



Motivace

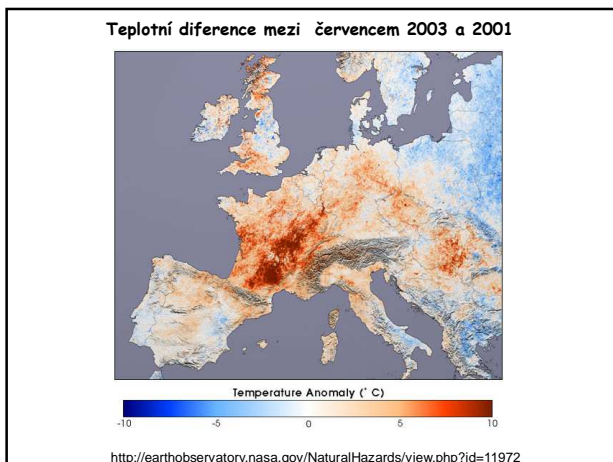
Prostředí městské zástavby vykazuje vyšší teploty a obvykle vede k formování tzv. **tepelného ostrova města**.

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?)

Urban (Local) Climate Zones

OPEN LOWRISE 6

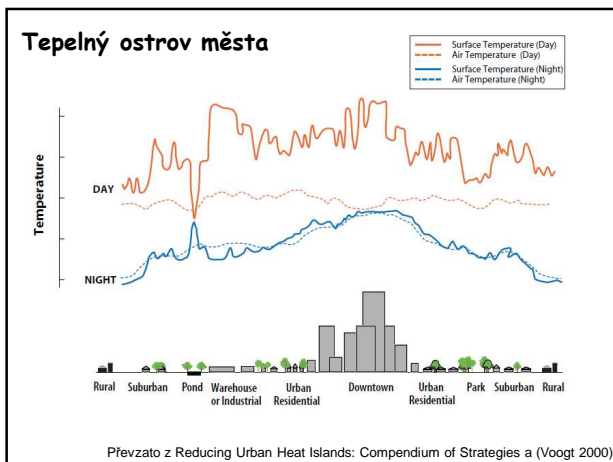
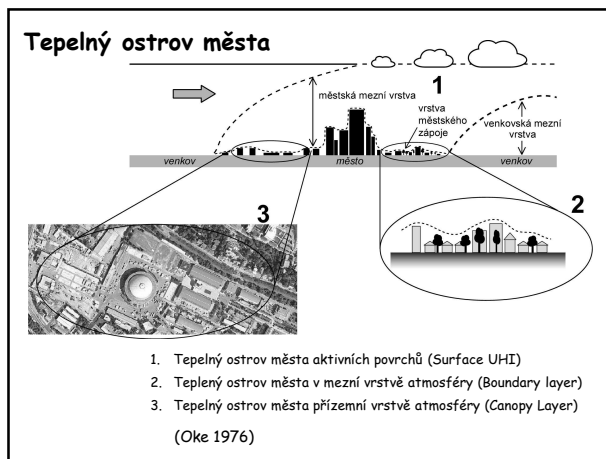
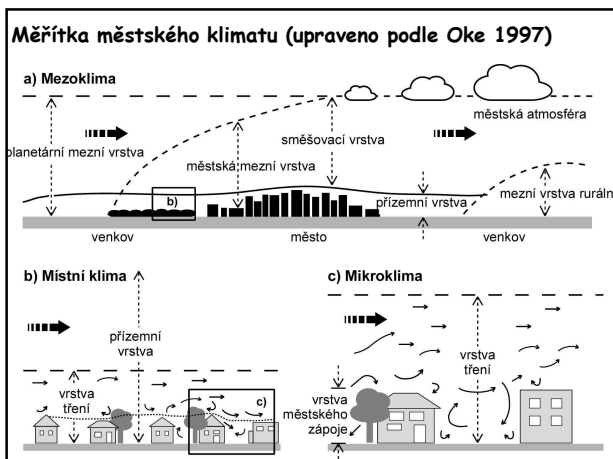
DEFINITION:
Form: Small buildings 1-3 stories tall. Buildings detached or attached in rows, often in grid pattern. Sky view from street level slightly reduced. Construction materials vary (wood, brick, stone, tile). Scattered trees and abundant plant cover. Low open heating/cooling demand. Low traffic. Low Fanout. Residential (single or multi-unit housing, low density retroactive housing), commercial (small retail shops). Location: City (medium density), peripheral ("suburb"), Commerce zones. Rural towns. Correspondence: UCLZ (Oke 2004); DCL (Oke 1990/91).

