

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta stavební**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Brno, 2017**

**Jan Špaček**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMATIZACE INŽENÝRSKÝCH ÚLOH A INFORMATIKY

INSTITUTE OF COMPUTER AIDED ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE

## NAVRHOVÁNÍ ÚZEMNÍCH CELKŮ S VYUŽITÍM POKROČILÝCH TECHNOLOGIÍ

DESIGN OF URBAN AREA USING ADVANCED TECHNOLOGIES

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Špaček

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF REMEŠ

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3656 Městské inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program
<b>Studijní obor</b>	3647R025 Městské inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Jan Špaček
<b>Název</b>	Navrhování územních celků s využitím pokročilých technologií
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Josef Remeš
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2016
<b>Datum odevzdání</b>	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

doc. Ing. Aleš Krejčí, CSc.  
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

(1) Související zákony, vyhlášky, normy ČSN, technické podmínky a předpisy; (2) Odborné texty, studie věnující tématu navrhování územních celků, urbanismu, aplikaci pokročilých technologií při navrhování (analýzy, simulace, AIM, BIM, EAM, ...).

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Cílem bakalářské práce je definovat základní stavebně-fyzikální faktory, které mohou ovlivnit proces navrhování staveb v kontextu územních celků, a využití dostupných technologií pro simulaci a navrhování za účelem zvýšení kvality venkovního prostoru ve fázi přípravy a plánování staveb. V rámci práce bude provedena rešerše problematiky v česku i v zahraničí a následná studie aplikovatelnosti v národním prostředí. Přílohou práce může být specializovaná část, o jejímž zpracování bude rozhodnuto vedoucím práce v průběhu práce studenta na zadaném tématu.

## **STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



---

Ing. Josef Remeš  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá problematikou navrhování územních celků s ohledem na proudění vzduchu v městské oblasti a vznik UHI (městských tepelných ostrovů). Posuzuje základní aspekty ovlivňující návrh uličního prostoru. Každá stavba, strom, překážka ovlivňuje proudění okolního vzduchu, vytváří oblasti větrného stínu, kde je zvýšená koncentrace znečištěného vzduchu. Vytváří také oblasti se zvýšenou rychlostí vzduchu, které jsou nepříjemné pro pobyt. Pochopením důležitosti této problematiky a jejím začleněním s použitím pokročilých technologií do projektování městských územních celků jsme schopni vytvořit zdravé a příjemné městské prostředí pro pobyt a užívání.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Městský tepelný ostrov, vnitřní energie města, proudění vzduchu, teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, městské klima, územní plánování.

## **ABSTRACT**

This thesis focuses on the design of urban areas in regards of the air flow and the creation of Urban Heat Islands. It reviews basic aspects influencing the design of streets. Every building, tree, or obstacle obstructs the air flow and creates the wind shadow, where the air pollution increases. It also creates areas of higher wind speed, in which public comfort is reduced. By understanding the importance of this process and by implementing it into the urban planning process, using advanced technology we can create healthy urban environment.

## **KEYWORDS**

Urban head island, Urban energy balance, Air circulation, Air temperature, Air humidity, Urban climate, Urban planning.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Jan Špaček *Navrhování územních celků s využitím pokročilých technologií*. Brno, 2017.  
51 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav  
automatizace inženýrských úloh a informatiky. Vedoucí práce Ing. Josef Remeš

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 3. 2017

---

Jan Špaček  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval Josefovi Remešovi, za jeho rady, čas a trpělivost při vedení mé bakalářské práce a získání cenných informací. Díky patří i dalším členům ústavu AIU za jejich náměty a připomínky.

# Obsah

1	Úvod.....	11
2	Aspekty ovlivňující návrh uličního prostoru .....	12
2.1	Dopad sluneční energie – solární zisky.....	12
2.2	Zvuk a vibrace.....	12
2.3	Teplota a vlhkost vzduchu .....	13
2.4	Proudění větru .....	15
3	Teplota a vlhkost městského prostředí .....	16
3.1	Šíření tepla .....	16
3.2	Příroda.....	17
3.3	Město.....	17
3.3.1	Budovy.....	18
3.3.2	Automobily .....	20
3.3.3	Lidé .....	20
3.3.4	Domácí spotřebiče .....	21
4	Procesy pro dosažení kvalitního městského klimatu .....	22
4.1	Použití klimatických informací .....	22
4.2	Pochopení městského klimatu.....	24
4.3	Vnitřní energie městského klimatu .....	25
4.4	Vliv geometrie zástavby na cirkulaci vzduchu .....	29
4.4.1	Obtékání vzduchu kolem izolované překážky .....	30
4.4.2	Proudění větru v uličním koridoru.....	33
4.5	Použití moderních technologií .....	38
4.6	Klimatické oblasti .....	39
4.7	Strategické plánování .....	40

4.7.1	Celková strategie.....	40
4.7.2	Strategie přizpůsobené případovým studiím.....	41
5	Důsledky požívání klimatických směrnic v městském plánování .....	43
5.1	Přínosy z hlediska pohodlí a zdraví obyvatel města .....	43
5.2	Ekonomické výhody pro obyvatelé města .....	44
6	Závěr .....	45
7	Citovaná literatura.....	46
8	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	50
8.1	Zkratky .....	50
8.2	Symbole .....	50

# 1 Úvod

Zdravé klima můžeme vidět jako zdroj pro různé cíle, jako je dostupnost sladké vody, zdravé a bezpečné potraviny, energie z obnovitelných zdrojů, lidské zdraví, integrace plánování a cestovního ruchu. G. Mills řekl: „Protože se světová populace stává urbanizovanou a lidské aktivity jsou soustředěny v městských oblastech, městské plánování je klíčovým aspektem udržitelnosti.“ [1] Naproti tomu „sociální a ekonomické nároky jsou často v rozporu s otázkami životního prostředí“. [2] Ačkoliv existují zákony pro omezování hluku, znečištění ovzduší a vod a podporující biologickou rozmanitost, místní klima je zanedbávaným tématem pro rozvoj měst a územní plánování. [2] Cílem této práce je seznámení s problémem zvyšování teploty v městském prostředí a jak je můžeme ovlivnit pomocí pokročilých technologií. Čím víc je člověk vzdělaný, tím více se zajímá o problematice globálního oteplování a zvyšování teploty ve městech, zdá se být rozumné postupovat podle rady: „myslet globálně, jednat lokálně“.

## 2 Aspekty ovlivňující návrh uličního prostoru

Vlastnosti vzduchu v přízemní vrstvě atmosféry městské oblasti je zapříčiněna působením městských a přirozených faktorů. Přirozené faktory a míra jejich vlivu na teplotu a vlhkost vzduchu v přízemní vrstvě atmosféry městské oblasti jsou určeny druhem přirozeného povrchu (vegetace, půda, vodní plocha atd.) a jeho charakterem typickým pro studovanou oblast. Dále to je charakter georeliéfu měnicí expozici, ventilaci a nadmořskou výšku zemského povrchu. Míra působení městských faktorů určuje charakter zástavby a antropogenní činnost.

### 2.1 Dopad sluneční energie – solární zisky

Teplo je produkováno pohybovou (kinetickou) energií molekul. Sluneční záření se mění v tepelnou energii velmi snadno, světelný paprsek je v podstatě velmi rychle kmitající elektrická a magnetická síla. Při dopadu na hmotu (např. černý plech) elektrická síla světla rozkmitá její molekuly neboli ji zahřeje. Tomuto procesu přeměny světla v teplo se říká absorpce (pohlčení) záření a černému plechu se říká absorbér. Čím více záření se pohltí, tím rychleji kmitají molekuly a tím více se absorbér zahřívá. Nicméně nejen černý plech, ale i celá planeta Země je obrovským absorbérem slunečního záření. Přeměna v černém plechu je však dokonalejší, neboť přemění téměř všechno dopadající záření. Naopak Země jako celek absorbuje jen 2/3 dopadajícího slunečního záření. Černá barva má proto při přeměně sluneční energie v teplo významnou roli.

### 2.2 Zvuk a vibrace

Mezi nejvíce ohrožené oblasti zvukem a vibracemi patří velkoměsta, průmyslové zóny a obce s tranzitním průtahem. Hluk působí na obyvatele nepřetržitě bez možnosti jej ovlivnit, nebo se mu vyhnout, tzv. *akustický smog*. Zdrojem hluku je každé chvějící se těleso a nejčastěji je to automobilová, kolejová i letecká doprava, průmyslové firmy s mechanizací, stavební činnost, hluk od obytných budov a hluk spojený s volnočasovými aktivitami.

Hluk z automobilové a kolejové dopravy se skládá ze tří složek. Je to aerodynamický hluk způsobený rozrážením vzduchu svým pohybem, za druhé hluk motoru a za třetí hluk vznikající valivým pohybem pneumatiky po vozovce. Při vyšších rychlostech dominuje hluk od pneumatik, hluk motoru převažuje do  $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  u osobních automobilů a do  $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  u nákladních automobilů. Aerodynamický hluk roste současně s rozdílem rychlostí vozidla a okolního vzduchu. Dle limitů EU je povolena celková emise hluku z vozidel pro osobní automobil 74 dB a pro nákladní automobil 80 dB. V oblastech, kde průmyslové zóny zasahují, nebo sousedí s obytnými plochami, je hluk z pracovní činnosti a průmyslu problém. Řešením této problematiky je správně navržený uzemní plán, který se tomuto problému snaží předcházet. Hluk spojený s volnočasovou aktivitou a hluk vytvořený v domácnosti si obyvatelé musí regulovat sami. Ochrana před hlukem a vibracemi upravuje zákon o veřejném zdraví č. 258/200 Sb. § 30–34 a nařízení vlády (o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací) č. 272/2011 Sb. § 11 a 12.

## 2.3 Teplota a vlhkost vzduchu

Teplota je důležitá veličina, která ovlivňuje náš každodenní život. Údaj, který naměříme na teploměru, nám ovšem nedává ucelený přehled o tom, jak tuto teplotu bude vnímat náš organismus. Při  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  ve městě se budeme cítit zcela jinak než při stejné teplotě v deštém pralese. Faktorů ovlivňujících pocitovou teplotu je několik a přesné výpočty jsou složité. Hlavní faktory jsou tři: rychlost větru, vlhkost vzduchu a rozložení teploty.

### Vítr (Wind chill)

Zejména v zimních měsících se sleduje tzv. wind chill (ochlazující vítr). Naši pocitovou teplotu výrazně snižuje vysoká rychlost větru. Naš organismus za teplot nižších než  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  ohřívá slabou vrstvu okolního vzduchu. V blízkosti naší pokožky se vytváří izolační vrstva teplého vzduchu. Pokud ale vane vítr, teplejší vzduch v blízkosti pokožky ztrácíme a více pociťujeme chlad. K efektu dochází především při nízkých teplotách, proto je wind chill počítán pouze pro teploty nižší než  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  a rychlost větru nad  $1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Čím nižší je teplota vzduchu a větší rychlost větru, tím větší je efekt ochlazování větrem. Jednotný vztah pro výpočet není definován. V Kanadě používají tento vztah:

$$T_{(WC)} = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 11,37 \cdot v^{0,16} + 0,3965 \cdot T \cdot v^{0,16} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

Kde  $T_{(WC)}$  je wind chill,  $T$  teplota vzduchu ve stupních Celsia,  $v$  rychlost větru v  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Také je možno použít převodní tabulku (tab. 2.1).

