



Motivace

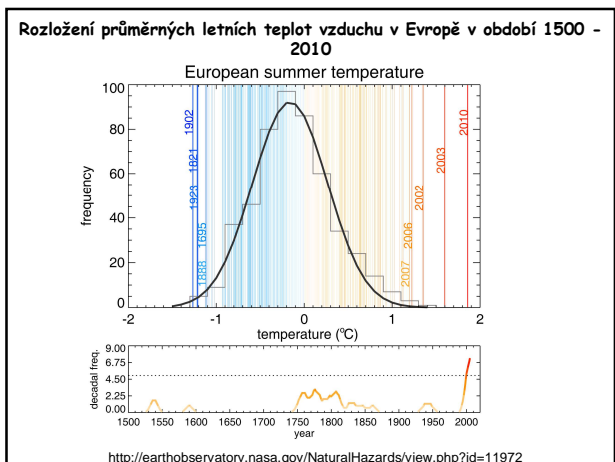
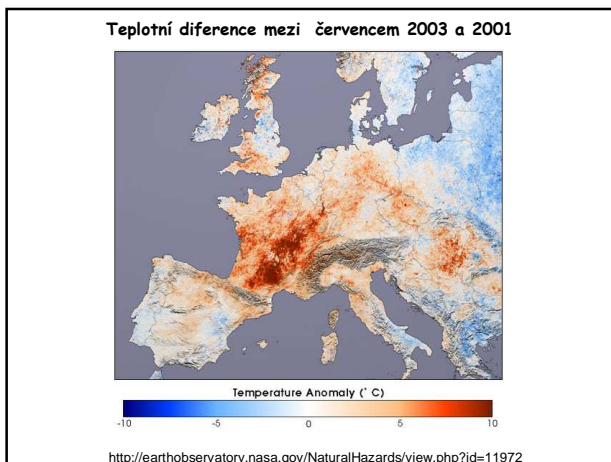
Prostředí městské zástavby vykazuje vyšší teploty a obvykle vede k formování tzv. **tepelného ostrova města**.

Pro pole teplot ve městě je typická značná variabilita v čase i v prostoru v závislosti na řadě přírodních i antropogenních faktorů.

Cíl

- definovat faktory, které podmiňují jeho prostorovou variabilitu
- odhadnout intenzitu tepelného ostrova Brna
- vymezit oblasti s nejvyššími kladnými teplotními odchylkami

Může tepelný ostrov města představovat problém?

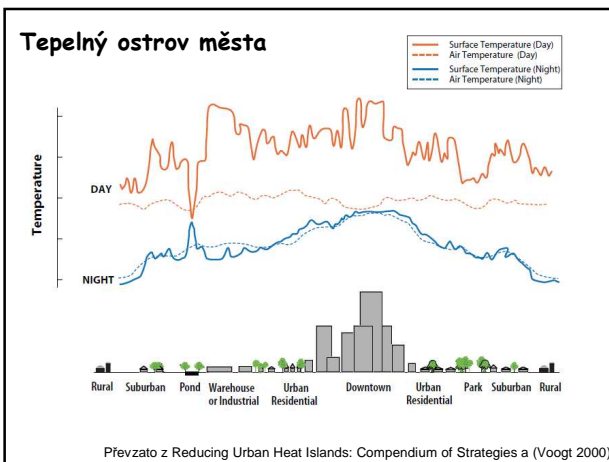
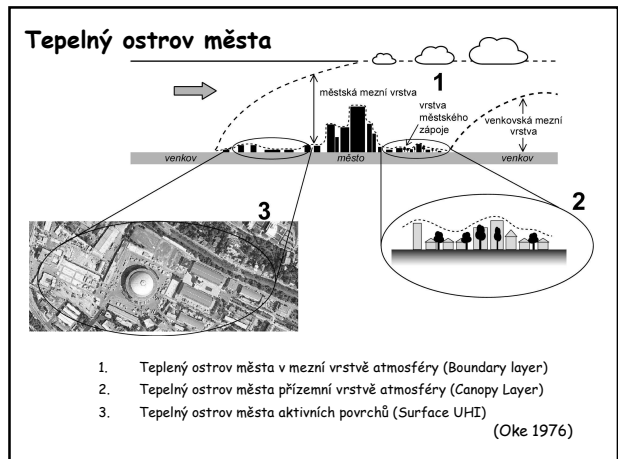
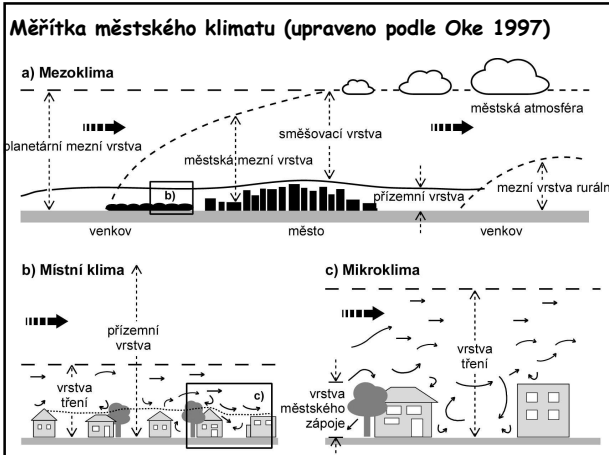


Klima měst

Vybrané charakteristiky klimatu měst v porovnání s venkovskou krajinou (Landsberg 1981)

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| • počet kondenzačních jader | 10 x více |
| • Počet pevných částic | 10 x více |
| • Trvání slunečního svitu | o 5 - 15% méně |
| • Množství oblačnosti | o 5 - 10% méně |
| • četnost výskytu mlhy v zimě | o 100% více |
| • množství srážek | o 5 - 15% více |
| • četnost bouřek | o 5 - 10% více |
| • průměrná roční teplota | o 0,5 - 3,0°C vyšší |
| • průměrná minimální teplota v zimě | o 1 - 2°C vyšší |
| • průměrná maximální teplota v létě | o 1 - 2°C vyšší |
| • délka topné sezóny | o 10% kratší |
| • roční průměrná relativní vlhkost | o 6 % nižší |
| • roční průměrná rychlost větru | o 20-30% nižší |

- Jaké faktory přispívají k formování tepelného ostrova města?
- Jaký vliv má počasí na formování tepelného ostrova města? A jaký geografická poloha?
- Jakými způsoby by bylo možné měřit tepelný ostrov města?
- Jak by bylo možné definovat intenzitu tepelného ostrova města?
- ...
- (Může současná globální změna klimatu souviset s formováním tepelného ostrova měst?)