ILLUSTRATION:
High angle
Low level

PROPERTIES:

Sky view factor	0.8 - 0.9
Canopy aspect ratio	0.2 - 0.7
Mean building height	3 - 10m
Terrain roughness class	1 - 2
Building surface fraction	0.2 - 0.7
Impervious surface fraction	0.2 - 0.7
Permeous surface fraction	0.3 - 0.8
Surface albedo	0.1 - 0.2
Air temperature heat flux	100 - 200

Stewart, Oke (2012)

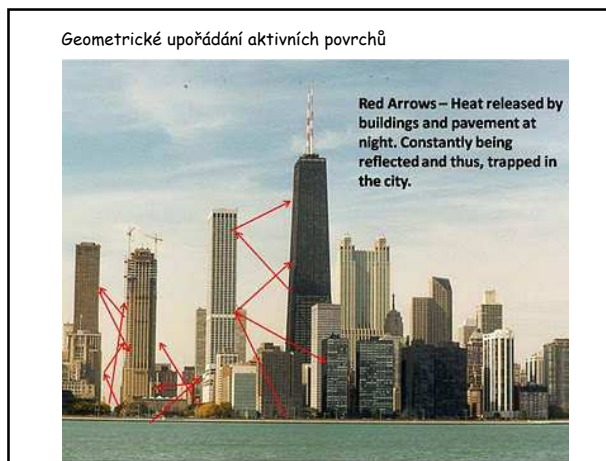
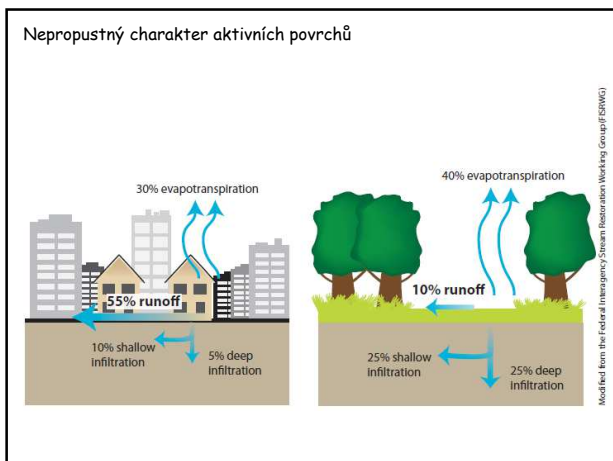


Jaké faktory přispívají k formování tepelného ostrova města?

- 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
živá půda	1 600	1,4 · 10 ⁶	0,25	0,2 · 10 ⁶	600
poměr asfalt/ živá půda	1,3	1,4	3,0	2,0	2,0