Tab. 2.1 Převodní tabulka wind chill

		Teplota [ $^\circ\text{C}$ ]												
		10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
Rychlost větru [ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ]	10	8,60	2,70	-3,3	-9,3	-15,3	-21,2	-27,2	-33,2	-39,2	-45,1	-51,1	-57,1	-63,0
	15	7,90	1,70	-4,4	-10,6	-16,7	-22,9	-29,1	-35,2	-41,4	-47,6	-53,7	-59,9	-66,1
	20	7,40	1,10	-5,2	-11,6	-17,9	-24,2	-30,5	-36,8	-43,1	-49,4	-55,7	-62,0	-68,3
	25	6,90	0,50	-5,9	-12,3	-18,8	-25,2	-31,6	-38,0	-44,5	-50,9	-57,3	-63,7	-70,2
	30	6,60	0,10	-6,5	-13,0	-19,5	-26,0	-32,6	-39,1	-45,6	-52,1	-58,7	-65,2	-71,7
	35	6,30	-0,4	-7,0	-13,6	-20,2	-26,8	-33,4	-40,0	-46,6	-53,2	-59,8	-66,4	-73,1
	40	6,00	-0,7	-7,4	-14,1	-20,8	-27,4	-34,1	-40,8	-47,5	-54,2	-60,9	-67,6	-74,2
	45	5,70	-1,0	-7,8	-14,5	-21,3	-28,0	-34,8	-41,5	-48,3	-55,1	-61,8	-68,6	-75,3
	50	5,50	-1,3	-8,1	-15,0	-21,8	-28,6	-35,4	-42,2	-49,0	-55,8	-62,7	-69,5	-76,3
	55	5,30	-1,6	-8,5	-15,3	-22,2	-29,1	-36,0	-42,8	-49,7	-56,6	-63,4	-70,3	-77,2
60	5,10	-1,8	-8,8	-15,7	-22,6	-29,5	-36,5	-43,4	-50,3	-57,2	-64,2	-71,1	-78,0	

## Vlhkost vzduchu

V letních měsících nás naopak více zatěžují vysoké teploty. Na pocit tepla má potom větší vliv vlhkost vzduchu. Při vysokých vlhkostech se obtížně odpařuje pot z našeho organismu. Počítá se tzv. heat index (index horka). Při vysokých teplotách a vysoké vlhkosti vzduchu se náš organismus špatně ochlazuje a cítíme větší pocit tepla. Index horka se počítá pouze pro teploty nad  $27^\circ\text{C}$  a vlhkost nad 40 %. Při nižších teplotách nebo vlhkosti vzduchu je jeho vliv zanedbatelný. Výpočet je složitý a uvádí se převodní tabulka (tab. 2.2).

Tab. 2.2 Převodní tabulka indexu horka

		Teplota [°C]															
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	37	38	39	40	41	42	43
Vlhkost [%]	40	27	27	28	29	31	33	34	36	38	41	43	46	48	51	54	58
	45	27	28	29	31	32	34	36	38	40	43	46	48	51	54	58	
	50	27	28	29	31	33	35	37	39	42	45	48	51	55	58		
	55	27	29	30	32	34	36	38	41	44	47	51	54	58			
	60	28	29	31	33	35	38	41	43	47	51	54	58				
	65	28	29	32	34	37	39	42	46	49	53	58					
	70	28	30	32	35	38	41	44	48	52	57						
	75	29	31	33	36	39	43	47	51	56							
	80	29	32	34	38	41	45	49	54								
	85	29	32	36	39	43	47	52	57								
	90	30	33	37	41	45	50	55									
	95	30	34	38	42	47	53										
	100	31	35	39	44	49	56										

### Rozložení teploty

Dalším údajem, který má vliv na naši pocitovou teplotu, je rozložení teplot do výšky dvou metrů nad zemí. Meteorologické stanice měří teplotu ve dvou metrech nad zemí, tedy přibližně ve výšce naší hlavy. Lidský organismus ovšem teplotu vnímá u nohou. Rozhodující pro nás tedy bude přízemní teplota. Pokud je teplota u nohou 10 °C a teplota v úrovni hlavy 15 °C, vnímáme toto prostředí podle teploty u nohou, takže naše pocitová teplota je 10 °C. Tento efekt se spíše projevuje v místnostech nebo autech, kde je lepší vytápět přízemní vzduch.

## 2.4 Proudění větru

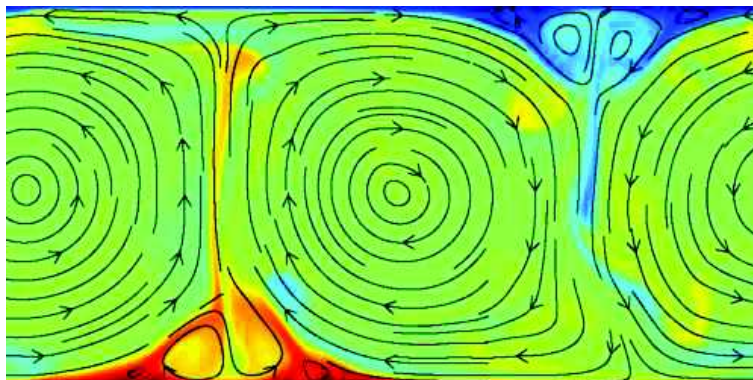
Stejně jako u tepla, studie proudění větru v městských koridorech zahrnují jak modelování, tak pozorování. Vítr v městských uličních koridorech je důležitý jak pro rozptýlení tepla, tak pro rozptýlení znečišťujících látek. Pochopení proudění větru v městském prostředí závisí na základních principech dynamiky tekutin.

## 3 Teplo a vlhkost městského prostředí

### 3.1 Šíření tepla

Šíření tepla je jedním ze způsobů přenosu energie. Spočívá v tepelné výměně, taktéž nazýván termodynamický děj, při kterém dochází k výměně tepla mezi dvěma tělesy s různou teplotou. Termodynamický děj dělíme je na tři způsoby šíření tepla, vedení (přímí kontakt), proudění (pomocí proudění částic), vyzařování (sálavé). Tepelná energie se může šířit vedením a prouděním pouze v prostředí, které je vyplněno látkou. Příčinou šíření je neustálý pohyb částic hmoty. Vzájemným působením mezi jednotlivými částicemi dochází k předávání kinetické energie, a to tak dlouho, dokud nedojde k vyrovnání teplot. Sálání se svou povahou odlišuje od vedení a proudění, protože tepelná energie se může přenášet i v prostoru, který není vyplněn látkou (tedy i ve vakuu). Důvodem je to, že sálání představuje elektromagnetické záření, které ke svému přenosu hmotu nepotřebuje.

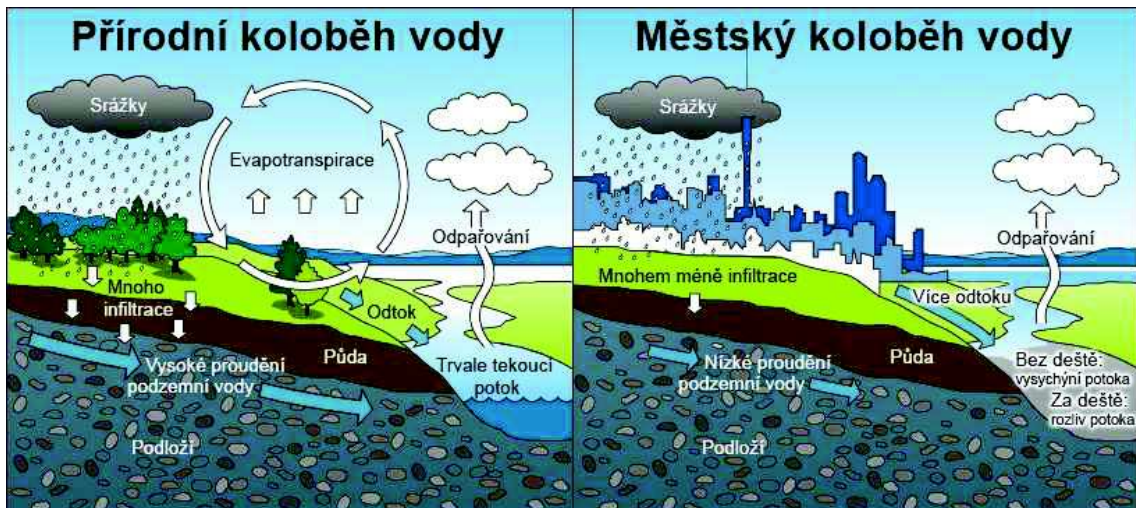
V městském prostředí a přírodě je nejdominantnější šíření tepla prouděním, které má velký vliv na koloběh vody v přírodě. V zemské atmosféře obvykle hustota kapalin, nebo plynů klesá s narůstající teplotou. V gravitačním poli pak ohřáté vrstvy kapaliny, nebo plynu stoupají, zatímco ty chladnější klesají dolů. Dochází tak ke vzniku proudění kapaliny (plynu), která si zachovává svou vnitřní energii, viz obr. 3.1.



Obr. 3.1 Termální konvekce (červené teplé oblasti, modré studené oblasti) [3]

## 3.2 Příroda

Jak už bylo zmíněno výše, šíření tepla prouděním má velký vliv na koloběh vody v přírodě. Účinkem sluneční energie se voda vypařuje jak z oceánů, vodních toků a nádrží, tak i půdy a rostlin. Vodní páry jsou teplejší než okolní vzduch, a tak stoupají vzhůru. V oblacích se pohybem vzduchových mas způsobených nestejným ohříváním vzduchu nad pevninou a oceány i zemskou rotací neustále přemísťují a po kondenzaci páry voda padá na zemský povrch ve formě srážek, zejména deště nebo sněhu. V přírodě kde nejsou žádné zpevněné plochy, se voda vsakuje přirozeně do půdy, zavláží okolní rostliny a doplňuje podzemní vodu. Podzemní voda vstupuje na povrch prameny nebo prosakuje do vodních toků.



Obr. 3.2 Koloběh vody v různém prostředí [4]

## 3.3 Město

Ve městech, kde je velký podíl zpevněných ploch, jako jsou střechy budov, silnice, chodníky, náměstí, parkovací stání a hřiště, se voda ve formě deště nevsakuje do půdy, ale je co nejrychleji svedena do pouličních vpustí a odvedena do čistírny odpadních vod, kde se vypouští do vodních toků (obr. 3.2).

Voda, která má velkou měrnou tepelnou kapacitu  $c_w = 4\,180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , se tedy nezdržuje v městském prostředí, kde by navyšovala průměrnou tepelnou kapacitu města

a tím zpomalovala jeho oteplování. Oproti tomu beton má  $c_c = 1\,020 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , ocel jen  $c_s = 440 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a asfalt  $c_a = 1\,470 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Díky nenasákavosti materiálů v městském prostředí a minimalizace volných vodních ploch je měrná tepelná kapacita menší než v přírodě, tudíž pro ohřátí stejné hmotnosti materiálu, je potřeba méně energie. Při stejné dodané energii se tedy městské prostředí rychleji ohřívá a přispívá ke vzniku UHI<sup>1</sup>. Také v zimě se napadený sníh (který má schopnost odrážet až 90 % sluneční energie) hned po napadení odklízí, nebo je rozpouštěn solemi, které mají další negativní vlivy na životní prostředí.

V městském prostředí je ještě jeden rozdíl, a to je přítomnost velkého počtu lidí na relativně malé ploše. Mnoho bytů a domů, mnoho domácích spotřebičů, které vyprodukují velké množství tepelné energie. Dopravní prostředky, které využívají pro pohyb a přepravě věcí, také vyprodukují velké množství tepelné energie do okolního prostředí.

