

URBÁNNÍ
FORMA
A
FRAKTÁLNÍ
USPOŘÁDÁNÍ
MĚSTA

MICHAL DVOŘÁK

teze

TEZE - ZKRÁCENÁ VERZE DISERTAČNÍ PRÁCE

URBÁNNÍ FORMA A FRAKTÁLNÍ USPOŘÁDÁNÍ MĚSTA

ÚNOR 2021

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ARCHITEKTURY

15129 ÚSTAV NAVRHOVÁNÍ III

ARCHITEKTURA A URBANISMUS

doktorský studijní program

URBANISMUS A ÚZEMNÍ PLÁNOVÁNÍ

studijní obor

ING. ARCH. JAN SEDLÁK

školitel

ING. ARCH. MICHAL DVOŘÁK

autor

Disertační práce byla vypracována v kombinované formě doktorského studia na Ústavu navrhování III FA ČVUT v Praze.

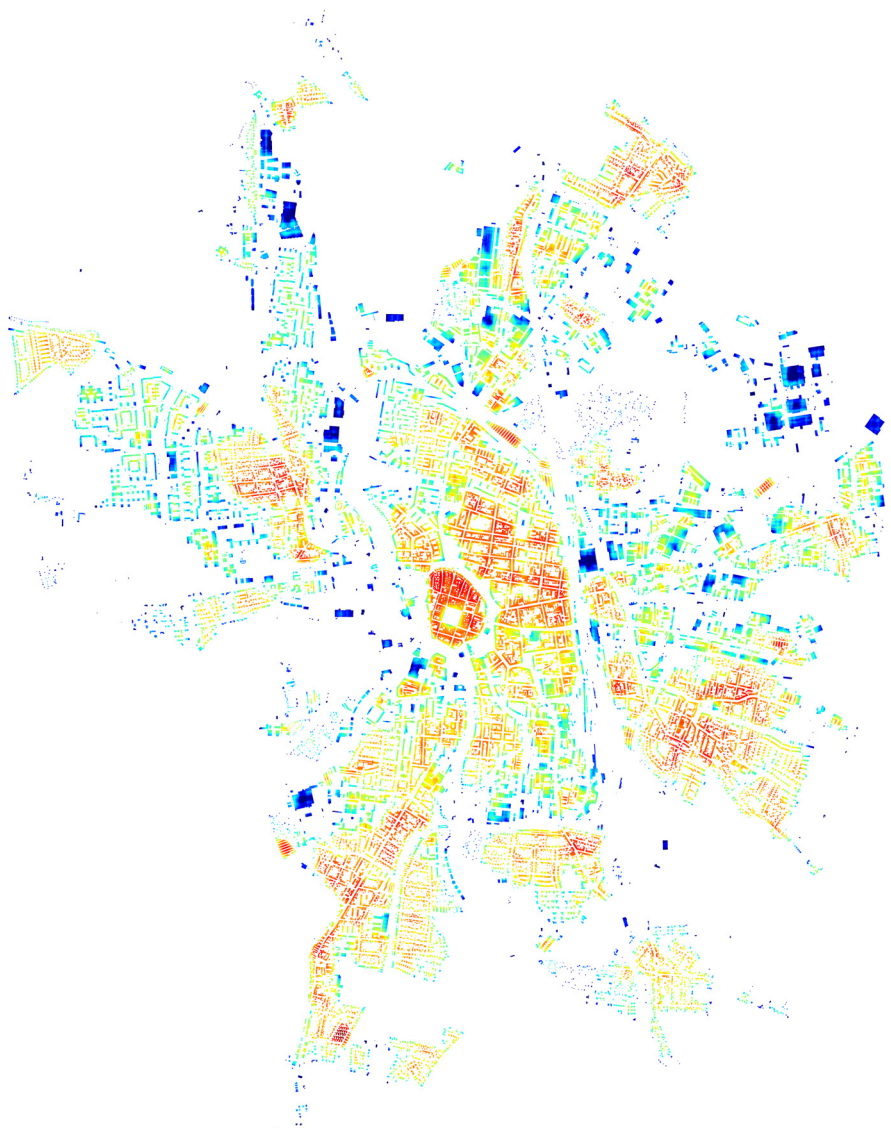
Doktorand: Ing. arch. Michal Dvořák
Školitel: Ing. arch. Jan Sedlák
 Ústav navrhování III
 Fakulta architektury ČVUT
 Thákurova 9
 166 34 Praha 6

Oponenti:
.....
.....
.....

Teze byly rozeslány dne:

Obhajoba disertace se koná dne.....v.....hod. před komisí pro obhajobu disertační práce ve studijním oboru Urbanismus a územní plánování v zasedací místnosti č. Fakulty architektury ČVUT v Praze.

S disertací je možno se seznámit na děkanátu Fakulty architektury ČVUT v Praze, oddělení pro vědeckou a výzkumnou činnost, Thákurova 9, 166 34 Praha 6.



OBSAH TEZÍ

1	ÚVOD	8
2	CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY	10
2.1	CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE	10
2.2	VÝZKUMNÉ OTÁZKY A HYPOTÉZA	11
3	VYMEZENÍ VÝZKUMU	12
3.1	POZADÍ VÝZKUMU	12
3.2	ČÍM JE FRAKTÁL V URBANISMU?	18
3.3	ZKOUMANÁ MĚSTA	19
4	SKLADEBNOST MĚŘÍTEK	20
4.1	METODIKA	20
4.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	21
4.3	VYHODNOCENÍ PRVNÍ VÝZKUMNÉ OTÁZKY	24
5	FRAKTÁLNÍ DIMENZE	26
5.1	METODIKA	26
5.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	28
5.3	VYHODNOCENÍ DRUHÉ VÝZKUMNÉ OTÁZKY	31
6	ZÁVĚR	34
6.1	VYHODNOCENÍ HYPOTÉZY	34
6.2	VÝZNAM DISERTAČNÍ PRÁCE	35
6.3	PŘÍNOS PRO TEORII	36
6.4	PŘÍNOS PRO PRAXI	38
7	SUMMARY	41
8	POUŽITÁ LITERATURA	42
9	SEZNAM PRACÍ DOKTORANDA	44

1 ÚVOD

Města, která tvoříme k uspokojení našich potřeb, se vyvíjejí po staletí ve více a více komplexní systémy (de Roo a Rauws, 2012). A s tím, jak se postupně stávají komplexnějšími, v nich vyvstávají nové vlastnosti. Vlastnosti, které nelze odvodit od prvků daného systému (budov, prostor, lidí, zboží...), ale které se vynořují z procesů utváření města. Tyto vlastnosti má město jako celek, ne jako pouhý souhrn prvků (Barabási, 2007; Bar-Yam, 2003; Mitchell, 2011; Veverka, 2013).

Práce zkoumá urbánní strukturu zástavby a volného prostoru tak, jak se vynořuje ze vzájemného uspořádání budov a prostorů vůči sobě dohromady. Významnými kvalitami na úrovni celku města jsou hierarchie a bohatost měřítek jeho struktury. Nejblíže modelem této organizované bohatosti je v dnešní době matematický koncept fraktálu (Batty a Longley, 1994).

Fraktální uspořádání je klíčovým průvodním jevem komplexních struktur. V reálných strukturách se objevuje tam, kde se větší množství jednotlivin snaží dlouhodobě kontinuálně a efektivně vzájemně uspořádat při daných omezujících podmínkách (Sander, 2012). Tyto omezující podmínky ve městě mohou být např. prostorové, ekonomické, společenské atp. Tímto způsobem fyzická struktura města s postupem času tihne k fraktálnímu uspořádání tak, aby byla efektivní, co se týče zdrojů a vynaložené energie a aby vytvořila uspořádání, které je více adaptabilní a schopné dalšího růstu a rozvíjení svých měřítek v budoucnosti (Chen a Zhou, 2008; Bettencourt, 2010).

Disertační práce nahlíží na město jako na *celek* utvářený z *urbánních forem*. *Fraktálnímu uspořádání* města se práce věnuje z toho důvodu, že se jedná o potenciálně efektivní uspořádání, které lépe umožňuje interakce v rámci města, jeho růst, proměnu a nakládání s dostupnými zdroji a energií. Zároveň hovoří o vztahu měřítek zástavby a prostoru města k měřítku člověka - jeho obyvateli, uživateli a vztažnému měřítku.

Tato práce vznikla na Ústavu navrhování III na FA ČVUT v Praze pod vedením školitele Ing. arch. Jana Sedláka. Výchozím bodem výzkumu je zadání na téma: "Problematika vývoje domovního bloku z pohledu jeho uspořádání a urbanistické skladebnosti". A to jak vývoje historického domovního bloku, tak i vývoje po popření jeho kompaktní podoby v první polovině 20. století, spolu s nastolením otázky, jakou roli tyto urbánní formy hrají dnes. Hledáním odpovědí na tyto otázky jsem dospěl k poli věd o komplexních systémech.

Významným posunem ve směřování výzkumu bylo absolvování online kurzů na Santa Fe Institutu "Introduction to Complexity", "Introduction to Dynamical Systems and Chaos" a "Fractals and Scaling" v letech 2017 a 2018. Znalosti byly posléze uplatněny v řešení grantu studentské grantové soutěže SGS18/089/OHK1/1T/15 "Vývoj fraktální dimenze urbánní struktury českých měst" z roku 2018, příspěvku "Fractal evolution of our cities" na konferenci ENHR 2019 v Aténách a paperu "Fractal evolution of cities in the Czech Republic: Impact of modernist planning" pro časopis *Urban morphology* z roku 2020. Výše uvedené ve spolupráci s Ing. Jiřím Vyskočilem, který stojí za úpravou algoritmů pro zobrazení histogramu a odhadu fraktální dimenze mřížkovou metodou, použitých při vypracování této disertace.

Výzkum se soustředí na kombinaci poznatku urbánní morfologie a adaptování existujících analytických nástrojů - počítačových algoritmů, ke zjištění, jakým způsobem různé urbánní formy - od historického domovního bloku po modernistické otevřené formy zástavby, ovlivňují celkovou fraktální kvalitu konkrétního města v České Republice a jaké tendence na příkladech těchto měst můžeme sledovat. K tomu je vybráno dvanáct měst České republiky o velikosti 50 - 100 tisíc obyvatel.

Práce je určena zejména pro okruh odborné veřejnosti blízké architektuře, urbanismu a plánování. Samotné kapitoly týkající se dvou výzkumných otázek o analýze skladebnosti měřítek a fraktální dimenzi jsou určeny zejména těm, kteří se výzkumem na poli fraktálního chování měst hlouběji zabývají. Tyto části zpřesňují a rozvíjejí dosavadní poznání a slouží jako podklad pro další výzkum. Pro architektky a urbanisty, studenty i další, kteří se městy zabývají, jsou kromě shrnutí závěrů analýz přínosné zejména úvodní část o vymezení výzkumu a souvisejícím poznání a závěrečná část s přesahem do navazujícího výzkumu a praxe. Jednotlivé části jsou podrobně rozvedeny v samotné disertační práci.

2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY

2.1 CÍL DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce je **“rozšířit poznání o vztahu urbánní formy a fraktálního uspořádání vystavěné struktury města.”**

Smyslem tohoto výzkumu je navázat a rozšířit existující poznání na poli fraktálního uspořádání měst. Výzkum má ověřit teze urbánní morfologie týkající se vztahu historických a modernistických urbánních forem pomocí metod z geoinformatiky a fraktální geometrie a rozšířit existující výzkum směrem k roli urbánní formy v celku a vztahu zástavby a volného prostoru.

Smyslem výzkumu je také spojit dva pohledy na město a hledat přidanou hodnotu tohoto spojení. První pohled je více empirický, až intuitivní, a je spojený s mou praxí architekta a urbanisty. Vychází ze znalostí čtení města, jeho projevů, chování a vývoje. Je bližší prvnímu okruhu na pozadí výzkumu - urbánní morfologii. Druhý pohled je více pozitivistický a využívá matematických postupů a počítačových algoritmů schopných zpracovávat rozsáhlá dostupná digitální data. Toto pole má více redukcionistickou polohu a použité samo o sobě je pro praxi a reálný svět příliš abstraktní. Zde se pohybuje okruh výzkumu vycházející z fraktální geometrie a geoinformatiky.

Vzhledem k v dnešní době stále omezeným možnostem zkoumání komplexních struktur tato práce v závěrečné části stanovuje možné směřování dalšího výzkumu, včetně stanovení nových hypotéz a výzkumných otázek. Některé z nich není možné v současné době spolehlivě prokázat, případně jejich prokázání bylo nad rámec této disertační práce.

Samotné upravené nástroje a metody mohou sloužit pro další výzkum a analýzu existujících měst. K získávání informací o skladebnosti jejich měřítek zástavby a možném míře fraktálního uspořádání v konkrétních částech města i celkové kompozici tohoto uspořádání v rámci celku města, jakožto jedné z možných vrstev rozhodování o zásahu do tohoto celku. Vrstva zdůrazňující význam měřítko a vztahu prvků v rámci celku města.

2.2 VÝZKUMNÉ OTÁZKY A HYPOTÉZA

Disertační práce vychází z následující hypotézy:

"Modernistické plánování vede k utváření struktury zástavby a prostoru, která vykazuje nižší míru fraktálního uspořádání odvozeného od měřítka člověka."

Tato hypotéza přímo sleduje tezi, kterou představil Nikos Salingaros ve své práci *"Connecting the Fractal City"* (2003).

Práce sleduje dvě základní výzkumné otázky a aplikuje je na vybraná města České republiky. V první výzkumné otázce se zabývá tím, jaká měřítka budov se v daném městě nachází. Tedy, kolik a jak velkých budov tvoří vybrané město. Ze samotného rozložení měřítek v celku je totiž možné vysledovat fraktální chování. Lze zjistit, zda je posloupnost měřítek plynulá či zda některá měřítka ve městě chybí nebo přebývají.

První výzkumná otázka zní:

"Vykazuje skladebnost měřítek zástavby pre-modernistických měst vyšší míru fraktálního uspořádání?"

