

# VYUŽITÍ UMĚLÉ INTELIGENCE PRO ANALÝZU POHYBU LIDÍ VE VEŘEJNÉM PROSTORU PŘÍPADOVÁ STUDIE MARIÁNSKÉ NÁMĚSTÍ V PRAZE

Jana Zdráhalová, Lukáš Kurilla, Petr Prášek, Zdeněk Berka

*Tento text zkoumá možnosti využití umělé inteligence pro interpretaci aktivit ve veřejném prostoru měst. Aplikací neuronové sítě na kamerové záznamy, které po čtyři dny snímaly aktivity na Mariánském náměstí v Praze, jsou vygenerovány trajektorie jednotlivých uživatelů prostoru. Promítnutím jejich přesné polohy do půdorysu náměstí získáváme tzv. heatmapy pohybu osob, tedy zobrazení hustoty trajektorií. Výhodou tohoto přístupu je získání velkého množství informací o pohybu v celé ploše náměstí v dlouhém časovém úseku. Oproti standardnímu zkoumání metodou zúčastněného pozorování nebo pouhým počítáním osob, které projdou přes určený práh, jsou tyto informace nezatížené osobou výzkumníka, jsou přesné a mapují prostor jako celek. Pro komplexnější obrázek o využití prostoru jsme vyvinuli sémantický anotátor – nástroj, pomocí kterého výzkumník přiřazuje na základě kamerových záznamů aktivity osob k jednotlivým trajektoriím. Větší automatizace celého procesu by umožnila provádět složitější úlohy o hledání vztahu mezi daným místem a aktivitami lidí v něm.*

**Klíčová slova:** veřejný prostor, náměstí, kamerový záznam, heatmapy, neuronová síť, trajektorie pohybu, využití veřejného prostoru, anotátor

## Veřejný prostor jako reprezentace města

Péče o kvalitu a charakter veřejného prostoru odráží, jak společnost vnímá bohatost a různorodost, kterou společenství lidí představuje. Bezbariérový přístup, vhodné dopravní řešení, možnost odpočinku, stín nebo přístup k pitné vodě jsou parametry, které ovlivňují, jak bude místo využíváno, jaké aktivity v něm nalezneme. Pozornost odborné veřejnosti věnovaná veřejnému prostoru se zaměřuje na aktuální témata současného města, jako jsou environmentální podmínky, vznik soukromě vlastněných veřejně přístupných míst (*angl. POPS – Privately Owned Public Spaces*) nebo kontrola veřejného prostoru, která vede na jedné straně k pocitu bezpečí [Tiesdell & Oc, 1998], na druhé straně může vést k sociálnímu vyčlenění části obyvatel z veřejného prostoru [Mitchell, 2003].

Aelbrecht [2016] zdůrazňuje důležitost vytvářet veřejný prostor otevřený pro všechny, s heterogenním charakterem, flexibilní a adaptabilní svou formou i využitím. Nazývá taková místa „čtvrtá místa“ v návaznosti na Oldenburga [1989] a jeho „třetí místo“. Podle Oldenburga existují tři hlavní typy míst, kde lidé tráví čas. První místo – domov, kde jed-

notlivci žijí a tráví většinu svého soukromého času. Druhé místo – práce, kde se lidé zabývají produktivní činností. Třetí místo – neformální veřejné shromažďovací prostory, kde se lidé stýkají, komunikují a budují komunitu mimo své domovy a pracoviště. Příklady třetích míst zahrnují kavárny, parky, knihovny, komunitní centra, knihkupectví nebo hospody. Často se jedná o místa soukromá. „Čtvrtá místa“, jak je definuje Aelbrecht [2016], jsou naproti tomu místa veřejná, sociálně rozmanitá, otevřená všem.

Mnoho obcí nechává veřejný prostor náměstí nebo navesí renovovat, aby nabídlo občanům důstojné místo pro setkávání i pořádání kulturních a společenských akcí. Vychází přitom z představy, že prvky, které fungují dobře na jednom místě, budou dobře fungovat všude. Přestože je úpravám věnována velká pozornost, je požadovaný výsledek formulován často na základě obecných představ o ideální podobě veřejného prostoru bez porozumění jeho konkrétního využití [Montgomery, 1998].

Na poli architektury, krajinářské architektury a urbanismu existuje množství obecných návodů, jak veřejný prostor zpracovat [Melková a kol., 2014; Schlickman & Domlesky, 2019; Marcus & Fran-

cis, 1998]. V konkrétních případech ale chybí hlubší znalost skutečného využití prostoru, která by reflektovala změny v jednotlivých ročních obdobích, dnech v týdnu, v různých denních a nočních hodinách. Tyto chybějící informace snižují možnost reagovat na aktuální problémy a výzvy, které život ve městě přináší, a zohlednit dynamiku konkrétního místa.

## Mapování aktivit ve veřejném prostoru pomocí umělé inteligence

Naším cílem je ověřit možnosti umělé inteligence, která zpracovává několikadenní nepřetržité kamerové záznamy dějů ve veřejném prostoru, získat podrobnější znalosti o aktivitách, které se v tomto prostoru odehrávají. Hlavní zájem se soustředí na to, jak uspořádání veřejného prostoru ovlivňuje celkové množství lidí v prostoru i v jeho dílčích částech; jak uživatelé volí trasu pohybu v závislosti na různé podobě veřejného prostoru a jak lidé využívají daný mobiliář. Cílem je porozumět časovému vzorci užívání prostoru jako celku i jeho částí.

Přehled existujících empirických metod ukazuje, že pro studium složitých inte-

rakci mezi obyvateli a prostorem je nezbytná mezioborová kombinace různých metod [Low, Taplin & Scheld, 2005]. Mezi kvalitativní přístupy sběru a analýzy dat patří pozorování aktivit v místě s cílem identifikovat vzorce užívání a chování ve vybraných lokalitách, etnografické metody dotazování, které shromažďují podrobné popisy sociálních interakcí dotazovaného, prostorová analýza místa nebo analýza „řeči těla“.

Metody klasického pozorování používají Laura Vaughan [2003], Jan Gehl [1971] nebo William H. Whyte [1980]. Jan Gehl hledá vztah mezi uspořádáním a kvalitou veřejného prostoru a aktivitami, které se zde odehrávají. Rozlišuje tři druhy aktivit podle vstřícnosti, jakou prostředí poskytuje. *Nezbytné* aktivity představují nejčastěji chůzi, kterou je třeba vykonat pro přesun z práce domů, a jsou teoreticky nezávislé na kvalitě prostředí. *Volitelné* aktivity zahrnují činnosti, které bychom dělat nemuseli, ale protože nám okolí poskytuje dostatek podnětů, vykonávat je můžeme, například hra dětí, posezení nebo procházení se. *Sociální* aktivity odkazují na nejvyšší kvalitu prostředí, kdy se lidé cítí natolik bezpečně a komfortně, že ve veřejném prostoru komunikují mezi sebou, pozorují aktivity kolem nebo jiným způsobem interagují [Gehl, 1971]. Způsob, jak k tomuto rozdělení autoři došli, je založen na pozorování a fotografování typických situací aktivit lidí v prostoru. Odpozorovaná interakce mezi lidmi a městskými prvky, jako je kašna, předzahrádka nebo sloupky okolo náměstí, o které se lidé opírají, implikuje, že použití těchto prvků v návrhu povede k dosažení obdobných interakcí i v novém prostředí.

William H. Whyte [1980] provádí vyhodnocení využití malých náměstí (*plazas*) v amerických městech rovněž pomocí pozorování. Mimo fotografování využívá Whyte i záznam chování lidí, které nahrává z oken vyšších pater okolních budov. Výsledný film pak dokládá, jak lidé reagují na slunce nebo teplo, jak se přesouvají po náměstí, aby v době oběda využili slunné počasí.

Slabinou přístupu pozorování aktivit v prostoru je nižší validita výsledků šetření. V případě větších skupin lidí nebo většího analyzovaného prostoru nemusí

být pozorování dostatečně věrohodné. Výzkumníci se unaví, zaměřují se jen na určité vytipované časové období, mají odlišně nastavenou citlivost na pozorované děje v prostoru apod.

Moderní technologie včetně umělé inteligence nabízejí kvantitativní způsob sběru dat o aktivitách ve veřejném prostoru. Běžně jsou využívány při sčítání množství automobilů, které projedou uličním segmentem, a následně vyhodnocují intenzitu dopravy [TSK, 2020]. Podobnou službu nabízí aplikace STRAVA, která shromažďuje data o pohybu lidí, kteří si aplikaci stáhnou do mobilního telefonu. Kvantitativní data o výskytu lidí lze sbírat pomocí kamer umístěných u výstupů z významných staveb, jako jsou nádraží nebo obchodní domy. Předností kvantitativního přístupu ke sběru dat o využití veřejného prostoru je zpracování velkého množství dat, které by nebylo možné klasickou metodou pozorování shromáždit. V případě zaměření kamer na výstupy z významných budov je ale slabinou nulová znalost o dalším pohybu osob; není tak možné získat ucelený vzorec pohybu osob v prostoru. Mobilní aplikace zaměřené na úzký segment uživatelů, například cyklistů, sportovců, zákazníků vybraného mobilního operátora, zase poskytují informace pouze o úzkém vzorku uživatelů prostoru.