### 3.3.1 Budovy

Tepelný výkon od budov se chápe jako tepelné ztráty objektu. Podle platné normy ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov, jsou požadované a doporučené hodnoty prostupu tepla uvedené v tabulce 3.1. Součinitel prostupu tepla  $U$  se udává v jednotkách  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ , kde  $W$  je výkon,  $\text{m}^2$  je plocha a  $K$  je rozdíl teplot interiéru a exteriéru. V lednu roku 2017 byla v Brně průměrná teplota  $-4 \text{ }^\circ\text{C}$  a jestliže teplota v místnosti je  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , pak rozdíl teplot je  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Při uvážení požadované hodnoty součinitele prostupu tepla pro vnější stěnu podle tabulky 3.1 ( $U_{N,20} = 0,3$ ) vychází, že každý metr čtvereční fasády nového obytného domu může zahřívat městský vzduch výkonem  $7,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . [5]

---

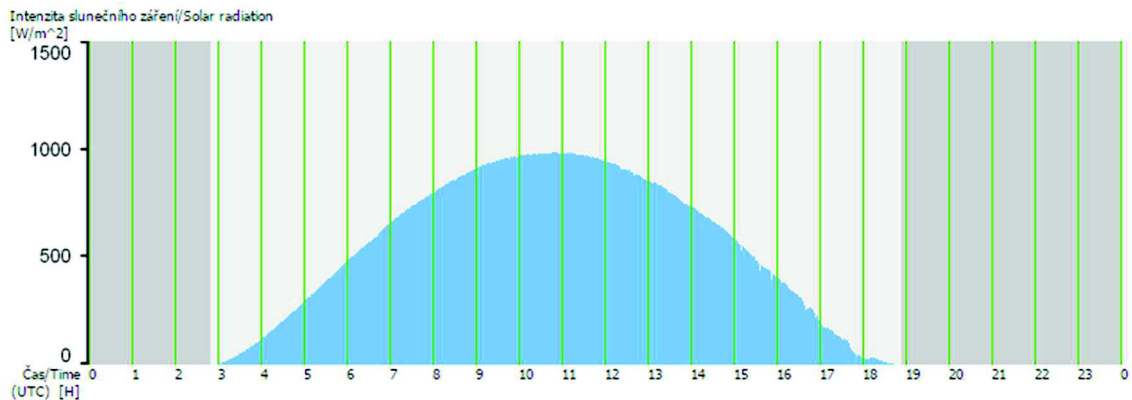
<sup>1</sup> UHI – Urban Heat Island, neboli městský tepelný ostrov je městská zástavba, která má znatelně vyšší teplotu, než jeho okolí

Tab. 3.1 Součinitelé prostupu tepla [5]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,3	0,2	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,3	0,2	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22 až 0,15

Toto platí pouze v zimním chladivém počasí, kdy sluneční paprsky jsou zastíněné oblačností. V letním období, kdy je jasno, dopadá sluneční energie přímo na fasády domů a díky malé měrné tepelné kapacitě omítky ( $c_o = 850\text{--}1000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) a betonu ( $c_c = 1\,020 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) se tyto materiály zahřívají na vysokou teplotu a tím i městský prostor.

Z meteorologické stanice umístěné na jedné ze střech VUT fakulty stavební v Brně vidíme záznam průběhu intenzity sluneční energie ze dne 7. 6. 2016 (viz Obr. 3.3), kde okolo 11. hodiny došlo k maximu této hodnoty a to  $986 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ .



Obr. 3.3 Průběh denní intenzity slunečního záření, TUBO 7. 6. 2016

### 3.3.2 Automobily

Dnešní moderní motory s vnitřním spalováním využívají pouze jednu třetinu energie obsaženém v palivu, zbytek odchází výfukovým potrubím, chladičem kapaliny či oleje ve formě tepla do okolního prostoru. Při průměrném výkonu automobilu 85 kW je 57 kW energie, na jeden automobil, která je bez užitku.

### 3.3.3 Lidé

Lidské tělo při látkových proměnách uvolňuje určité množství tepla, která závisí především na intenzitě fyzické námahy a na hmotnosti člověka. Průměrné tepelné produkce člověka o hmotnosti 70 kg při různých fyzických aktivitách vykonávané dlouhodobě jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Teplota těla zdravého člověka musí ovšem zůstat přibližně stálá a to 37 °C a proto musí být přebytečné teplo odváděno do okolí. Tepelná rovnováha člověka, tj. stav, při kterém okolí odebírá lidskému tělu tolik tepla, kolik člověk právě produkuje, je nezbytným předpokladem pro tepelnou pohodu.

Tab. 3.2 Výkon lidského těla [6]

Činnost	Tepelný výkon [W]
Naprostý klid ve spánku	81
Odpočinek vsedě	116
Odpočinek vestoje	128
Oblékání a svlékání oděvu	140
Chůze po rovině rychlostí 3 km/h	198
Chůze po rovině rychlostí 5 km/h	314
Chůze po rovině rychlostí 6,5 km/h	407
Běh po rovině rychlostí 8,5–9 km/h	675
Fyzická práce:	
Velmi lehká (programátoři, rýsovači, švadleny, ...)	116–140
Lehká (nástrojaři, mechanici, zámečníci, svářeči, ...)	140–198
Středně lehká (kováři, slévači, ...)	198–256
Těžká (tesaři, nosiči břemen 60–80 kg)	256–314
Velmi těžká (dřevorubci, nosiči břemen nad 80 kg)	314 a více

### 3.3.4 Domácí spotřebiče

Typickým zdrojem tepla v domácnosti je chladnička, která přemění na teplo veškerou spotřebu elektrické energie (a navíc předá teplo z přinesených potravin). Ne vždy je vyprodukované teplo použito pro vytápění. Také pračka a myčka téměř všechnu energii vypouštějí do kanalizace ve formě ohřáté vody. U sporáku v tomto ohledu nezávisí na typu digestoře. Vždy se vyprodukuje určité množství tepla, které nakonec ovlivní teplotu městského prostředí.

## 4 Procesy pro dosažení kvalitního městského klimatu

### 4.1 Použití klimatických informací

Prvním krokem ke zlepšení městského podnebí je jeho studium (obr. 4.1, bod 3) za použití klimatických informací (obr. 4.1, bod 2). Meteorologické stanice (buď tradiční, nebo automatické), v souladu s WMO<sup>2</sup>, poskytují užitečné údaje pro pochopení klimatu v makroklimatickém měřítku. Tyto údaje však nejsou vhodné pro městské studie, vzhledem k prostorovému rozsahu a na konkrétní procesy v atmosféře, které se vyskytují v městském prostředí.

V posledních desetiletích, vývoj měření vede ke zlepšování a normalizování metod a technik ve sběru dat v městských oblastech. Podle Grimmonda (2006) je třeba zdůraznit tři aspekty: [7]

1. Dokonalejší a více dostupnější přístroje jsou k dispozici pro výzkumné pracovníky vzhledem k technologickému pokroku, a to i v zemích, kde jsou malé rozpočty směřované ke klimatickému výzkumu. Řada ústředen umístěných v klíčových místech ve městech nahradilo mnoho mobilních průzkumů, které byly velmi časově náročné a měly velmi omezený časový význam.
2. Pokrok v městských atmosférických procesech vedlo k většímu povědomí o důležitosti výběru správného místa pro měření meteorologických podmínek ve městě, a to buď pomocí ústředen, nebo meteorologických stanic. Naštěstí „počáteční vedení získat reprezentativní meteorologické pozorování v městských oblastech“ je nyní dostupné. [8] Je zřejmé, že pravidla pro umístění měření se liší podle studií provedených v různých měřítkách. V Lisabonu, kde byli oba mesoklimatické a mikroklimatické průzkumy teplot prováděné během CLIMLIS projektu<sup>3</sup>, byly lokality vybrány podle rad T. R. Oka. V prvním projektu byla dobře rozmístěná

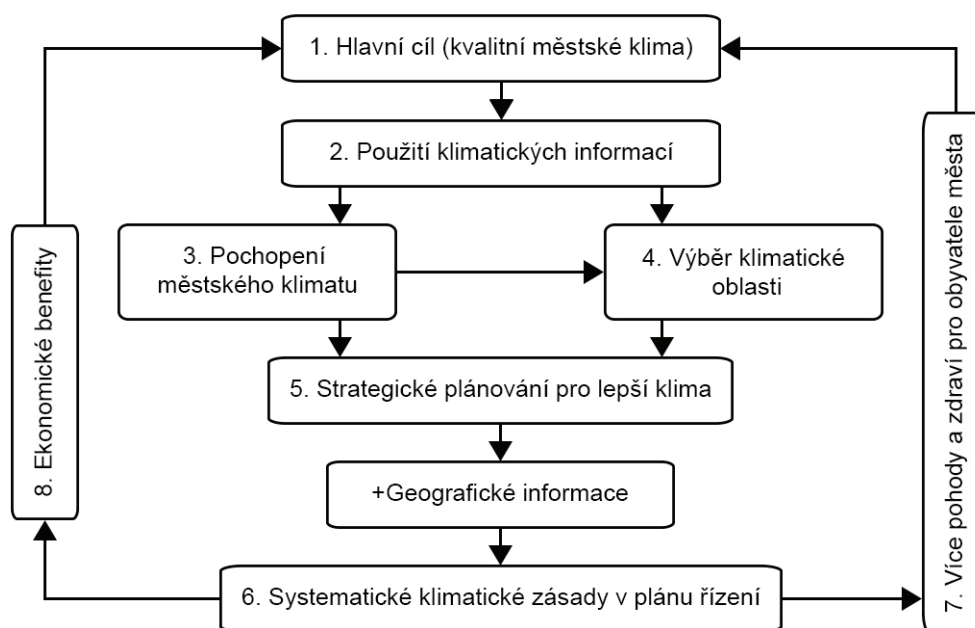
---

<sup>2</sup> WMO – World Meteorological Organization, Světová meteorologická organizace

<sup>3</sup> Předpis klimatických principů v územním plánování aplikovaný v Lisabonu (Portugalsko)

místa v rámci města s vysokým *sky-view faktorem*<sup>4</sup> (SVF), odkud byly získávány informace o teplotní prostorové změně ve městě, v závislosti na místních klimatických faktorech a typu počasí. [9] V druhém projektu, který studoval rozdíly zahrnuté v jedné městské části (v měříku skupin budov), byly stanice rozmístěny v různých místech geometrie, ulici a krajinného typu, takže příčiny mikroklimatických rozdílů se dali očekávat. [9]

3. Pro ulehčení práce budoucí generace, by měly být k dispozici databáze aktuálních studií, včetně metadat týkajících se měřících míst. Výzkumní pracovníci mají často přístup pouze k dlouhým seznamům čísel, ale k žádným informacím o přesném místě (zeměpisná šířka a délka ve stupních je nedostatečné), vlastnostech a změnách v místě meteorologických stanic. Jedná se o vážné překážky pro vypracování přesné práce.



Obr. 4.1 Vývojový diagram jednotlivých etap výzkumu směřem k udržitelnému rozvoji měst

<sup>4</sup> Sky-view faktor je poměr množství viděné oblohy k viděnému povrchu z daného bodu [15]

## 4.2 Pochopení městského klimatu

Již několik desítek let poskytovaly údaje o klimatu základy pro vědce a poznat tak charakteristiky městského prostředí v různých prostorových a časových rozměrech. První manuál napsal A. Kratzer už v roce 1937, na základě současných znalostí městského klimatu byly publikovány knihy například od H. E. Landsberga (1981), F. Fezera (1995) a T. R. Oka (1987) a spisy od T. R. Oka (1988), W. P. Lowryho (1998), J. Arnfielda (2003) a mnoho dalších. V dnešní době hraje statické a numerické modelování velmi důležitou roli. Nicméně klimatické údaje budou i nadále nezbytné, a to buď jako podklad pro modelování, nebo pro jejich ověření a kalibraci. [10]

Teplota, vítr a znečištění ovzduší, které jsou velmi závislé na morfologii města antropogenní činnosti, jsou hlavní charakteristiky městského klimatu. Antropogenní činnosti mohou být, do jisté míry, kontrolované, přes pečlivé a informované plánování. S ohledem na teplotu vzduchu se často používá termín *městská tepelný ostrov* (UHI), který se týká měst, kde hranice teploty vzduchu jsou vyšší než venkovské okolí. Klasický režim podle T. R. Oka (1987) ukazuje, že teplota vzduchu stoupá směrem do centra města. Zvýšení teploty není pravidelné, ale do značné míry závisí na urbanistické struktuře. Rozdíl mezi městskými a venkovskými teploty se nazývá *UHI intenzita*. [11] Ve většině měst je UHI častější a intenzivnější během nočních hodin a během období sucha v tropických městských oblastech. [12] Rychlost větru se obvykle v městských oblastech zpomaluje, i když městská geometrie může způsobit nežádoucí zrychlení větru v důsledku dlouhých rovných ulic (koridorový efekt), nebo díky Venturiho efektu. Naopak, venkovský a mořský vánek může být zesílen díky UHI.