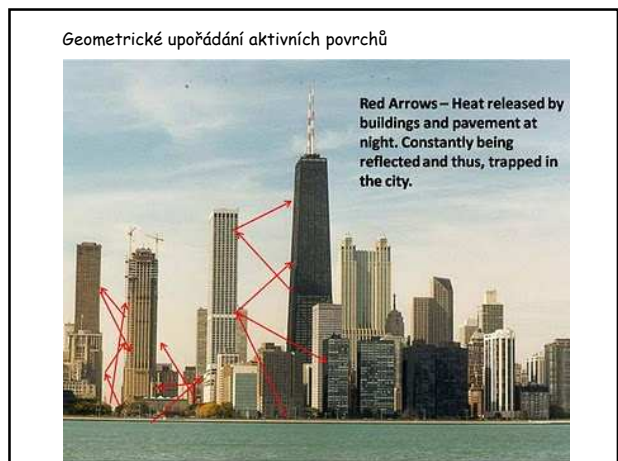
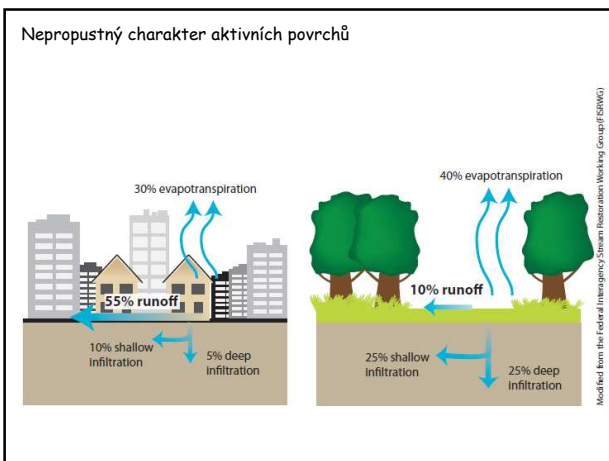


Jaké faktory přispívají k formování tepelného ostrova města?

- tepelné a radiační vlastnosti
- nepropustný charakter aktivních povrchů
- geometrické upořádání aktivních povrchů
- znečištění atmosféry
- produkce odpadního tepla

Porovnání vybraných termálních vlastností typického povrchu urbanizovaných oblastí a typického přirozeného povrchu (upraveno podle Oke 1987 a Zmarsly et al. 2002)

| Material | Hustota ρ [kg m ⁻³] | Tepelná kapacita C [J m ⁻³ K ⁻¹] | Tepelná vodivost λ [W m ⁻¹ K ⁻¹] | Tepelná difuzivita a [m ² s ⁻¹] | Tepelná jímavost μ [J s ^{-1/2} m ⁻² K ⁻¹] |
|-----------------------------|--------------------------------------|---|---|--|---|
| asfalt | 2100 | 2,0 · 10 ⁶ | 0,75 | 0,4 · 10 ⁶ | 1200 |
| jílovitá půda | 1 600 | 1,4 · 10 ⁶ | 0,25 | 0,2 · 10 ⁶ | 600 |
| poměr asfalt/ jílovitá půda | 1,3 | 1,4 | 3,0 | 2,0 | 2,0 |