Kombinací urbanistických analýz veřejného prostoru a behaviorálního mapování se zabývá práce Marusic & Marusic [2012]. Manuálně sebraná data o výskytu lidí a jejich činnosti přenášejí do mapových podkladů pomocí geografického informačního systému (GIS) a následně hledají závislosti mezi urbanistickými vlastnostmi a aktivitami lidí. Ghavampour, Aguila & Vale [2017] inovují tento postup o sběr dat z fotografických záznamů prostoru.

Tento text představuje nástroj, který si klade za cíl identifikovat nové vzorce prostorového života lidí ve veřejném prostoru. Kombinuje přitom kvantitativní sběr dat se znalostmi umělé inteligence tak, aby mohl automaticky vyhodnotit základní prostorové vlastnosti využití místa ve městě. Časově náročné manuální analýzy pozorování nahrazuje počítačovým sběrem dat z kamerového záznamu. Záznam přitom nad

rámec standardního sledování pouze počtu osob, které prošly přes určený práh, doplňuje informací o celé trajektorii jedince. Získaná data jsou promítnutá do plánu náměstí a georeferencovaná tak, aby bylo možné hledat souvislosti a interpretovat shromážděná data o intenzitě pohybu s prostorovými a urbanistickými vlastnostmi veřejného prostoru.

## Metodika

Pro ověření nové metody sběru dat a vyhodnocení aktivit na veřejném prostoru jsme zvolili Mariánské náměstí v Praze. Zvolená metodika vychází z detailního popisu místa a kombinuje objektivizované kamerové sledování a následně detailnější vyhodnocení provedené výzkumníky. Kamerové snímání jsme provedli dvakrát, v mezidobí byla na náměstí provedena plánovaná úprava mobiliáře a organizace dopravy. Pomocí mapování náměstí v původním stavu a po úpravě jsme mohli pozorovat vliv změny organizace veřejného prostoru, dopravního řešení, přítomnost mobiliáře a mobilní zeleně na intenzitu a charakter aktivit na náměstí.

### 1. Popis místa

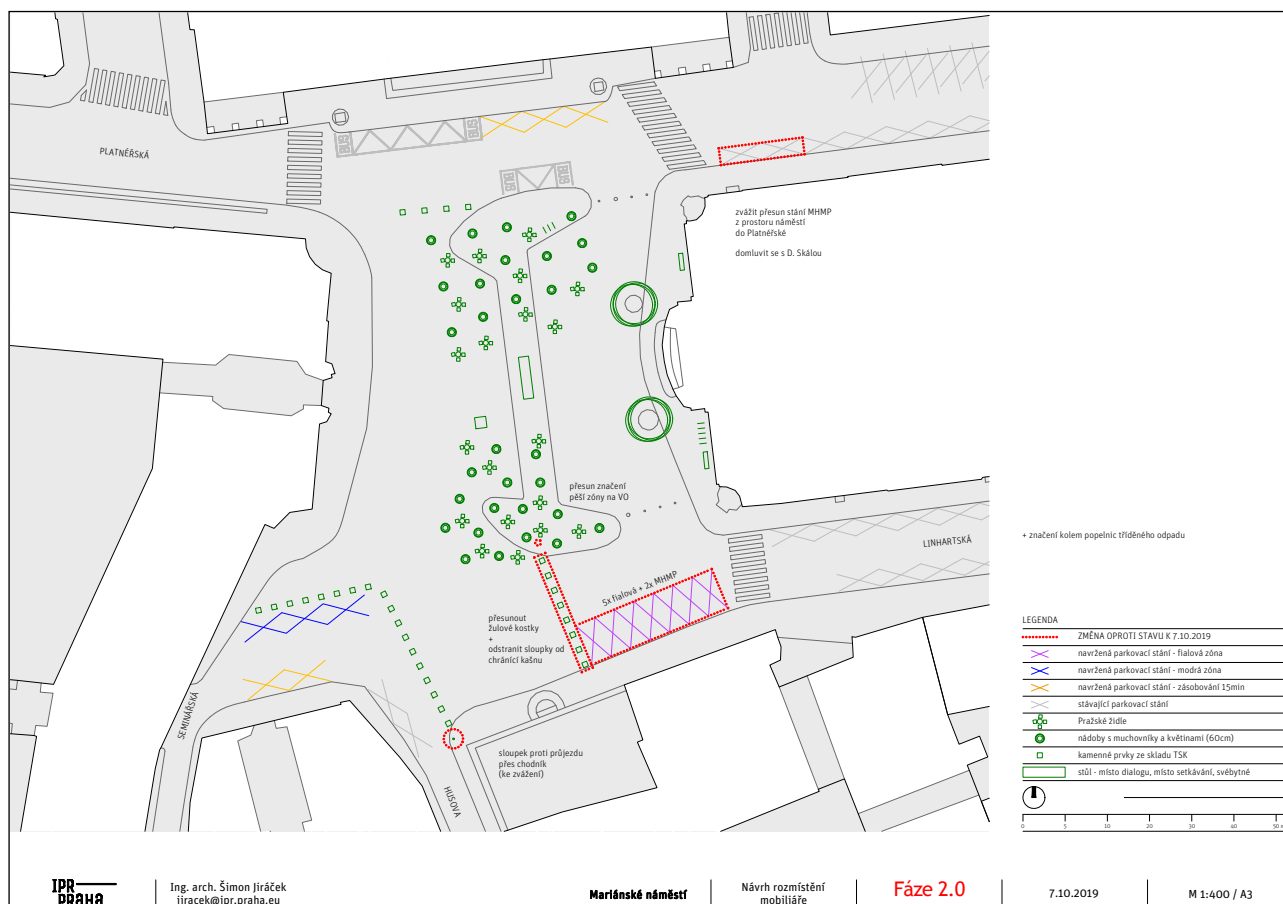
Mariánské náměstí leží v historickém jádru Prahy, na Starém Městě v blízkosti Staroměstského náměstí, výrazné celoměstské turistické destinace. Obklopují ho urbánní bloky, které jsou tvořeny samostatnými budovami nebo komplexy budov: budova Městské knihovny v Praze na severu, komplex Klementina na západě, Magistrát hl. m. Prahy na východě a Clam-Gallasův palác na jihu. Až na Clam-Gallasův palác, který do náměstí není orientovaný žádným vstupem, tvoří vstupy do okolních budov výrazné portály orientované na osu průčelí. Vstup do Klementina vede na nádvoří, kterým je možné projít až ke Karlovu mostu, další významné turistické destinaci. Mimo turistů, pro které Mariánské nádvoří typicky nepředstavuje cílovou destinaci, zde můžeme v akademickém roce očekávat množství studentů, kteří směřují do okolních knihoven. Náměstí je téměř v rovině, neobsahuje výraznější morfologickou hranu. Materiály povrchů tvoří dlažba. Na vozovkách jsou žulové obdélníkové kostky, tzv. kočičí hlavy. Na chodnících je pražská mozaika s různými typy

skladby. Výjimku tvoří vozovka Platněské ulice, která je z asfaltu. Chodníky lemuující náměstí i středový ostrůvek jsou vyvýšeny a od jezdové plochy odděleny obrubníkem. V severní části ostrůvku jsou pouliční hodiny, v jižní části kontejnery tříděného odpadu. Na náměstí jsou u vchodu do budovy magistrátu dva vzrostlé stromy. V původním stavu měla

auta přístup všude, okolo středového ostrůvku byly plochy parkování.