Města jsou hlavním zdrojem znečišťujících látek, které mohou být odstraněny v závislosti na rozptylových schopnostech atmosféry a také na rychlosti a směru větru. [13] UHI může zesílit výskyt smogu, zvyšuje také výšku míchání znečišťujících látek, ale její výsledný efekt na znečištěné ovzduší není snadné předpovědět. [14] Ve městech, kde typografie a urbanistická struktura přispívá ke zpomalení rychlosti větru, jsou problémy s znečištěným ovzduším velmi vážné.

### 4.3 Vnitřní energie městského klimatu

Městské klima vzniká v důsledku působením městských faktorů, které jsou dány vlastnostmi městského povrchu a charakterem antropogenní činnosti probíhající ve městě. Působením těchto faktorů dochází ke změně energetické a vláhové bilance aktivní vrstvy ve městě a uvolňování odlišného množství tepla a vodní páry do městské atmosféry v porovnání s přirozenou atmosférou ve venkovské krajině.

Vnitřní energie látky se popisuje vztahem

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \text{ [J]} \quad (2)$$

kde  $m$  je hmotnost [kg],  $c$  měrná tepelná kapacita [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ] a  $t$  rozdíl teplot látek.

Hmotnost se vyjadřuje jako součin objemu a hustoty, tedy

$$m = V \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (3)$$

kde  $V$  je objem [ $\text{m}^3$ ] a  $\rho$  hustota [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

Pak vnitřní energii popisujeme jako

$$Q = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t \text{ [J]} \quad (4)$$

Energická bilance počítaná pro určitý objem *městské aktivní vrstvy* (obr. 4.2) je v městském prostředí vyjádřena vztahem

$$Q^* = Q_F + Q_H + Q_E + \Delta Q_S + (\Delta Q_A) \text{ [J]} \quad (5)$$

kde  $Q^*$  je radiační bilance,  $Q_F$  ztráty a antropogenní činnosti,  $Q_H$  turbulentní tok zjevného tepla,  $Q_E$  turbulentní tok latentního tepla,  $\Delta Q_S$  změna entalpie objemu<sup>5</sup>,  $\Delta Q_A$  bilance horizontálního přesunu tepla, rozdíl  $Q_1$  a  $Q_2$  (obr. 5.2). [15]

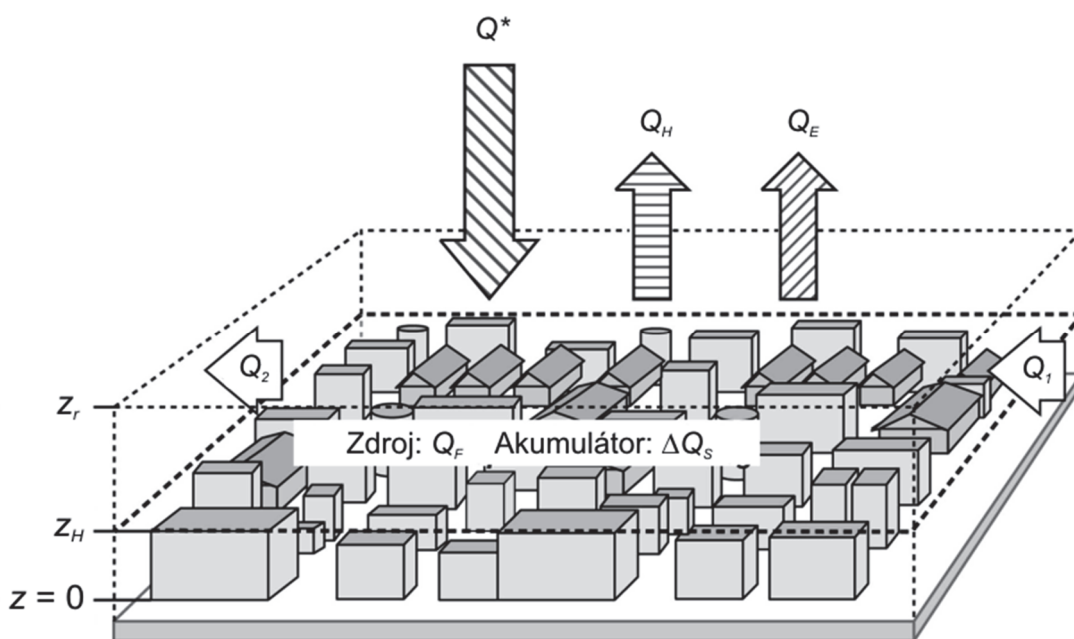
---

<sup>5</sup> V případě městského prostředí představuje měření tohoto členu značný problém, proto se přistupuje k jeho výpočtům [16]

Vláhová bilance je pro ekvivalentní měřítko vyjádřena vztahem

$$P + I + F = E + R + \Delta S + (\Delta A) \quad (6)$$

kde  $P$  jsou atmosférické srážky,  $I$  umělý zdroj vody,  $F$  ztráty vodní páry a antropogenní činnosti,  $E$  evapotranspirace<sup>6</sup>,  $R$  odtok,  $\Delta S$  změna akumulované vody,  $\Delta A$  bilance advehované vlhkost. [8]



Obr. 4.2 Schéma energetické bilance městské aktivní vrstvy [16]

Městská aktivní vrstva je vymezena od spodu nulovou výměnou tepla v podloží a ze shora průměrnou výškou prvků městského povrchu  $z_H$  nebo úrovní  $z_r$  používající se při měření turbulentních toků v lokálním měřítku. Nadzemní vrstva městského povrchu v intervalu výšek od 0 do  $z_H$  je definována jako *městský zápoj* (urban canopy layer). [7]

Městské klima je formováno na úrovni jednotlivých klimatických kategorií (obr. 4.3 a 4.4). Podle T. R. Oka je v městském prostředí vymežována vrstva atmosféry městského zápoje s horní hranicí  $z_H$ , ve které je formováno městské mikroklíma. Modelovou částí městského povrchu v mikroměřítku je *uliční koridor* (urban canyon).

<sup>6</sup> Evapotranspirace je celkový výpar, který se vztahuje k určitému území. Tento celkový výpar se skládá z fyzikálního výparu (evaporace) a fyziologického (transpirace)

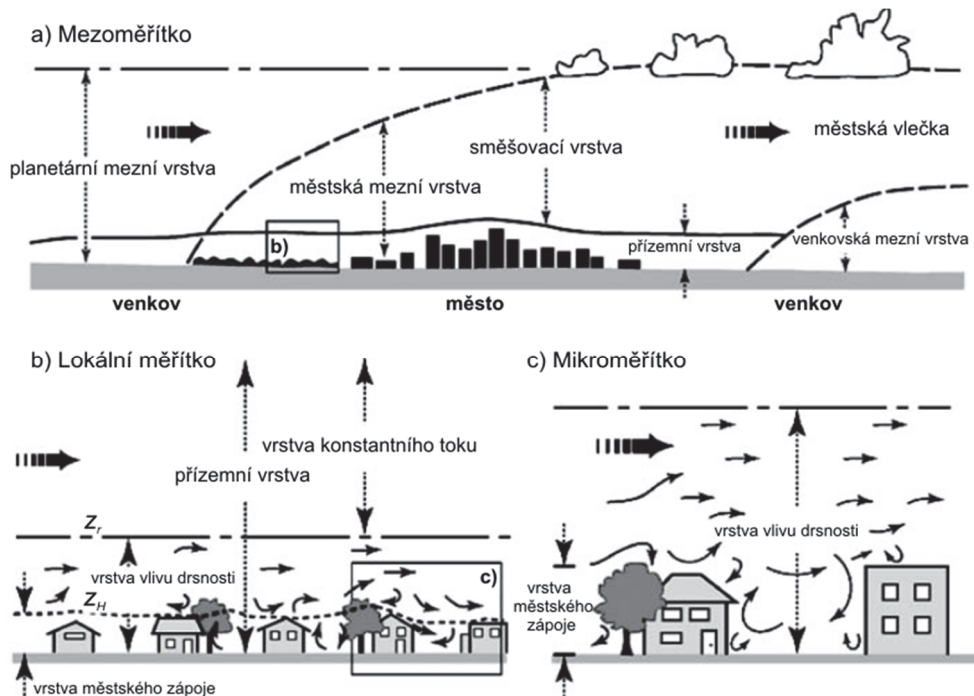
[15] Městské mikroklima má horizontální měřítko řádově  $10^{-2}$  až  $10^2$  m (část městského povrchu s tím o horizontálním měřítkem je označován jako *zdrojové místo*) Vlivem velkým drsnosti městského povrchu jsou mikroklimatické efekty patrné až do výšky  $z_r$ , ve které dochází k smísení a ustálení turbulentních toků od zdrojových míst. Vrstva atmosféry od zemského povrchu do výšky  $z_r$  je označována jako *vrstva vlivu drsnosti* (roughness sublayer). [11] Dále podle T. R. Oka, mocnost vrstvy vlivu drsnosti závisí, mimo drsnosti povrchu, dále na intenzitě turbulentních toků od zdrojových míst, rychlosti větru a stabilitě atmosféry. Na základě laboratorních experimentů a terénních měření bylo zjištěno, že mocnost vrstvy vlivu drsnosti kolísá od  $1,5 z_H$  do  $4,0 z_H$ , minimální mocnost vrstvy v případě hustého (malá vzdálenost mezi prvky městského zápoje) a homogenního městského zápoje, maximální v případě rozvolněného městského zápoje. [11]

K formování městského lokálního klimatu dochází ve výšce  $z_r$  smícháním a ustálením turbulentních toků od zdrojových míst. Městské lokální klima má horizontální měřítko řádově  $10^3$  m (část městského povrchu s tímto horizontálním měřítkem je označována jako *zdrojová oblast*). V případě homogenních zdrojových oblastí je možné klasifikovat jejich typy (urban climate zones). Každá homogenní zdrojová oblast formuje *vnitřní mezní vrstvu* (internal boundary layer), jejíž vertikální rozměr závisí na velikosti zdrojové oblasti, stabilitě atmosféry a drsnosti povrchu. Vnitřní mezní vrstva je od úrovně  $z_r$  lokálním klimatickým fenoménem – *vrstva konstantního toku* (inertial sublayer, constant-flux layer). Vnitřní mezní vrstva sahá od úrovně  $z_d$  do  $z_i$ , kde  $z_d$  je posun hladiny nulové rychlosti větru v důsledku fyzické masy městského zápoje (v případě homogenity městského zápoje klesá v intervalu od  $0,8 z_H$  do  $0,5 z_H$  s rostoucí vzdáleností mezi prvky městského zápoje). Vertikální rozměr vnitřní mezní vrstvy ( $z_i - z_d$ ) roste s poloměrem zdrojové oblasti  $r$  a poměr  $(z_i - z_d) : r$  se zvětšuje s labilitou atmosféry (ve venkovských podmínkách od  $1 : 500$  do  $1 : 10$ ) a drsností povrchu. Městská atmosféra má tendenci k neutrálnímu zvrstvení vlivem zvětšené intenzity turbulentního promíchávání v důsledku tepelného ostrova města a velké drsnosti městského povrchu, takže v městském prostředí je poměr  $(z_i - z_d) : r$  typicky roven  $1 : 100$ . Po úpravě vztahu (7) lze získat vertikální rozměr vnitřní mezní vrstvy, nebo velikosti zdrojové oblasti celé vnitřní mezní vrstvy nebo jejích částí, čehož se