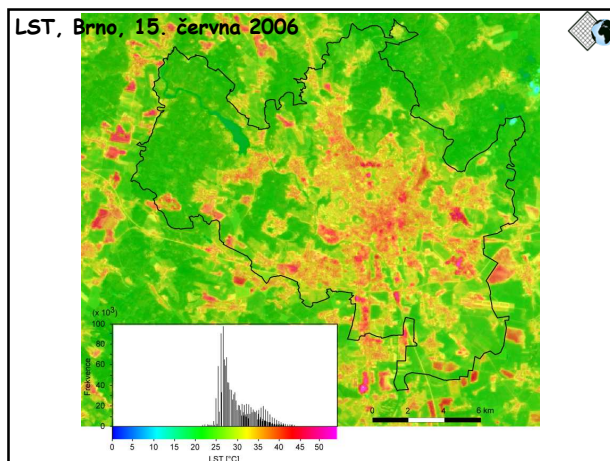
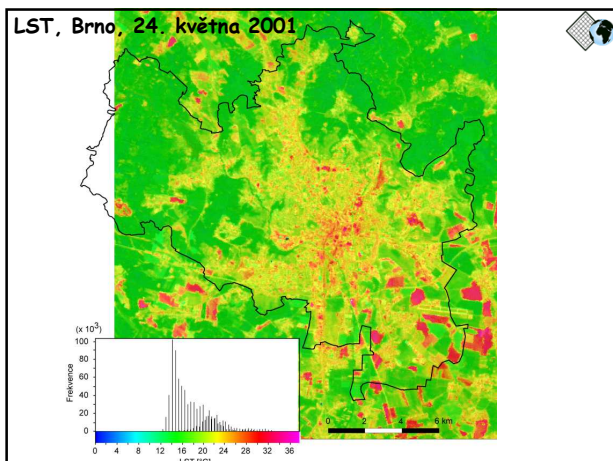
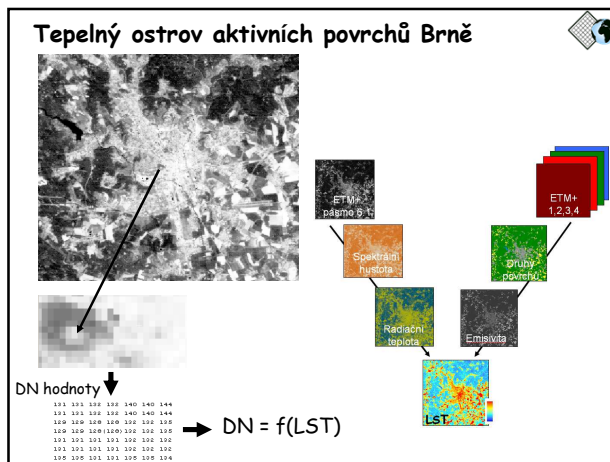
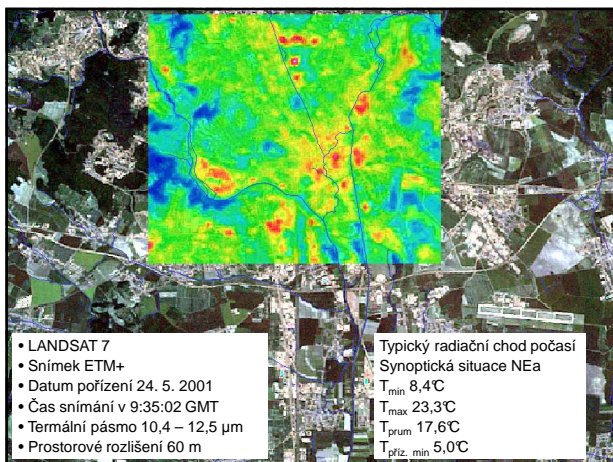
Jak by bylo možné definovat intenzitu tepelného ostrova města?