V druhé výzkumné otázce se zabývám způsobem, jakým jsou tyto jednotlivé budovy uspořádány v celku města s ohledem na míru jejich fraktálního uspořádání. Které urbánní formy dosahují vyšší míry fraktálního uspořádání a které tendence lze vysledovat v kontextu daného města. Zde je stávající výzkum v této práci rozšířen směrem k detailu urbánní formy - domovního bloku a otevřených modernistických forem zástavby, a dále kontinua volného prostoru, vzniklého z uspořádání těchto forem. Zohledněno je i měřítko času, které může mít vliv na míru fraktálního uspořádání od prvotního urbanistického zásahu přes postupný vývoj a proměny dané struktury až do její současné posuzované podoby.

Druhá výzkumná otázka zní:

"Jaký vliv má urbánní forma na hodnotu fraktální dimenze struktury zástavby a prostoru města?"

3 VYMEZENÍ VÝZKUMU

3.1 POZADÍ VÝZKUMU

Výzkum vychází ze dvou základních vědeckých okruhů - *urbánní morfologie* a *fraktální geometrie*, zejména jejího využití v geoinformaticce. První okruh slouží této práci ke stanovení relevantních jevů ke zkoumání a uvedení analyzovaných dat do urbánního kontextu, druhá pak nástroj a postupy k analýze těchto relevantních jevů. Co se týče zkoumaného fraktálního uspořádání, tyto okruhy ze sebe navzájem čerpají a doplňují se.

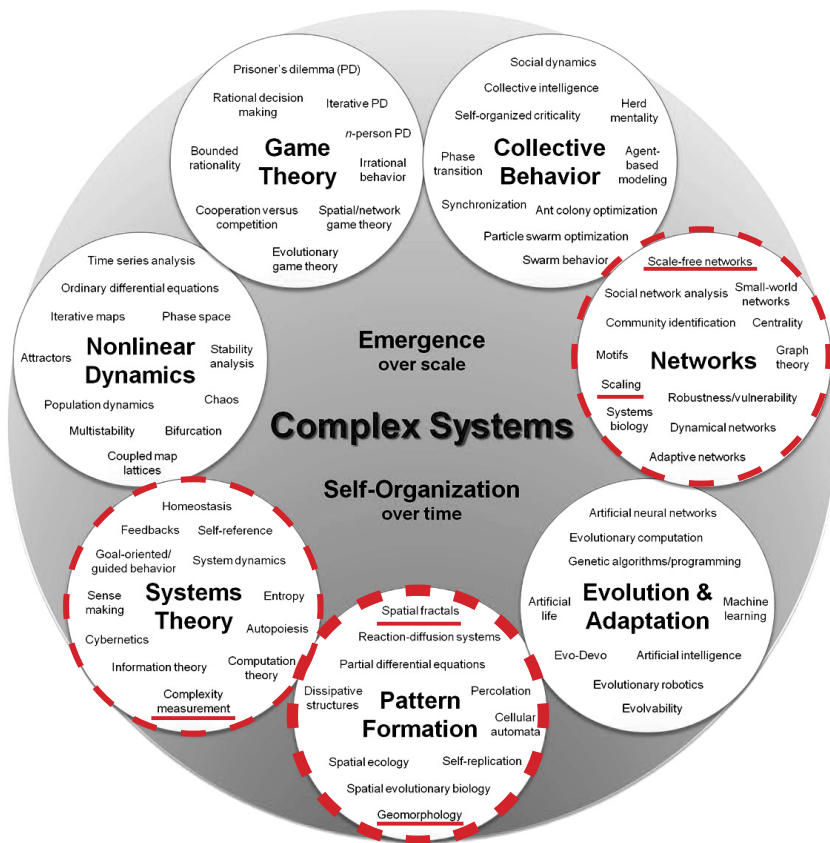
Oba okruhy spadají do širokého rámce vědeckých oborů zabývajících se komplexními systémy, jejich chováním a vlastnostmi. Tyto obory jsou v textu dále uvedeny pod názvem *vědy o komplexních systémech*.

Následující kapitoly ukazují zásadní poznatky a zástupce z těchto oborů. Podrobnější rozvedení současného stavu poznání je součástí disertační práce.

3.1.1 VĚDY O KOMPLEXNÍCH SYSTÉMECH

Vědy o komplexních systémech představují velmi aktuální a široký záběr vědeckých oborů, založený na mezioborové spolupráci a přesahu. Kam lze v tomto rámci zařadit tuto práci ukazuje schéma na Obr. 1. Jde o *utváření vzorů* (*Pattern Formation*), kam bychom zařadili oba výchozí vědecké okruhy *urbánní morfologie* (*Geomorphology*) a *fraktální geometrie* (*Spatial Fractals*). Okrajově se práce se dotýká i tématu *sítí* (angl. *Networks*) a *škálování* (*Scaling*) a tématu *systémových teorií* (*Systems Theory*) a *měření komplexity* (*Complexity measurement*).

Vědy o komplexních systémech se snaží o vysvětlení přírodních jevů jiným než redukcionistickým způsobem, známým od 17. století a spojeným se jmény Descarta či Newtona. Tento přístup stál za zrodem průmyslové revoluce a následujícího civilizačního pokroku, ale i s ním spojených negativních dopadů na společnost a životní prostředí, které obýváme. A to zejména svou neznalostí a nerespektováním jevů, které ze své podstaty nebyl schopen vysvětlit - komplexních systémů, nelinearity, chaosu, fraktálů a jiných (Alexander, 2002; Mitchell, 2011). Základní myšlenku komplexních systémů shrnuje již Aristoteles svým citátem “celek je víc než součet částí”. Tedy že celek získává interakcí svých částí vlastnosti, které nejsou v částech samotných obsažené. Historie systematického přístupu pokračuje přes gestaltismus Maxe Wertheimera, strukturalismus Ferdinanda de Saussure, holismus poprvé popsáný J. Ch. Smutsem až k obecné teorii systémů L. Bertalanffyho, synergetice H. Hakena a současným teoriím spojeným s institucemi jako je Santa Fe Institute či New England Complex Systems Institute.



Obr. 1: Pozice výzkumu v rámci vědeckých oborů zabývajících se komplexními systémy

Zdroj: Hiroki Sayama, D.Sc., Collective Dynamics of Complex Systems (CoCo) Research Group at Binghamton University, State University of New York, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12191267>; upraveno

Jakým způsobem můžeme v současné době měřit komplexitu městské struktury uvádí podrobněji Geoff Boeing ve své práci *“Measuring the Complexity of Urban Form and Design”* (2018). Metodu **box-counting fractal dimension**, použitou v této práci, uvádí pod kategorií *strukturální měření - fraktály*. V práci je dále využit nástroj *histogramu* distribuce určitých jevů, jmenovitě měřítek zástavby města, který ve výše uvedené tabulce není uveden. Analýza distribuce je jedna z dalších metod, která slouží jako indikátor fraktálního chování (Mitchell, 2011; Feldman, 2012).

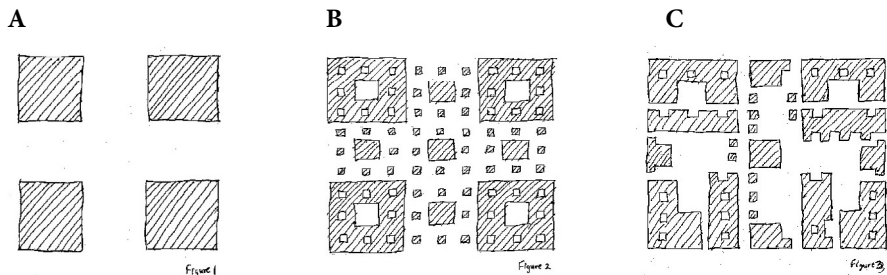
Geoff Boeing ve své práci nadále uvádí důvod, proč je komplexní urbánní prostředí výhodnější, doslova: “Komplexní urbánní prostředí bývá odolnější, robustnější a poskytuje lepší možnosti pro sociální interakci, sociální mix a adaptaci skrze sociální učení. Komplexita zajišťuje vyšší míru propojenosti, diversity, variety a udržitelnosti.”

3.1.2 URBÁNNÍ MORFOLOGIE

Urbánní morfologie studuje formy sídel a procesy jejich utváření a proměny. Průkopníkem oboru byl geograf Otto Schlüter, následovaný M. R. G. Conzenem a jeho teorií vývoje urbánních forem a analýzy městského plánu. Dále sem patří J. W. R. Whitehand, Chicagská škola, morfogenetická škola, a významní autoři jako Lewis Mumford, James Vance a Sam Bass Warner, Peter Hall i Michael Batty či Serge Salat. U nás se tématu urbánní morfologie věnují především geografické obory, dále pak i některé urbanisticky zaměřené obory.

Pro práci je nejrelevantnější morfogenetická škola urbánní morfologie (Ch. Alexander a N. A. Salingaros). Jejich teorie jsou založeny na principech *morfogeneze*, *emergence* a *fraktálu*. Dalšími zástupci pracujícími s pojmy *morfogeneze* a *emergence* v urbanismu je například tým Urban Morphogenesis Lab na UCL v Londýně, případně přímo autoři věnující se pojmu tzv. *emergentnímu urbanismu* - Matthieu Hélie, Douglas Kelbaugh, Ali Madanipour, Saskia Sassen, Gregory Ashworth, Nan Elin, Emily Talen a další. V českém prostředí je to zejména prof. Luděk Sýkora nebo např. ateliér FLOW doc. Floriána při FA ČVUT v Praze.

Východí bod tohoto výzkumu leží tezích, které představil Nikos A. Salingaros ve své práci *“Connecting the Fractal City”* (2003). Zde uvádí, že nárůst populace a nárůst užívání aut ve 20. století vedl urbanisty k užívání tzv. “nefraktálních” urbánních typologií, zatímco historická města se rozvíjela (bez vědomí jejich tvůrců) jako fraktály, protože si kontinuálně v čase rozvíjela širokou škálu měřítek vzájemně provázaných měřítek (Salingaros, 2001). Doslova uvádí, že *“fraktální jsou pouze starší, pre-modernistická města, protože fungují na všech úrovních měřítek. Středověká města jsou nejvíce fraktální v rozsahu menších měřítek do 1 km, zatímco města 19. století fungují lépe v rozsahu větších měřítek. Urbánní typologie použité napříč historií až do 20. století vedou automaticky k fraktální struktuře.”* Fraktální kvalita, jak ji Salingaros ve své práci popisuje, spadá do kategorie přirozených fraktálů, ne fraktálů matematických. Demonstruje sérii skic schematického plánu města (Obr. 2).



Obr. 2: Srovnání schémat fraktálního uspořádání města: A - nefraktální modernistické město, B - nerealisticky uspořádané fraktální město, C - plynulá geometrie města tvořeného urbánním prostorem (Salingaros, 2003)

Zdroj: SALINGAROS, N. A. (2003). *Connecting the fractal city*. Keynote speech, 5th Biennial of town planners in Europe, Barcelona.

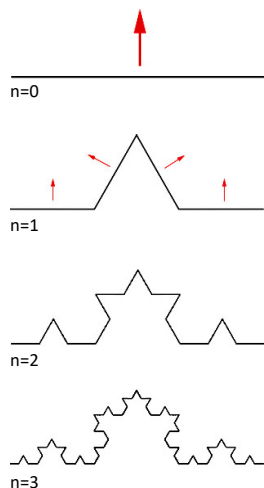
3.1.3 FRAKTÁLNÍ GEOMETRIE

Fraktální geometrie je matematický obor vzniklý na základě abstraktního matematického konceptu fraktálu, který poprvé pojmenoval Benoit Mandelbrot v roce 1975. Příčinou vzniku fraktální geometrie je snaha vypořádat se se zdánlivými nesrovnalostmi reálného světa. S objekty, které nelze definovat tradiční euklidovskou geometrií. (Stewart, 2013).

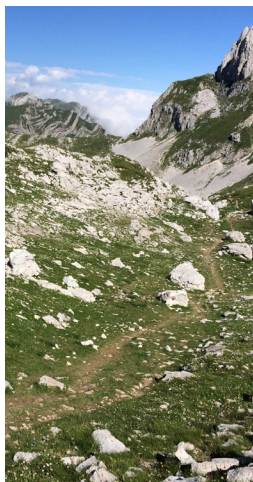
Fraktály jsou soběpodobné objekty. Jednotlivé prvky, které obsahují, jsou si navzájem podobné, ať už se na části struktury díváme z různě velkého měřítka pohledu. Matematicky se jedná o kvantifikaci určitých přirozených jevů a struktur např. stromů, pohoří, ale i četnosti výskytu zemětřesení nebo četnosti slov v jazyce (Feldman, 2012). Fraktály vznikají opakovaným procesem určitých dějů, tzv. iterací, které mají většinou velmi jednoduchá pravidla. Způsob vzniku fraktálu lze ukázat na způsobu utváření tzv. Kochovy křivky (Obr. 3).

PŘIROZENÉ FRAKTÁLY

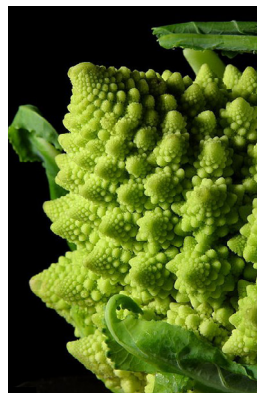
Přirozené fraktály vyskytující se v reálném světě, přesněji fraktálu-bližké struktury, se od matematického modelu fraktálu liší. Přirozené fraktály jsou *konečné*, tzn. že se vyskytují pouze v omezeném rozsahu úrovní měřítek. Nemusí ani všechny postupné úrovně obsahovat. Sobě-podobnost je pouze přibližná, někdy se hovoří o tzv. sobě-příbuznosti vzorů. Typické příklady fraktálu-bližkých struktur je například členitá linie pobřeží, stromy, mraky, pohoří atd. (Hotař, 2008) (Obr. 4 a Obr. 5). Fraktálních vlastností ale dosahují i více abstraktní systémy, které můžeme najít v reálném světě, jako je například struktura společnosti nebo internetová síť.



Obr. 3: Iterace $n=0$ až $n=3$ Kochovy křivky
Zdroj: Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62621>



Obr. 4: Přirozený fraktál - pohoří Durmitor
Zdroj: Archiv autora



Obr. 5: Přirozený fraktál - Romanesco

Zdroj: Jon Sullivan - <http://pdphoto.org/PictureDetail.php?mat=pdef&pg=8232>, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=95997>

PROČ VZNIKÁ FRAKTÁL?