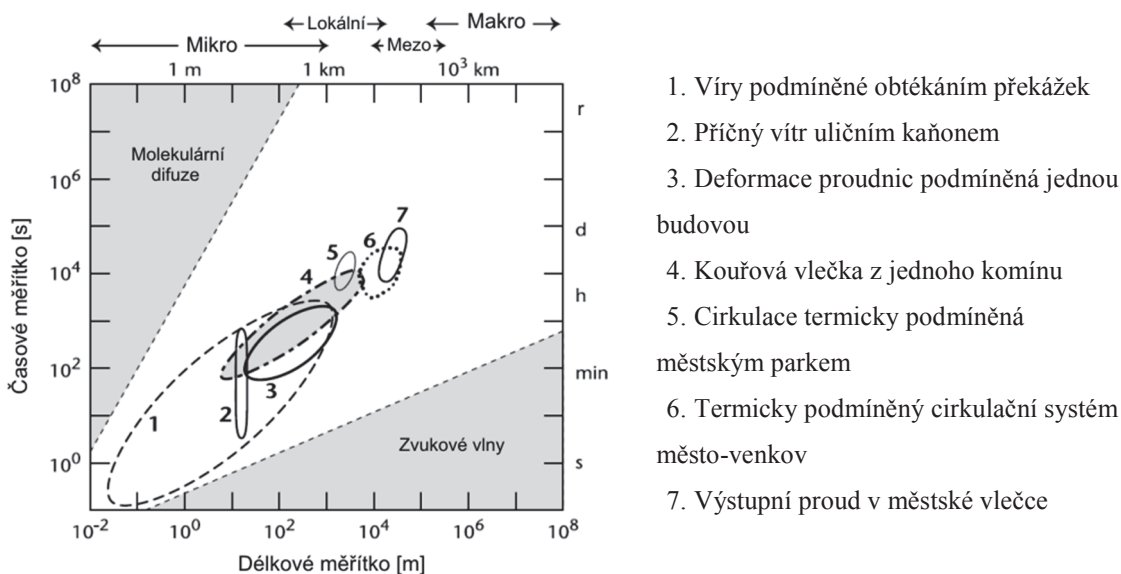
využívá při měření lokálního klimatu nad úrovní  $z_r$  k zjištění minimálního poloměru homogenní zdrojové oblasti. [11]

$$r = 100 \cdot (z_r - z_d) \quad (7)$$

Městské mezoklima má horizontální měřítko řádově  $10^4$  m. K jeho formování dochází nad vrstvou konstantního toku, kde se mísí městský vzduch z přízemní vrstvy (surface layer) se vzduchem planetární mezní vrstvy atmosféry za vzniku *směšovací vrstvy* (mixing layer) a *městské vlečky* (urban plume), často s výskytem konvektivní oblačnosti.



Obr. 4.3 Prostorová měřítko městského klimatu [11]



Obr 4.4 Měřítko městského klimatu, vybrané aerodynamické jevy [11]

## 4.4 Vliv geometrie zástavby na cirkulaci vzduchu

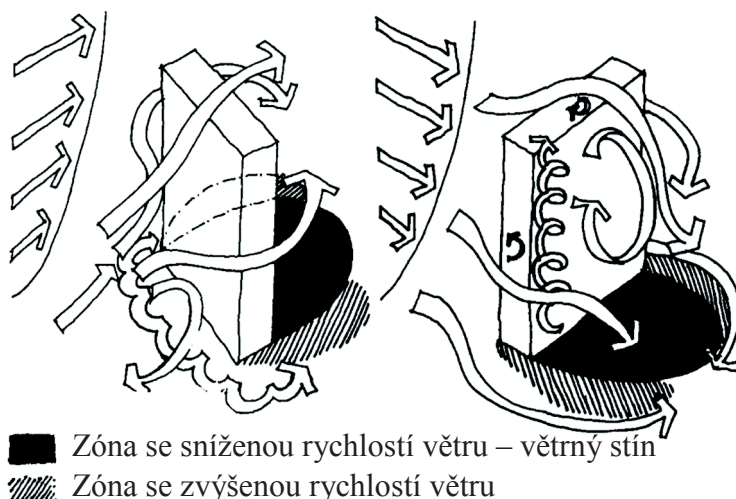
Existuje přímá vazba mezi úrovní znečištění ovzduší, tvarem zástavby a stupněm cirkulace vzduchu. Při nízké cirkulaci vzduchu je nízká možnost rozptýlení znečištěných látek a tím se zvyšuje znečištění ovzduší v ulici.

Vzájemné působení proměnných jednotlivých měřítek, způsobuje velké rozdíly v míře cirkulace vzduchu v rámci města:

- Regionální počasí  
 Celkový směr a rychlost větru v mezoměřítku, výskyt stacionárních oblastí s vysokým tlakem jsou určovány regionálním klimatem.
- Makroklima  
 Fyziografický kontext města a jeho celková podoba modifikují regionální klima, které se projevují celoměstsky a lokálně.
- Mikroklima  
 Geometrie jednotlivých budov ovlivňují směr a rychlost větru na dané místě, lokálně.

#### 4.4.1 Obtékání vzduchu kolem izolované překážky

Rychlost a směr větru se mění, když obtéká kolem překážky, čímž se vytváří stoupavé, klesavé a vířivé víry, zóny se zvýšenou rychlostí větru a zóny se sníženou rychlostí větru (tzv. větrný stín) viz obr. 4.5. Tvar překážek, jejich hustota a natočení vzhledem ke směru větru ovlivňuje proudění vzduchu kolem nich. [17]

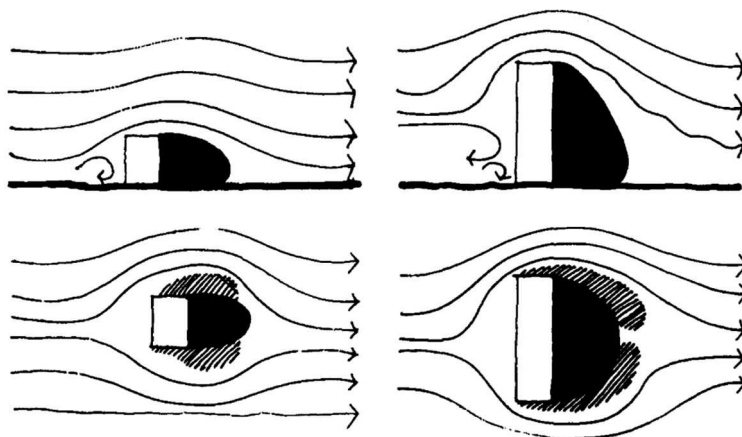


Obr. 4.5 Větrný stín [17]

Průtok vzduchu okolo izolované překážky (např. budovy, stěny) ve vodorovné rovině se řídí základními fyzikálními zákonitostmi. Přestože se taková situace ve městě vyskytuje zřídka, je velmi důležité chápat tyto věci na základní úrovni. Proudnice vzduchu jsou ovlivněny:

- Rozměrem

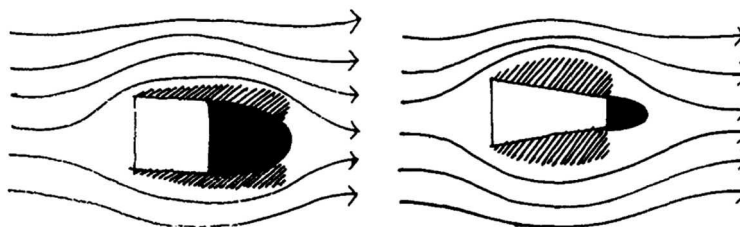
Výška, šířka a délka ovlivňují velikost větrného stínu na úrovni země a objem vzduchu v něm. Čím vyšší a širší budova je, tím větší je větrný stín, který způsobuje. Pevná obdélníková překážka způsobuje větrný stín přibližně čtyřnásobně větší, než je její výška.



*Obr. 4.6 Rozměry izolovaného objektu [17]*

- Tvarem

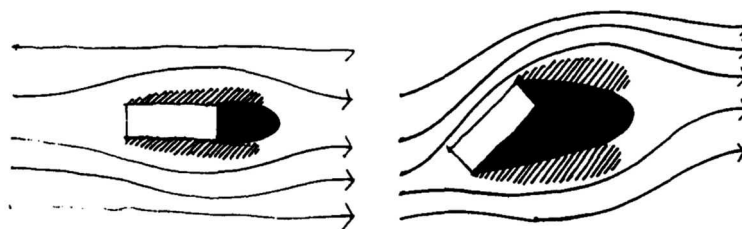
Půdorysný tvar i tvar z profilu značně ovlivňují velikost větrného stínu. Například Překážka pyramidálního tvaru má tendenci vytvářet menší větrný stín, a menší vírový efekt než pravoúhlý tvar.



*Obr. 4.7 Tvar izolovaného objektu [17]*

- Orientace

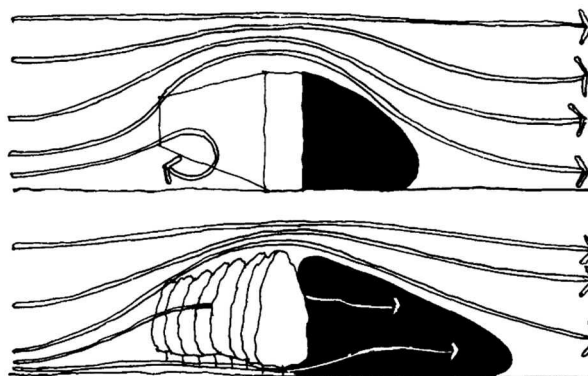
Natočení překážky vůči směru větru.



Obr. 4.8 Orientace izolovaného objektu [17]

- Prodouváním překážky

Neboli profukování překážky. Čím méně porézní překážka je, tím výrazněji dochází k větrnému stínu. Poloprodouvaná překážka tvoří větrný stín, který je méně výrazný, nicméně efektivnější a umožňuje určitou cirkulaci vzduchu.

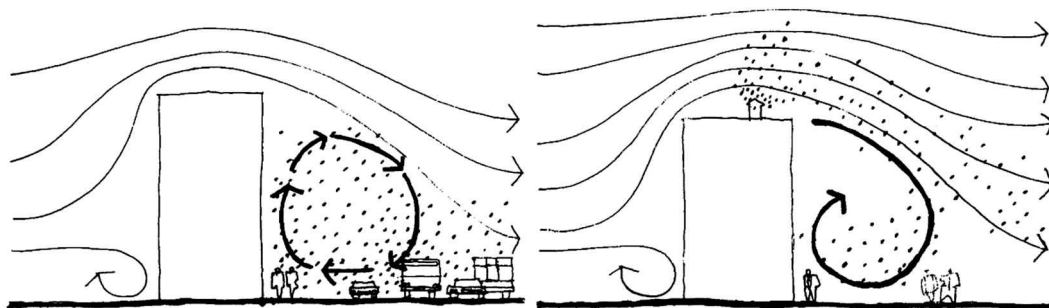


Obr. 4.9 Prodouvání izolovaného objektu [17]

- Drsností povrchu

Velká drsnost fasády a její bohaté členění může zpomalit proudění vzduchu při zvýšeném tření.