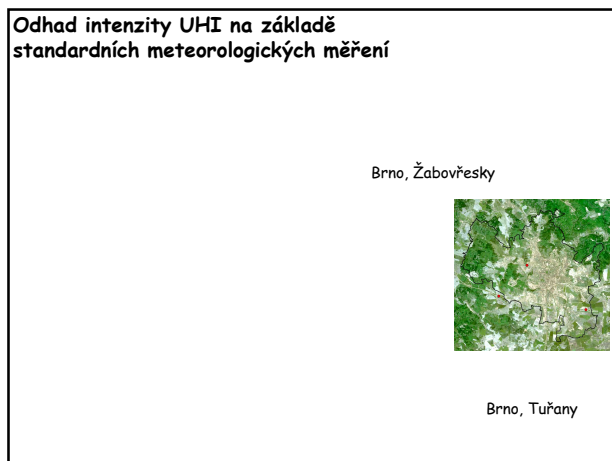
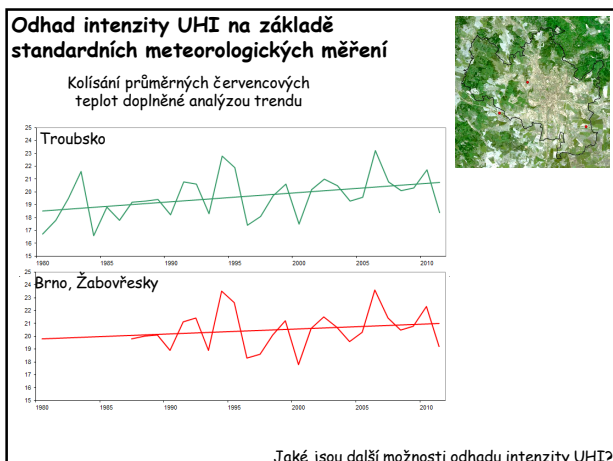
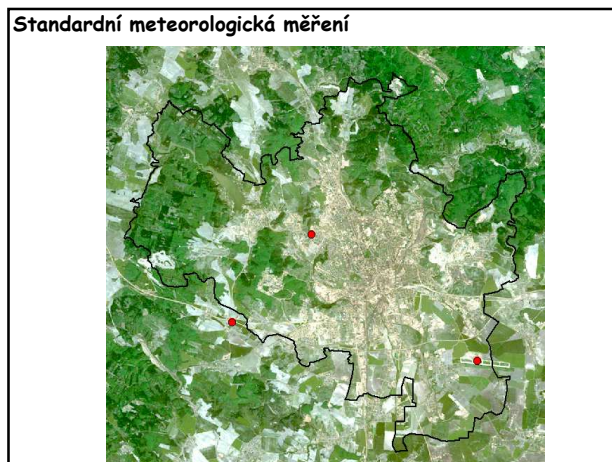
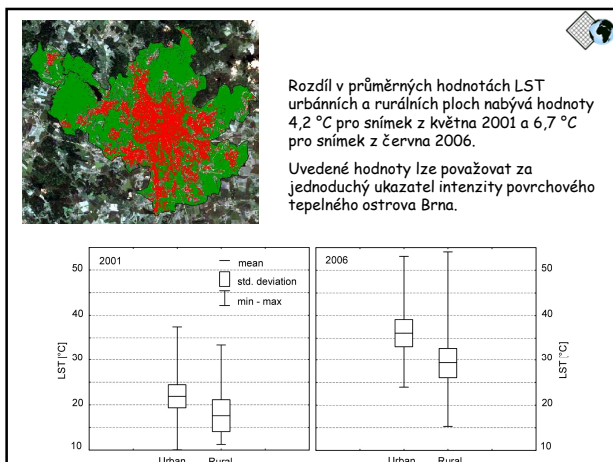
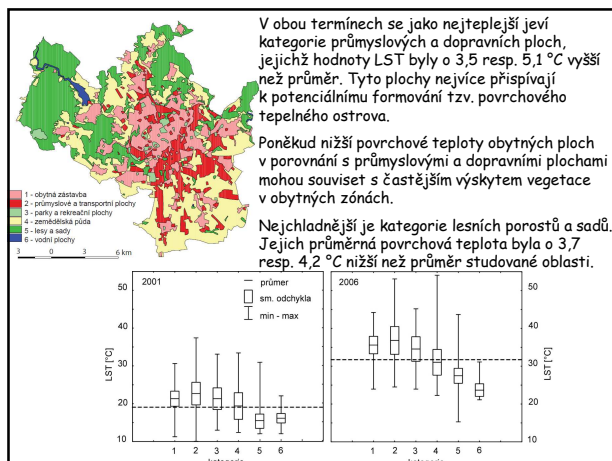
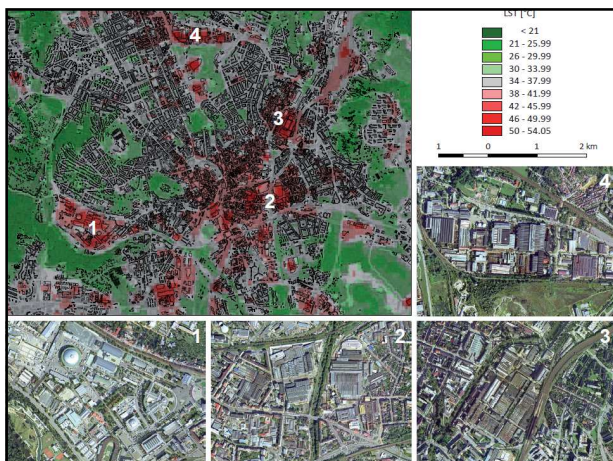
Intenzitu tepelného ostrova města obecně formuje především velikost města, která je často charakterizována počtem obyvatel. Vztah mezi maximální intenzitou tepelného ostrova (UHI_{max}) a počtem obyvatel (P) (van Hove et al. 2011):