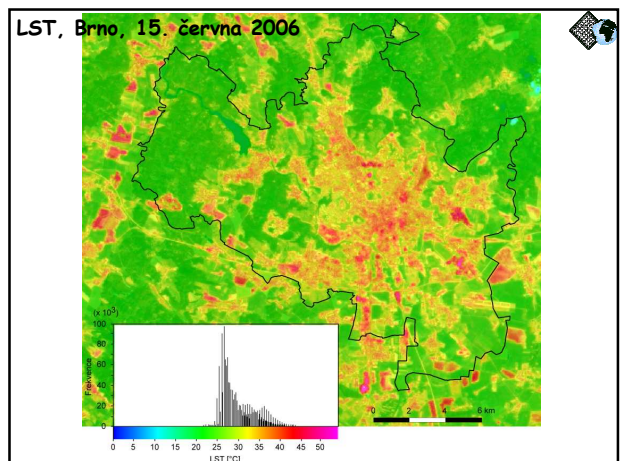
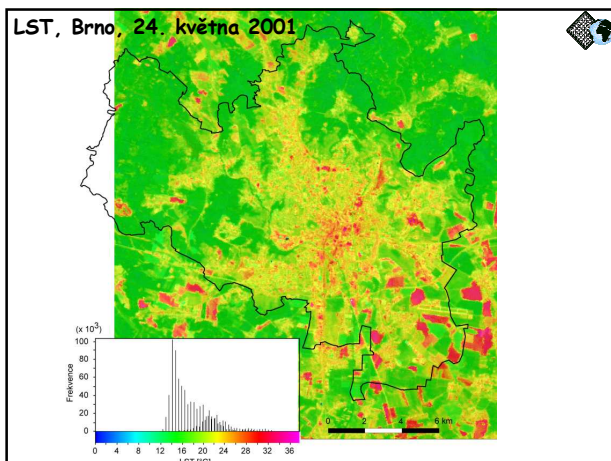
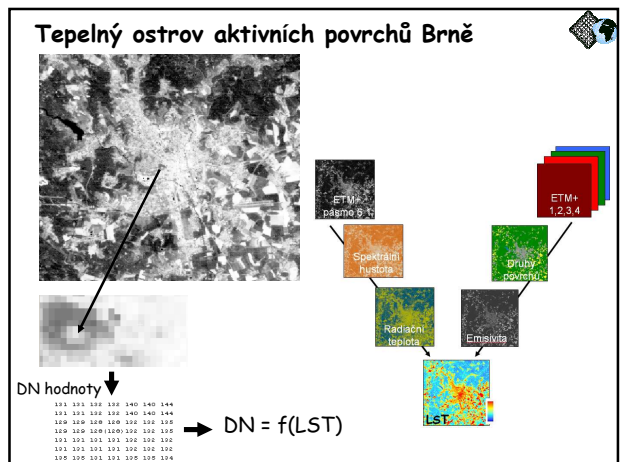
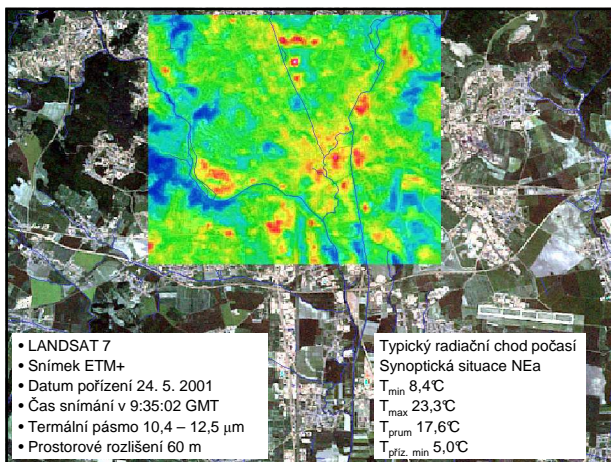
Jak by bylo možné definovat intenzitu tepelného ostrova města?

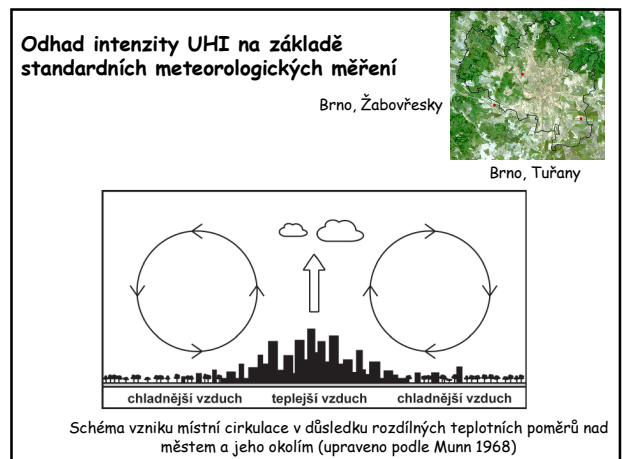
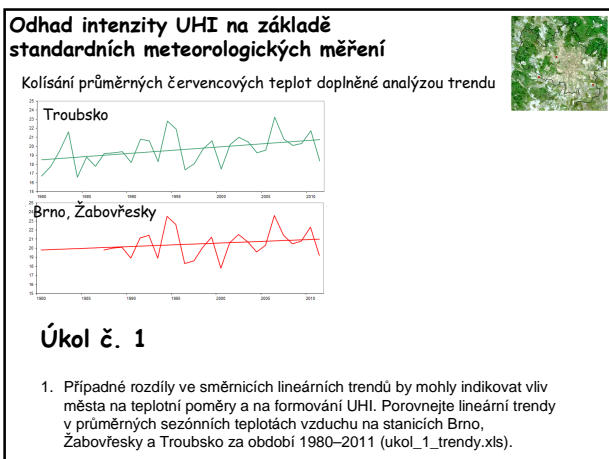
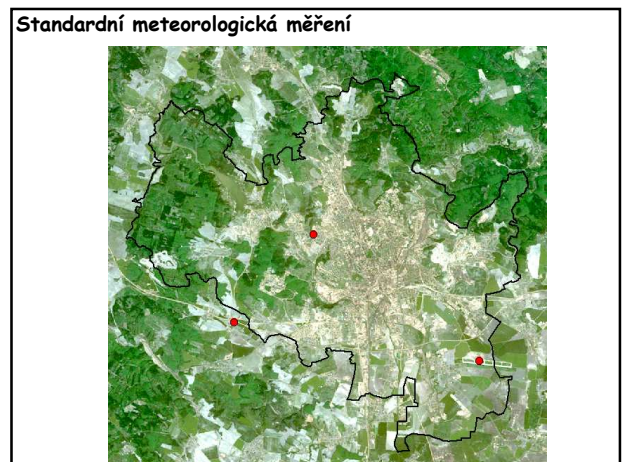
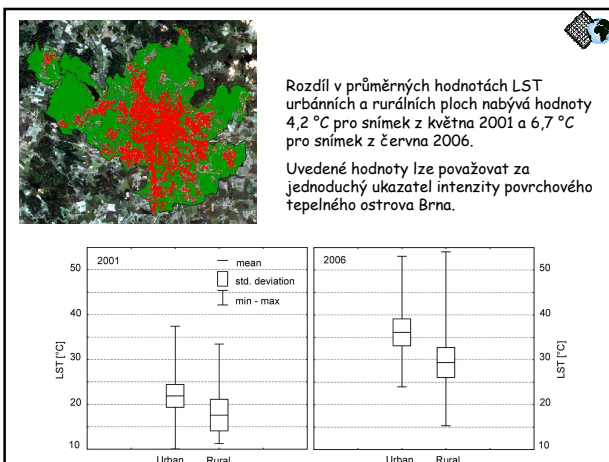
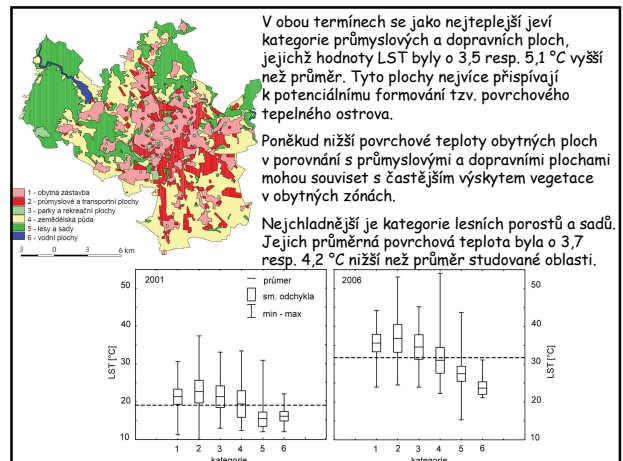
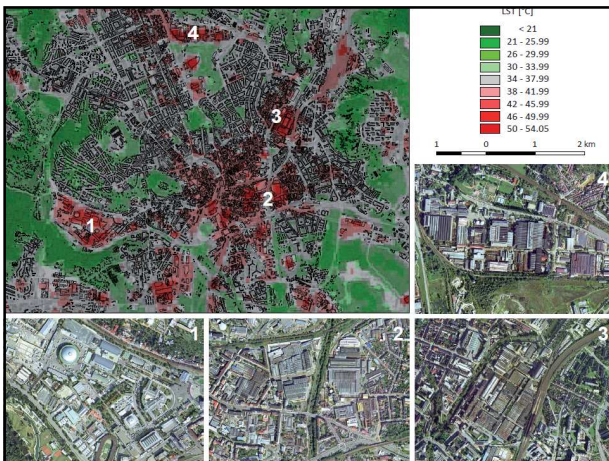
Intenzitu tepelného ostrova města obecně formuje především velikost města, která je často charakterizována počtem obyvatel. Vztah mezi maximální intenzitou tepelného ostrova (UHI_{max}) a počtem obyvatel (P) (van Hove et al. 2011):