Tyto aspekty mají vliv na snížení cirkulace vzduchu a znečištěné látky mají tendenci se zdržovat ve větrném stínu, kde vzrůstá koncentrace těchto látek. Větrné stíny jak jednotlivých budov, tak městských oblastí lze identifikovat měřítkovým modelem ve větrném tunelu, nebo numerickým modelem simulací. Ve větrném stínu se nezdržuje jen znečištění od dopravy, ale také může docházet ke stahování kouře od komínu budovy až na úroveň uličního prostoru.



Obr 4.10 Znečištění ve větrném stínu

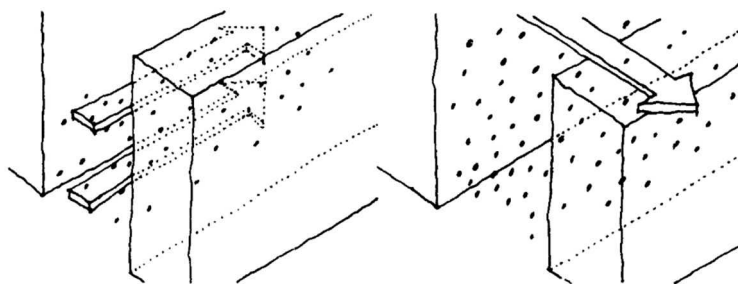
#### 4.4.2 Proudění větru v uličním koridoru

Stejné principy, které ovlivňují tok cirkulace vzduchu kolem izolované překážky, se vztahují také na uliční koridor. Tvar koridoru, jeho pórovitost, a orientace ke směru větru mají velký vliv na proudění vzduchu v něm. [17]

Proměnné, které ovlivňují formu cirkulace vzduchu v uličním koridoru, jsou stejné jako proměnné, které ovlivňují tok vzduchu kolem izolované překážky:

- Orientace

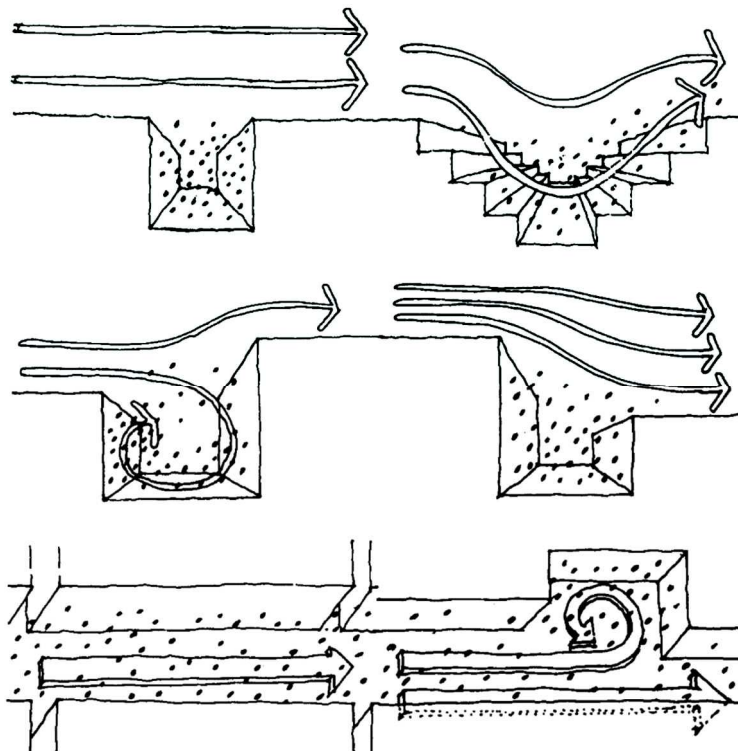
Ve vztahu ke směru větru.



Obr. 4.11 Orientace uličního koridoru [17]

- Tvar

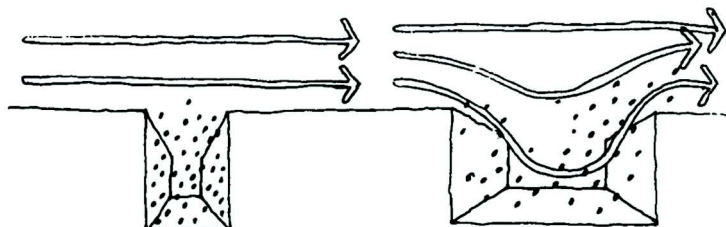
Půdorys i profil. V uličních koridorech s pravouhlým průřezem orientovaným kolmo ke směru větru se znečišťující látky budou hromadit ke straně, od které fouká vítr.



Obr. 4.12 Tvar uličního koridoru [17]

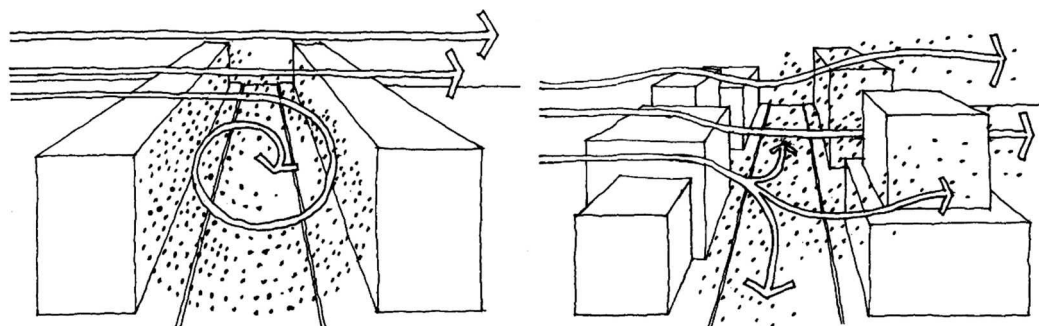
- Rozměry

Výška, šířka a délka uličního koridoru.



Obr. 4.13 Rozměry uličního koridoru [17]

- Pórovitost  
Rozměry a umístění otvorů, včetně náměstích a protínajících se ulic.
- Drsnost povrchu  
Výšky a tvary budov vůči sobě navzájem. Čím více náhlých změn ve výškách budov a více volných prostorů v něm, tím hrubší je povrch a tím větší možnost vznik turbulence.  
Uliční koridory lemované budovami o stejné výšce mají tendenci mít horší vzdušnou cirkulaci než uliční koridory s různou výškou budov nebo s otevřenými plochami.



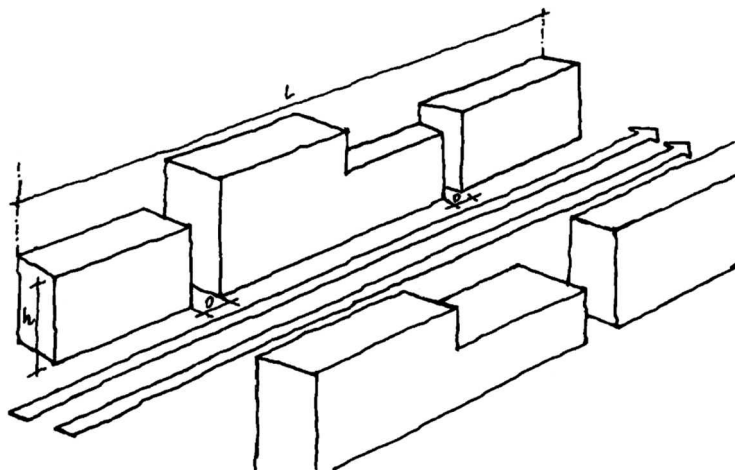
Obr. 4.14 Lemování uličního koridoru [17]

Varianty těchto proměnných vytváření následující efekty proudění vzduchu v uličním koridoru:

- koridorový efekt (channelization effect)
- Venturiho efekt (Venturi effect)
- vírový efekt (bar effect)

### **Koridorový efekt**

Vítr je usměrňován uličním koridorem orientovaný paralelně ke směru větru. Tento druh efektu je ideální pro čištění ulice od znečišťujících látek, nicméně může vést k nepohodlí chodců při vysoké rychlosti větru. Výskyt tohoto efektu ovlivňuje rychlost větru, celková délka koridoru a průměrná šířka a výška ulice. [17]

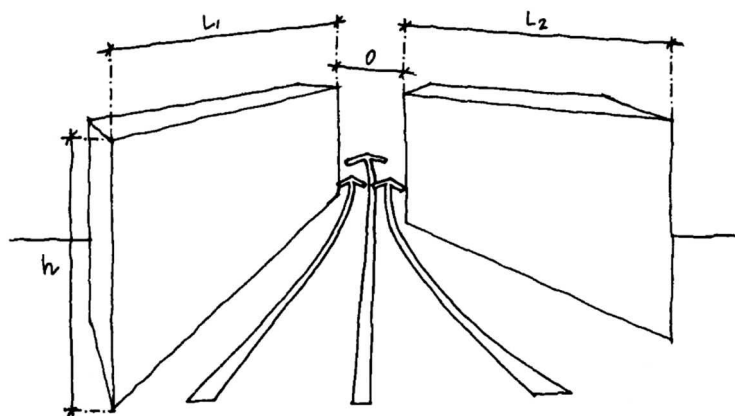


Obr. 4.15 Koridorový efekt [17]

( $h > 6 \text{ m}$ , šířka  $< 2 h$ , celková šířka otvorů  $< 5 \% L$ , směr větru je rovnoběžný s koridorem)

### Venturiho efekt

Rychlost větru se zrychluje, když vítr proudí zúženým místem nebo otvorem. Při kombinaci s koridorovým efektem může být vysoká rychlost zachována v celém uličním prostoru. Tento efekt může vést k rozptýlení znečišťujících látek, ale je také nepříjemný pro pohodlí chodců v uličním prostoru. Venturiho efekt je závislý na celkové délce zúženého místa, průměrné výšce koridoru a šířce průlomu. [17]

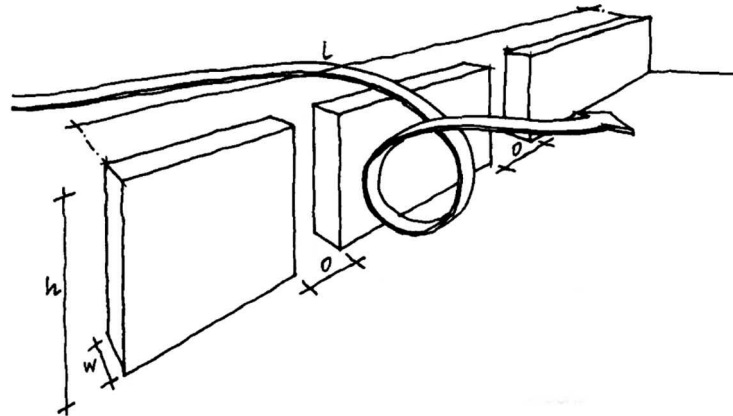


Obr. 4.16 Venturiho efekt [17]

( $h > 15 \text{ m}$ ,  $L1 + L2 > 100 \text{ m}$ ,  $0,5 h < O < 4 h$ )

## Vírový efekt

Když vzduch proudí přes uliční koridor pod úhlem 45 stupňů, může se na závětrné straně v úplavu objevit zvýšení rychlosti větru. Vírový efekt je závislý délce a výšce koridoru, šířce objektů a velikosti průlomů mezi domy. [17]



Obr. 4.17 Vírový efekt [17]

( $h < 25 \text{ m}$ ,  $O < h$ ,  $L > 8 h$ , úhel větru =  $45^\circ$ )

Proměnné, které taktéž ovlivňují směr pohybu vzduchu v uličním koridoru: [17]

- Orientace, rozměry, tvary a pórovitost překážek proti větru (např. budovy, zdi, kopce, lesy)
- Orientace, rozměry a kontinuita otevřených prostor (např. ulice, parky, parkovací plochy)

Názorným příkladem může být město Brno, které má hustotu zalidnění okolo 1 650 obyv./km<sup>2</sup>. Ulice Veveří v centru Brna má šířku cca 18 m a výšku cca 16 m. V této geometrii může docházet ke koridorovému efektu, na druhou stranu kvůli malé pórovitosti koridoru zde nemusí být zajištěna dostatečná cirkulace vzduchu. Záleží na převládajícím směru větru.



