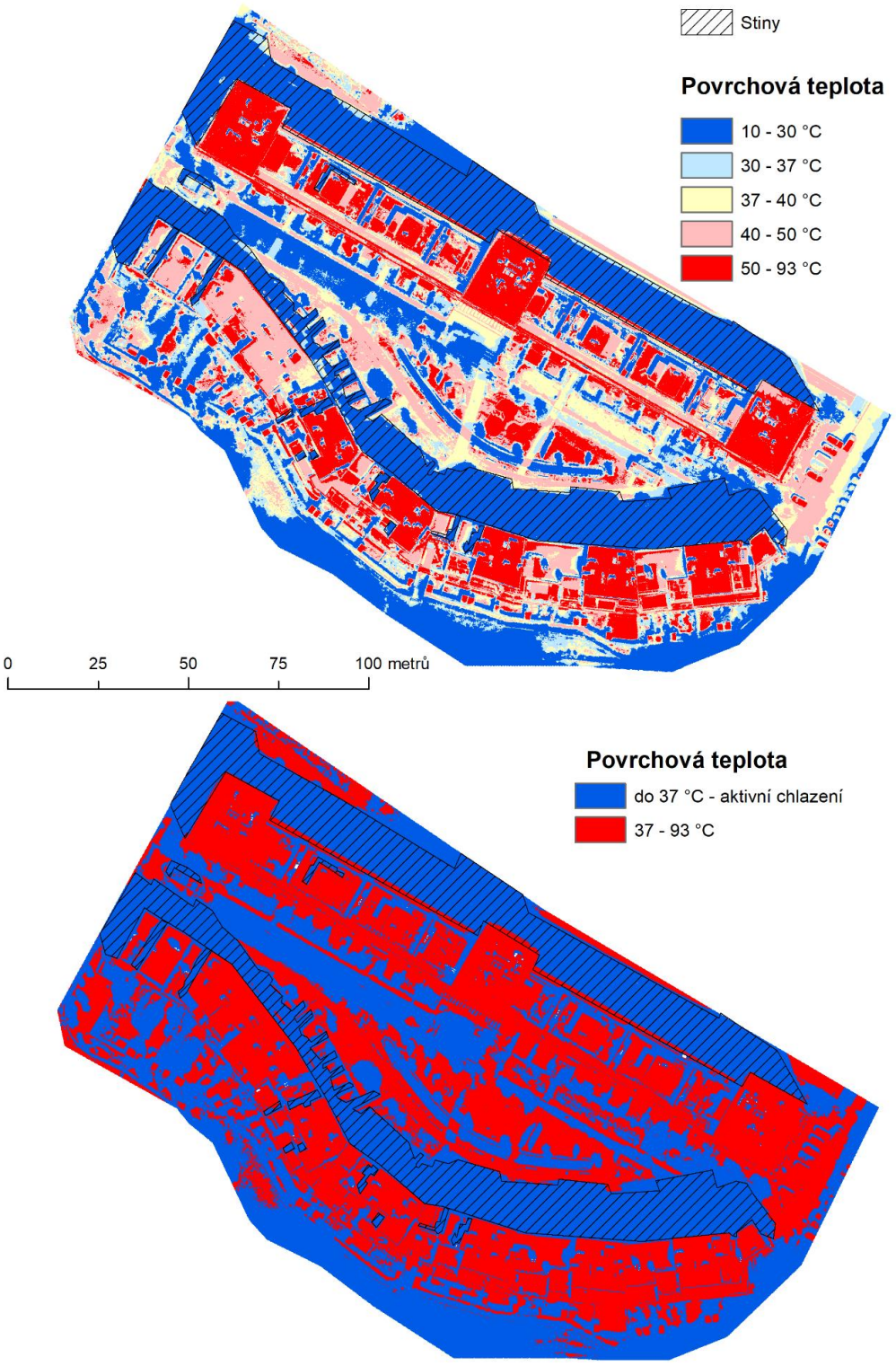
37 °C – teplota člověka

Na obrázku 12 je uvedeno rozdělení ploch v sídelním areálu podle toho, zda se člověk o teplotě 37 °C od povrchů aktivně chladí tím, že do nich vyzařuje, či naopak je od těchto povrchů aktivně ohříván. Znázorňuje „tepelnou pohodu", neboli jak člověk může vnímat teplo či naopak chlad z okolního prostředí. Toto hodnocení je založeno na principu výměny tepelné energie mezi dvěma tělesy[3]. Energetické působení dvou těles je závislé na teplotě každého tělesa, přičemž teplejší těleso vyzařuje směrem ke studenějšímu. Pokud je teplota člověka 37 °C, bude se vyzařovat (chladit) do ploch, které mají teplotu nižší, než je jeho. V hodnoceném území se jedná cca o 39,4 % jeho rozlohy, a to o prostor v jižní části sídelního areálu mezi lesoparkem, dále pak nesešlapaný trávník západní části areálu, systémy zelených plotů a trávníků na předzahrádkách, stromy, keře, vertikální vegetační prvky a jezírko. Naopak od ploch s vyšší teplotou, než je teplota člověka, dochází k předávání tepelné energie člověku. Člověk se od těchto ploch ohřívá. V hodnoceném území je cca 60, 6 % ploch zdrojem tepla. Problémové místo je dle tohoto pohledu především centrální část sídliště v okolí dětského hřiště a jezírka, ale i předzahrádky s umělými povrchy a sešlapaným trávníkem. Pro zlepšení teplotního komfortu by bylo vhodné nahradit gumové povrchy např. zatravňovacími rohožemi a uvažovat o výsadbě dalších stromů, pokud možno více vzrostlých.

[3] Řídí se principy Stefan – Boltzmannova zákona.