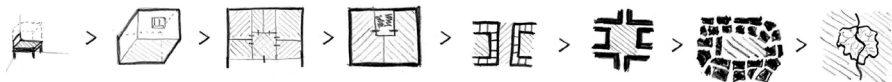
Fraktální uspořádání vzniká tam, kde je potřeba v omezených podmínkách uspořádat jednotliviny celku co nejvíce efektivním způsobem. Základním předpokladem jeho vzniku jsou tři principy:

- **potřeba vyplnění prostoru**, tzn. nutnost obsáhnout určitou strukturou rovnoměrně všechny části daného celku. Např. pro správné fungování všech buněk v těle je nutné do všech dopravit kyslík s pomocí oběhové soustavy
- **neměnnost koncových bodů**, tzn. velikost koncových bodů je stejná bez ohledu na rozdílnou velikost celku. Jako koncové body (jednotliviny) můžeme chápat např. buňky v těle, bytové jednotky ve městě nebo jednotlivé lidi ve společnosti. Člověk je stále stejně velký, přestože komunita ve které žije může být větší či menší. Stejně tak koncové body infrastruktury - elektronická zásuvka či vodovodní kohoutek budou stejně velké, ať už se nachází v rodinném domu nebo mrakodrapu.
- **potřeba optimalizace**. Struktura se dlouhodobě uspořádává tak, aby bylo dosaženo co nejmenší nutné spotřeby energie nebo jiných zdrojů (např. co nejkratší čas nutný pro cestování skrze město z bodu A do bodu B).

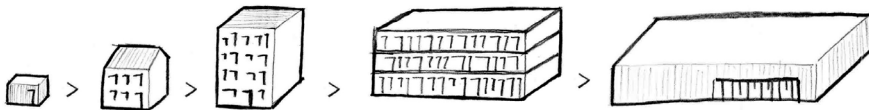
MĚSTO JAKO FRAKTÁL

Město tvoří zejména rovina prostorová - fyzická: mimojiné budovy a prostor mezi nimi, ale i sítě infrastruktury, které město obsluhují, a rovina socioekonomická pak rovina interakcí mezi lidmi, kteří město obývají. Obě tyto vrstvy mají tendenci fraktálu-bližkého uspořádání a jsou vzájemně provázané (West, 2017). Jinak řečeno, město slouží k zajištění vyšší četnosti hodnot produkujících sociálních interakcí omezených infrastrukturou a mobilitou (Bettencourt, 2013). Z probíhajících výzkumů vyplývá, že město se skládá z několika komplexních vrstev, u kterých se předpokládá určitá míra fraktálního uspořádání. Ať už jde o zástavbu, uliční síť, infrastrukturu, strukturu společnosti, vybavenosti atp. (Batty a Longley, 1994).

Měřítka člověka je z hlediska teorie fraktálů a škálování strůjcem právě oné neměnnosti koncových prvků, které člověku v rámci města slouží. Každý člověk je přibližně stejně velký a má také prostorově podobné nároky. Proto jsou všechny zásuvky přibližně stejně velké a všemi kohoutky protéká přibližně podobný průtok vody (West, 2017). Stejně tak prostor, který obýváme a který postupně roste skrze měřítka až k velkým prostranstvím a krajině (Obr. 6). Stejný předpoklad je z pohledu celku města uveden pro samotné domy. Ačkoliv jednotlivé domy se pochopitelně liší svým hmotovým řešením, vnitřní dispozicí či zpracováním fasád, z pohledu celku struktury jsou tyto odlišnosti zanedbatelné (Obr. 7). Další měřítka ve městě dnes souvisí více s náročností našeho životního stylu než s námi samotnými.



Obr. 6: Skica hierarchie a sobě-příbuznosti prvků obývaného prostoru
Zdroj: Archiv autora



Obr. 7: Skica hierarchie a sobě-příbuznosti prvků zástavby města
Zdroj: Archiv autora

Zajímavou teorií, která popisuje vliv fraktálního uspořádání na efektivitu a jevy objevující se ve městě s tím, jak rostou popisuje teorie **škálování měst**. Tu uvádí Geoffrey West ve své knize "*Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies*" (2017). Uvádí, jak díky fraktálnímu uspořádání své struktury a infrastruktury mohou při svém růstu nabývat efektivnějšího nakládání se zdroji i vyšší míru inovací, bohatství ale i kriminality.

FRAKTÁLNÍ GEOMETRIE V GEOINFORMATICE

Fraktální geometrie se v geoinformatice uplatňuje v analýzách krajiny i měst. Uplatňuje se všude tam, kde se analyzuje komplexnost tvarů v krajinném i městském prostředí. Kromě jiného se užívá pro klasifikaci objektů na základě právě fraktální dimenze. Z dalších uplatnění matematiky v geoinformatice můžeme jmenovat zejména síťové analýzy, fuzzy množiny a fuzzy logiku, či uplatnění v projekcích a transformacích reálného zemského povrchu a jevů (Pászto, Marek, 2012). V našich podmínkách je téma fraktální geometrie v geografii a geoinformatice spojené zejména s postavou geografa Jaromíra Korčáka (1938) i dalších. Zaměříme-li se na použité nástroje, tak obdobné chování měst sledujeme jak při použití přímo analýzy lokální dimenze, viditelné např. na analýze Istanbulu (Kaya, 2017), či detailnějším záběrem sledovaných vzorků evropských měst (Frankhauser, 1998; Frankhauser, 2004; De Keersmaecker, Frankhauser a Thomas, 2003) i světových měst (Kholladi, 2004; Feng a Chen, 2010; Chen a Wang, 2013). Tendence vidíme i při zkoumání samotné evoluce měst (Frankhauser, 1990; Shen, 2002; Tannier a Pumain, 2005; Encarnação a kol., 2012).

SOUVISEJÍCÍ URBANISTICKÁ TEORIE

Poslední rovinou reprezentující související výzkum je pole samotné urbanistické teorie a to zejména tyto okruhy: Urbánní forma, domovní blok, urbanistické parametry, dopad modernistického plánování na prostředí města, zahušťování měst, či intuitivní linie architektury a urbanismu spolu s metabolistickým hnutím. Podrobněji jsou konkrétní autoři uvedeni v disertační práci.

3.2 ČÍM JE FRAKTÁL V URBANISMU?

V této kapitole shrnuji výše uvedené poznatky z pole urbánní morfologie a fraktální geometrie ve vztahu k architektonické a urbanistické praxi. Úvaha je snahou o vysvětlení fenoménu fraktálu na pojmech běžně užívaných v urbanismu a architektuře, které jsou mu blízké nebo ho popisují jiným způsobem. Tak, aby tato práce byla pro architekty a urbanisty srozumitelnější a mohla jim lépe pomoci v jejich vlastní praxi. Jedná se zejména o následující pojmy:

- **Hierarchie** - Pojem, který hovoří o různých provázaných úrovních a četnosti výskytu určitých prvků. Zde je nutné vyzdvihnout především hierarchii veřejných prostranství - náměstí, ulic, parků, vnitrobloků atp. Hovoří stejně jako fraktál o posloupnosti měřítek prvků a nutnosti jejich členění na menší počet velkých měřítek a velký počet menších měřítek. Typickým problémem našich měst dnes jsou některá chybějící měřítka v této hierarchii, zejména v úrovni lokálních a komunitních prostranství.
- **Skladebnost** - obdobně funguje termín používaný zejména pro posloupnou skladebnost zástavby, od malých solitérních domů po velké obytné struktury a formy. S tím se projevuje i skladebnost sociální, počet obyvatel na danou skladebnou jednotku - dům, sousedství, čtvrť, město.
- **Měřítko člověka** - fraktál města je odvozený od měřítka člověka, tedy vyjadřuje jak jsou jednotlivé prvky v daném celku města blízké či propojené ve své hierarchii k člověku a jeho prostorovým potřebám. Vzhledem k tomu, že města vznikla pro lepší zajištění lidských potřeb, je člověk v tomto ohledu vztažným měřítkem.
- **Přechod měřítek** - snaha o vyrovnání se s prokazatelně velkými měřítkovými skoky, např. rodinný dům vs. obchodní centrum, hledání přechodu mezi velkým a malým měřítkem.
- **Rozhraní** - délka rozhraní ve vztahu k celku může být v různě fraktálně uspořádaném celku při stejně velkém území různě dlouhá. Např. linie aktivního parteru, které mohou sloužit například pro umístění obchodů, restaurací, ale i plocha fasád pro osvětlení a oslunění interiéru. Princip fraktálu nám umožňuje při stejné dostupné velikosti území zajistit delší či kratší celkovou linii všech fasád.
- **Infrastruktura** - uspořádání a efektivita sítě infrastruktury - od velkých prvků k malým, od velkého průřezu ke koncovým prvkům, je názorným příkladem fraktálu v urbanismu.
- **Kontinuum** - chápání prostoru i zástavby jako kontinuálně propojené entity.
- **Celek a detail** - hledání a vnímání vztahu mezi celkem a jeho detailem. Ve vztahu k fraktálu se jedná o různé úrovně detailů ve vztahu k posuzovanému celku. A tento celek se dále stává detailem vyššího celku. Může to být i např. fasáda a posloupná skladebnost měřítek jejich detailů, nebo právě celek města a detail jeho urbánních forem.

3.3 ZKOUMANÁ MĚSTA

Výzkum je proveden na výběru dvanácti měst České republiky. Vzhledem k tomu, že pro analýzu je nutná určitá úroveň komplexity struktury zástavby, dostatečný počet jednotlivin, tedy budov v celku a zároveň srovnatelná velikost, byla vybrána města o velikosti od 50 tis. do 100 tis. obyvatel. Tato města jsou rozdělena do dvou základních kategorií - města *pre-modernistická* a města *modernistická*, dle převažujících etap jejich vývoje a struktury typologie zástavby. Vybraná města jsou dále rozdělena do podkategorií. Z každé kategorie je vybrán jeden zástupce, který je použit v některých detailnějších srovnáních. Podkategorie a vybraní zástupci (tučně) jsou uvedeni v následující tabulce (Tab. 1).

města	počet obyvatel	převažující charakter zástavby
pre-modernistická města		
České Budějovice	94 014	mix - středověké město
Hradec Králové	92 742	mix - středověké město
Jihlava	50 845	mix - středověké město s vyšším podílem průmyslových budov
Kladno	69 054	mix - středověké město s vyšším podílem průmyslových budov
Opava	56 638	mix - středověké město
Pardubice	90 688	mix - středověké město
Ústí nad Labem	92 952	mix - středověké město s vyšším podílem průmyslových budov
modernistická města		
Frýdek-Místek	55 931	socialistický realismus / pozdní modern.
Havířov	71 903	socialistický realismus
Karviná	52 824	socialistický realismus
Most	66 186	pozdní modernismus
Zlín	74 997	raný modernismus

Tab. 1: Kategorizace a velikost vybraných měst

Zdroj: Autor na základě dat ČSÚ, 2018, <https://www.czso.cz/>

Města jsou z důvodu srovnání s daty vymezena administrativně. Dále lze celek vymezit morfologicky a funkčně (Sýkora, 2010). Dopad morfologického vymezení celku města na výsledky výzkumu byl v disertační práci prověřen a zohledněn u konkrétních měst. Funkční vymezení, není s ohledem na povahu práce zabývajících se urbánními formami pro tuto práci vhodné. Podrobnější vysvětlení a samotné prověření je součástí disertační práce.

V samotné disertační práci je uveden jak obecný vývoj urbánních forem měst ČR, tak podrobný popis prostorových podmínek, urbanistického vývoje a struktury dvanácti vybraných měst. Zohlednění tohoto kontextu je pro výsledky práce klíčové.

4 SKLADEBNOST MĚŘÍTEK

4.1 METODIKA

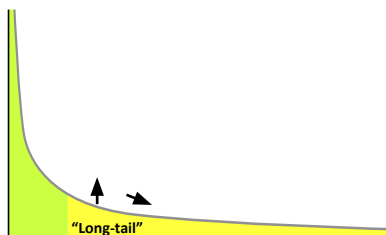
Tato kapitola se věnuje první výzkumné otázce:

“Vykazuje skladebnost měřítek zástavby pre-modernistických měst vyšší míru fraktálního uspořádání?”

Předmětem výzkumu je skladebnost měřítek města, konkrétně objemů jednotlivých budov daného města. Jako podklad jsou pro účely analýzy četnosti výskytu různé velkých objektů jsou použita data z veřejně přístupného registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN).

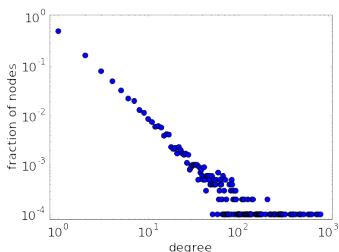
Vybraná metoda této výzkumné otázky spočívá v porovnání vybraných měst z pohledu skladebnosti měřítek jejich zástavby. Tedy, jak velké objekty a jak často se v daném městě vyskytují. Pro tyto účely je využito statistické metody histogramu - rozložení četnosti výskytu určitých velikostí budov v celku města. Histogram ukazuje, jak často se jeden sledovaný prvek nebo kategorie vyskytuje v celku. Histogram je zobrazen formou lineárního grafu, ukazujícího jednotlivé kategorie od malých po největší budovy, a formou log-log grafu, který užívá os v logaritmickém měřítku o základu deset. Tento graf je v práci rozdělen do oblasti malých, středních a velkých měřítek. Lineární histogramy jsou vytvořeny přímo v programu MS Excel, log-log grafy potom v programu Jupyter Notebook (Dvořák a Vyskočil, 2020).

Smyslem metody je zjistit, zda v tomto rozložení, zobrazeném na příslušném grafu, můžeme najít projevy fraktálního chování, tzn. jestli se blíží typickému *mocninnému rozložení* (angl. *power law distribution*), zejména s ohledem na jeho “*long-tail*” krajně asymetrický průběh (Feldman, 2012). V případě lineárního grafu hledáme právě blízkost onomu “*long-tail*” tvaru grafu (Obr. 9). V případě log-log grafu se pak projeví lineárním průběhem sledovaných dat. Hledáme tedy souvislé rozložení pokud možno co nejvíce sledující přímkou spojnice trendu (Obr. 10).