*Obr. 4.18 Brno ulice Veverí [18]*

Městská část Brno-Bystrc je typická svými bytovými domy které nejsou v kompaktní zástavbě. Může zde docházet ke vzniku vírového efektu, který je pro pobyt nepříjemný.



*Obr. 4.19 Brno Bystrc [18]*

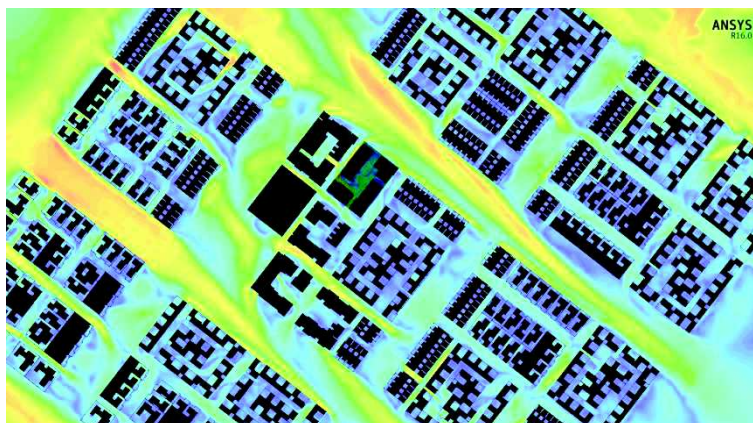
## **4.5 Použití moderních technologií**

Vzhledem k náročným a rozsáhlým výpočtům je vhodné využít simulační programy např. Ansys Fluent, Flow Design, SolidWorks Flow Simulation nebo Project Falcon.

Numerické simulace proudění vzduchu pomocí CFD (Computational Fluid Dynamics) vycházejí z fyzikálního popisu pohybu tekutin, který je dán základními zákony: zákon

zachování hmoty, hybnosti a energie. Ty lze vyjádřit matematicky pomocí rovnice kontinuity, rovnice přenosu hybnosti a rovnice přenosu energie. Získáme tak soustavu nelineárních parciálních diferenciálních rovnic. Tato soustava je ještě doplněna o konstrukční vztahy, které popisují termodynamické vlastnosti proudění tekutiny nebo vzduchu. V případě turbulentního proudění jsou jednotlivé členy rozděleny na střední hmotu a okamžitou flukтуаční složku. Tím se v soustavě rovnic objeví další neznámé (korelace fluktuací tlaku a rychlosti). Takovéto rovnice mají označení RANS (Reynolds–Average Navier–Stokes). Řešení turbulentního proudění je složité samo o sobě, protože se v proudění vyskytují vírové struktury různých velikostí. Existuje několik metod řešení, kromě výpočtů rovnicemi RANS s turbulentními modely je k dispozici metoda LES (Large Eddy Simulation), metoda DES (Detached Eddy Simulation) nebo metoda DNS (přímá numerická simulace). [19]

Díky těmto simulacím jsme schopni identifikovat kritická místa projektu a lze vytvořit optimální řešení, ještě ve fázi architektonické studie. Na obrázku 4.20 můžeme vidět ukázkou simulace městské zástavby pomocí programu Ansys Fluent.



*Obr. 4.20 Ansys CFD, průtokové pole skrz městské prostředí [20]*

## **4.6 Klimatické oblasti**

Díky využití klimatických informací a výsledků studií městských klimat, jsme schopni identifikovat klimatické potřeby měst ve sledované oblasti. Hlavní požadavky pro

zmírnění negativních dopadů městského klimatu jsou ve stručnosti popsány podle klimatického pásma. [21] [22]

*V teplých oblastech* s vlhkým počasím je nutné redukovat solární záření a vznik UHI. Proudění vzduchu by mělo být maximalizováno a povodňová rizika minimalizována. V horských suchých oblastech by měli být přijaty opatření ke snížení solárních zisků, vznik UHI a vytvořit podmínky pro vypařování vody, s cílem podpořit chlazení (zelené plochy jsou účinné, jen když jsou dobře zavlažovány) a minimalizovat vystavení větru.

*V chladném podnebí* je vznik UHI pozitivní prvek, protože přispívá k úsporám energie na vytápění a zvyšuje pohodlí lidí na ulicích, na úkor toho, že vzniknou negativní důsledky (zvýšené znečištění ovzduší). V tomto případě je nezbytné maximalizovat solární zisky, minimalizovat vystavení budov větru a zabránit hromadění sněhu.

*V oblastech s kontrastními tepelnými sezónami* je UHI pozitivní i negativní vlastnost. UHI může být pozitivní v zimním období, ale ohrožuje lidské zdraví a pohodlí v letním období. Z ekonomického hlediska úspory energie v zimě jsou méně důležité než dodatečné náklady při chlazení města v létě. Vyšší teploty mají další negativní důsledky jako je: znečištění oxidy, množení bakterií atd. V důsledku toho, se v některých městech (Los Angeles, Atény) zavádí rady a směrnice pro zmírňování městského tepelného ostrova. Nicméně neexistuje univerzální směrnice, a proto se tyto směrnice a rady vypracovávají pro každé město samostatně.

## **4.7 Strategické plánování**

### **4.7.1 Celková strategie**

Dalším krokem je využití klimatických znalostí při navrhování a plánování v různých prostorových měřítkách a výběr plánovacích strategií pro lepší kvalitu klimatu (obr. 4.1, bod 5).

Zmírnění UHI lze dosáhnout například změnou povrchových vlastností materiálů, změnou geometrií ulic (zvýšení Sky-view faktoru), kdykoliv je to možné snížení hustoty budov, integrace vodních ploch nebo zelených ploch. [23] Uvádí se, že v parku o rozloze 8 ha je v průměru o 1–3 °C chladněji než v okolních ulicích. Nejčastěji vliv

chladnějšího vzduchu v parku nemá vliv na okolí, pokud typografická aktivita nepomáhá odvádět studený vzduch z parku do okolních městských částí. Není však jisté, jestli několik malých městských zelených ploch je účinnější při chlazení městského ovzduší, než jeden velký městský park.

Proudění větru lze řídit dvěma různými způsoby. V některých městských oblastech nebo ulicích, kde je poměr mezi výškou budov a šířkou ulice (H/W faktor) velký, musí být vytvořena ochrana před silným větrem. Ale ve většině případů se rychlost větru zpomaluje díky městské drsnosti. Je třeba přijmout opatření k vytvoření otevřených cest po celém městě za účelem dobrého větrání. Krajina, nebo u přímořských měst také mořský vánek, je někdy velmi pozitivní faktor, který zlepšuje kvalitu ovzduší ve městě, ale mořský vánek může v některých případech také zvýšit znečištění. [15] Pokud jsou pro určitou oblast navrženy nové městské části, je možné pomocí numerických nebo měřítkových modelů předurčit místa, kde bude rychlost větru příliš silná, a původní plán výstavby pak může být změněn.

Dalším problémem je, jak podporovat kvalitu ovzduší ve městech. Není to jen klimatický problém a značně závisí na emisích, které jsou regulovány zákonem a mají řadu zdrojů, jako je vytápění domů, průmyslové činnosti a emise z vozidel. Kvalitu ovzduší lze zlepšit snížením emisí a vytvořením větracích linií.

#### **4.7.2 Strategie přizpůsobené případovým studiím**

V této fázi je možné zvolit strategie plánování přizpůsobené konkrétnímu městu (obr. 4.1, bod 6), přičemž se použije výsledek výzkumu provedeného v bodě 3 (obr. 4.1) založený na klimatických údajích a na různých modelových strategiích a s ohledem na zvláštní potřeby klimatické zóny, ve které se město nachází. (obr. 4.1, bod 4).

V roce 1984 T. R. Oke napsal, že jen malá část znalostí o klimatických podmínkách pronikla k urbanistům kvůli „vlastnímu složitosti předmětu, jejím mezioborovým vlastnostem a nedostatečnému smysluplnému dialogu mezi projektantem a klimatologickým výzkumem“. Od té doby bylo jen málo článků, které ukázali, že bylo učiněno několik kroků k zavedení klimatických zásad do územního plánování. Například v roce 1988 profesor Arie Bitan navrhl metodiku, která by projektantům

i architektům umožnila integrovat klimatické informace na všech úrovních plánování, od plánování městských sídel, až po návrh vlastních budov. [24] Metodika je seskupena ve vývojovém diagramu rozděleném do pěti hlavních stupňů, z nichž tři zahrnují získávání a zpracování klimatických dat. Ve stejném roce L. R. Zrudlo představil klimatický přístup k územnímu plánování v Arktidě, kde byla provedena případová studie o osadě dřevěných domů Inuitů, která postavila kanadská vláda u Hudsonova zálivu. Zjistil, že *slunce, vítr a sníh* jsou hlavními stresory v této oblasti. Konečný plán bere v úvahu nejen individuální plány vypracované oddělené pro každý klimatický prvek, ale také konflikty, které mezi nimi vznikají. Na závěr byl vytvořen souhrnný plán, který nabízí maximální výhodu pro sluneční energii, ochranu před větrem a minimalizace vzniku sněhových závějí. To pak má za důsledek k efektivnímu fungování osady a k celkové pohodě obyvatel, jak fyzické, tak psychické. [25]

Několik klimatických analýz o územním plánování bylo provedeno v Německu již od roku 1970. První ve velmi hustě obydlené oblasti Porúří na západě Německa, následoval projekt o městském klimatu v Bavorsku (několik měst v jižním Německu v 80. letech), následované mnoha dalšími, včetně projektů STUTTGART21 a BERLIOZ o Berlíně. Ve většině těchto prací jsou prezentovány *mapy umělého klimatu* a mapy obsahující pokyny pro plánování. *Klimatická příručka pro rozvoj měst* poskytuje velmi užitečný nástroj pro plánování podobných městských studií o klimatu.

V oblasti Rakouska ve Štýrském Hradci (Grazu) jsou hlavními klimatickými problémy opačné podmínky, nízká ventilace, mlha a vysoká úroveň znečištění. V roce 1999 R. Lazar a A. Podesser zveřejnili podrobné mapy oblastí, které jsou stále pro stavby *zakázané* nebo *omezené*. [10]

## 5 Důsledky požívání klimatických směrnic v městském plánování

### 5.1 Přínosy z hlediska pohodlí a zdraví obyvatel města

Existují mnoho pozitivních důsledků pro městské obyvatele, včetně klimatických doporučení pro městské plánování, budeme ale hodnotit pouze jejich vliv na tepelnou pohodu. Lidský komfort jako takový se mění velmi prostorově a časově, a je to velmi subjektivní parametr. Bylo však provedeno několik způsobů, jak vyčíslit reakci lidského těla při hledání komfortní zóny. V současnosti existují více populární tepelné indexy s fyziologickým významem, protože jsou odvozeny z bilance lidské energie. [26] Jedním z nich je fyziologicky ekvivalentní teplota – PET<sup>7</sup>. Je systematicky používán při plánování v Německu a je aplikován při hodnocení různých tepelných prostředí, jako je UHI v městech. Nejvyšší hodnoty PET se obvykle vyskytují v jádře UHI a rozdíly PET mezi předměstím a centrem města jsou dokonce větší než intenzita UHI. To znamená, že změny tepelného prostředí v důsledku různých plánovacích opatření můžeme vyčíslit pomocí PET a zmírnění UHI povede ke snížení tepelného namáhání lidského těla a tím ke snížení chorobnosti a úmrtí.