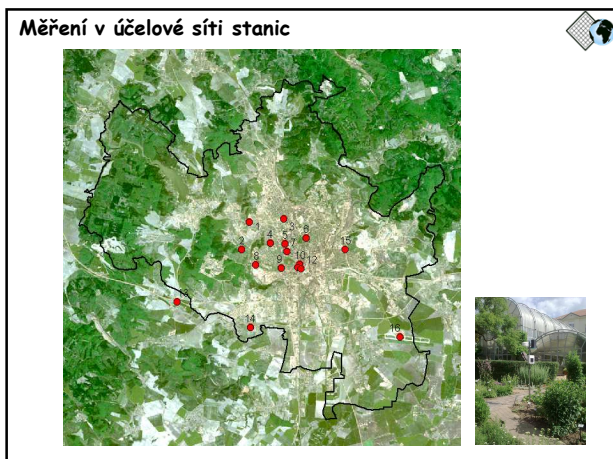
$$UHI_{max} = 2,93 \log P - 11,95$$

Pro Brno ($P = 380$ tis.) $UHI_{max} = 4,4$ °C

Jiné způsoby definování intenzity UHI?







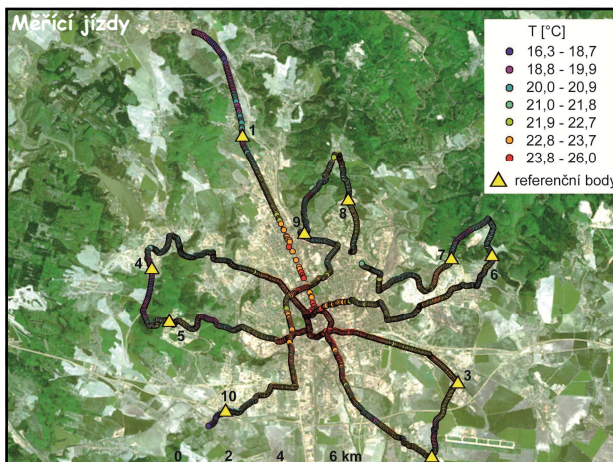
Odhad intenzity UHI na základě účelových meteorologických měření

Analyza 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	-8,0	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	-8,0	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
GEON	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	2,9	101,8	31	13,1	1,7	22,0	41,3	41	21,9	15,5	27,7	14,3	35	11,5	1,3	20,8	52,4
VERO	9	-3,8	-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
BSK	9	-4,0	-8,5	3,1	119,2	31	14,0	2,5	23,3	38,7	41	23,8	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
VETE	9	-3,9	-8,3	2,9	119,1	31	13,8	2,1	22,7	39,2	41	22,9	16,8	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	11,5	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	56,0
TROU	9	-5,4	-11,4	1,9	84,9	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	28,1	13,8	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?

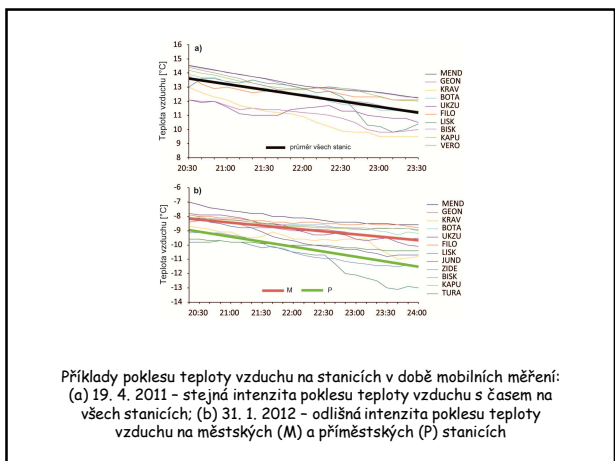
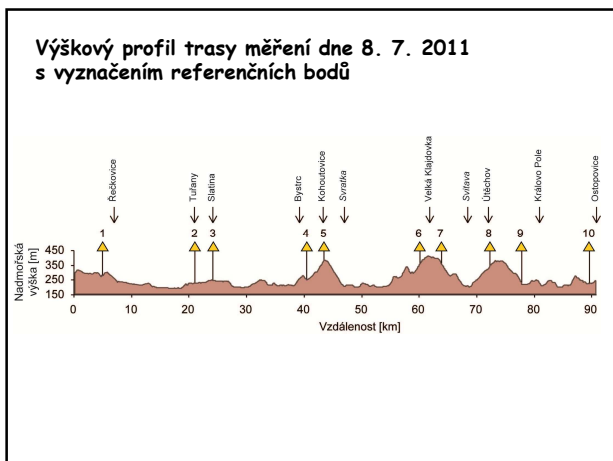
- městské vs. venkovské
- interpolace
- ...