Obrázek 11. Snímek zobrazující rozdíl teploty povrchu (snímáno dronem) a teploty vzduchu (v době měření 30 °C). Plochy se záporným rozdílem chladí, funguje zde výpar, tedy přirozené chlazení. Čím vyšší je rozdíl (směrem do kladných hodnot), tím vyšší je ohřev těchto ploch a produkce zjevného tepla.



Obrázek 12. Horní snímek: Povrchová teplota snímaného území rozdělená do 5 teplotních kategorií. V kategorii 10–30 °C funguje výpar a přirozené chlazení. V kategorii 30–37 °C již mírně převažuje ohřev nad výparem (chlazením), nicméně i tyto plochy, které mají teplotu nižší, než je teplota člověka (37 °C), působí chladícím dojmem. Člověk se do těchto ploch vyzařuje a tím se pocitově ochlazuje. U ostatních kategorií dochází naopak k vyzařování tepla z okolního prostředí na člověka. Spodní snímek: Rozdělení sídelního areálu podle „tepelné pohody“ na plochy na „aktivně chladící“ (pod 37 °C) a „oteplující“.

Rok 2004

Rok 2023

Obrázek 13. Ortofotosnímky (Zdroj ČÚZK) zobrazují stav sídelního areálu před revitalizací a krátce po jeho výstavbě. Přestože byly odstraněny vzrostlé stromy ve východní a severní části areálu, centrální zastavěnou část nahradila vegetace, stejně tak vzrostla i plocha zeleně a stromy v jižní a jihovýchodní části areálu.

Závěr a doporučení

Urbanizovaný a sídelní prostor je mozaikou různých typů povrchů. Tyto povrchy vytváří prostředí, ve kterém žijeme. A to nejen z estetického hlediska, ale i z hlediska klimatického. Tuto skutečnost si málokdo uvědomuje. Klima, ve kterém žijeme často můžeme ovlivnit my sami, a to prostřednictvím vegetace a s ní spojeným výparem vody. Vegetaci v sídlech většinou vnímáme jako estetický doplněk prostředí. Ale nedoceňujeme, že funguje jako nepříliš finančně nákladné, nicméně velice účinné klimatizační zařízení.