Během několika dnů v říjnu 2019 došlo na náměstí k úpravám, které spočívaly ve změně dopravního řešení, doplnění mobiliáře a přenosné zeleně. Po úpravách náměstí došlo k omezení vjezdu a parkování vozidel, toto ohraničení bylo realizováno

umístěním betonových kvádrů do vozovky. Byly odstraněny kontejnery odpadu. Dále byly na náměstí na severní a jižní část ostrůvku doplněny Pražské židle a stolky\* a mobilní květináky se středně vzrostlými stromy. Do středu ostrůvku byla umístěna menza – velký obdélníkový stůl. Návrh změn je znázorněn na obr. 1. Obrázek 2a znázorňuje fotografii



Zdroj: Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy

Obr. 1: Návrh úpravy Mariánského náměstí – rozmístění sezení a stolků, mobilní zeleně, regulace dopravy

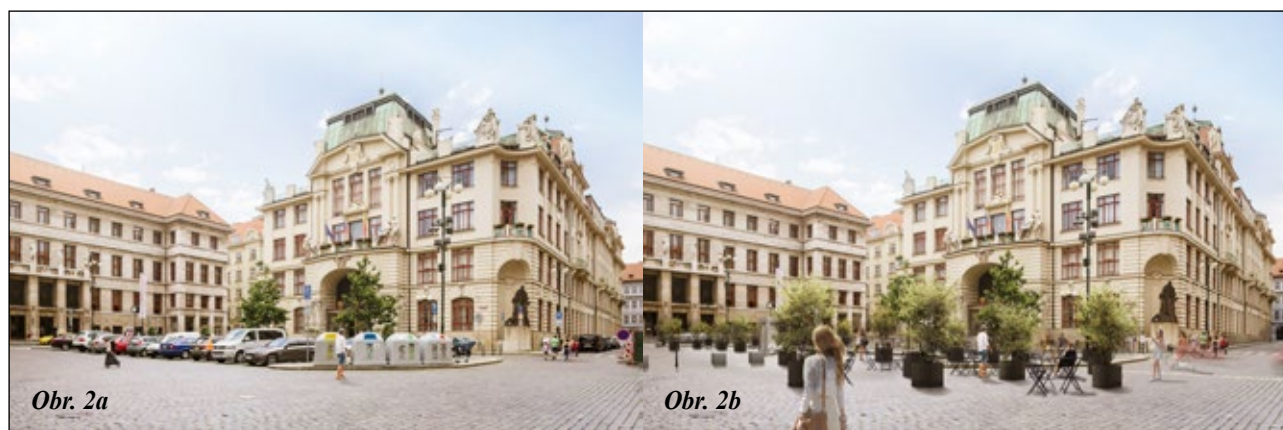
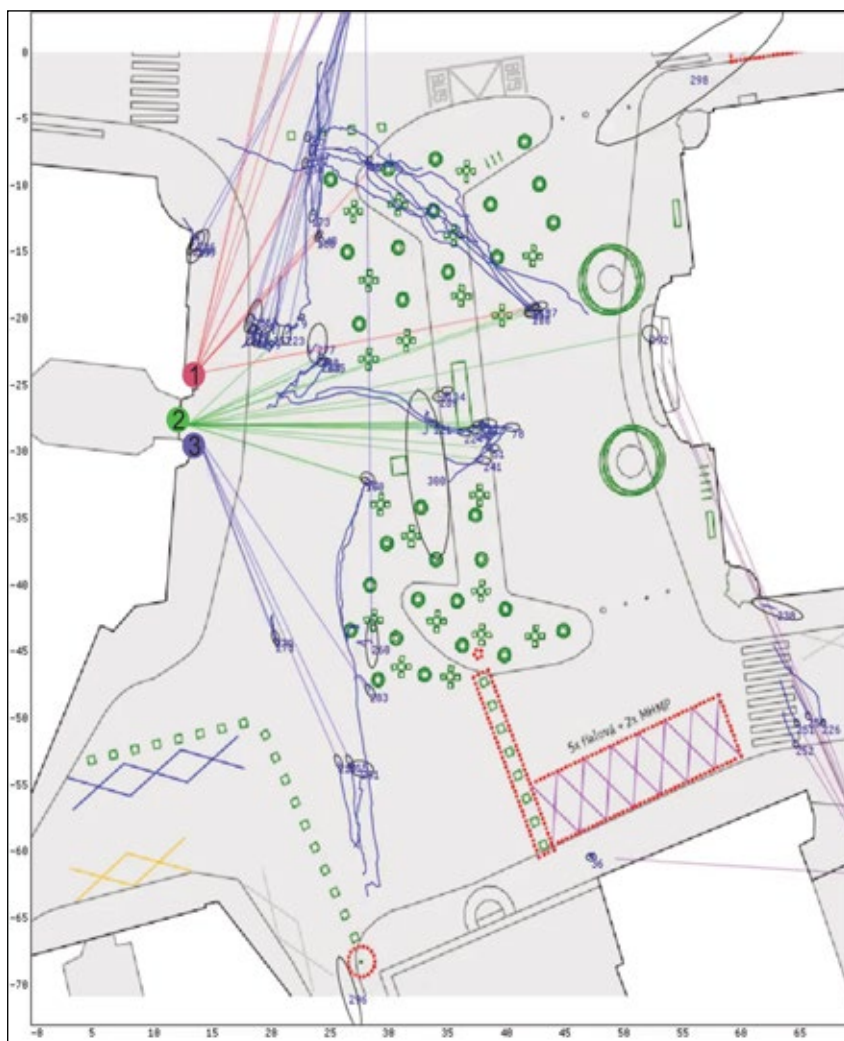


Foto: Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy

Obr. 2a: Fotografie původního stavu (2019)

Obr. 2b: Vizualizace Mariánského náměstí v Praze po provedených úpravách

\*) Projekt Pražské židle a stolky byl vytvořen Institutem plánování a rozvoje hl. m. Prahy v roce 2016. V současné době je jeho provozovatelem Kreativní Praha, z. ú.



**Obr. 3:** Poloha kamer 1, 2 a 3 na budově Klementina. Identifikace objektů kamerou 1 je znázorněna červenou barvou, identifikace objektů kamerou 2 je znázorněna zelenou barvou, identifikace objektů kamerou 3 je znázorněna modrou barvou.

stávajícího stavu a obrázek 2b vizualizaci nového stavu po provedených změnách.

## 2. Rozmístění kamer a sběr dat

Sběr dat spočíval v čtyřdenním nepřetržitém natáčení aktivit na náměstí pomocí pěti kamer, které byly umístěny tak, aby pokryly celý analyzovaný prostor. Natáčení proběhlo během dvou časových období, vždy od čtvrtka do neděle. První natáčení proběhlo v říjnu 2019, druhé natáčení se odehrávalo o měsíc později v listopadu 2019. Termín druhého snímání aktivit na náměstí byl naplánován s časovým odstupem tří týdnů od úpravy prostoru, abychom minimalizovali efekt překvapení návštěvníků a z toho pramenící nestandardní chování v prostoru, nebo naopak zvýšenou návštěvnost náměstí

z důvodu zájmu o jeho novou podobu. Během analyzovaných dnů neprobíhala na náměstí žádná kulturní, společenská nebo jiná akce, která by mohla ovlivnit počet osob v prostoru.

Pro získání informací o pohybu lidí bylo zásadní vhodně rozmístit kamery, aby poskytly validní informace. Použili jsme sportovní kamery, které bylo možné lehce umístit do snímaného prostoru. Kamery byly podle možnosti napájené buď ze sítě, nebo z baterie. Záznam byl zálohovaný přímo na disk notebooku nebo na SD kartu kamery. Kamery poskytovaly širší záběr prostoru než běžné IP kamery.

Po ověření možností umístění kamer na objekty jsme použili pět kamer tak, aby zabíraly ústí ulic vedoucí do

náměstí, vstupy do důležitých budov a pokryly jednotlivé subprostory. Tři kamery byly na Klementinu, jedna na Městské knihovně v Praze a jedna na Clam-Gallasově paláci. Obrázek 3 ukazuje polohy tří kamer na Klementinu, odkud snímají jednotlivé objekty na náměstí.