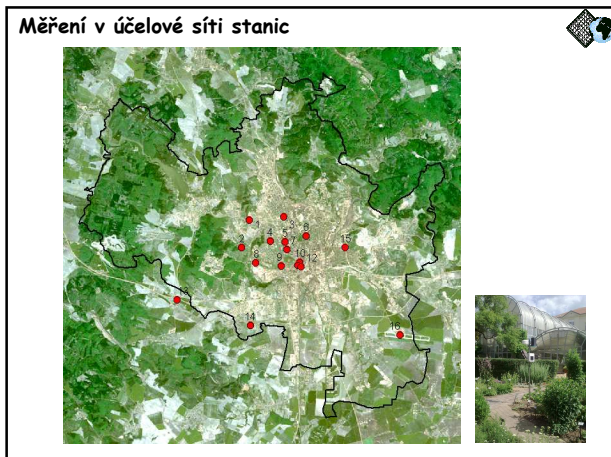
$$UHI_{max} = 2,93 \log P - 11,95$$

Pro Brno ($P = 380$ tis.)

$UHI_{max} = 4,4$ °C







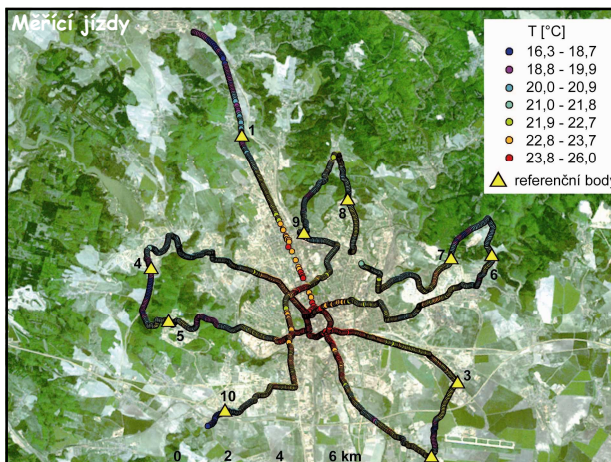
Odhad intenzity UHI na základě účelových meteorologických měření

Analýza teploty vzduchu na 16 stanicích pro 116 radiačních dnů (zima 9, jaro 31, léto 41, podzim 35) v období od 1. ledna 2009 do konce února 2012