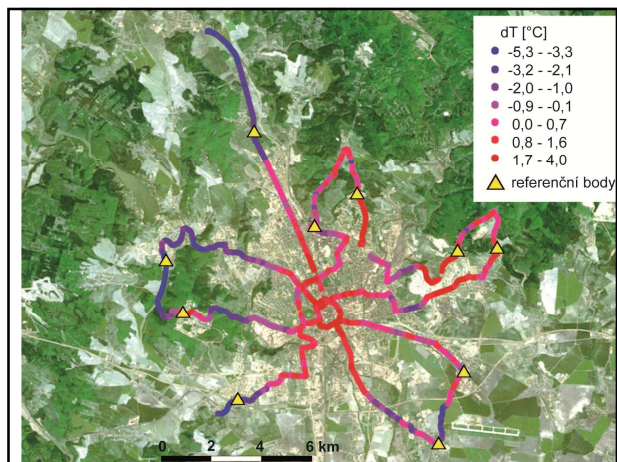
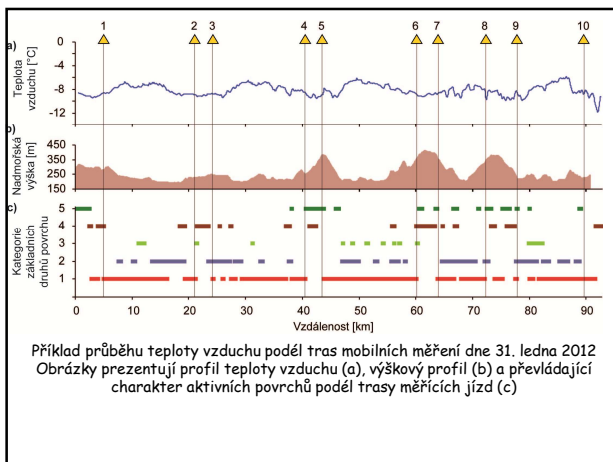
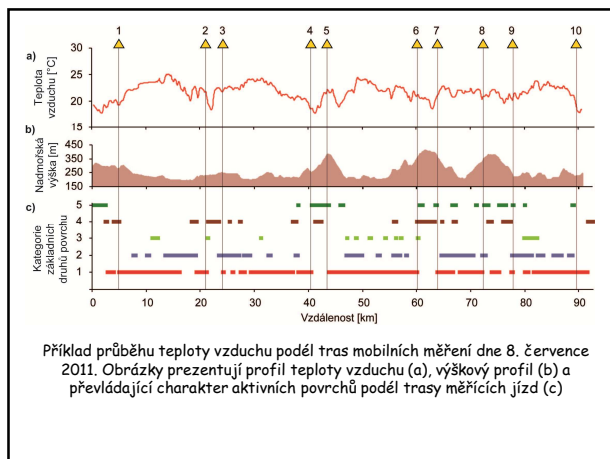
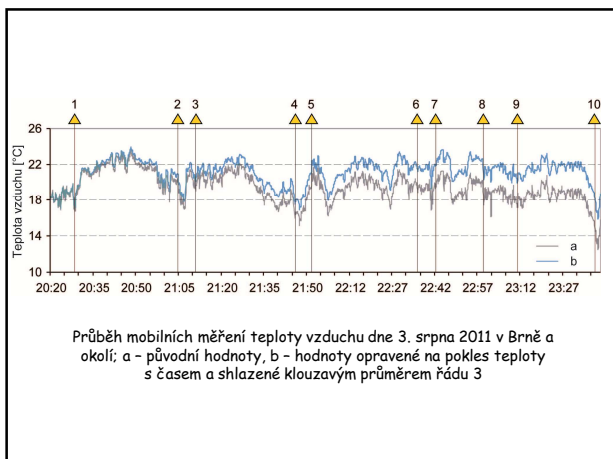


Měřicí jízdy

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)