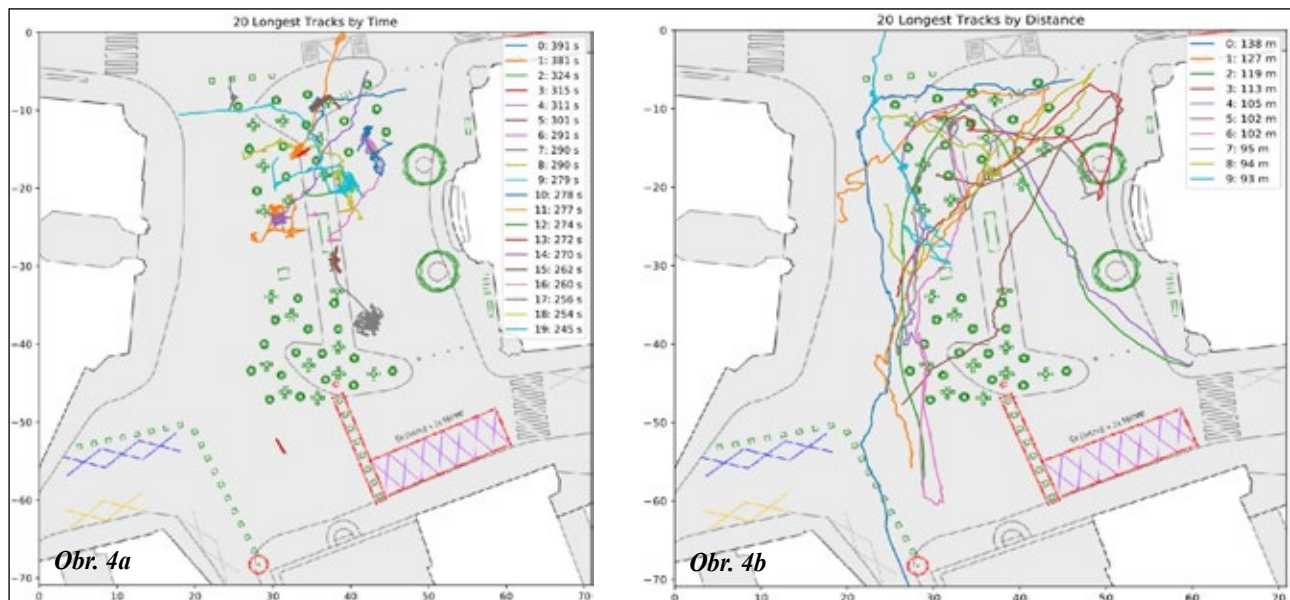
Osoby na jednotlivých kamerách byly zobrazené v tak nízkém rozlišení, aby nebylo možné přesně identifikovat zobrazenou osobu. Obrazy osob v prostředí tak nebylo možno spojit s dalším zdrojem dat, a tím se splnila kritéria ochrany osobních dat (GDPR). Data byla zaznamenána a uložena na univerzitním úložišti s možností přístupu pouze osob, které pracovaly na tomto projektu.

## 3. Zpracování dat

Nasnímané záznamy z kamer byly dále zpracovány na lokálním serveru. Objekty na záznamu byly identifikovány a kategorizovány detekční neuronovou sítí typu SSD. Tak bylo možné rozlišit, zda se na záznamu jedná o člověka, automobil, cyklistu a podobně. V našem případě jsme se soustředili výhradně na identifikaci lidí. Jiné objekty, jako auta nebo kola, byly z obrazů odfiltrovány.

Identifikovaná data z jednotlivých kamer byla časově synchronizována a prostorově kalibrována s cílem data propojit a vizualizovat do společné mapy. Identifikace a kalibrace probíhala tak, že se v jednotlivých záznamech z kamer manuálně určil jednoznačně společný časový bod. Dále se pro každou kameru vypočítala pomocí vyvinutého softwaru kalibrační matice. Ta nám umožnila perspektivní promítnutí pozice detekovaných objektů z obrazu jednotlivých kamer do společných souřadnic mapy. Díky tomu bylo následně možné propojit identifikované objekty mezi kamerami (kdy osoba zachycena na jedné kameře byla identifikována jako stejná osoba na druhé kameře), a tak určit jejich polohu na mapě – geolokaci. Výstup je ukázaný na obr. 3.

Pro vzájemné spojování detekovaných pozic z jednotlivých snímků byl pou-

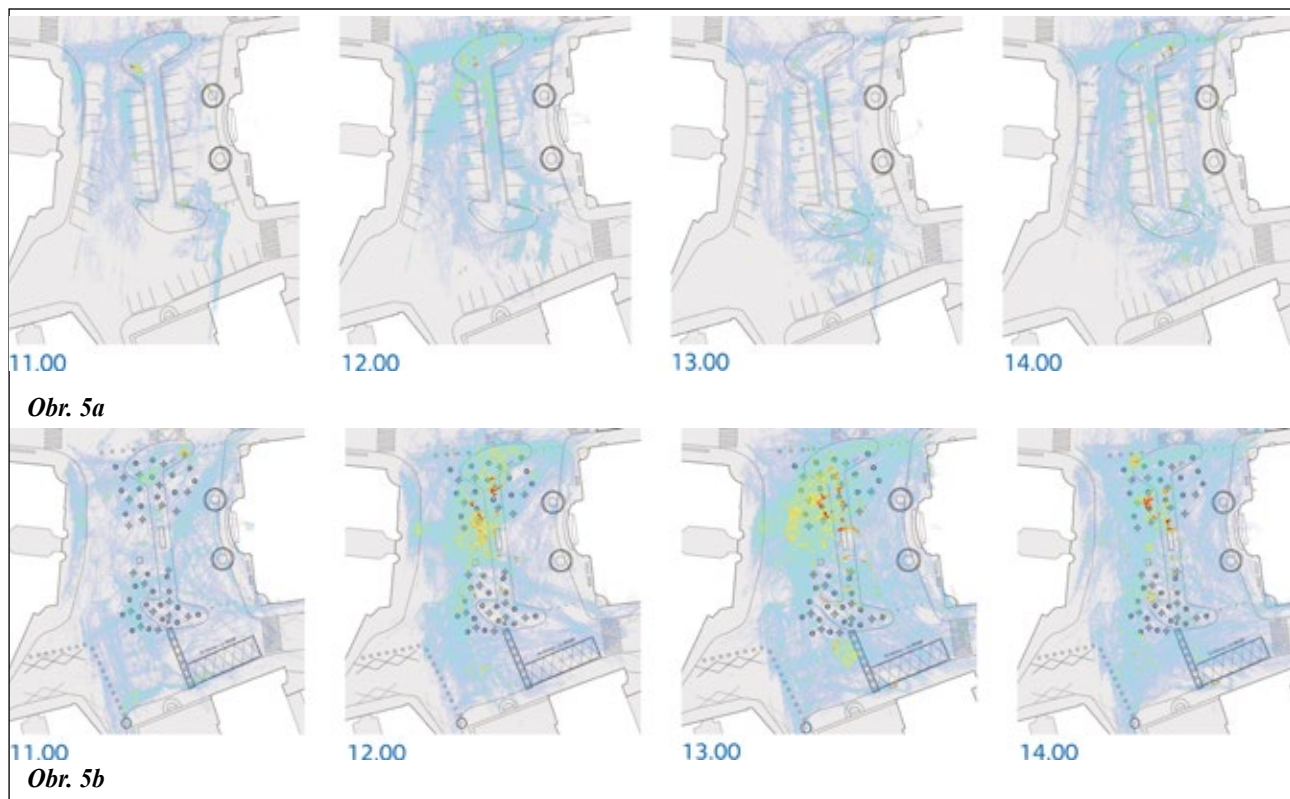


**Obr. 4:** Trajektorie osob na Mariánském náměstí. Barva trajektorií odpovídá jednotlivým osobám v prostoru. Trajektorie 4a byly vyhodnoceny jako statické. Trajektorie 4b byly vyhodnoceny jako mobilní.

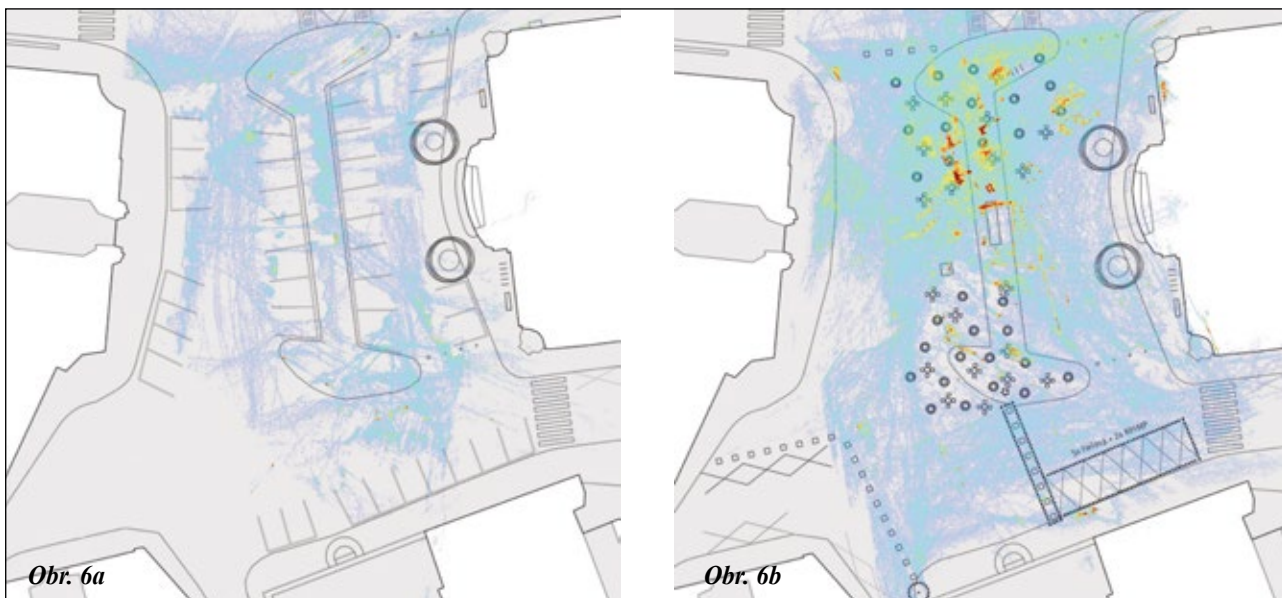
žit algoritmus řešící úlohu sledování více objektů. Pomocí něj jsme získali trajektorie pohybu jednotlivých osob ve sledovaném prostoru, viz obr. 3. Pomocí délky a rozlohy trajektorie bylo možné rozlišovat na náměstí různé typy aktivit. Na základě práce