Obr. 9: Mocninná “long-tail” distribuce

Zdroj: User:Husky - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1449504>; upraveno



Obr. 10: Příklad log-log grafu indikujícího fraktální chování sledované struktury či jevu

Zdroj: “Plot of power-law degree distribution on log-log scale.” From Math Insight. http://mathinsight.org/image/power_law_degree_distribution_scatter

4.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

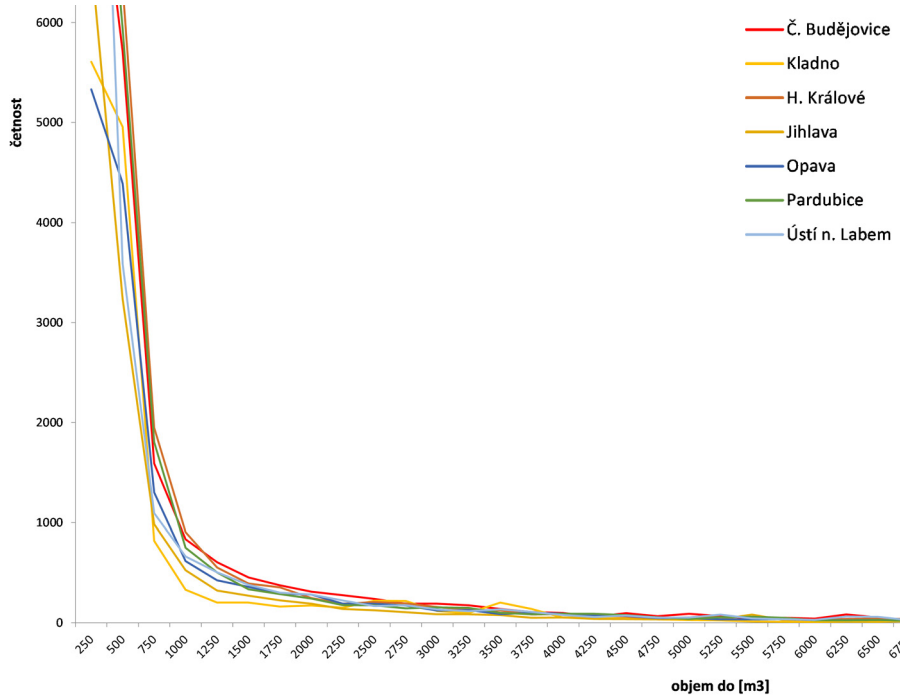
Výsledky měření potvrdily předpoklad, že se pre-modernistická města projevují více fraktálním chováním. Na následujícím srovnání jsou ukázány lineární histogramy a log-log grafy pro všechna zkoumaná města.

LINEÁRNÍ HISTOGRAMY

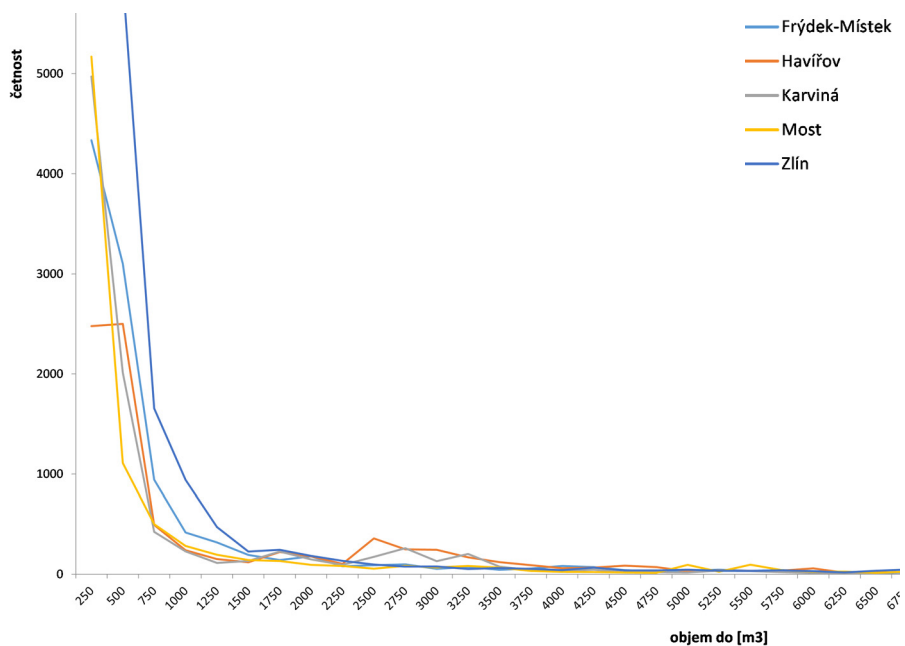
Srovnáme-li lineární histogramy jednotlivých měst dané kategorie, můžeme lépe sledovat jak společné charakteristiky, tak které z měst se více či méně blíží mocninnému “long-tail” průběhu distribuce. Nicméně pro lineární graf je srovnání zřetelné pouze pro oblast malých a středních měřítek. Průběh je nejlépe čitelný v případě grafu histogramu převedeného na spojnicový graf (Graf 1). Na zobrazeném srovnání vidíme, že průběh nejbližší mocninné distribuci v těchto oblastech mají města České Budějovice a Hradec Králové, naopak Jihlava a nejvíce Kladno se blíží průběhu exponenciálnímu. Ve srovnání modernistických měst vidíme, jak je v jejich případě skladebnost nevyrovnaná, a její průběh výrazně vzdálen mocninnému rozložení (Graf 2).

LOG-LOG GRAFY

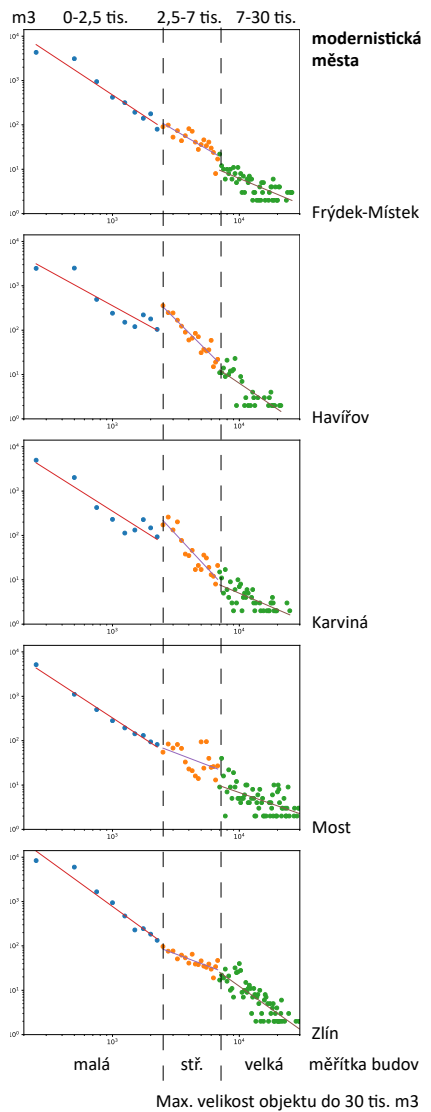
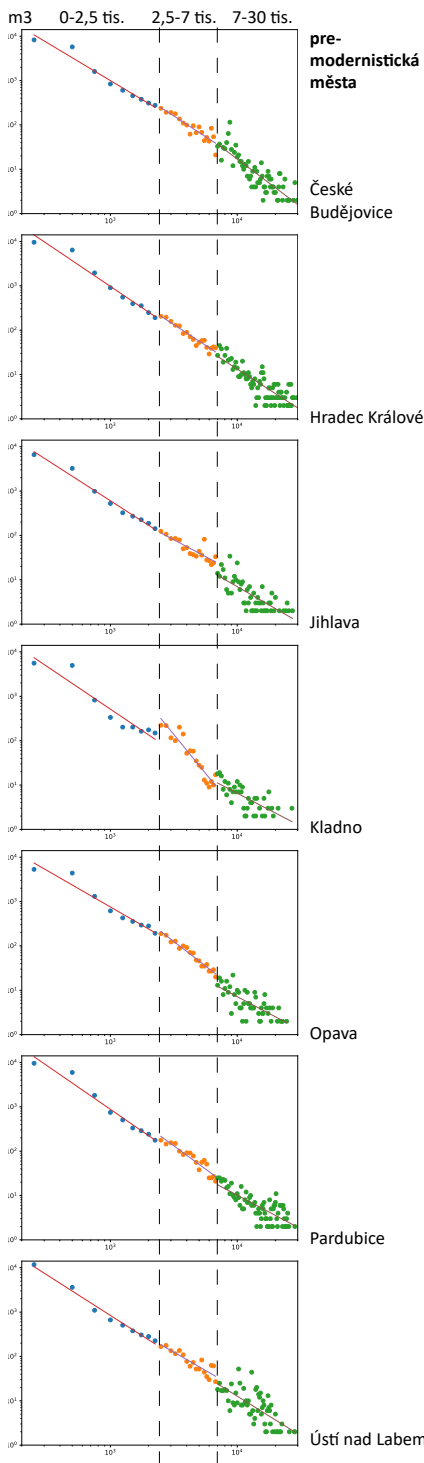
Čitelnější srovnání v celém průběhu vidíme srovnání log-log grafů (Obr. 11). I zde je na první pohled patrná rozdílnost mezi pre-modernistickými a modernistickými městy. V levé části uvedených pre-modernistických měst, se fraktálu-blízké distribuci výrazně vymyká Kladno. Kladno má velmi atypickou strukturu spojenou s těžbou, průmyslem a souvisejícími domky v nejmenších měřítcích, ale i četnou modernistickou výstavbou a pochopitelně výrazný podíl průmyslových objektů různých měřítek. Nejvýraznější projev distribuce blížíci se mocninnému “long-tail” průběhu vidíme u Hradce Králové, Opavy a Pardubic, dále u Českých Budějovic, Jihlavy i Ústí nad Labem. Naopak z kategorie modernistických měst se tomuto průběhu blíží zejména Zlín a Frýdek-Místek. Nejméně plynulý průběh zde mají města socialistického realismu, tedy Havířov a Karviná.



Graf 1: Četnost výskytu budov dle objemu - srovnání pre-modernistických měst (výřez)



Graf 2: Četnost výskytu budov dle objemu - srovnání modernistických měst (výřez)



Obr. 11: Srovnání log-log grafů - dělený průběh

4.3 VYHODNOCENÍ PRVNÍ VÝZKUMNÉ OTÁZKY

První výzkumná otázka byla zaměřena na celé město a skladebnost měřítek - objemů budov, které obsahuje. Na základě analýzy dat pomocí metody histogramu byla prokazováno, zda je v dané struktuře možné sledovat fraktální chování. To je patrné ze způsobu rozložení (distribuce) četnosti prvků v celku - od nejmenších objektů po největší. Tato skladebnost měřítek prvků se u fraktálu-blízkých struktur projevuje blízkostí k tzv. mocninnému "long-tail" průběhu.

První výzkumná otázka se na vybraném vzorku měst potvrdila. Skladebnost měřítek zástavby pre-modernistických měst skutečně vykazuje vyšší míru fraktálního uspořádání. Na typických zástupcích pre-modernistických měst - Českých Budějovicích, Hradci Králové, Jihlavě, Opavě a Pardubicích je blízkost fraktálnímu projevu distribuce pozorovatelná jak v celém rozsahu měřítek, tak i v jednotlivých určených oblastech malých, středních i velkých měřítek. Jedná se o města, která prošla postupným vývojem bez výraznějších odchylek - ať už rozsáhlých asanací či následků určité funkce, např. těžby, které by negativně ovlivnily rozvoj struktury zástavby města. Taková města najdeme i v kategorii pre-modernistických měst a jedná se o Kladno a Ústí nad Labem. Tato města vykazují větší odchylky od předpokládaného trendu indukujícího fraktální uspořádání. Vývoj Kladna byl výrazně orientován na těžbu a hutní průmysl, což se projevilo i ve skladebnosti přítomných obytných urbánních forem. Kladno je též jediné pre-modernistické město, jehož skladebnost není spojitá skrze všechny tři oblasti - malá, střední a velká měřítka. Průběhem histogramu se podobá městům socialistického realismu. Vývoj Ústí nad Labem pak byl výrazně ovlivněn terénními podmínkami v kombinaci s menším podílem dochované pre-modernistické zástavby a vyšším podílem průmyslových areálů.

Žádné modernistické město v daném výběru nevykazuje plynulý průběh skladebnosti skrze všechna měřítká. Nejblíže se typickým pre-modernistickým městům blíží Frýdek-Místek a Zlín. Naopak nejmenší fraktální projev distribuce měřítek v celém rozsahu mají města socialistického realismu - Havířov a Karviná. Zajímavostí je, že Havířov si vytváří poměrně plynulý průběh v oblasti středních měřítek budov, spojených právě s urbánní formou fáze socialistického realismu. Ovšem s výrazným skokem v přechodu k malým měřítkům.

Významným poznáním práce jsou konkrétní odchylky společné pro všechny typické zástupce pre-modernistických měst. Lze z nich vyčíst některé jevy - odchylky, společné pro města České republiky ve velikosti od 50 do 100 obyvatel. Jedná se v první řadě o dopad plánování a přístupu k zástavbě měst velkými měřítky ve 20. století, který vede proporčně ke zvýšení podílu velkých měřítek. Dále se jedná o vyšší podíl objektů kategorie malých rodinných domů, který lze spojit se suburbanizací v okolí těchto měst koncem 20. a začátkem 21. století.

To, že žádný průběh není z hlediska mocninné distribuce zcela dokonale fraktální, je dáno tím, že je posuzována reálná struktura, navíc vzniklá lidskou činností. O to víc byla z výsledků překvapivá blízkost tomuto chování u pre-modernistických měst. Z toho je patrné, že dlouhodobě se rozvíjející struktura, skládající se ze sobě-příbuzných prvků a limitovaná svým kontextem, ať už prostorovým, nebo socio-ekonomickým, tíhne k fraktálnímu uspořádání za účelem optimálního uspořádání skladebnosti měřítek v celku.

5 FRAKTÁLNÍ DIMENZE

5.1 METODIKA

Tato kapitola se věnuje druhé výzkumné otázce:

“Jaký vliv má urbánní forma na hodnotu fraktální dimenze struktury zástavby a prostoru města?”