| stanice | zima | | | | | jaro | | | | | léto | | | | | podzim | | | | |
|---------|-------|--------|-------|-----|------------|-------|--------|-----|------|------------|-------|--------|------|------|------------|--------|--------|-----|------|------------|
| | počet | průměr | min | max | var. koef. | počet | průměr | min | max | var. koef. | počet | průměr | min | max | var. koef. | počet | průměr | min | max | var. koef. |
| STAN | 9 | -3,9 | -9,0 | 3,0 | 120,5 | 31 | 13,6 | 2,3 | 22,2 | 38,0 | 41 | 22,2 | 16,4 | 28,1 | 13,6 | 35 | 11,8 | 1,2 | 21,0 | 51,9 |
| MEND | 9 | -4,5 | -11,4 | 3,3 | 114,5 | 31 | 13,9 | 2,1 | 22,7 | 39,3 | 41 | 22,5 | 16,2 | 29,3 | 13,9 | 35 | 11,8 | 1,5 | 21,1 | 51,3 |
| BOTA | 9 | -4,0 | -8,4 | 2,9 | 115,5 | 31 | 13,8 | 2,3 | 22,6 | 38,5 | 41 | 22,3 | 16,4 | 27,9 | 13,2 | 35 | 12,1 | 1,4 | 21,8 | 51,3 |
| UKZU | 9 | -4,2 | -9,0 | 2,5 | 106,7 | 31 | 13,4 | 1,9 | 22,3 | 39,7 | 41 | 22,1 | 15,9 | 28,0 | 14,3 | 35 | 11,7 | 1,5 | 21,1 | 51,9 |
| SEON | 9 | -4,1 | -8,6 | 3,2 | 117,0 | 31 | 13,3 | 2,1 | 21,7 | 38,6 | 41 | 21,7 | 16,0 | 27,5 | 13,6 | 35 | 11,9 | 1,5 | 21,3 | 51,2 |
| KRAV | 9 | -4,7 | -10,2 | 2,8 | 109,9 | 31 | 13,1 | 1,7 | 22,0 | 41,3 | 41 | 21,9 | 15,8 | 27,7 | 14,3 | 35 | 11,5 | 1,3 | 20,8 | 52,4 |
| VERO | 9 | -5,4 | -8,3 | 3,6 | 128,4 | 31 | 14,0 | 2,5 | 22,6 | 37,6 | 41 | 22,9 | 16,6 | 28,8 | 13,7 | 35 | 12,1 | 2,5 | 20,6 | 45,8 |
| BRK | 9 | -4,0 | -9,5 | 3,1 | 119,2 | 31 | 13,8 | 2,5 | 23,3 | 38,7 | 41 | 22,3 | 16,9 | 28,8 | 13,5 | 35 | 12,4 | 1,5 | 21,8 | 50,3 |
| KAPU | 9 | -4,0 | -8,4 | 3,1 | 120,5 | 31 | 14,0 | 2,4 | 22,9 | 38,5 | 41 | 22,8 | 17,0 | 28,5 | 13,5 | 35 | 12,9 | 1,7 | 22,1 | 49,6 |
| NETE | 9 | -3,9 | -9,3 | 2,9 | 119,1 | 31 | 13,8 | 2,1 | 22,7 | 39,2 | 41 | 22,3 | 16,6 | 28,7 | 13,7 | 35 | 12,3 | 1,7 | 21,7 | 50,4 |
| ZDE | 9 | -5,1 | -10,8 | 2,0 | 93,8 | 31 | 13,0 | 1,6 | 21,6 | 40,2 | 41 | 21,1 | 15,1 | 27,0 | 14,2 | 35 | 10,8 | 0,1 | 20,7 | 56,5 |
| ZABO | 9 | -4,5 | -8,9 | 2,3 | 102,5 | 31 | 13,3 | 1,6 | 22,2 | 40,9 | 41 | 22,1 | 16,0 | 28,2 | 14,4 | 35 | 11,8 | 1,1 | 21,0 | 53,0 |
| JUND | 9 | -5,1 | -10,8 | 2,1 | 94,3 | 31 | 12,6 | 1,4 | 21,1 | 41,6 | 41 | 21,2 | 15,2 | 27,1 | 14,5 | 35 | 11,0 | 0,4 | 20,6 | 56,5 |
| TROU | 9 | -5,4 | -11,4 | 1,9 | 94,9 | 31 | 12,1 | 0,9 | 19,9 | 41,5 | 41 | 20,9 | 15,0 | 26,8 | 14,6 | 35 | 11,2 | 0,6 | 20,1 | 55,3 |
| LSK | 9 | -4,7 | -10,8 | 2,7 | 107,6 | 31 | 12,8 | 1,5 | 20,7 | 41,5 | 41 | 20,9 | 15,4 | 26,1 | 13,9 | 35 | 11,1 | 0,2 | 21,0 | 56,0 |
| TURA | 9 | -4,9 | -11,3 | 3,4 | 112,0 | 31 | 12,8 | 1,5 | 21,0 | 40,2 | 41 | 21,4 | 15,5 | 27,0 | 13,7 | 35 | 11,8 | 1,2 | 21,8 | 51,8 |

Jaké jsou možnosti odhadu intenzity UHI z údajů účelové sítě stanic?

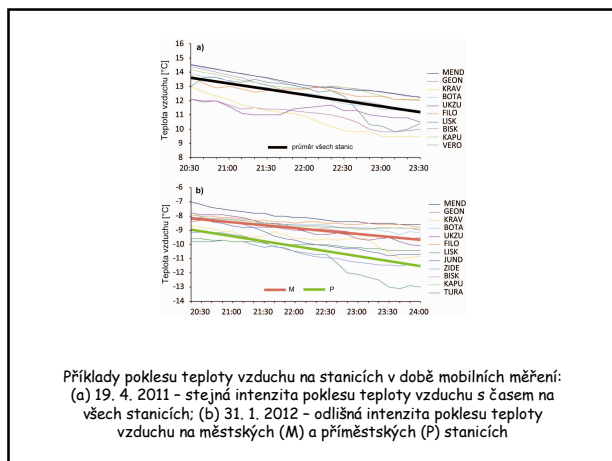
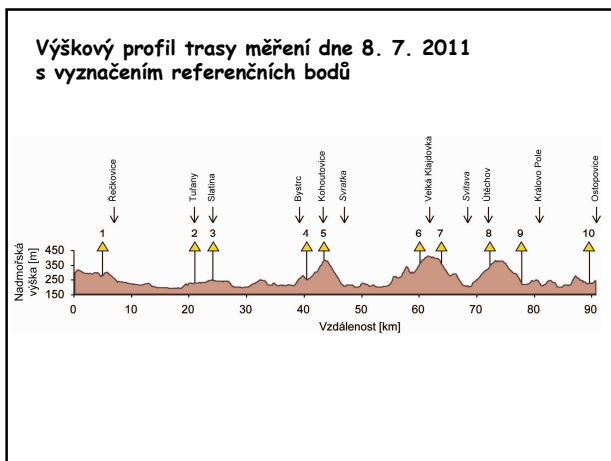
- městské vs. venkovské
- interpolace
- ...