Jana Gehla byly rozděleny aktivity lidí do dvou základních skupin: *mobilní* a *statické*. Mobilní aktivity mohou mít podobu chůze, běhu, jízdy na bruslích, vedení kočárku, pohyb na kolečkovém křesle. Statické činnosti mohou mít podobu sezení, stání, opí-

rání se, ležení. Statická aktivita spočívala v identifikaci trajektorie oscilující nebo pohybující se v malé zóně, téměř na stejném místě, viz obrázek 4a. Mobilní aktivita byla vyhodnocena jako delší trajektorie, která pokrývala větší území. Tento typ trajektorie často pře-



**Obr. 5:** Zobrazení heatmap v časových intervalech po jedné hodině. Barevná škála odpovídá intenzitě využití místa, teplé barvy (červená, oranžová, žlutá) představují největší intenzitu, chladná barva (modrá) představuje nižší intenzitu využití. Obrázek 5a představuje záznam z října 2019 před úpravou prostoru, 5b představuje záznam z listopadu 2019 po provedených změnách.



**Obr. 6:** Porovnání heatmap, které zachycují využití Mariánského náměstí. Obrázek 6a představuje záznam z října 2019 před úpravou prostoru, 6b představuje záznam z listopadu 2019 po provedených změnách. V obou případech je víkend, sobota, časové rozmezí 13:00–13:10 h.

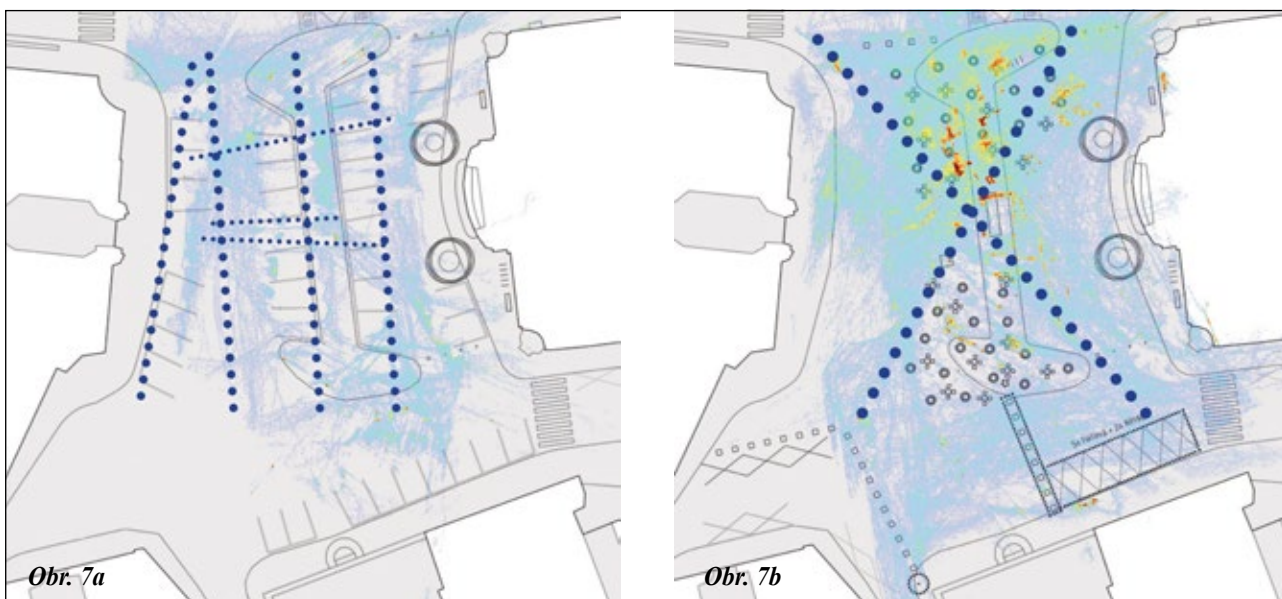
sahoval okraj analyzované oblasti, viz obrázek 4b.

Díky možnosti identifikovat mobilní a statické druhy aktivit je možné generovat heatmappy, které vizualizují odděleně toky lidí a místa shromažďování. Heatmapa je zobrazení trajektorií pohybu lidí v mapě, kde barevný gradient představuje hustotu osob, které se v prostoru v daný časový okamžik nachází. Na základě barevnosti heatmap lze usuzovat in-

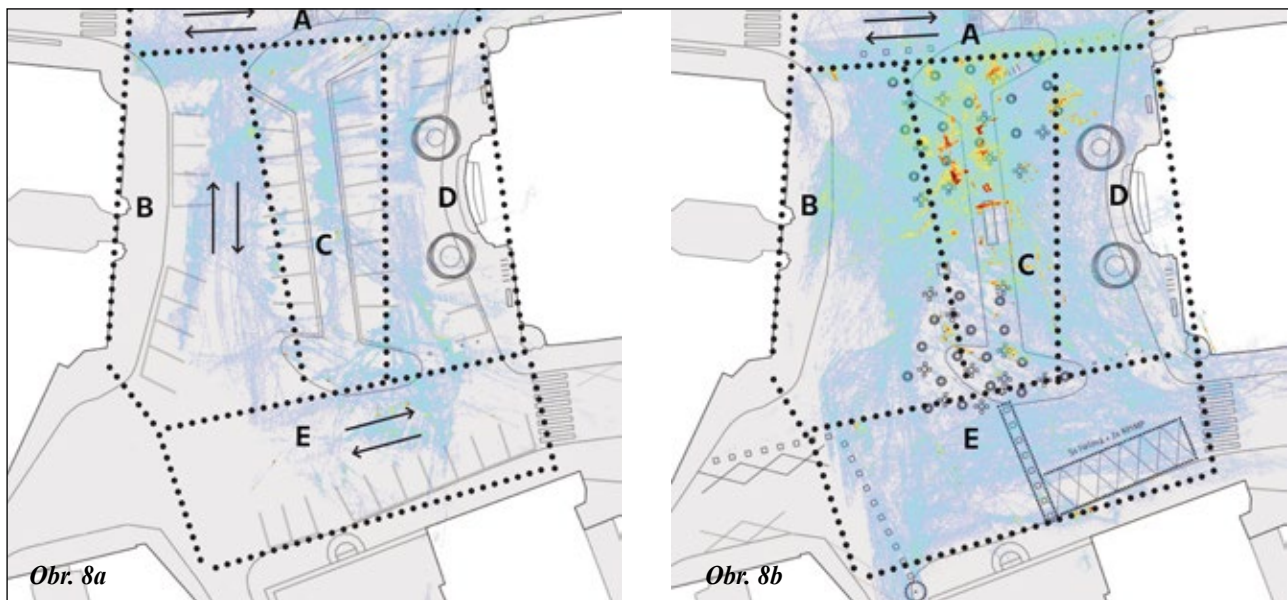
tenzitu využití prostoru. Teplé tóny (červená, oranžová, žlutá) představují vyšší intenzity využití, chladná barva (modrá) představuje nižší využití prostoru. Pro naše analýzy jsme využívali časové intervaly deseti minut pro detailní analýzy toku lidí a jednu hodinu pro celodenní přehled o využití prostoru. Stanovené časové intervaly umožnily vizuálně určit intenzitu využití daného místa a lépe vizuálně porovnávat výsledky.

## Výsledky

Vygenerované heatmappy z odpovídajících časových oken před a po úpravě náměstí ukazují jednoznačnou změnu pohybu a množství osob v prostoru, stejně jako odlišné umístění převažujících toků lidí. V prostoru náměstí je po úpravách výrazně víc osob (obr. 6). A to přesto, že první mapování proběhlo v říjnu a druhé o měsíc později, v listopadu v chladnějším počasí, které obecně snižuje výskyt lidí v exteriéru.



**Obr. 7:** Schéma využití prostoru Mariánského náměstí, tečkované linie naznačují převažující směr pěšího pohybu obyvatel. Obrázek 7a představuje záznam z října 2019 před úpravou prostoru, 7b představuje záznam z listopadu 2019 po provedených změnách. V obou případech je víkend, sobota, časové rozmezí 13:00–13:10 h.



**Obr. 8:** Rozdělení Mariánského náměstí na pět lokalit, podle prostorového řešení území. Obrázek 8a představuje záznam z října 2019 před úpravou prostoru, 8b představuje záznam z listopadu 2019 po provedených změnách.