Předmětem výzkumu je fraktální dimenze, měřená mřížkovou (angl. box-counting) metodou. Jako podklad slouží černobílá figure-ground mapy v měřítku 1:10 000. A to pro zástavbu (Obr. 12) a mezilehlý prostor (Obr. 13). Tvary budov jsou spojené z dat RÚIAN a portálu <https://www.openstreetmap.org>. Tyto soubory jsou vstupními daty pro analýzu odhadu fraktální dimenze (Dvořák a Vyskočil, 2020).

Pro analýzu vývoje jsou použity mapy tzv. císařských otisků, tzn. kolem r. 1840, přes mapy třetího vojenského mapování (ca. 1880) a historické letecké snímky 1930, 1950, 1970, 1990 (VGHMÚř Dobruška), po současné letecké snímky z portálu mapy.cz z roku 2003.

Mřížková metoda využívá počítačového algoritmu, který posuzuje černobílý obraz. Tento algoritmus postupuje v opakovaných krocích, přičemž v každém kroku dělí obraz na mřížku složenou z jednotlivých čtverců. Mřížka se s každým krokem buď zmenšuje nebo zvětšuje. Pro každý čtverec v každé úrovni zobrazení zaznamenává, zda se v přírodním čtverci nachází nějaká část hranice analyzované struktury (Obr. 14). Výsledkem je hodnota četnosti výskytu “zasažených” čtverců a velikost jejich hrany, tedy velikost zobrazení. Tato data jsou následně zobrazena formou log-log grafu. Data log-log grafu jsou proložena spojnicí lineární regrese těchto hodnot a z jejího sklonu je poté stanoven odhad fraktální dimenze (Mandelbrot, 1977, 1982; Peitgen a kol., 2004). Dimenze je počítána podle následující základní rovnice (1)

$$D_B = (\log K_{s_2} - \log K_{s_1}) / (\log (1/s_2) - \log (1/s_1)) \quad (1)$$

kde D_B je mřížková “box-counting” fraktální dimenze,

K ; počet čtverců a,

S ; velikost strany čtverců.



Obr. 12: figure-ground mapa zástavby

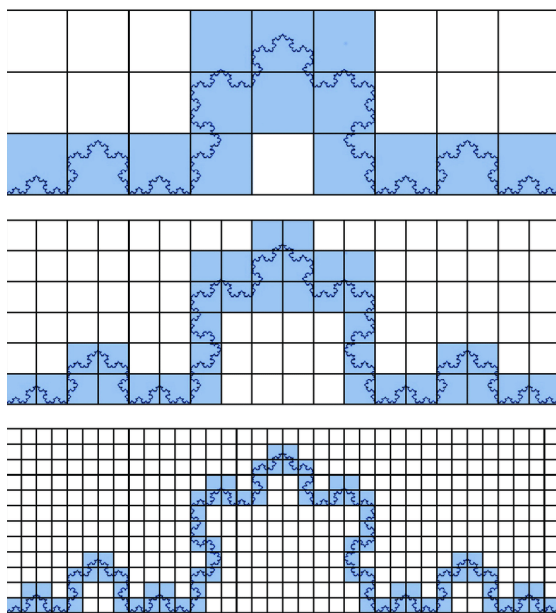
Zdroj: Autor na základě dat RÚIAN a Openstreetmap, 2020

Obr. 13: obrácená figure-ground mapa prostoru

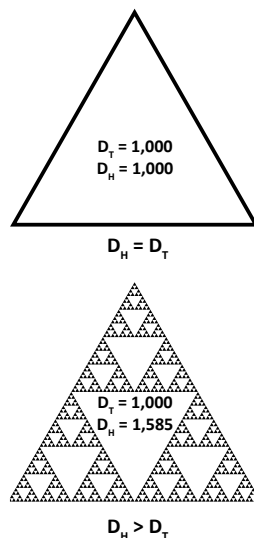
Zdroj: Autor na základě dat RÚIAN a Openstreetmap, 2020

Tato práce využívá dvou úrovní analýzy fraktální dimenze města. V první řadě se jedná o *fraktální dimenzi globální*. Výsledkem je číslo v rozmezí mezi 1 a 2, indikující celkovou fraktální dimenzi struktury daného města. V druhé řadě se jedná o tzv. *fraktální dimenzi lokální*. Ta je vypočítána na dané struktuře pro každý výchozí bod v mapě a udává hodnoty fraktální analýzy jednotlivých částí struktury. Lokální dimenze je zobrazena jako mapa s barevnou škálou, zobrazující lokální hodnoty od nejnižší až po nejvyšší naměřenou hodnotu fraktální dimenzi.

Fraktální dimenze D_H je matematický koncept popisující vlastnosti objektů, které nelze popsat jednoduchými námi známými dimenzemi. Tedy rozměry, které fungují pro popis klasických euklidovských tvarů - bod, plocha, koule, kvádr atp. se hodnotami topologické dimenze 0, 1, 2 a 3. Fraktál má vnitřně bohatou strukturu nepravidelností, kterou euklidovské tvary postrádají, nebo v případě popisu reálných objektů zanedbávají. Pokud bychom se snažili fraktál matematicky popsat topologickou, tedy klasickou dimenzí D_T , oba trojúhelníky uvedené na Obr. 15 bychom museli popsat stejným číslem 1,0. Na první pohled se však jedná tvary se značně odlišnou strukturou. Fraktál je struktura kontrastní, složená z plných a otevřených tvarů. Euklidovské tvary se tak dají chápat také jako limitní hodnoty minimální fraktality. Fraktální dimenze je neceločíselná. Udává o kolik je struktura fraktálu rozlišná oproti klasickému euklidovskému tvaru (Hotař, 2008).



Obr. 14: výpočet fraktální dimenze Kochovy křivky mřížkovou metodou
Zdroj: Pilgrim, Ian & Taylor, Richard. (2018). Fractal Analysis of Time-Series Data Sets: Methods and Challenges. 10.5772/intechopen.81958., CC BY 3.0, https://www.researchgate.net/figure/Applying-the-box-counting-method-to-the-Koch-curve-The-number-of-boxes-of-side-length-l_fig3_330955045



Obr. 15: srovnání fraktální dimenze trojúhelníků (nahore prázdný euklidovský trojúhelník, dole fraktální Sierpiňského trojúhelník)

Zdroj: Archiv autora; Cäsium137 - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3481199>; upraveno

5.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

5.2.1 GLOBÁLNÍ FRAKTÁLNÍ DIMENZE MĚST

Jako globální fraktální dimenze je označen výpočet hodnoty fraktální dimenze pro celek města. Vybraná města jsou potom srovnávána podle jejich kategorie a skladebnosti převažujících urbánních forem, které obsahují.

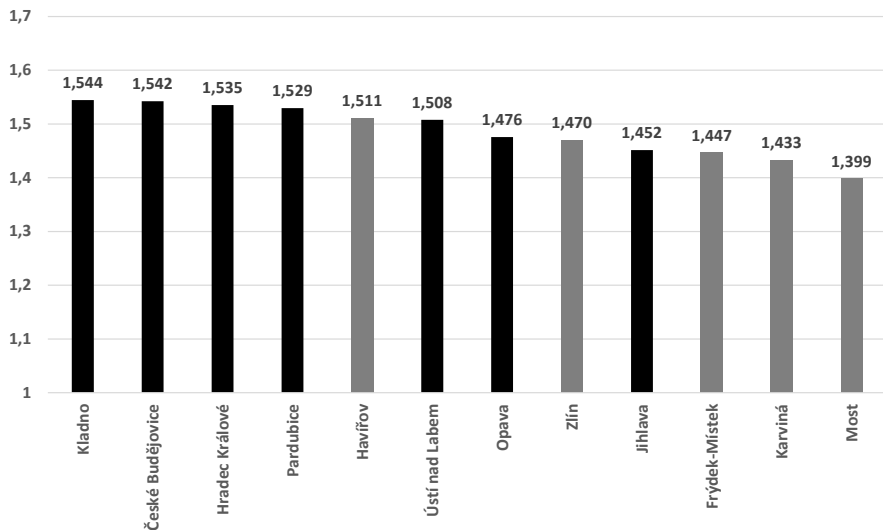
SROVNÁNÍ GLOBÁLNÍ FRAKTÁLNÍ DIMENZE

Zkoumaná města dosahují globální fraktální dimenze zástavby v rozmezí hodnot 1,399 až 1,544 (Graf 3). V případě pre-modernistických měst kolem hodnoty průměrně 1,512. Modernistická města se pak pohybují průměrně na úrovni 1,452. Samotné srovnání již naznačuje vyšší hodnotu FD v případě historických měst. Pro srovnání samotných urbánních forem je ovšem nedostačující. V porovnání globální fraktální dimenze prostoru vidíme rozdíl mezi dvěma základními kategoriemi měst ještě větší (Graf 4). Pre-modernistická města se pohybují na úrovni globální fraktální dimenze prostoru průměrně 1,484, modernistická pak 1,41. Vidíme též více pre-modernistických měst v levé části grafu.

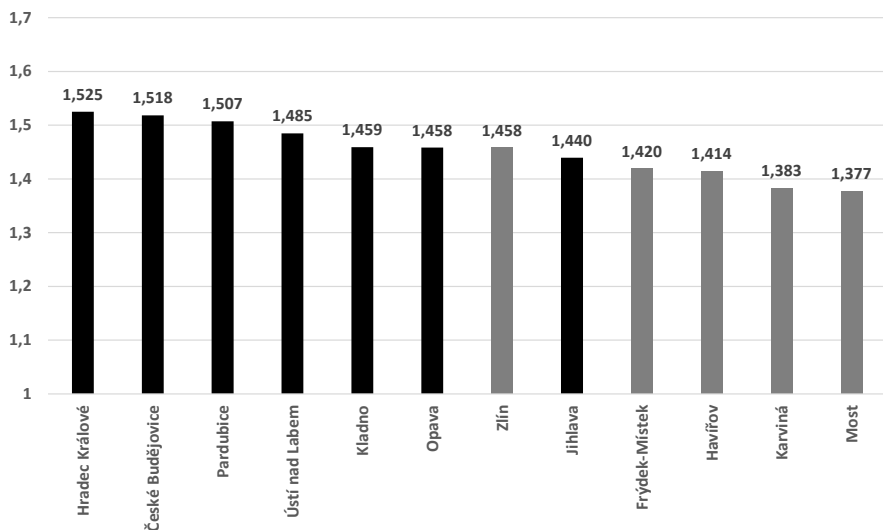
VÝVOJ GLOBÁLNÍ FRAKTÁLNÍ DIMENZE

Z výsledků měření vývoje FD je jasné, že navzdory rozsáhlému objemu výstavby a plošnému zabírání krajiny od poloviny 20. století dodnes je nárůst FD u našich měst velmi malý. Znamená to tedy, že nově vystavěné urbánní formy a objekty mají mnohem menší dopad na celkovou fraktalitu struktury. Je to též období, kdy se ve struktuře začínají projevovat výrazněji modernistické a pozdější formy zástavby.

Výsledky ukazují jednoznačný trend. S postupným vývojem města globální fraktální dimenze narůstá. To je způsobeno několika souvisejícími jevy. Zaprvé proto, že se nejedná o striktně geometrický nekonečný matematický fraktál. To by totiž fraktální dimenze struktury musela být stále stejná a město by pro člověka nebylo obyvatelné. Růst je dán též vývojem urbánních forem a jejich skládáním do celku města, které je ovlivněno i prostorovými a socio-ekonomickými podmínkami růstu města. Město se v průběhu svého vývoje obohacuje o různé formy zástavby i různá měřítka. Další důvod spočívá v narůstající strukturální komplexitě města, která souvisí s nárůstem počtu obyvatel a v návaznosti i objektů a prostranství.



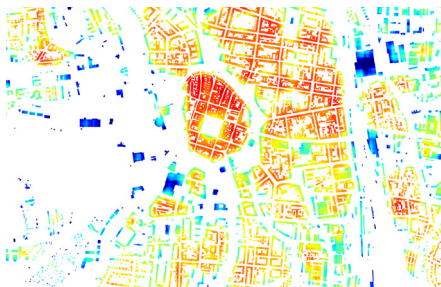
Graf 3: Srovnání globální fraktální dimenze zástavby (černá - pre-modernistická města, šedá - modernistická města)
Zdroj: Archiv autora



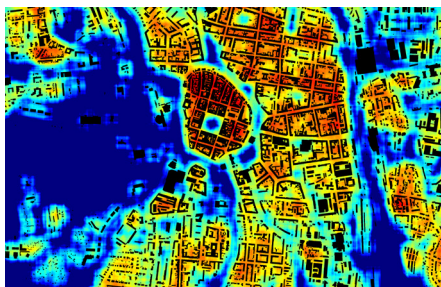
Graf 4: Srovnání globální fraktální dimenze prostoru (černá - pre-modernistická města, šedá - modernistická města)
Zdroj: Archiv autora

5.2.2 LOKÁLNÍ FRAKTÁLNÍ DIMENZE MĚST

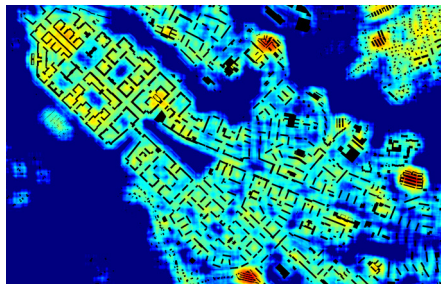
Lokální fraktální dimenze je zobrazena na barevné mapě celku města. Aby byla v tezech čitelná, je využit pouze výřez několika příkladů měst. Příklad lokální FD zástavby demonstrují České Budějovice (Obr. 16). Na lépe čitelnější mapě lokální FD prostoru je představeno srovnání základních představitelů měst výběru podle charakteru rozložení FD (Obr. 17 až Obr. 21). Mapa ukazuje jednotlivá ohniska s vyšší či nižší fraktální dimenzí. Tato kapitola v disertační práci představuje podrobnější popis pro každé město a projev rozložení lokální fraktální dimenze na jeho území. Výsledky jsou shrnuty v následující kapitole.