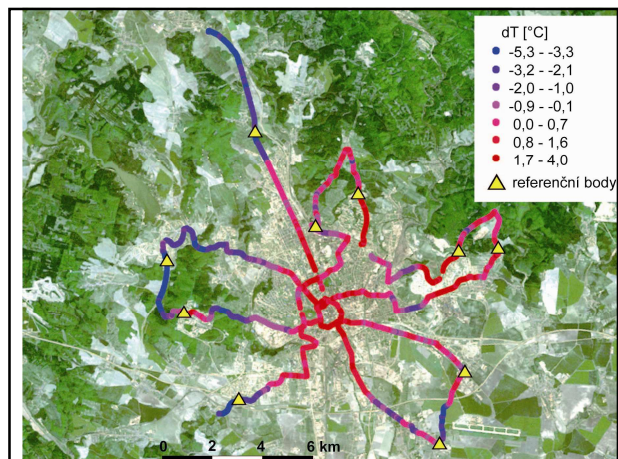
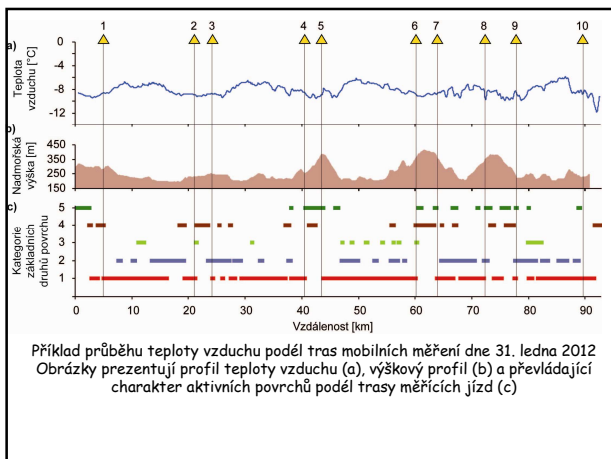
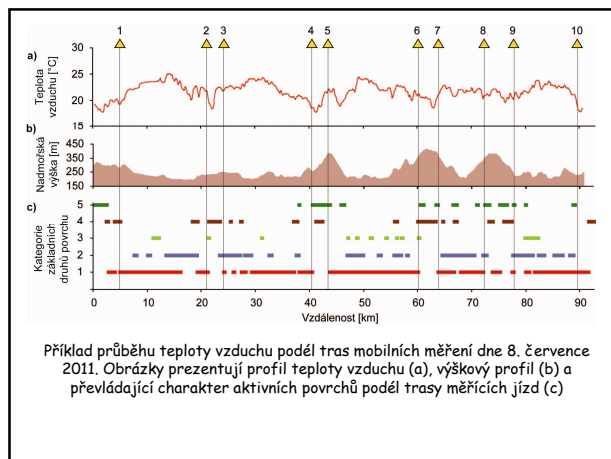
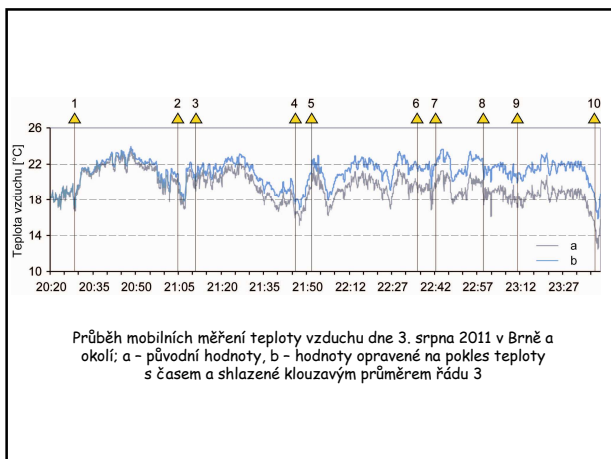


Měřicí jízdy

Základní informace o termínech mobilních měření v Brně a okolí, o typu synoptické situace podle klasifikace ČHMÚ (Katalog 1972) a o hodnotách vybraných meteorologických prvků (údaje ze stanice Tuřany z termínu 21 h)

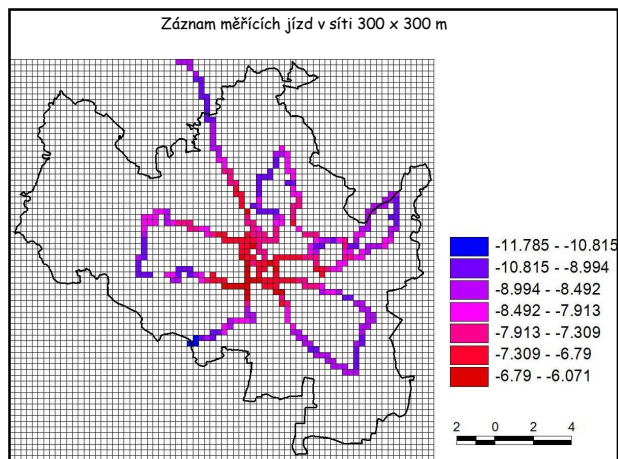
| Termín | Doba měření (h:min) SEC | Synoptická situace | Množství oblačnosti [desetiny] | Průměrná rychlost větru [m.s ⁻¹] | Směr větru [stupně] |
|-------------|-------------------------|--------------------|--------------------------------|--|---------------------|
| 19. 4. 2011 | 20:31 – 23:28 | SEa | 1 | 4,0 | 360 |
| 9. 5. 2011 | 20:15 – 23:04 | NEa | 0 | 3,0 | 30 |
| 8. 7. 2011 | 20:58 – 23:54 | SWc1 | 1 | 3,0 | 60 |
| 3. 8. 2011 | 20:21 – 23:40 | SWc2 | 1 | 3,0 | 40 |
| 13. 9. 2011 | 20:12 – 23:03 | Wc | 2 | 1,0 | 260 |
| 27. 9. 2011 | 20:03 – 23:19 | Bp (A) | 1 | 1,0 | 350 |
| 1. 11. 2011 | 20:28 – 23:53 | SEa | 1 | 2,0 | 70 |
| 3. 1. 2012 | 20:11 – 23:28 | Wc | 4 | 2,0 | 180 |
| 31. 1. 2012 | 20:24 – 23:54 | Ea | 0 | 1,0 | 70 |