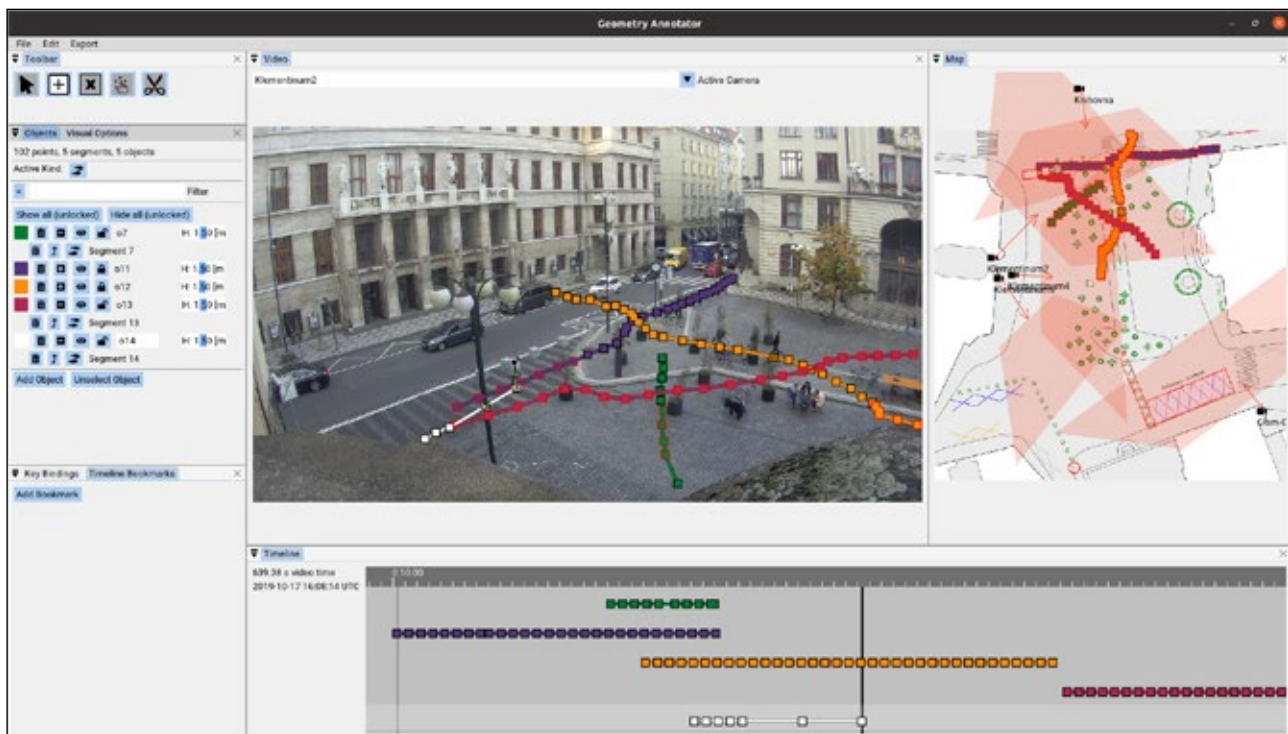
Před úpravou jsme identifikovali tendence lidí chodit v severojižním směru často mimo chodníky v prostoru vozovky, a to i při souběžném využití tohoto prostoru vozidly (obr. 7a). Pro přechod osob mezi Klementinem a budovou magistrátu můžeme pozorovat, jak lidi chodí v úzkých trasách, evidentně mezi zaparkovanými vozi-

dly. Získaná data ukazují, že pro přechod na chodník u Městské knihovny v Praze preferují lidé severní stranu chodníku u Klementina.

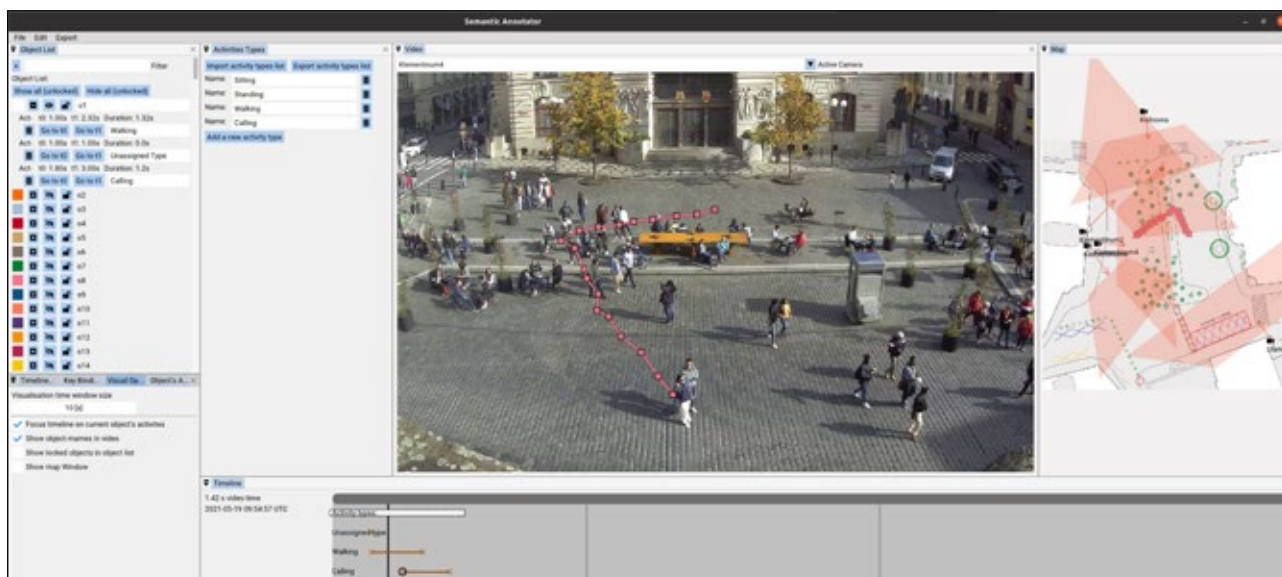
Po úpravě náměstí o měsíc později jsme identifikovali výrazný pohyb lidí přes náměstí v diagonálním směru, bez potřeby přizpůsobit svůj pohyb

automobilové dopravě nebo nutnosti vyhnout se překážkám v podobě zaparkovaných aut (obr. 7b).

Na základě prostorového řešení náměstí jsme území rozdělili na jednotlivé lokality (obr. 8). V našem případě jsme určili pět lokalit. Lokalita A je umístěna před Městskou knihovnou



**Obr. 9:** Ukázka geometrického anotátoru – ve středu je kamerový záznam, mapa v pravé části zobrazuje vybrané trajektorie na půdorysu náměstí



**Obr. 10:** Ukázka sémantického anotátoru, ve středu je kamerový záznam, mapa v pravé části zobrazuje vybranou trajektorii na půdorysu náměstí. Na spodním šedivém obdélníku vidíme, že k osobě byly přiřazeny činnosti jako walking (chůze) a calling (telefonování).

v Praze a obsahuje chodník i část vozovky. Lokalita B se nalézá před Klementinem a mimo chodník, obsahuje i část vozovky a parkovací stání. Lokalita C se nachází uprostřed náměstí a nalézá se v ní vyvýšený ostrůvek určený pro pohyb lidí. Lokalita D je před budovou pražského magistrátu, zahrnuje chodník, vozovku i dva stromy umístěné podél nástupního schodiště. Lokalita E navazuje na budovu Clam-Gallasova paláce a zahrnuje rovněž část chodníku a přilehlou vozovku.