Tab. 5.1 PET [27]

PET	Teplotní pocit	Stupeň fyziologického stresu
4	Velká zima	Extrémní chladný stres
8	Zima	Silný chladný stres
13	Chladno	Mírný chladný stres
18	Mírné chladno	Nepatrný chladný stres
23	Příjemný	Žádný stres
29	Mírné teplo	Nepatrný horký stres
35	Teplo	Mírný horký stres
41	Horko	Silný horký stres
	Velké horko	Extrémní horký stres

<sup>7</sup> PET – Physiological Equivalent Temperature, Fyziologicky ekvivalentní teplota

## **5.2 Ekonomické výhody pro obyvatelé města**

Podle T. R. Oke (2006) je několik případů, které ilustrují pozitivní nebo negativní dopad projektu inspirovaných nebo informovaných městským klimatem. Platí to obzvláště, pokud jde o ekonomické přínosy. Dosud nebyla přijata společná metodika pro výpočet nákladů a užitků městského klimatu, zejména UHI. Některé projekty uvádějí hodnoty, které dokazují, že úspora energie v zimním období je nižší než přebytek nákladů na klimatizaci v letním období. Na druhou stranu klimatizační systémy představují nežádoucí přídavné tepelné zatížení městské atmosféry. [10]

## 6 Závěr

Zajištění zdravého a příjemného místa pro bydlení a pobyt ve městech je složitý. Vyžaduje pochopení jak městského klimatu, tak klimatu v makroměřítku. Věda, která se zabývá klimatem v makroměřítku se nazývá meteorologie, z ní jsme schopni používat informace a potřebná vstupní data pro rozsáhlé výpočty v lokálním měřítku městské zástavby. Tyto poznatky můžeme využívat při hodnocení stávající zástavby, kde díky vlivu městské geometrie dochází k nedostatečné cirkulaci vzduchu, nebo vytváření nevhodných proudících efektů. Navrhnutím správného místního opatření, lze zlepšit jak kvalitu vzduchu, tak snížit pocitovou i reálnou teplotu.

Hodnocení místního klimatu by mělo být součástí projektů navrhujících nové územní celky měst. Nemělo by docházet k vytváření nevhodných míst a efektů, které by byly nepříjemné pro pobyt a docházelo by ke zhoršování místního klimatu v celém městě. Na druhou stranu bychom měli zabezpečit dostatečnou cirkulaci vzduchu a tím se vyvarovat vzniku oblastí se znečištěným vzduchem. S pomocí výpočetní techniky a vhodných simulačních programů poměrně snadno identifikujeme kritická místa a jsme schopni tyto místa eliminovat navrhnutím optimálního řešení.

Dále bychom se měli zabývat aspekty, které mají dopad na místní klima, aby nedocházelo k nadbytečnému odvodňování a zpevňování rozsáhlých ploch (parkovišť, účelových cest a širokých chodníků atd.), absence zeleně a vodních ploch. Neměli bychom nadměrně snižovat tepelnou kapacitu ploch, ale využívat jiných způsobů zpevnění a preferovat zasakování dešťové vody do zeminy před odvedením do kanalizace.

Splněním všech výše popsaných kritérií jsme schopni zajistit jak kvalitní městské klima, tak i funkčních, příjemných, a hlavně zdravých míst pro život ve městě.

## 7 Citovaná literatura

- [1] MILLS, G. Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology* [online]. 2006, **84**(1-3), 69-76 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1007/s00704-005-0145-0. ISSN 0177798x. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-005-0145-0>
- [2] FEHRENBACH, Ute, Dieter SCHERER a Eberhard PARLOW. Automated classification of planning objectives for the consideration of climate and air quality in urban and regional planning for the example of the region of Basel/Switzerland. *Atmospheric Environment* [online]. 2001, **35**(32), 5605-5615 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1016/S1352-2310(01)00205-9. ISSN 13522310. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1352231001002059>
- [3] BARTLETT, Stuart a Seth BULLOCK. Natural convection of a two-dimensional Boussinesq fluid does not maximize entropy production. *Physical Review E* [online]. 2014, **90**(2), - [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.1103/PhysRevE.90.023014. ISSN 15393755. Dostupné z: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.90.023014>
- [4] AUCKLAND CITY COUNCIL, . *Stormwater* [online]. Auckland: Auckland City Council, 2010 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.aucklandcity.govt.nz/council/services/stormwater/about.asp>
- [5] TYWONIAK, Jan a Zbyněk SVOBODA. Nové znění ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky. *Materiály pro stavbu*. Praha : Springer Media: Business Media CZ, 2011, **17**(9), 44-46. ISSN 12130311.
- [6] CIHELKA, Jaromír. *Vytápění a větrání*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1975.
- [7] GRIMMOND, C. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology* [online]. 2006, **84**(1-3), 3-22 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1007/s00704-005-0140-5. ISSN 0177798x. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-005-0140-5>

- [8] OKE, T. *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*. 81. Canada: World Meteorological Organization, 2004. ISBN -.
- [9] ALCOFORADO, M.-J. a H. ANDRADE. Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology* [online]. 2006, **84**(1-3), 151-159 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1007/s00704-005-0152-1. ISSN 0177798x. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-005-0152-1>
- [10] ALCOFORADO, Maria. Planning procedures towards high climatic quality cities. Example referring to Lisbon. *Finisterra* [online]. 2012, **41**(82), - [cit. 2017-04-28]. DOI: 10.18055/Finis1449. ISSN 04305027. Dostupné z: <http://revistas.rcaap.pt/finisterra/article/view/1449>
- [11] OKE, T. Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology* [online]. 2006, **84**(1-3), 179-190 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1007/s00704-005-0153-0. ISSN 0177798x. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-005-0153-0>
- [12] EDITED BY MASATOSHI YOSHINO, , Manfred DOMRÖS, Annick DOUGUÉDROIT, Janusz PASZYŃSKI a LAWRENCE C. NKEMDIRIM. *Climates and Societies -- A Climatological Perspective A Contribution on Global Change and Related Problems Prepared by the Commission on Climatology of the International Geographical Union*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1997. ISBN 9789401710558.
- [13] BATCHVAROVA, E. a S.-E. GRYNING. Progress in urban dispersion studies. *Theoretical and Applied Climatology* [online]. 2006, **84**(1-3), 57-67 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1007/s00704-005-0144-1. ISSN 0177798x. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00704-005-0144-1>
- [14] ROSENFELD, Arthur, Hashem AKBARI, Sarah BRETZ, Beth FISHMAN, Dan KURN, David SAILOR a Haider TAHA. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings* [online]. 1995, **22**(3), 255-265 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1016/0378-7788(95)00927-P. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/037877889500927P>

- [15] OKE, T.R. *Boundary layer climates*. 2nd ed. London: Routledge, 1987. ISBN 9780415043199.
- [16] ROBERTS, Sarah, T. OKE, C. GRIMMOND a J. VOOGT. Comparison of Four Methods to Estimate Urban Heat Storage. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* [online]. 2006, **45**(12), 1766-1781 [cit. 2017-05-11]. DOI: 10.1175/JAM2432.1. ISSN 15588424. Dostupné z: <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JAM2432.1>
- [17] SPIRN, Anne. *Air quality at street-level: strategies for urban design*. Boston: Boston Redevelopment Authority, 1986.
- [18] *Google Earth*. b.r.
- [19] SOUČKOVÁ, N., P. KOLÁŘ a A. TUČEK. *Simulace proudění tekutin pomocí CFD* [online]. b.r. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.cad.cz/strojirenstvi/38-strojirenstvi/3604-simulace-proudeni-tekutin-pomoci-cfd.html>
- [20] *Computational Fluid Dynamics blog* [online]. b.r. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <https://www.computationalfluidynamics.com.au/exciting-advances-in-wind-engineering-using-ansys-cfd/>
- [21] GIVONI, Baruch. *Climate considerations in building and urban design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998. ISBN 9780471291770.
- [22] ALCOFORADO, M.-J. a A. MATZARAKIS. *Urban climate and planning in different climate zones* [online]. 2010, , 43 [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: [http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/Geographicalia\\_2010\\_Alcoforado\\_Matzarakis.pdf](http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/Geographicalia_2010_Alcoforado_Matzarakis.pdf)
- [23] EMMANUEL, R. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment* [online]. 2005, **40**(12), 1591-1601 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.12.004. ISSN 03601323. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132304003750>

- [24] BITAN, A. The methodology of applied climatology in planning and building. *Energy and Buildings* [online]. 1988, **11**(1-3), 1-10 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1016/0378-7788(88)90018-7. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0378778888900187>
- [25] ZRUDLO, Leo. A climatic approach to town planning in the Arctic. *Energy and Buildings* [online]. 1988, **11**(1-3), 41-63 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1016/0378-7788(88)90022-9. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0378778888900229>
- [26] HÖPPE, P. Heat balance modelling. *Experientia* [online]. 1993, **49**(9), 741-746 [cit. 2017-04-27]. DOI: 10.1007/BF01923542. ISSN 00144754. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF01923542>
- [27] MATZARAKIS, Andreas, Helmut MAYER a Moses IZIOMON. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* [online]. 1999. Dostupné také z: [http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/pet\\_aplication.pdf](http://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/pet_aplication.pdf)

## 8 Seznam použitých zkratek a symbolů

### 8.1 Zkratky

CFD	Computational Fluid Dynamics
DES	Detached Eddy Simulation
DNS	Direct Numerical Simulation
EU	Evropská unie
LES	Large Eddy Simulation
PET	Physiological Equivalent Temperature
RANS	Reynolds–Average Navier–Stokes
SVF	Sky-View Factor
UHI	Urban Heat Island
VUT	Vysoké učení technické
WMO	World Meteorological Organization

### 8.2 Symboly

$c$	měrná tepelná kapacita
$c_a$	měrná tepelná kapacita asfaltu
$c_c$	měrná tepelná kapacita betonu
$c_s$	měrná tepelná kapacita oceli
$c_o$	měrná tepelná kapacita omítky
$c_w$	měrná tepelná kapacita vody
$\Delta A$	bilance advehované vlhkost
$\Delta S$	změna akumulované vody
$\Delta t$	rozdíl teplot látek
$\Delta Q_A$	bilance horizontálního přesunu tepla
$\Delta Q_S$	změna entalpie objemu
$E$	evapotranspirace
$F$	ztráty vodní páry a antropogenní činnosti
$G_H$	turbulentní tok zjevného tepla

$h$	výška koridoru
$I$	umělý zdroj vody
$L$	délka koridoru
$m$	hmotnost
$o$	šířka otvoru koridoru
$P$	atmosférické srážky
$Q$	energie
$Q_E$	turbulentní tok latentního tepla
$Q_F$	ztráty a antropogenní činnosti
$Q^*$	radiační bilance
$R$	odtok
$\rho$	hustota
$T$	teplota vzduchu
$T_{(WC)}$	pocitová teplota wind chill
$U$	součinitel prostupu tepla
$U_{N,20}$	požadované hodnoty součinitele prostupu tepla
$U_{rec,20}$	doporučení hodnoty součinitele prostupu tepla
$U_{rec,20}$	doporučení hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy
$v$	rychlost větru
$V$	objem
$z_d$	posun hladiny nulové rychlosti větru
$z_H$	průměrná výška prvků městského povrchu
$z_r$	horní hranice měření turbulentních toků