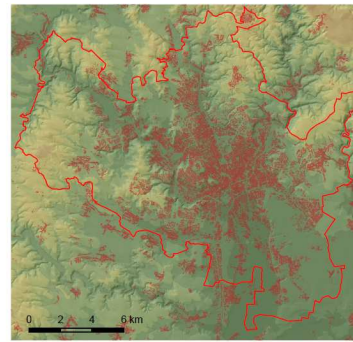
Základní statistické charakteristiky teploty vzduchu během měřících jízd v první polovině noci v Brně a okolí

| Termin | průměr | směrodatná odchylka | variální koeficient [%] | minimum | maximum |
|-------------|--------|---------------------|-------------------------|---------|---------|
| 19. 4. 2011 | 13,5 | 1,5 | 11,1 | 7,5 | 16,4 |
| 9. 5. 2011 | 16,2 | 1,9 | 11,8 | 10,3 | 19,5 |
| 8. 7. 2011 | 22,0 | 1,6 | 7,2 | 16,3 | 26,0 |
| 3. 8. 2011 | 21,1 | 1,4 | 6,8 | 15,8 | 24,0 |
| 13. 9. 2011 | 21,2 | 1,6 | 7,7 | 15,6 | 24,5 |
| 27. 9. 2011 | 17,3 | 1,5 | 8,6 | 12,6 | 20,0 |
| 1. 11. 2011 | 5,7 | 1,2 | 21,6 | 1,9 | 8,4 |
| 3. 1. 2012 | 3,6 | 0,8 | 22,4 | 0,1 | 5,1 |
| 31. 1. 2012 | -8,0 | 1,0 | 12,2 | -12,2 | -5,6 |

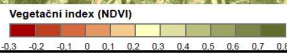
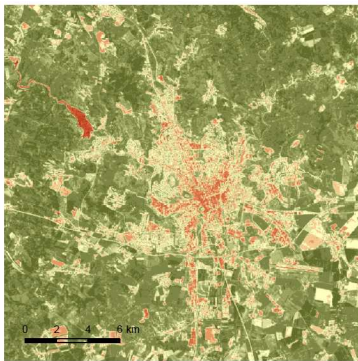


Jaké faktory budou podmiňovat prostorovou diferenciaci teplot (LST) v Brně ?

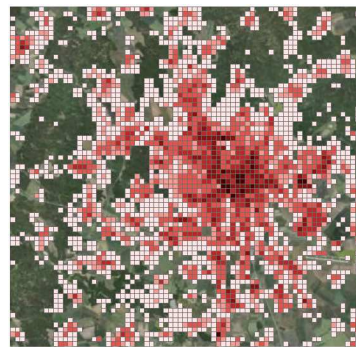
Nadmořská výška (NV)



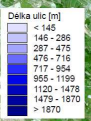
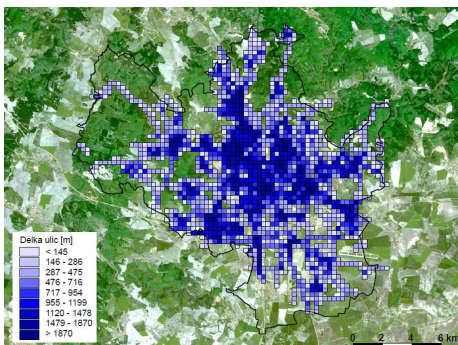
Podíl ploch s vegetací



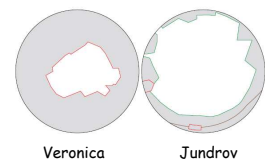
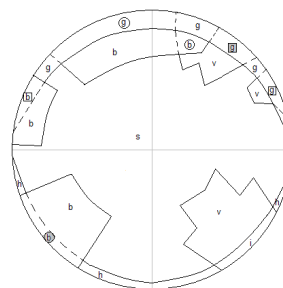
Hustota zástavby



Délka komunikací vypočtená pro síť 300 x 300 m



Geometrie zástavby - Sky View Factor (SVF)



- ⓐ budovy před/za vegetací
- ⓑ budovy před georeliéfem
- ⓒ budovy před vzdáleným horizontem
- ⓓ georeliéf za vegetací
- ⓔ georeliéf před vegetací
- ⓕ georeliéf před budovami

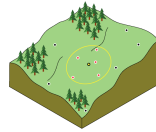
Veronica

Jundrov

Závislost mezi průměrnou teplotou vzduchu zjištěnou na základě jednotlivých měřících jízd a vybranými parametry prostředí (NDVI - množství vegetace; DENS - hustota zástavby; DEM - nadmořská výška) vyjádřená korelačními koeficienty. Tučně jsou zvýrazněny korelace statisticky významné na hladině $\alpha = 0,05$

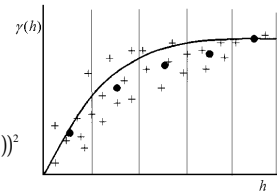
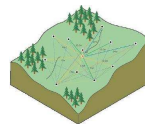
| Termín | NDVI | DENS | DEM |
|-----------|--------------|-------------|--------------|
| 19.4.2011 | -0,66 | 0,57 | -0,40 |
| 9.5.2011 | -0,44 | 0,45 | 0,04 |
| 8.7.2011 | -0,71 | 0,65 | -0,44 |
| 3.8.2011 | -0,46 | 0,41 | -0,04 |
| 13.9.2011 | -0,60 | 0,58 | -0,38 |
| 27.9.2011 | -0,46 | 0,41 | -0,07 |
| 1.11.2011 | -0,30 | 0,34 | 0,14 |
| 3.1.2012 | -0,53 | 0,55 | -0,35 |
| 31.1.2012 | -0,61 | 0,61 | -0,42 |