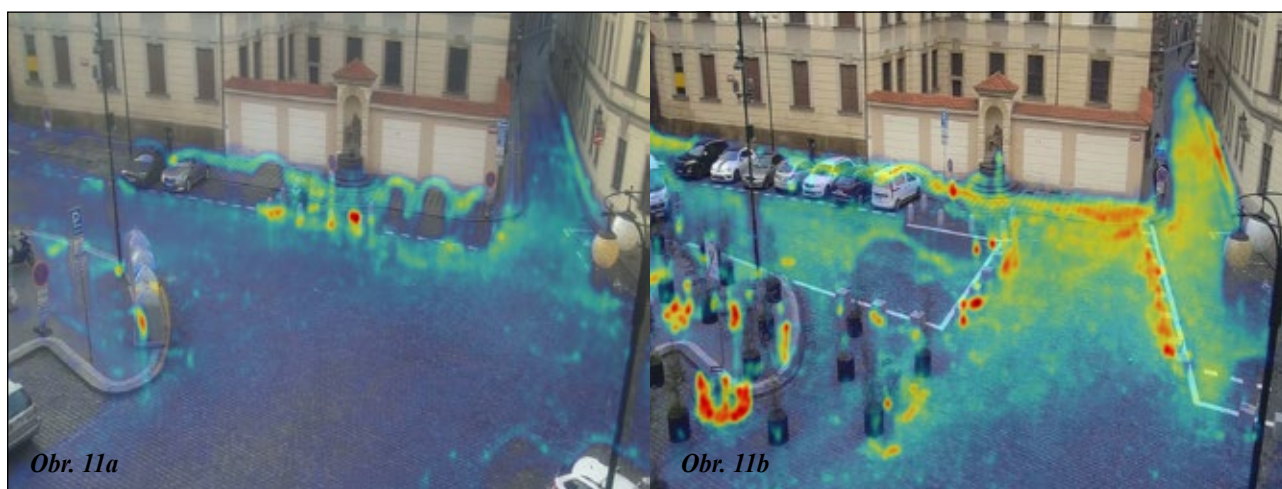
Ve zvolených časových segmentech bylo provedeno sledování, jak se pohyb lidí mění v jednotlivých lokalitách

před a po úpravě náměstí, viz obr. 8. Na příkladu lokalit A a C je možné pozorovat, že, vedle zvýšení počtu pohybujících se osob v prostoru, lidé skutečně využívají stolky a židle k tomu, aby v prostoru setrvali. Lidé se pohybují po náměstí více rovnoměrně. Ve všech okrajových lokalitách pozorujeme, že se zvýšila vazba mezi hranami budov a chodníkem před nimi. Na lokalitách B a C sledujeme, jak lidé, kteří vyjdou z Klementina, pokračují chvíli rovně, aby následně zvolili jeden z úhlopříčných směrů. Menza, umístěná do středu prostoru, funguje v tomto případě jako bariéra, kterou je nutno obejít, a již z dálky formuje pohyb lidí do dvou směrů.

## Diskuse

Heatmapy nám poskytly informace o převažujících trasách lidí na náměstí a jejich množství ve zvolený časový okamžik. Trajektorie nicméně nebyly dostatečně přesně spojené. Jedna trajektorie se například zobrazovala jako tři rozdělené segmenty – kvůli tomu, že pohybující se osoba se na okamžik dostala do zákrytu za automobil nebo skupinu osob. Tato fragmentace trajektorií zneumožnila vyhodnocovat skutečnou délku tras v prostoru, případně měřit rychlost, s jakou se lidé po náměstí pohybují.

Pro detailnější vyhodnocení aktivit lidí na náměstí, jejich interakci s fy-



**Obr. 11:** Zpracování kamerových obrazů do heatmap. Teplejší tóny odpovídají většímu počtu lidí. Obrázek 11a znázorňuje stav před úpravou náměstí, obrázek 11b po úpravě.



zickým prostředím i interakci mezi sebou jsme proto vyvinuli geometrický a sémantický anotátor. Geometrický anotátor dovoluje výzkumníkovi prohlížet záznam z jednotlivých kamer a upravovat nebo spojovat trajektorie tam, kde jsou omylem rozdělené (obr. 9). Ověření spojitosti trajektorií bylo vyhodnoceno na základě dat z kamer, na kterých se daná osoba nedostala do zákrytu.

Sémantický anotátor naproti tomu pracuje s již upravenými trajektoriemi. Na základě pilotního pozorování lidí v prostoru jsme nejprve vytvořili seznam činností, jako četba, telefonování, konzumace potravin, fotografování, kouření, interakce s druhou osobou/osobami a ostatní. Sémantický anotátor obsahuje tento seznam aktivit, které je možné přiřadit každé osobě na obraze pro libovolnou část trajektorie (obr. 10). Tento druh anotování dat se podobá klasické metodě zúčastněného pozorování, jeho výhodou je skutečnost, že anotace probíhá na již sebraných datech, takže je možné jednotlivé kategorie ověřovat nebo měnit ex post.

Podrobnější analýza obrazů ukázala, jak betonové kvádry určené k blokaci automobilové dopravy nabývají odlišného využití podle svého umístění na náměstí. Na obrázku 11a vidíme heatmapu znázorňující hustou využití prostoru před jeho úpravou, na obrázku 11b vidíme heatmapu po úpravách náměstí. Červené plochy v levé části obrázku odpovídají místům, kde byly doplněny Pražské židle a stolky a lidé zde tedy trávili čas posezením. Rovněž ale vidíme červené plochy v místech nově instalovaných betonových kvádrů, které mimo svou primární funkci blokování dopravy fungují jako alternativní místo k odpočinku a posezení. Toto rozšíření aktivit, které lze s různými prvky v prostoru spojovat, prokazuje, jak významný vliv na výsledné využití prvků má celkové uspořádání prostoru a jeho konfigurace.

Významné rozhodnutí v celém procesu sběru dat představuje volba polohy kamer. Je třeba zajistit dostatečně vyvýšená místa, kam je možné kamery

umístit, aby optimálně pokryly analyzovaný prostor. Současně musí být tato místa chráněná před zničením nebo zcizením kamer. Varianta využití kamer v existujícím systému Policie ČR naráží za prvé na nemožnost tato data získat (ani pro výzkumné účely), za druhé jsou často kamery Policie ČR zaměřené na konkrétní místo zájmu a dostatečně nepokrývají sledovaný prostor jako celek.

Doplnění heatmap o charakter aktivit v podobě sémantického anotátoru prohlubuje znalost dějů, které se na náměstí odehrávaly. Slabinou tohoto procesu představuje nutná lidská kontrola dat, která je podstatou sémantického anotátoru. Na rozdíl od automatického vyhodnocování informací o pohybu lidí je časově náročná.

Za hlavní poznání experimentu z hlediska využívání prostoru lze považovat fakt, že k tak výrazné změně užívání náměstí, jako je zvýšený počet lidí na náměstí, změna hlavních tras pohybu lidí (diagonální oproti podélným kolem fasád) a zvýšení počtu statických aktivit, bylo dosaženo pouhou úpravou dopravního řešení a drobných změn v mobiliáři bez nutnosti změnit skutečné řešení povrchů, dlažeb a celkové rozsáhlé rekonstrukce. Vyvozovat silné závěry na základě jednoho příkladu nelze, nicméně pokud by se tento závěr potvrdil i na jiných příkladech, byla by posílena možnost realizovat i menší zásahy ve veřejném prostoru, které by měly mít významnější odraz ve způsobu užívání místa.

V případě jiných veřejných prostorů je možné využít znalost o relativně velkém vlivu malých organizačně provozních úprav nebo drobných změn v mobiliáři k ověřování variantních řešení plánovaného návrhu nebo k různorodému využití náměstí pro sezonní akce.

V případě Mariánského náměstí se plánuje nová podoba prostoru, která bude představovat rozsáhlou rekonstrukci zahrnující změnu dlažeb, úroveňových řešení chodníků, zapojení vodního prvku a uměleckého díla. Zjištěné informace z popsání experimentu o vlivu změn na množství lidí

v prostoru a odlišné vedení pěších tras byly využity při jednání s dotčenými orgány a institucemi o budoucí podobě náměstí.

Představená metodika, která analyzovala několikadenní kamerové záznamy aktivit ve veřejném prostoru pomocí umělé inteligence, přinesla oproti standardním metodám, jako je zúčastněné pozorování v jednotlivých časových oknech, rozhovory s uživateli nebo kvantifikace osob pohybujících se ve zvoleném prostoru, ucelenější a podrobnější výsledky.

Výsledná data zobrazují dlouhý časový snímek, kde můžeme pozorovat dynamiku proměn v užívání prostoru v jeho celistvosti, ale i s možností zaměřením se na dílčí prostory. Takto shromážděná data je možné navíc přesně lokalizovat na plán řešeného území, což umožňuje v dalších krocích hledat závislosti mezi konkrétním uspořádáním prostoru a trasami pohybu. Standardní metody by neumožnily vytvořit tak komplexní obraz o pohybu v prostoru. Slabinou metody byla nespojitost některých trajektorií. To nedovolilo provádět pokročilejší analýzy o rychlosti nebo zrychlení pohybu osob. Geometrický anotátor, vytvořený pro dodatečné spojení segmentů do celých trajektorií, má nevýhodu časovou náročnost, kterou procházení záznamů a jejich oprava představuje.

Velké množství dat o pohybu lidí, reprezentovaných jako trajektorie, je možné doplnit o detailnější data popisující aktivity, které osoby v prostoru vykonávají. K tomu je třeba využít sémantický anotátor. Tento nástroj pracuje s daty, která byla shromážděná již v předchozím kroku. Pro hodnocení a kategorizaci aktivit využívá osobu výzkumníka. Výhoda oproti sběru dat pomocí přímého pozorování aktivit v reálném čase je fakt, že výzkumník se může zaměřit pouze na vybrané situace, případně časové úseky, které ho zajímají, a k datům se vrátit.