Za slunného počasí jsou rozdíly v povrchových teplotách v sídelním prostoru vyšší než 30 °C. Osluněné suché povrchy na střechách i ve vnitrobloku mají povrchovou teplotu až 60 °C. Vyšší trávník, keře a koruny stromů mají teplotu 23–25 °C. Názorným příkladem je porovnání teplot umělého (57,8 °C) a živého trávníku (23–25 °C), oba povrchy mají zelenou barvu. Rozhodující pro povrchovou teplotu je výpar vody. Vegetace se aktivně chladí výparem vody (transpirace) a chladící výkon dosahuje několika set wattů na 1 m^2. Trávník a stromy musí mít ovšem dostatečnou listovou plochu a zásobení vodou. Sešlapaný a krátce posekaný trávník mají vysoké teploty, protože vegetace není aktivní. Patrné je to na srovnání povrchových teplot ve vnitrobloku, 20 cm vysoký trávník má povrchovou teplotu pod 25 °C, zatímco trávník sešlapaný o 20 °C vyšší. Je otázkou, jak navrhují zahradní architekti vzájemnou polohu, hřišť, laviček a nově sázených stromů. Uvažují „chod slunce“ na letní obloze a na to vázanou „cestu stínu“? Taktéž využívání stínících pasivních prvků (stříšky, slunečníky) není vhodným způsobem ochrany před slunečním zářením. Stín stromu na vzrostlém trávníku nic nenahradí.

Ani vegetace však nemusí být plně funkční. Záleží na jejím typu/druhu, hustotě/listové pokryvnosti, jaké je její okolí. To do jisté míry určuje, jak se jí na dané lokalitě bude dařit. Pokud vysadíme stromy do dlažby s železnou mříží okolo, musíme si uvědomit, že strom za horkého letního dne bude vystaven teplotám 60 °C a vyšším. V takovém prostředí příliš prospívat nebude. Stejně tak nebudou klimaticky funkční záhony s teplomilnými druhy trav na mulčovací kůře (taktéž s teplotou okolo 70 °C), které jsou sice estetické, příznivější z hlediska údržby, nicméně klimaticky ne zcela funkční. I plevel na záhoně nám pomůže snížit teplotu povrchu a zadržet více vody.

V našem okolí bychom se měli snažit o aktivní snižování teploty povrchů, které na nás v horkých letních dnech působí. Měli bychom si uvědomit, jaký teplotní rozdíl na předzahrádce vytvoříme, pokud bude ohraničena živým plotem, na ní budeme mít vzrostlý trávník se stromkem či keřem, nebo pokud dáme přednost umělému povrchu a plotu z betonových částí. Ovlivňujeme tím toky energie v řádu desítek (v extrémních případech i stovek) wattů na jednom metru čtverečném.

Jižní část sídelního komplexu je tvořena zapojeným lesním porostem. V horkém letním dni, kdy teploty vzduchu přesahují i 35 °C, si lesní porost udržuje teplotu okolo 23 °C. Tedy o více než 10 °C nižší, než je teplota vzduchu mimo les. Tato skutečnost je příkladem chladící schopnosti vegetace. Okolní domy tedy na jižní části komunikují s prostředím, které je aktivně chladí. Klima v prostředí bytových jednotek by bylo méně snesitelné, pokud by na místě tohoto lesa bylo vystavěno např. nové obchodní centrum, či parkoviště, které by např. na ploše 1 ha

dokázalo produkovat 2,4 MW energie ve formě zjevného tepla. Sluneční energie, která se v lese vázala do vodní páry, by se po jeho odstranění měnila na teplo.

27% plochy hodnoceného areálu chladí výkonem 1,45 MW, což za jeden slunný letní den odpovídá energii 10,45 MWh. Při zákaznické ceně 6 Kč kWh by cena za elektřinu spotřebovanou na chlazení byla 62 700,- Kč za den. Klimatizační zařízení ovšem v konečném efektu své okolí ohřívá. Vodní pára vypařená vegetací se sráží (kondenzuje) na chladných místech, v noci a ráno nebo v atmosféře a vyrovnává tak teplotní rozdíly.