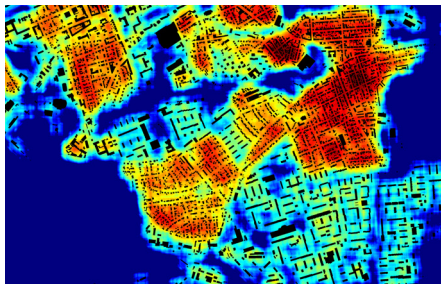
Obr. 16: Lokální fraktální dimenze zástavby -
České Budějovice
Zdroj: Archiv autora



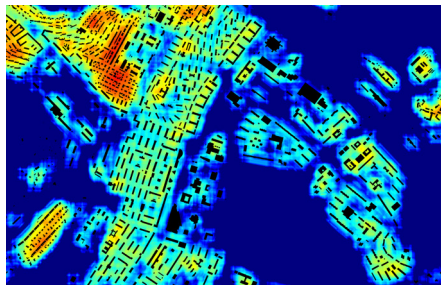
Obr. 17: Lokální fraktální dimenze prostoru -
České Budějovice
Zdroj: Archiv autora



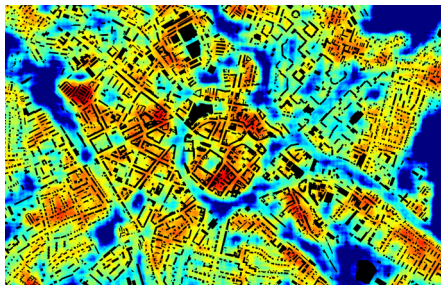
Obr. 18: Lokální fraktální dimenze prostoru -
Havířov
Zdroj: Archiv autora



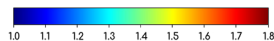
Obr. 19: Lokální fraktální dimenze prostoru -
Kladno
Zdroj: Archiv autora



Obr. 20: Lokální fraktální dimenze prostoru - Most
Zdroj: Archiv autora



Obr. 21: Lokální fraktální dimenze prostoru -
Opava
Zdroj: Archiv autora



5.3 VYHODNOCENÍ DRUHÉ VÝZKUMNÉ OTÁZKY

Výsledky řešení druhé výzkumné otázky dokazují, že konkrétní urbánní forma má zásadní vliv na míru fraktální dimenze struktury zástavby i prostoru. Ukazuje též, že fraktalita zástavby a prostoru je vzájemně provázaná, jelikož hodnoty pro zástavbu a prostor jsou velmi blízké jak pro celek, tak pro detail urbánní formy. A tedy, že existuje souvislost mezi fraktalitou zástavby a vzniklého prostoru.

Uvedená města ČR o velikosti 50-100 tis. obyvatel dosahují jako celek globální fraktální dimenze přibližně hodnoty 1,5. Již na úrovni celku města je však patrný rozdíl zejména mezi typickými pre-modernistickými městy a modernistickými městy, které dosahují obecně nižších hodnot. Zcela nejnižších hodnot jak zástavby tak prostoru dosahuje pozdně modernistický Most - méně než 1,4.

Hodnoty pohybující se kolem 1,5 představují obecně struktury, které jsou více kontrastní z pohledu bohatosti měřítek zástavby a volného prostoru. Naopak struktury blížící se svými hodnotami topologické dimenzi 1,0 jsou struktury s minimální bohatostí měřítek, zpravidla bez definovaného prostoru mezi objekty. Jedná se o objekty velkého měřítka, jako jsou logistická či obchodní centra, nebo modernistická sídliště zejména technokratické fáze ze 70. a 80. let 20. století. Jedná se však také o drobné objekty, které jsou výrazně rozptýlené v krajině, např. chatové či zahrádkářské osady. Fraktalita tedy nesouvisí přímo s velikostí objektů v dané urbánní formě, ale zejména s jejich vzájemným uspořádáním.

Ze srovnání jednotlivých urbánních forem vyplývá, že pre-modernistický způsob zástavby dosahuje řádově vyšších hodnot, než zástavba modernistická. Vyšších hodnot kolem 1,63 dosahují struktury středověkých historických jader až po blokovou zástavbu 19. století, o něco nižších pak historická vilová zástavba či domovní bloky počátku 20. století - přibližně kolem 1,56. Překvapivě nejvyšších hodnot dosahují historické dělnické kolonie, kolem 1,68 (Tab. 2). Jaký vliv však má kombinace této urbánní formy s výrazně ostrými přechody do modernistických forem je zjevné z příkladu Kladna, které má nejvyšší globální hodnotu zástavby, ale proporcčně mnohem nižší hodnotu prostoru a velmi kontrastní rozložení lokální fraktální dimenze obou v prostoru města (Obr. 19). Z toho vyplývá i další důležitý poznatek a to je charakter rozložení lokální fraktální dimenze na území konkrétního města, o němž je řeč níže.

Modernistické urbánní formy mají s jednotlivými fázemi spíše sestupnou tendenci, s jednoznačně nejnižšími hodnotami u fáze technokratické, kolem 1,2. Z pohledu na rozložení lokální FD prostoru ve struktuře ale u těchto forem vidíme, že již nejsou schopné vytvářet souvislejší území obdobné fraktální dimenze. Vyšších hodnot dosahují pouze ojedinělá místa, často spojená s občanskou vybaveností. Ve srovnání relativně vyšších hodnot dosahují formy bohatších tvarů, lépe definující uliční prostor, jako je zejména fáze socialistického realismu, kde se hodnoty

pohybují kolem 1,38. Výrazně vyšší úroveň dosahuje raná modernistická forma individuální zástavby, viditelná na příkladu Batovských domků ve Zlíně, pohybující se na úrovních kolem 1,49.

Důležitý poznatek přináší i vyhodnocení nebytových funkcí, zejména průmyslových, logistických a komerčních areálů. Ty se s postupem času, a zejména v současné době, s nárůstem měřítek objektů a prostorů se blíží hodnotám 1,0. Naopak některé historické areály, zvláště pokud se vyvíjely delší dobu, se mohou pohybovat až v hodnotách kolem 1,45.

Zobrazení lokální fraktální dimenze přináší zásadní informaci do studia vlivu urbánní formy a celku města, ale i zástavby dané formy a jejího dopadu na soustavu volného prostoru. Je možné charakterizovat zástavbu každého města na základě rozložení, plynulosti, ostrých hranic či výrazných skoků jednotlivých hodnot, vliv jednotlivých ohnisek vyšší fraktální dimenze, či fragmentace struktury města. Za obdobným číslem globální fraktální dimenze se často skrývá velmi rozdílná mapa lokální fraktální dimenze. Charakteristická rozložení FD v celku města pozorovaná v této práci lze rozdělit do tří základních typů. Prvním je rozložení **homogenní** (ať už vyšších či nižších hodnot), čitelné na příkladu Havířova (Obr. 18) či Opavy (Obr. 21). Druhým příkladem je rozložení **heterogenní - plynulé**, jaké pozorujeme u většiny měst ve výběru. Třetím příkladem je rozložení **heterogenní - kontrastní**, s oddělenými většími plochami konkrétních urbánních forem s ostrými přechody. To je nejvíce patrné na příkladu Kladna, ale je čitelné i v případě Karviné, Mostu (Obr. 20) či Pardubic.

Pozorovatelným jevem konkrétního rozložení je vzájemné ovlivňování jednotlivých urbánních forem mezi sebou navzájem. U stejné modernistické urbánní formy můžeme pozorovat vyšší hodnoty FD pokud se bude jednat o plošně menší součást jinak měřítkově bohaté zástavby celku historického města, naopak výrazně nižších hodnot bude dosahovat v případě plošně rozlehlých sídlišť. Zejména jsou-li tvořena s minimální různorodostí typologií a minimální vybaveností jinými než obytnými funkcemi.

V celkovém charakteru rozložení lokální fraktální dimenze daného města se dále projevují prvky většího měřítka, ať již krajinné jevy jako řeky a jejich nivy, terénní konfigurace, či například velká náměstí, parky atp. Tato místa, zobrazená jako plochy s hodnotou 1,0 však mohou být i pozdější zásahy velkého měřítka jako jsou silniční průtahy městem, železniční trati a nádražní oblasti, oblasti těžby atp. Tyto projevy mohou být tedy z hlediska obytnosti města pozitivní i negativní. Je třeba je posoudit s ohledem na to, čím jsou v daném místě způsobené. Pokud však urbánní forma často dosahuje hodnot FD prostoru blízcích se 1,0, tedy v celku těchto "prázdných" míst, a tento pokles vychází z uspořádání formy jako takové, pak se jedná o urbánní formu obecně vzdálenou měřítku člověka. A to jak svými absolutními rozměry, tak chybějícím přechodem od velkých měřítek k menším.

Je nutné si uvědomit, že fraktální dimenze je pouze číslo. Toto číslo je matematickou redukcí reality a bez znalosti historického vývoje města a procesů jeho utváření a chování jej nelze správně interpretovat. Řečeno jinak, různým způsobem lze vytvořit vzor, který bude v analýze nabývat obdobných čísel.

urbánní forma	hodnota FD
historická jádra měst	1,57-1,73
historická jádra vsí	1,55-1,72
domovní blok 19. století	1,55-1,68
domovní blok počátku 20. století	1,45-1,65
rodinná zástavba 19. a počátku 20. století	1,4-1,65
dělnické kolonie 19. a počátku 20. století	1,55-1,8
funkcionalistická rodinná zástavba (např. Bař. domky)	1,3-1,68
funkcionalistické ob. soubory (vč. "dřevní" fáze)	1,2-1,5
obytné soubory socialistického realismu počátku 50. let	1,2-1,53
obytné soubory "pionýrské" fáze druhé pol. 50. let	1,1-1,45
obytné soubory "krásné" fáze 60. let	1,1-1,5
obytné soubory "technokratické" fáze (70. a 80.léta)	1,0-1,4
obytné soubory pozdní "krásné" a postmoderní fáze konce 20. století	1,15-1,45
obytné soubory 21. století*	1,15-1,45
kompaktní rodinná zástavba od druhé poloviny 20. století	1,35-1,6
rozvolněná rodinná zástavba od druhé pol. 20. století	1,1-1,5
chatové osady	1,0-1,4
průmyslové a jiné areály	1,0-1,6

(*omezený dostupný vzorek daného období)

Tab. 2: Typická velikost fraktální dimenze urbánních forem v České republice

Zdroj: Archiv autora

6 ZÁVĚR

6.1 VYHODNOCENÍ HYPOTÉZY

Jak závěry první, tak druhé výzkumné otázky potvrzují hypotézu této disertační práce. Modernistický způsob zástavby na uvedeném výběru dvanácti měst České republiky o velikostech od 50 to 100 obyvatel skutečně vykazuje nižší míru fraktálního uspořádání. A to konkrétně fraktálního uspořádání odvozeného od měřítka člověka, jakožto koncového prvku struktury. A to ať v projevu skladebnosti měřítek zástavby, tak přímo v hodnotách a rozložení fraktální dimenze jednotlivých urbánních forem v celku města.

Toto poznání bylo provedeným výzkumem dále zpřesněno o různé charakteristiky průběhu fraktálního chování struktury, a také různé míry fraktálního uspořádání uspořádání pro jednotlivé pre-modernistické, ale zejména modernistické urbánní formy, které se navzájem mohou výrazně lišit. Dále výsledky potvrzují, že fraktální chování celku, ale i jeho částí je ovlivněno jak skladebností urbánních forem v rámci celku města, tak i jejich vzájemným uspořádáním. Roli v míře fraktálního uspořádání hraje i samotná proporce posuzované urbánní formy vůči okolní zástavbě.

Z hlediska využití tohoto poznání v praxi je nutné dalším výzkumem zpřesnit poznání o konečnosti fraktálu města. Tedy která měřítka zástavby a zejména prostoru z pohledu obyvatelnosti ve městě potřebujeme. Dále jaký charakter fraktálního uspořádání je pro daný urbánní kontext vyhovující, jelikož tato práce prokazuje, že se vyskytuje více druhů fraktálního projevu. To je dáno zejména odlišností reálného fraktálu od matematické definice. Další výzkum by měl řešit i možnosti jakým způsobem můžeme s měřítky zástavby a prostoru pracovat dnes a jaký dopad to může mít na naše prostředí a společnost. A v neposlední řadě jak se promění měřítka města s proměnou požadavku společnosti, která jej obývá. Tato a další témata související se závěry této práce jsou diskutována v hypotetické rovině v následujících kapitolách.

6.2 VÝZNAM DISERTAČNÍ PRÁCE

Za hlavní přidanou hodnotu této práce považují spojení dvou přístupů k posuzování měst a jejich vzájemné obohacení. Zaprvé přístupu matematického a ve své podstatě redukcionistického, využívajícího současně výpočetní síly algoritmu schopných zpracovávat tzv. "Big data". V druhé řadě přístupu holistického, empirického až intuitivního, který pracuje s vědomým i nevědomým poznáním skutečného stavu, kontextu a chování města, tedy se schopností město jako celek tzv. "číst".

Přínosem práce pro poznání o skladebnosti měřítek města je využití metody histogramu a jeho lineární i log-log formy zobrazení, což není zcela běžné, zejména kvůli dostupnosti dat. To je výhoda relativně obsáhlého souboru dat, která jsou dlouhodobě na území České republiky pro jednotlivé budovy evidována.

Dalším přínosem je využití optimalizovaného algoritmu za cílem výpočetně rychlejší, snažší a přesnější analýzy urbánních forem metodou odhadu fraktální dimenze. To otevírá nové možnosti posuzování strukturální komplexity a možného fraktálního chování jak jednotlivých částí města - urbánních forem, tak i prostorových vztahů mezi nimi. Tento nástroj umožnil autorovi analyzovat města z nového pohledu a identifikovat různé projevy rozložení fraktální dimenze zástavby v celku. Každé město je v tomto pohledu unikátní. Tato znalost unikátního způsobu rozložení měřítek daného města je nutná pro další uvažování o zahušťování či proměně struktury konkrétního města.

Ojedinelým přístupem je i analýza současně tvarů, které v otisku města zanechává samotná zástavba, tak obrácením pohledu a analyzováním tvarů, které v otisku města zanechává vzniklý prostor. Cenné informace byly získány jak jejich srovnáním, tak zejména způsobem, jak se v tomto prostoru ohniska fraktální dimenze chovají vůči sobě navzájem, jaký mají průběh či jaký mají vztah k dané urbánní formě. Tyto vlastnosti by ze samotné analýzy zástavby nebyly často patrné.