Obecně můžeme shrnout, že prezentovaná metoda analýzy aktivit ve veřejném prostoru pomocí umělé inteligence poskytuje cenné informace o vzorcích využití prostoru v dlouhém

časovém horizontu a s velkou prostorovou přesností. Oproti standardnímu pozorování vyžaduje uvedený způsob odbornější technické i personální zázemí nutné ke sběru a zpracování dat.

## Závěr

Představený nástroj sběru, zpracování a interpretování dat o aktivitách ve veřejném prostoru využívá analýzu kamerových záznamů pomocí umělé inteligence. Výsledkem jsou heat-mapy, které zobrazují hustotu využití prostoru a poskytují cenné informace o převažujících trasách, volbě cest a směrů, případně ukazují možné kolizní situace. Tyto informace je možné doplnit o data, kdy jednotlivým trajektoriím nebo jejich částem přiřazujeme aktivity jejich uživatelů. Získaná data je možné použít pro vytvoření poučného zadání úpravy náměstí nebo k řešení drobných opatření, která ale mohou významně zlepšit kvalitu pobytu ve veřejném prostoru.

Výzvou pro další zkoumání je odstranění nutnosti získání data procházet a upravovat nebo doplňovat. První metou je plná automatizace, která by na základě kamerových záznamů zpracovala spojitě trajektorie osob v prostoru. Druhým cílem je pak automatické vyhodnocení aktivit osob v prostoru. Při ideálním získání těchto informací bychom mohli velmi detailně hledat závislosti mezi volbou trasy, její délkou a rychlostí, aktivitami, které se ve veřejném prostoru v různé době odehrávají, a architektonickými nebo urbanistickými vlastnostmi zkoumaného prostoru. Tyto komplexní znalosti o využívání konkrétních

míst by nám umožnily lépe reagovat na výzvy, které pro nás péče o veřejný prostor v současnosti představuje.

*Článek je výstupem projektu TA ČR NCK TN01000024, Národní centrum kompetence – Kybernetika a umělá inteligence, který byl podpořen Technickou agenturou České republiky.*

## Použité zdroje:

- AELBRECHT, P. S. 2016. 'Fourth places': the contemporary public settings for informal social interaction among strangers. In: *Journal of Urban Design*. 2016, 21:1, 124–152. Dostupné z: doi: 10.1080/13574809.2015.1106920.
- GEHL, J. 1971. *Life between the Buildings: Using Public Space*. Copenhagen: Danish Architectural Press.
- GEHL, J. & SVARRE, B. 2013. *How to Study Public Life*. Island Press. ISBN 1610914236.
- GHAVAMPOUR, E.; AGUILA, M. & VALE, B. 2017. GIS mapping and analysis of behaviour in small urban public spaces. In: *Area*. 2017, 49:3, 349–358. Dostupné z: doi: 10.1111/area.12323.
- LOW, S. M.; TAPLIN, D. & SCHELD, S. 2005. *Rethinking Urban Parks: Public Space & Cultural Diversity*. Austin.
- LYNCH, K. 1960. *The Image of the City*. The MIT Press. ISBN 0-262-62001-4.
- MARCUS, C. C. & FRANCIS, C. 1998. *People places: design guidelines for urban open space*. New York. ISBN 978-0471288336.
- MARUSIC, B. G. & MARUSIC, D. 2012. Behavioral maps and GIS in place evaluation and design. In: ALAM, B. M. ed. *Application of geographic information system INTECH*. Open Access Publisher, str. 113–138.
- MELKOVÁ, P. a kol. 2014. *Manuál tvorby veřejných prostranství hl. m. Prahy*. IPR Praha. ISBN: 978-80-87931-09-7.
- MITCHELL, D. 2003. *The Right to the City, Social Justice and the Fight for Public Space*. ISBN 9781572308473.

MONTGOMERY, J. 1998. Making a city: urbanity, vitality and urban design. In: *Journal of Urban Design*. 1998, 3, 93–116.

OLDENBURG, R. 1989. *The Great Good Place: Cafes, Coffee Shops, Bookstores, Bars, Hair Salons, and Other Hangouts at the Heart of a Community*. New York.

SCHLICKMAN, E. & DOMLESKY, A. 2019. *Field Guide to Life in Urban Plazas. A Study in New York City*. SWA group.

SITTE, C. 2012. *Stavba měst podle uměleckých zásad*. Brno: Ústav územního rozvoje. ISBN 978-80-87318-21-8.

TECHNICKÁ SPRÁVA KOMUNIKACÍ HL. M. PRAHY. 2000. Intenzity dopravy, podíly noci a průměrné jízdní rychlosti roku 2000. Dostupné z: <https://www.tsk-praha.cz/wps/portal/root/dopravni-inzenyrstvi/intenzity-dopravy-2000>.

TIESDELL, S. & OC, T. 1998. Beyond 'Fortress' and 'Panoptic' Cities – Towards a Safer Urban Public Realm. In: *Environment and Planning B: Planning and Design*. 1998, 25, 639–655.

VAUGHAN, L. 2001. *Space syntax observation manual*. UCL.

WHYTE, W. H. 1980. *The Social Life of Small Urban Spaces*. New York: Project for Public Spaces.

doc. Ing. arch. Jana Zdráhalová, Ph.D.  
✉ [zdrahalova@fa.cvut.cz](mailto:zdrahalova@fa.cvut.cz)  
Ústav urbanismu  
Fakulta architektury ČVUT v Praze

Ing. arch. Lukáš Kurilla, Ph.D.  
✉ [kurilluk@cvut.cz](mailto:kurilluk@cvut.cz)  
Český institut informatiky, robotiky  
a kybernetiky ČVUT v Praze  
Fakulta architektury ČVUT v Praze

Ing. Petr Prášek  
✉ [petr.prasek@certicon.cz](mailto:petr.prasek@certicon.cz)  
Ing. Zdeněk Berka  
✉ [zdenek.berka@certicon.cz](mailto:zdenek.berka@certicon.cz)  
CertiCon, a. s.

## ENGLISH ABSTRACT

### Artificial Intelligence Usage in Analysing Human Movement in Public Space. Mariánské Square in Prague Case Study, by Jana Zdráhalová, Lukáš Kurilla, Petr Prášek & Zdeněk Berka

The search for a relationship between the nature of public space and the ways in which people use that space is one of the standard tasks of urban design (Sitte, 2012; Whyte, 1980; Gehl, 1971; Lynch, 1960). Human activities in space and people's reactions to the urban and architectural characteristics of a place can be monitored through mental maps and interviews (Lynch, 1960; Benda et al., 1978), photographs and films (Whyte, 1980; Gehl, 1971), or through local experiences and observations, such as following people's routes by tracing a trampled footprint in the snow (Sitte, 2012). The knowledge gained is typically used to create an informed design of a public space that addresses, in particular,

the usability of the space, safety issues, and the elimination of collisions between road traffic and people's residential activities.

This text presents an urban experiment that tested the possibilities of involving artificial intelligence in mapping activities in public space. It presents the results of a four-year research, supported by TA ČR NCK TN01000024, which used CCTV camera recordings to monitor activities in a given public space. Specifically, we focused on Mariánské Square in the capital city of Prague, where five CCTV cameras that continuously monitored the space of the square were placed. Data collection took place in two cycles, each lasting four days. The first one took place in October 2019 before the reconstruction of the space, the second one a month later - after the road traffic in the square was regulated and new furnishing was added (Prague chairs, a large table, mobile flowerpots and concrete blocks to prevent the traffic). In both cases, the space was recorded from Thursday to Sunday to capture both the weekdays and the weekend.

The collected data from the CCTV cameras was converted into trajectories using a neural network, which was used to create heatmaps. The heatmap shows the density of mobile and stationary activities of people in the square area. The physical space was described in terms of material design, height characteristics (curbs, stairs), location of furnishings, parking spaces and traffic organization. The heatmap intensity was compared with the physical characteristics of the space in order to find connections, relationships and a deeper understanding of the patterns of people's behaviour in the space.

The comparison of the results of both observations showed how the specific design of the square influences the frequency of people in the space, increases residential activities and also leads to the use of elements in the space for new and unintended activities (for example, the use of concrete blocks as benches). The use of artificial intelligence to collect and interpret people's movements in public space has shown benefits that conventional participant observation does not provide. These include the objectivity of the collected data not burdened by the personalities of the observers, the comparability of data from different time periods, the possibility of accurately collecting data from large areas of public space, the possibility of accurately locating the trajectories of people in space, and the representation of dynamic patterns of space use. Furthermore, the data collected in this way allows for detailed interpretations of the relationship between people's trajectories, space characteristics and other environmental influences such as temperature, shading, noise pollution, etc., however, these are beyond the scope of this paper.