Interpolace teplot z měřících jízd geostatistickými metodami
Princip krigování a co-kriging



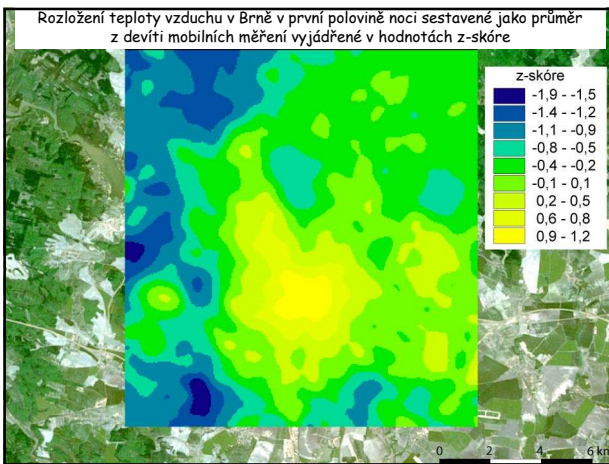
$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i)$$

Semivariogram a semivariance jako míra nepodobnosti

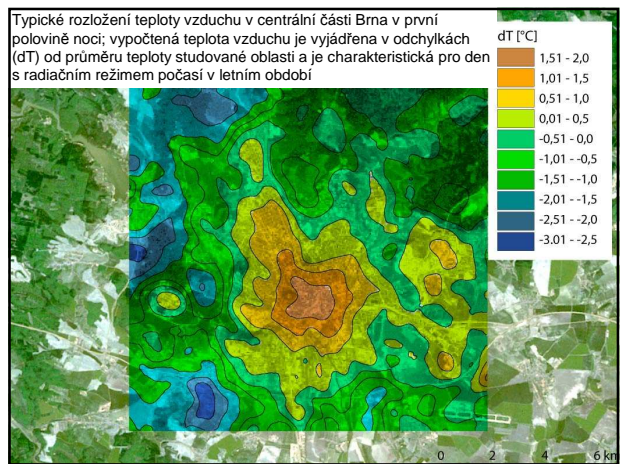


$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

Rozložení teploty vzduchu v Brně v první polovině noci sestavené jako průměr z devíti mobilních měření vyjádřené v hodnotách z-skóre



Typické rozložení teploty vzduchu v centrální části Brna v první polovině noci; vypočtená teplota vzduchu je vyjádřena v odchylkách (dT) od průměru teploty studované oblasti a je charakteristická pro den s radičním režimem počasí v letním období

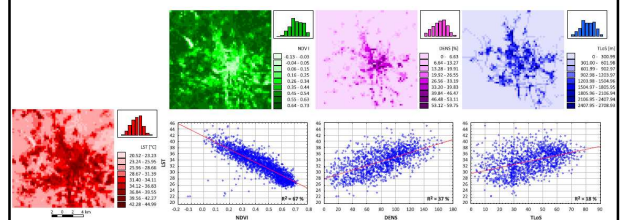


Vybrané faktory podmiňující prostorovou diferenciaci LST v Brně

Uvažované faktory

1. Podíl ploch s vegetací charakterizovaný tzv. vegetačním indexem (NDVI)
2. Hustota zástavby (procentuální podíl zastavěných ploch v síti 300 x 300 metrů) (DENS)
3. Množství komunikací (celková délka komunikací v síti 300 x 300 metrů) (TLoS)

Vybrané faktory podmiňující prostorovou diferenciaci LST v Brně



Korelační koeficienty mezi LST a vybranými faktory

| | LST_01 | NDVI | DENS | TLoS | | LST_06 | NDVI | DENS | TLoS |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| LST_01 | 1.000 | -0.752 | 0.631 | 0.403 | LST_06 | 1.000 | -0.821 | 0.609 | 0.421 |
| NDVI | -0.752 | 1.000 | -0.679 | -0.442 | NDVI | -0.821 | 1.000 | -0.679 | -0.442 |
| DENS | 0.631 | -0.679 | 1.000 | 0.572 | DENS | 0.609 | -0.679 | 1.000 | 0.572 |
| TLoS | 0.403 | -0.442 | 0.572 | 1.000 | TLoS | 0.421 | -0.442 | 0.572 | 1.000 |

Model vícenásobné regrese

| Charakteristika | LST_2001 | LST_2006 |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Koeficient vícenásobné regrese R | 0.770 | 0.825 |
| F poměr | 671.681 | 985.480 |
| Stupně volnosti | 3,1383 | 3,1383 |
| Vysvětlená variabilita R ² | 0.593 | 0.681 |
| Upravené R ² | 0.592 (p < 0.001) | 0.680 (p < 0.001) |
| Směrodatná chyba odhadu | 1.586 | 2.119 |

$$LST_{2001} = 22.806 - 0.600 \cdot NDVI + 0.216 \cdot DENS + 0.014 \cdot TLoS$$

$$LST_{2006} = 39.457 - 0.750 \cdot NDVI + 0.072 \cdot DENS + 0.047 \cdot TLoS$$

Úkol č.2

- Hledáme, na jakých parametrech závisí průměrná, minimální a maximální teplota vzduchu ve dnech s radičním typem počasí. Zjistěte, zda existuje statisticky významný vztah mezi T_{avg} , T_{min} a T_{max} a nadmořskou výškou (NV), množstvím vegetace (NDVI) a hustotou zástavby (DENS). Zjistěte, zda existují rozdíly mezi letním a zimním obdobím (ukol_2_korelace.xls).