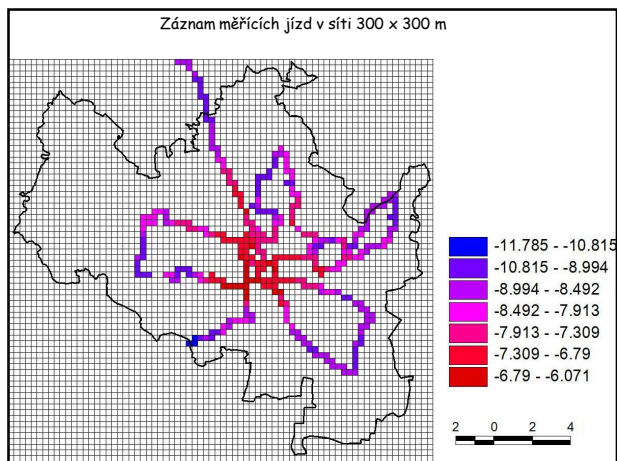
Termín	Doba měření (h:min) SEČ	Synoptická situace	Množství oblačnosti [desetiny]	Průměrná rychlost větru [m.s ⁻¹]	Směr větru [stupně]
19. 4. 2011	20:31 – 23:28	SEa	1	4,0	360
9. 5. 2011	20:15 – 23:04	NEa	0	3,0	30
8. 7. 2011	20:58 – 23:54	SWc1	1	3,0	60
3. 8. 2011	20:21 – 23:40	SWc2	1	3,0	40
13. 9. 2011	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





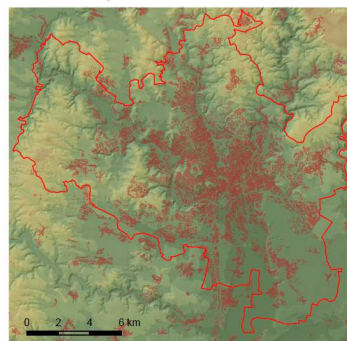
Základní statistické charakteristiky teploty vzduchu během měřících jízd v první polovině noci v Brně a okolí

Termín	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

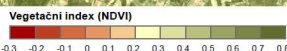
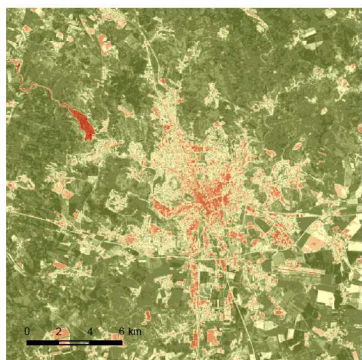


Jaké faktory budou podmiňovat prostorovou diferenciaci teplot (LST) v Brně ?

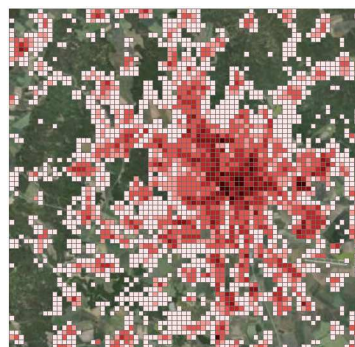
Nadmořská výška (NV)



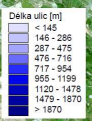
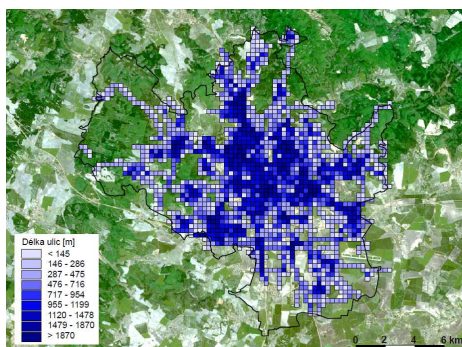
Podíl ploch s vegetací



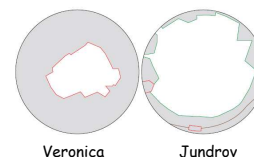
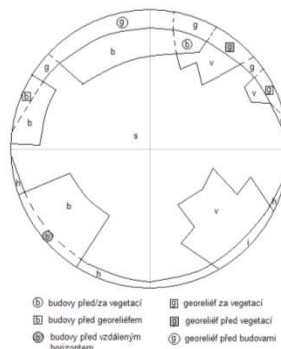
Hustota zástavby



Délka komunikací vypočtená pro síť 300 x 300 m



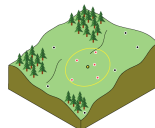
Geometrie zástavby - Sky View Factor (SVF)



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

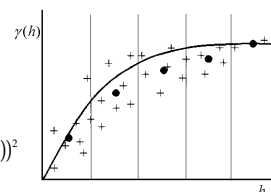
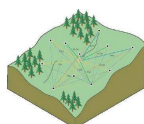
Termín	NDVI	DENS	DEM
19.4.2011	-0,66	0,57	-0,40
9.5.2011	-0,44	0,45	0,04
8.7.2011	-0,71	0,65	-0,44
3.8.2011	-0,46	0,41	-0,04
13.9.2011	-0,60	0,58	-0,38
27.9.2011	-0,46	0,41	-0,07
1.11.2011	-0,30	0,34	0,14
3.1.2012	-0,53	0,55	-0,35
31.1.2012	-0,61	0,61	-0,42