Významným sdělením práce, které je klíčové pro praktické využití uvedených témat a poznatků, je zdůraznění limitů podobných metod v reálném navrhování. To je dané zejména urbanistickou praxí i empirickou teoretickou znalostí chování města autora práce. Při detailním zkoumání chování urbánních forem z pohledu fraktálního chování v této práci se ukázala klíčová úloha uvedení kontextu konkrétního města a jeho dopadu na výsledný projev možného fraktálního uspořádání. Proto je jedním ze závěrů práce i zpochybnění možnosti přímo aplikovat počítačem generovaný fraktál přímo k vytvoření nové urbánní struktury. Taková umělá struktura by musela být dále podrobena úpravám z hlediska dalších urbanistických požadavků.

6.3 PŘÍNOS PRO TEORII

V následujících kapitolách uvádím několik doplňujících výzkumných otázek a hypotéz, které nebylo možné v rámci této disertační práce zodpovědět, ale které mohou být přínosné pro další směřování výzkumu. Ty jsou uvedeny na konci každé následující kapitoly.

KATEGORIZACE PŘIROZENÝCH FRAKTÁLŮ

Práce se zabývá rozvedením tématu kategorizace přirozených fraktálů a jejím možným přínosem pro urbanistickou teorii. Nabízí se několik možných způsobů kategorizace, např. podle původu, průběhu úrovní měřítek, konečnosti fraktálu, vztažného měřítka koncového prvku, rozložení měřítek v celku atp.

“Jaké existují druhy přirozených fraktálů?”

“Navzdory principu univerzality fraktálu napříč různými systémy nejsou všechny reálné fraktály s ohledem na možné rozdílné kategorie jednoznačně porovnatelné.”

FRAKTALITA MĚSTA A MOŽNOSTI JEHO UŽÍVÁNÍ

Disertační práce v této části ukazuje na příkladu srovnání s vybaveností konkrétního města možné souvislosti fraktality a užívání města. Jedním z indikátorů může být např. srovnání rozložení fraktální dimenze a vybavenosti. Dále např. dostupnost dopravní a technické infrastruktury, jakožto indikátoru efektivity uspořádání dané struktury, nebo srovnání s cenovou mapou, jakožto indikátorem ekonomické hodnoty daných urbánních forem v rámci celku. Nabízí se i využití zapojení sociálního výzkumu.

“Má fraktální uspořádání města dopad na možnost jej užívat?”

KONEČNOST FRAKTÁLU MĚSTA

V této kapitole jde o hledání konečnosti fraktálu města s ohledem na měřítko člověka a jeho potřeby. Tedy jaká měřítka bude do budoucna skutečně potřebovat.

“Jaká je hranice rozsahu měřítek města?”

“Jaký je vliv různých způsobů vymezení celku města na skladebnost jeho měřítek?”

“Konečnost fraktálu prostorové struktury města se proměňuje s jeho užitečností.”

“Konečnost fraktálu prostorové struktury města se během 20. století oddělila od jeho koncového prvku - člověka”

FRAKTALITA ZÁSTAVBY A PROSTORU VNITŘNÍ I VÝŠKOVÁ

Vzhledem k charakteru našich měst a převážně plošnému rozměru prostorovému uspořádání města ve srovnání s jeho výškovým uspořádáním, je mřížková metoda provedená na figure-ground schématu dostačující. Nicméně pro bližší posouzení konkrétních urbánních forem by bylo vhodné pokračovat dále výzkumem při zohlednění třetího rozměru zástavby. Práce nabízí čtyři možné způsoby fraktálního růstu prostoru města: horizontální fraktalizaci (růst převážně plošný), vertikální fraktalizaci, vnitřní (interiérovou) fraktalizaci a re-fraktalizaci - doplňování a nahrazování měřítek existující struktury.

“Jaký vliv na fraktální uspořádání současných měst má třetí rozměr struktury?”

“Můžeme najít fraktální uspořádání i v interiéru budov?”

“Města se po nasycení horizontálního fraktálního uspořádání nadále rozvíjí vertikální fraktalizací, re-fraktalizací a vnitřní fraktalizací.”

FRAKTALITA SÍTĚ VEŘEJNÝCH PROSTRANSTVÍ

Velmi přínosná by byla z hlediska skladebnosti měřítek celého města analýza distribuce velikosti veřejných prostranství.

“Jaké jsou další možnosti rozvoje fraktálního uspořádání prostoru města?”

VZTAH FRAKTÁLNÍ DIMENZE A SÍŤOVÉ ANALÝZY

Velmi praktickým směrem, kterým by se výzkum mohl dále ubírat, je využití a snad i zpřesnění již existujících metod, které se též používají pro zkoumání komplexity urbánní struktury a to zejména jejího chování jako sítě. Možnostmi analýzy urbánních struktur jako sítí je např. u nás běžně používaný *space syntax*.

“Jaký je vztah fraktálního prostorového uspořádání a chování prostoru jako sítě?”

“Fraktální síť prostorů města lépe umožňuje sociálně-hodnotné interakce mezi jeho obyvateli.”

6.4 PŘÍNOS PRO PRAXI

Přínos pro praxi je v rámci disertační práce uveden ve dvou rovinách, využití teorie v praxi a využití samotných nástrojů. Přímé využití zde uvedených nástrojů k navrhování je omezené, resp. musí být provedeno s velkým respektem k tomu, co jsou skutečně schopny nám sdělit a s vědomím, jaké roviny reálného světa při jejich užití zanedbáváme. Jedná se pouze o jednu složku a charakteristiku města. Z hlediska přínosu pro praxi se práce věnuje následujícím tématům.

FRAKTÁLNÍ ZAHUŠŤOVÁNÍ MĚST

Nutnost omezit dopad našich měst na životní prostředí je v současné době zjevná. Prostor, který jsme již zabrali a který nadále zabíráme se dnes snažíme redukovat. Hledáme cesty jak zahustit naši zástavbu tak, abychom ji jako lidé stále byli schopni užívat. Z výsledků této práce vyplývá, že v našich městech je stále potenciál k zahušťování. Aby však mohl být naplněn vytvářením prostorové struktury obytné pro lidi, musí respektovat charakter prostorového přirozeného fraktálu daného města. Tedy zajistit určitou skladebnost všech potřebných měřítek a ne zaměřit se pouze na "absolutní" zahušťování samotné. Jde zejména o hledání míry, rovnováhy a proporce mezi jednotlivými měřítky vytvářených prostorů a četností jejich výskytu, která odpovídá potřebám dané komunity a měřítku člověka.

FRAKTÁLNÍ PROSTOR PRO LIDI

Město není matematický fraktál. A to je dobře. V matematickém, nekonečném a zcela soběpodobném fraktálu bychom nemohli žít. Naopak fraktální prostor, který obýváme a užíváme je konečný. Samotný princip fraktální skladebnosti měřítek - mnoho malých, málo velkých, je dobře využitelný v uvažování o navrhování či zásahu do sítě veřejných prostranství v konkrétním území. Jinými slovy, zdůvodňuje nutnost vytvářet hierarchii prostranství o menším počtu velkých veřejných prostranství sdílených větším počtem lidí, po větší počet menší lokálních prostranství sdílených jednotlivými sousedy, např. na úrovni vnitrobloku či komunálních zahrad, prostorů pro dětská hřiště atp. To je koneckonců i směr, kterým se současná urbanistická praxe intuitivně ubírá.

FRAKTÁLNÍ HRANICE PRO JEJICH INTERAKCE

Významným a pro praxi užitečným poznatkem o fraktálním chování zástavby města je prostý fakt, který vychází z teorie fraktálu. A totiž, že je schopný měnit své vlastnosti, či nabývat nových vlastností s tím, jak přerůstá z jednoho rozměru do dalšího. Jako například získávat delší hranici pro zajištění nutných interakcí. Fraktální hranici může tvořit např. podloubí, či členění tohoto rozhraní aktivitami a předprostory jako jsou zahrádky restaurací. Samotné urbánní formy však vytváří fraktální hranici. Na stejném území mohou různé fraktální formy díky svému tvaru

získávat mnohem delší hranici mezi zástavbou a volným prostorem a tímpádem i více možností k interakci mezi těmito dvěma oblastmi. Interakce, které mezi nimi mohou probíhat, jsou různé. V první řadě se jedná přímo o aktivní přízemí s obchody, restauracemi atp., které je typické pro velmi fraktální strukturu území centra města. Může jít o hranici skrze níž probíhá kontakt mezi obyvateli, sociální kontrola prostranství zajišťující jejich bezpečnost, ale i jiná hlediska, která mohou být z pohledu struktury vyžadována.

V tomto ohledu je zejména pozdně modernistická zástavba ve vztahu k hustotě obyvatel výrazně znevýhodněna. Na stejný počet obyvatel má mnohem menší průběžnou hranici, kde může docházet ke kontaktu s veřejným prostranstvím. I když plocha fasády může být podobná. To je mimochodem jedním z důvodů, proč je plošné vymezení struktury pro fraktální prostorové uspořádání města důležitější než samotný třetí rozměr. Obyvatelé ve vyšších patrech postupně ztrácí kontakt s prostorem, kde se odehrává život ve městě. Tento jev je pozorovatelný i v evropském kontextu, kde se mu mimojiné věnuje ve své práci o vztahu výšky budovy a kontaktu mezi obyvateli Jan Gehl (2000). Život ve velmi vysokých budovách se také výrazně projevuje svým negativním dopadem na psychické pohodlí na jedince (Gifford, 2007).

VYUŽITÍ NÁSTROJŮ V PRAXI - DOBRÝ SLUHA, ALE ZLÝ PÁN

Při uplatnění nástrojů použitých v této disertační práci, ať už histogramu nebo mřížkové metody odhadu fraktální dimenze, v reálném urbanistickém návrhu je třeba mít na paměti, že se jedná pouze o redukci reálného stavu. Navíc redukci na omezeném rozsahu a způsobu zobrazení relevantních dat, která je úzce zaměřena pouze na jednu vrstvu z mnoha, které jako urbanisté musíme při navrhování konkrétního území zohlednit. Proto je třeba k jakýmkoliv podobným nástrojům přistupovat obezřetně a vždy se zohledněním ostatních souvislostí a vrstev daného návrhu.

Histogram je využitelný zejména pro poznání chování o celku města na úrovni jeho plánování, pro samotné navrhování je využitelný velmi omezeně. Vyžaduje velký vzorek dat, který vznikl dlouhodobým vývojem a je natolik bohatý, že se na jeho zobrazení formou histogramu může fraktální chování vůbec projevit.

Existuje "ideální" hodnota fraktální dimenze?

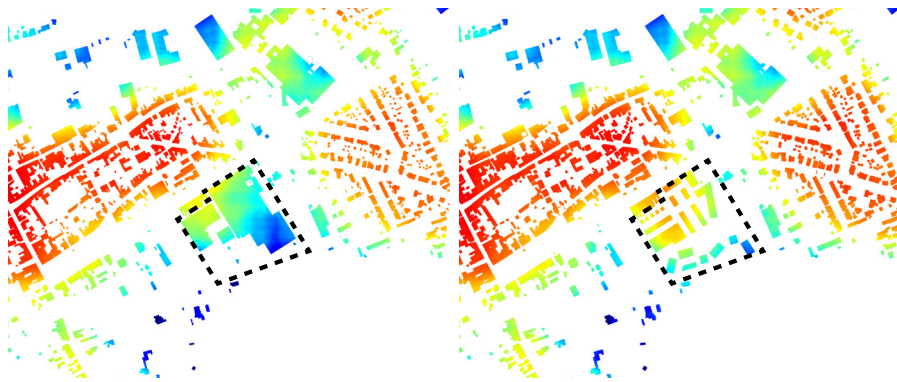
Současná polemika uvádí, že ideální hodnota FD pro navrhování neexistuje, resp. že žádná hodnota nemůže sloužit jako univerzální norma pro navrhování (Tannier, 2018). Výsledky práce též ukazují, že za obdobným číslem mohou stát různé urbánní formy a že mohou být výrazně ovlivněny kontextem svého vzniku a vývoje. Je zásadní si uvědomit, v jakém prostorovém kontextu se daná urbánní forma nachází, jak se chová, jaká má pravidla a co od ní očekávám z hlediska její

obytnosti, programu atp. Pouze po nastavení potřebných parametrů a zohlednění dosavadních znalostí o chování města je možné tuto matematickou redukci uplatnit a vyložit si, co nám vlastně o konkrétní formě daná čísla říkají. Mřížková metoda je pochopitelně uplatněna na otisku reálné fyzické struktury, s minimální indikací výškových poměrů a zejména bohatostí detailních měřítek objektů. Poněkud lépe prokazuje souvislosti volného prostoru, nicméně zde neukazuje další zásadní prostorotvorné prvky.

Příkladem, kdy může být daný nástroj v urbanistické praxi užitečný, je vysvětlení chování dané struktury v rámci celku města a pochopení jeho dopadu na strukturální komplexitu a fraktalitu celku, jak uvádím na příkladu z vlastní praxe - návrhu revitalizace brownfieldu Sofinal v obci Kluisbergen v Belgii. Tedy jakým způsobem můžeme rozvíjet nebo v daném případě navrátit určité části města bohatou skladebnost měřítek, která jsou bližší měřítku člověka.

Uvedená mapa lokální fraktální dimenze je navíc spojená pouze s velmi abstraktním obrysem v úrovni urbanistického návrhu. Tzn. že neobsahuje jakéhokoliv dalšího členění půdorysů či objektů. Ta se v území rozvinou až během jeho následujícího vývoje.

To je zásadní poznatek této práce, důležitý pro využití principu fraktálu v praxi. V případě snahy o vytvoření fraktálu-bližké struktury nelze opomenout rovinu času. Musíme dát struktuře možnost si potřebná měřítka postupně vyvinout. A s tím také již v samotném návrhu počítat. Prvotní návrh je tedy jakýsi rámec budoucího života území, který se v něm může lépe či hůře odehrávat. Naším návrhem konkrétní urbánní formy dáváme utvářenému sousedství šanci se v budoucnu lépe adaptovat a vyvíjet.



Obr. 22: Srovnání lokální fraktální dimenze zástavby -revitalizace brownfieldu Sofinal - stav a návrh

Zdroj: Archiv autora, LiPS, 2020, výřez

7 SUMMARY

This dissertation speaks about the city as a whole and its physical form of built and open space. It shows how can this whole and its parts behave as fractal-like structures.