Jeden strom o poloměru 3 metry má plošný průmět koruny 28 m^2 a chladí průměrným výkonem 6,7 kW (28 x 0,24). Za slunného letního dne chladí 10 hodin a do vodní páry se navázalo 67 kWh sluneční energie, která se neprojevila jako teplo. Za 67 kWh elektrické energie by zákazník zaplatil 402,- Kč. Pokud dávají obyvatelé přednost technické klimatizaci před vegetací, potom platí za elektřinu a ohřívají své okolí. Podobný efekt jako strom má vzrostlá tráva, keře.

Pokud se půda a povrchy sluncem nechladí výparem, tak se přehřívají a obyvatelé větrají do ohřátého vzduchu a jsou vystaveni radiaci z přehřátých ploch. Je na obyvatelích sídliště, zda budou v létě otevírat okno směrem k plochám ohřátým na 40 °C a více nebo méně než 30 °C. Zda přijde do místnosti vzduch o teplotě 45 °C nebo 25 °C.

Většina ploch (13 900 m^2) má teplotu vyšší, než je teplota vzduchu, protože se nechladí výparem. Z přicházející sluneční energie se na těchto plochách uvolňuje 5,76 MW zjevného tepla (viz Tabulka 1). Z těchto 13 900 m^2 přibližně 4 500 m^2 zaujímají sešlapané trávníky a nepropustné plochy na zemi, které je možno převést na plochy, které se chladí výparem a snížit tak ohřev o cca 1 MW.

Pro kompenzaci uvolňovaného tepla a pro zlepšení klimatických podmínek vnitrobloku lze rovněž doporučit navýšení počtu vzrostlejších stromů, které v budoucnu budou mít širší korunu a budou umístěny na travnaté ploše. Stejně tak lze doporučit zvýšit výšku sekaných trávníků a snížit případně četnost jeho sečení. Osvěta mezi obyvateli může napomoci eliminovat negativní tepelný vliv umělých materiálů na předzahrádkách/terasách/balkonech, které rovněž výraznou měrou přispívají k teplotnímu diskomfortu prostředí. Připomínáme, že teploty se zde nezřídka pohybují nad 60 °C.

V blízkosti severního bloku jsou nepropustné pevné plochy, které se přehřívají a ohřívají okolí jako radiátory. Tyto plochy se ohřívají sluncem na vysoké teploty, takže lze počítat tepelný výkon 400 W/m^2. Plocha 10 m^2 má tedy na slunci tepelný výkon 4 kW. Běžná klimatizační zařízení chladí výkonem 3 kW. V blízkosti severního domu je takových ploch celkem 2 500 m^2.

Pokud jde o tepelné poměry, je nutné věnovat pozornost úpravě záhonů. Záhon pokrytý z větší části mulčovací kůrou se nechladí výparem, přehřívá se. Spolehlivě se chladí výparem vody hustý trávník o výšce 20 cm a více.

Na sídlišti Parvi v Košířích jsou přehřáté plochy, které i s malou péčí se mohou změnit na plochy chladné, snižující extrémní letní teplotu. Jsou to zejména krátce sekané trávníky, ušlapaný trávník, okrasné vegetačně nezapojené záhony a některé zpevněné povrchy.

Projektanti by měli uvážit, zda používat na dětské hřiště plast, který se ohřívá na teplotu téměř 50 °C. Samozřejmostí by mělo být umisťování některých laviček do stínu stromů a návrh míst, kde mohou vyrůst i vyšší stromy, které vytváří v létě místa k odpočinku a jsou

nenapodobitelným klimatizačním zařízením. Projektanti by se měli též snažit omezovat velké nepropustné plochy parkovišť využitím zatravňovacích tvárnic, vhodným umístěním stromů při respektování infrastruktury. Podle archivních ortofotosnímků z roku 2004 (Obrázek 13.) je patrné, že původní areál Meopta přestavbou na sídelní strukturu získal více zelených ploch, jejichž funkce se bude spolu s rostoucím stupněm zapojení zeleně a růstem stromů zlepšovat.