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



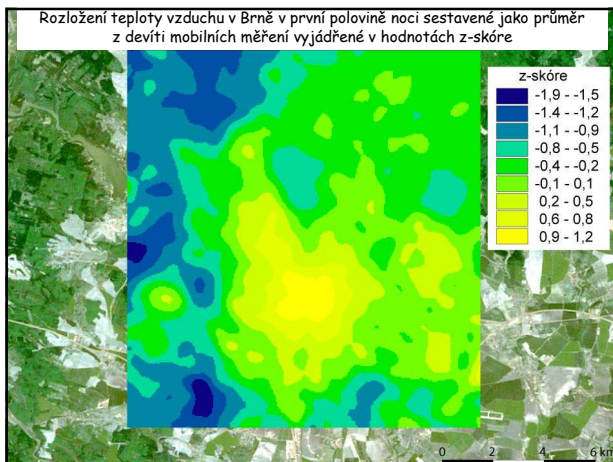
$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot z(x_i)$$

Semivariogram a semivariance jako míra nepodobnosti

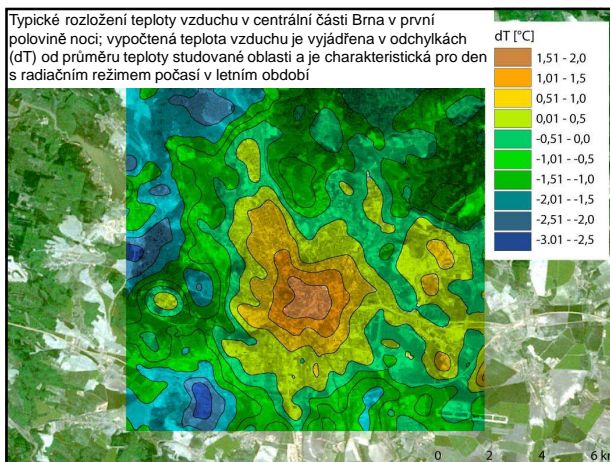


$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

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

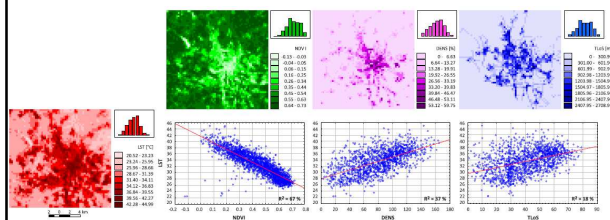


Vybrané faktory podmiňující prostorovou diferenciaci LST v Brně

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

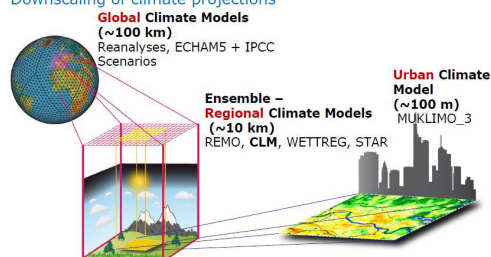
Charakteristika	LST_2001	LST_2006
Koeficient vícenásobné regrese R	0.770	0.825
F poměr	671.681	985.480
Stupně volnosti	3,1383	3,1383
Vysvětlená variabilita R ²	0.593	0.681
Upravené R ²	0.592 (p < 0.001)	0.680 (p < 0.001)
Směrodatná chyba odhadu	1.586	2.119

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

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

Numerické modelování městského klimatu

Downscaling of climate projections



- MUKLIMO (DWD)
- ENVI-Met (<http://www.envi-met.com/>)

Úkoly

1. Případné rozdíly ve směrnících lineárních trendů by mohly indikovat vliv města na teplotní poměry a na formování UHI. Porovnejte lineární trendy v průměrných sezónních teplotách vzduchu na stanicích Brno, Žabovřesky a Troubsko za období 1980–2011 (ukol_1_trendy.xls).
2. Hledáme, na jakých parametrech závisí průměrná, minimální a maximální teplota vzduchu ve dnech s radiačním 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).