Thesis combines two approaches. Firstly, a mathematical approach, which allows to abstract the manifestation of fractal behavior from the structure. For this it uses computer algorithms capable of analysing vast city data - a histogram and a box-counting method estimating the fractal dimension. Their results are confronted with the contextual knowledge of a particular city, urban pattern and the processes of their evolution, the ability to "read" the city. Without that the results would be mere numbers. And very dangerous for an actual urban design, if used irresponsibly.

Secondly, this work uses an empirical, even intuitive approach, which allows to communicate this phenomenon on a more useful level for urban practice. To state further questions and assumptions valuable for thinking about a fractal in design and intervention within the city structure.

This thesis shows on the example of twelve cities in the Czech Republic how, with the emergence of modernist planning, we have lost the ability to "naturally" create fractal-like city derived from the human scale. But also what differences are between specific patterns and how different can be the physical fractal of a specific city. Lastly this work also speaks about how dangerous it can be to design only by a number or in what other way a fractal mindset can help us in our practice.

Results of this work confirm the hypothesis that modernist planning leads to less fractal arrangement in general. However, it brings more detailed information on the different characters of fractality that appear in different urban forms and cities. It shows variation even in between modernist ones.

In the last part, it poses new research questions and potential hypotheses leading to the next steps in the research. It also creates a connection of the theory of fractals to urbanistic practice. This more hypothetical part is based on the results of this dissertation and the deductions derived from the overall knowledge of the corresponding field of interest. It is particularly valuable for our own practice as urbanists and architects.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- ALEXANDER, C., (2002). *The Nature of Order: An Essay on the Art of Building and the Nature of Universe, Book 1: The Phenomenon of Life*. Berkeley, CES.
- BARABÁSI, A.-L. (2007). The Architecture of Complexity. *IEEE Control Systems Magazine (August)*, 33–42.
- BAR-YAM, Y. (2003). *Dynamics of Complex Systems*. Boulder, Westview Press.
- BATTY, M., LONGLEY, P. (1994). *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. Cambridge, Academic Press.
- BETTENCOURT, L., WEST, G. B. (2010). A unified theory of urban living. *Nature*, 467, 912–913.
- BETTENCOURT, L., (2013). The Origins of Scaling in Cities. *Science*, 340, 1438-1441.
- BOEING, G. (2018). Measuring the Complexity of Urban Form and Design. *Urban Design International*, 23(4), 281-292, doi: 10.1057/s41289-018-0072-1.
- CHEN, Y. a ZHOU, Y. (2008). Scaling laws and indications of self-organized criticality in urban systems. *Chaos, Solitons & Fractals*, 35(1), 85-98.
- CHEN Y. a WANG J. (2013). Multifractal Characterization of Urban Form and Growth: The Case of Beijing. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(5), 884-904.
- DE ROO, G. a RAUWS, W. S. (2012). Positioning Planning in the World of Order, Chaos and Complexity. In J. Portugali, H. Meyer, E. Stolk, & E. Tan (Ed.), *Complexity Theories of Cities Have Come of Age*, pp. 207–220, Berlin, Springer.
- DVOŘÁK, M. a VYSKOČIL, J. (2020, v recenzním řízení). Fractal evolution of cities in the Czech Republic: Impact of modernist planning. *Urban Morphology*, 25.
- ENCARNAÇÃO S., GAUDIANO M., SANTO F. C., TENEDÓRIO J. A. a PACHECO J. M. (2012). Fractal cartography of urban areas. *Scientific Reports*, 2(527), www.nature.com/scientificreports.
- FENG, J. a CHEN, Y. (2010). Spatiotemporal Evolution of Urban Form and Land-use Structure in Hangzhou, China: Evidence from Fractals. *Environment and Planning B: Planning and Design* 37, 838-856.
- FELDMAN, D. P. (2012). *Chaos and Fractals: An Elementary Introduction*. Oxford, Oxford University Press. ISBN 9780199566440.
- FRANKHAUSER, P. (1990). Aspects fractals des structures urbaines. *L'Espace géographique*, 19-20(1), pp. 45-69.
- FRANKHAUSER, P. (1998). Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2(2), 127-145.
- FRANKHAUSER P. (2004). Comparing the morphology of urban patterns in Europe. A fractal approach. In A. Borsdorf, P. Zembri (eds) *European Cities: Insights on Outskirts, Structures*, ESF COST Office, Brussels, pp. 79-105.
- GIFFORD, R. (2007). The Consequences of Living in High-Rise Buildings. *Architectural Science Review*, 50(1):2-17.

- HOTAŘ, V. (2008). *Metodika popisu průmyslových dat pomocí fraktální geometrie*. Liberec, Technická univerzita v Liberci, ISBN 9788073724313
- KAYA, H. S. (2017). Urban DNA: Morphogenetic Analysis of Urban Pattern. *International Journal of Architecture & Planning* 5-1, 10-41.
- DE KEERSMAECKER, M.-L., FRANKHAUSER A P, THOMAS, I. (2003). Using Fractal Dimensions for Characterizing Intra-urban Diversity: The Example of Brussels. *Geographical Analysis*, 35(4), The Ohio State University.
- KORČÁK, J. (1938): Deux types fondamentaux de distribution statistique. *Bulletin de l'Institute Int'l de Statistique*, 3, s. 295–299, Praha, Comité d'organisation.
- MANDELBROT, B. B. (1967). How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension. *Science*. 156 (3775), 636–638. doi:10.1126/science.156.3775.636.
- MANDELBROT, B. B. (1977). *Fractals: Form, Chance, and Dimension*. San Francisco, ABD: WH Freeman.
- MANDELBROT, B. B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*. NY, ABD: WH Freeman.
- MITCHELL, M. (2011). *Complexity: A Guided Tour*. Oxford, Oxford University Press, ISBN 978-0199798100
- PEITGEN, H. O., JÜRGENS, H., a SAUPE, D. (2004). *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science*. New York, Springer Verlag Press.
- SALINGAROS, N. A. (2001). Fractals in the New Architecture. *Archimagazine*, ca. 6 str.
- SALINGAROS, N. A. (2003). *Connecting the fractal city*. Keynote speech, 5th Biennial of town planners in Europe, Barcelona.
- SANDER, L. M. (2012) Fractal Growth Processes. In: Meyers R. (eds) *Mathematics of Complexity and Dynamical Systems*. New York, Springer.
- SHEN, G. (2002). Fractal Dimension and Fractal Growth of Urbanized Areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(5), pp. 437-519.
- SÝKORA, L. (2013). *Geografie města 2013/14*. cyklus přednášek. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, katedra sociální geografie a regionálního rozvoje
- TANG, M. a YANG, D. (2008). *Urban Paleontology: Evolution of Urban Forms*. Irvine, Universal Publishers.
- TANNIER, C. a PUMAIN, D. (2005). Fractals. *Urban Geography: A Theoretical Outline and an Empirical Example*. Cybergeog: European Journal of Geography, 307.
- TANNIER, C. (2018). *About fractal models in urban geography and planning: refuting the aesthetics and the universal norm*. příspěvek na 'Cybergeog Conversation', 13. 3. 2018. [<https://cybergeog.hypotheses.org/223>]
- VEVERKA, M. (2013). *Evoluce svým vlastním tvůrcem*. Praha, Prostor. ISBN 978-80-7260-276-6
- WEST, G. B. (2017). *Scale: The Universal Laws of Life and Death in Organisms, Cities and Companies*. London, Weidenfeld & Nicolson. ISBN 978-0297869658

9 SEZNAM PRACÍ DOKTORANDA

PUBLIKACE VZTAHUJÍCÍ SE K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE

- 2021 Dvořák, M.; Vyskočil, J. (50%)
Fractal evolution of cities in the Czech Republic: Impact of modernist planning
Urban Morphology. 2021, 2021(25.1), ISSN 1027-4278.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Územní studie Jihlava - I. etapa, část Havlíčkova (ÚS 35a)
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Město Jihlava,
Masarykovo náměstí č. 97/1, 586 01 Jihlava: 2016-10-31.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Územní studie Jihlava - I. etapa, část Handlovy Dvory (ÚS 24)
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Město Jihlava,
Masarykovo náměstí č. 97/1, 586 01 Jihlava: 2016-10-31.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Územní studie Jihlava - I. etapa, část Na Bělidle (ÚS 11)
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Město Jihlava,
Masarykovo náměstí č. 97/1, 586 01 Jihlava: 2016-10-31.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Územní studie Jihlava - I. etapa, část Špitálské předměstí (ÚS 5)
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Město Jihlava,
Masarykovo náměstí č. 97/1, 586 01 Jihlava: 2016-10-31.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Zastavovací studie Na Lahovské - Velká Chuchle
[Study (Architectural, Urbanistic)] Zadavatel Městská část Praha - Velká Chuchle, U
Skály 262/2, 159 00, Praha - Velká Chuchle 2016-12-13.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Územní studie U Hřiště
[Study (Architectural, Urbanistic)] Zadavatel obec Úholičky, Náves 10, 252 64,
Úholičky 2016-04-28.
- 2016 Dvořák, M.; Grasse, L.; Gogolák, I.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Regulační plán Dubčnice
[Realization Project] Zadavatel Město Roztoky, nám. 5. května 2, 252 63 Roztoky
2016-11-25.

- 2015 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Územní studie Roztoky - Dubečnice
 [Study (Architectural, Urbanistic)] Zadavatel Město Roztoky, nám. 5. května 2, 252 63 Roztoky 2015-12-21.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Rozvaha urbanistického rozvoje, MČ Velká Chuchle
 [Study (Architectural, Urbanistic)] Zadavatel MČ Velká Chuchle, U Skály 2, 159 00 Velká Chuchle 2016-06-30.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Malý, Ingarch.P. (33%)
Územní plán Kroměříž
 [Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Město Kroměříž, Velké nám. 115/1, 767 01 Kroměříž: 2016-12-21.
- 2016 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)
Územní plán Mariánské Lázně - Ideový návrh
 [Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Město Mariánské Lázně, Ruská 155 353 01 Mariánské Lázně: 2016-06-13.
- 2015 Hejl, M.; Hejlová, L.; Říha, C.; Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Kořínková, J.; Kosatík, P. et al. (11,11%)
Martin Hejl & Coll. 2x100 mil. m²
 [Architectural Exhibition - Individual] 2015-02-20 - 2015-05-17 Národní galerie v Praze, Veletržní palác.
- 2015 Salzmann, K.; Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Rýpar, V. (20%)
Wiederbelebung der deutschschechischen Grenzlandschaft
 2015. ISBN 978-80-905944-8-7.
- 2014 Grasse, L.; Gogolák, I.; Dvořák, M. (33%)
Revitalizace náměstí Přemyslovců v Nymburce
 [Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Společnost Petra Parláře, Zavadilova 5/1296, 169 00 Praha 6: 2014-10-13.
- 2014 Grasse, L.; Gogolák, I.; Dvořák, M. (33%)
Urbanisticko-dopravní řešení města Kroměříže - Ideový návrh
 [Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Město Kroměříž, 2014-08-27.
- 2014 Hejl, M.; Hejlová, L.; Kořínková, J.; Kosatík, P.; Rous, L.; Říha, C.; Dvořák, M.; Gogolák, I. et al. (11,11%)
2x100mil.m²
 Praha: KOLMO, 2014. ISBN 9788026061274.

- 2013 Gogolák, I.; Dvořák, M.; Grasse, L.; Grasse, P. (33%)
Územní plán Mělníku
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Česká komora
Architektů, Česká republika, Praha: 2013-09-26.
- 2013 Gogolák, I.; Dvořák, M.; Grasse, L.; Grasse, P. (33%)
Územní plán Čelákovice ideový návrh
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Česká komora
Architektů, Česká republika, Praha: 2013-07-02.
- 2013 Gogolák, I.; Dvořák, M.; Grasse, L.; Grasse, P. (33%)
ÚP Nelahozeves
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Česká komora
Architektů, Česká republika, Praha: 2013-06-28.
- 2013 Gogolák, I.; Dvořák, M.; Grasse, L.; Grasse, P. (33%)
Územní plán města Klatovy – ideový návrh
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Česká komora
Architektů, Česká republika, Praha: 2013-02-05.
- 2012 Gogolák, I.; Dvořák, M.; Grasse, L.; Pánek, L. (33%)
Územní plán města Hostomice – ideový návrh
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Česká komora
Architektů, Česká republika, Praha: 2012-06-22.
- 2013 Gogolák, I.; Dvořák, M.; Grasse, L.; Grasse, P. (33%)
Návrh urbanistické koncepce obce Úholičky
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Česká komora
Architektů, Česká republika, Praha: 2013-09-25.
- 2013 Gogolák, I.; Dvořák, M.; Grasse, L.; Pánek, P. (33%)
Ideový návrh územního plánu Blatná
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Česká komora
Architektů, Česká republika, Praha: 2013-01-16.
- 2011 Grasse, L.; Gogolák, I.; Dvořák, M.; Pánek, L. (33%)
Řešení území vnitřní části města Plzně
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Statutární město
Plzeň, Plzeň: 2011-12-12.
- 2011 Gogolák, I.; Grasse, L.; Dvořák, M. (33%)
Kirjva Satama South Harbour Helsinki
[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel Helsinki City
Planning Department, Mailing address: P.O.Box 2100 FIN-00099 CITY: 2011-12-
15.

PUBLIKACE OSTATNÍ

2016 Salzman, K.; Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Bečvářová, Z.; Ledvina, V.; Skřivanová, Z.; Šašek, J. et al. (11.25 %)

D 0 514 Lahovice - Slivenec - Komplexní modelová krajinářská studie

[Study (Architectural, Urbanistic)] Zadavatel Ředitelství silnic a dálnic ČR, Na Pankráci 56, 140 00, Praha 4 2016-12-08.

2015 Dvořák, M.; Gogolák, I.; Grasse, L.; Grasse, Ingarch.P. (33%)

Prostor před terminály 1 a 2 letiště Václava Havla Praha

[Architectural Competition - Public, Anonymous] - Vypisovatel ČESKÝ AEROHOLDING, a.s., 2015-12-17.

KONFERENCE

2015 **Recovering of the Czech-German Border Landscape - Výškovice**

Mezinárodní konference; panelová diskuze; dvořák+gogolák+grasse; Plzeň, Česká Republika

2019 **ENHR2019**

příspěvek "Fractal evolution of our cities"

Mezinárodní konference; prezentace, workshop; Harokopio University, Department of Geography, Atény, Řecko