Měli bychom si uvědomit, že prostřednictvím vody a trvalé funkční vegetace můžeme aktivně ovlivňovat a utvářet klima prostředí ve kterém žijeme. Slunce není naším nepřítelem, ale podmínkou života na Zemi. Voda a rostliny aktivně tlumí teplotní rozdíly, neměli bychom být k jejich „ekosystémovým službám“, které nám poskytují, nevšímaví.

Slunce ohřívá Zemi o cca 290 °C, kdyby „Slunce vyplo“ oceány by zamrzly a atmosféra ztuhla. Je proto pošetilé sluneční energii odrážet, je nutné ji využívat k životním pochodům, oběhu vody.

Závěrem vzpomínka na společné chvíle s astronomem Josipem Kleczkem: Sluneční energie je dar a letí k nám 11 minut; voda je dar, přišla na Zemi s kometami; život je dar, rostliny vyšly z moře na pevninu před 400 miliony roků, tak si toho važme.

Literatura

Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., Rejšková – Procházková, A. (2013): Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: Consequences for the local climate. Ecological Engineering 54, 145– 154.

Hesslerová, P., Huryna, H., Pokorný, J., Vyskot, I., Kozumplíková, A. (2022): Změny klimatizační funkce lesních porostů jako následek jejich plošného odumření po gradaci lýkožrouta smrkového. Zprávy lesnického výzkumu 67(1), s. 311 - 320.

Jirka, V., Hesslerová, P., Huryna, H., Pokorný, J. (2021): Energetická výměna mezi zemským povrchem a atmosférou v závislosti na meteorologických podmínkách bez ohledu na obsah CO_2. Vytápění, větrání, instalace 5, 234 – 239.

Pokorný, J., Hesslerová, P., Jirka, V., Huryna, H., Seják, J. (2018): Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. Urbanismus a územní rozvoj. 1, 26 – 37. https://www.uur.cz/casopis-uaur/cisla-casopisu-journal-issues/2018/12018/

Pokorný, J., Hesslerová, P. (2019): Jak vysycháme – aneb, opravdu „kazí rybníky hydrologickou bilanci“? Rybníkářství, 37, s. 6 – 9.

Pokorný, J., Ryplová R., Hesslerová, P., Jirka, V., Vácha, Z., Procházka, M., (2021). Nová metodika vzdělávání pracovníků městských úřadů k tématu efektu hospodářských zásahů na regionální klima Vydalo ENKI, o.p.s. Třeboň

Pokorný, J., Hesslerová, P. (2022): Aktivní úloha vzrostlého lesa v klimatu, oběhu vody a zadržování živin. Sovak 7-8, s. 12-21.

Pokorný, J., Ryplová, R., Hesslerová, P., Jirka, V., Vácha, Z. (2025): Slunce-voda-rostliny-klima. Podklady k poznání a výuce. ENKI, o.p.s. Třeboň, 241 s.

Pokorný, J., Procházka, J., Jirka, V., Huryna, A., Hesslerová, P. (2023). Lze nárůst příkonu sluneční energie a teplot vysvětlit jinak než úbytkem oblačnosti a vody v ovzduší? Vodní hospodářství 73(12), 2 – 8. https://vodnihospodarstvi.cz/archiv-rocniku-2023/

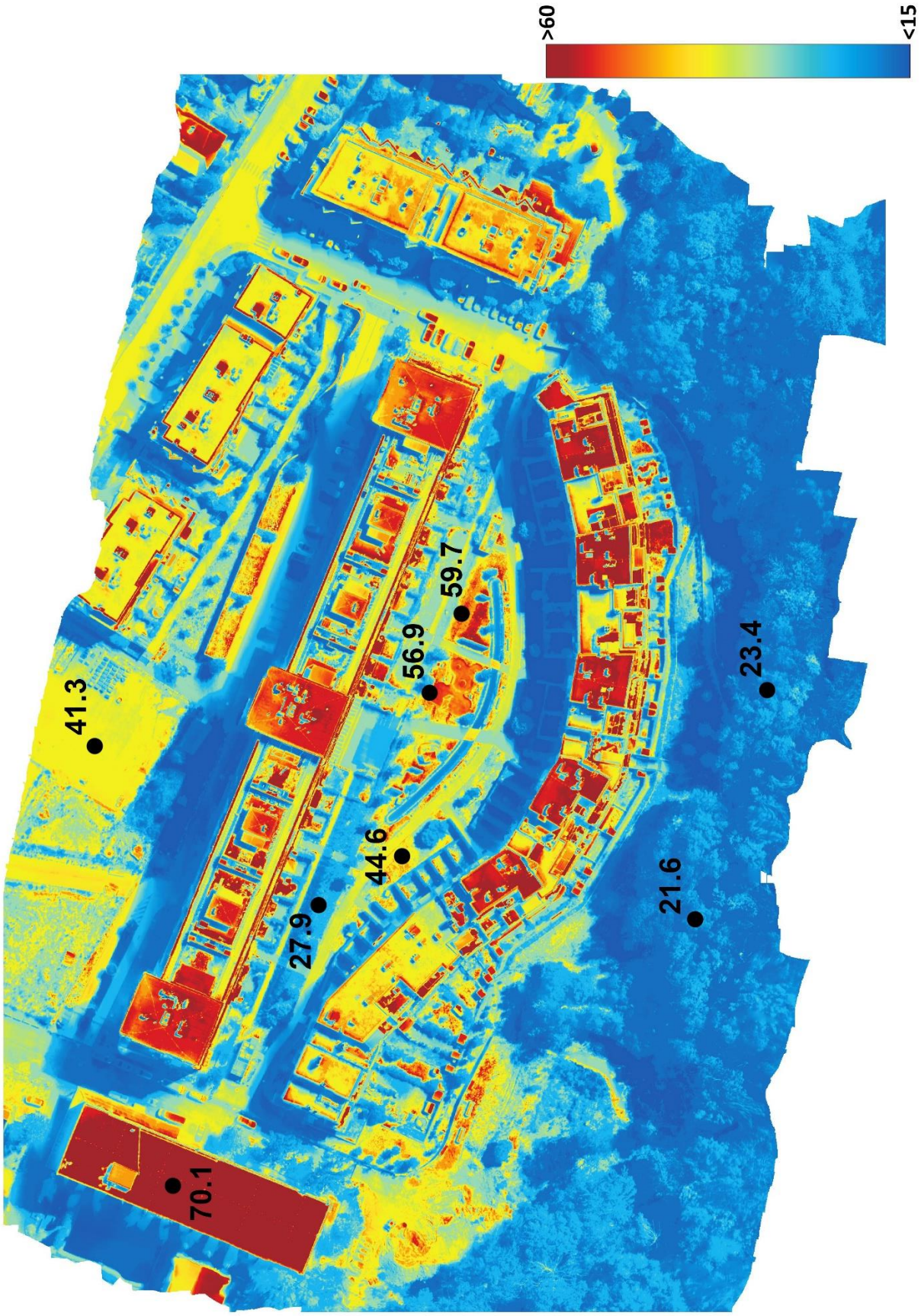
Ryplová R., Pokorný, J., Hesslerová, P., Jirka, V., Vácha, Z., (2021a). Metodika výuky k tématu Sluneční energie - voda v krajině - vegetace pro žáky 9. ročníků ZŠ a víceletých gymnázií. ENKI, o.p.s.,Třeboň, 2021, ISBN 978-80-908090-0-0

Ryplová R., Pokorný, J., Hesslerová, P., Jirka, V., Vácha, Z., (2021b). Metodika výuky k tématu Sluneční energie - voda v krajině - vegetace pro VŠ studenty učitelství přírodopisu pro ZŠ a učitele z praxe. ENKI, o.p.s.,Třeboň, 2021,ISBN 978-80-905483-8-1

Některé publikace jsou dostupné na:

https://enki.cz/ke-stazeni/

https://planteducation.eu/#results

Příloha 1 – Snímek sídliště PARVI Cibulka ve viditelné části spektra

Příloha 2 – Termografický snímek sídliště PARVI. Teploty jsou uvedeny ve °C.