



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Závěrečná zpráva projektu CleverNet

CLEVERNET - Zavádzanie inovatívnych senzorických sietí v cezhraničných regiónoch

Kód výzvy: **INTERREG V-A SK-CZ/2019/11**

Kód projektu: **304011Y303**

Kód ŽoNFP: **NFP304010Y303**

Realizace: **01/2021 – 12/2022**

Zpracovali:

Mgr. David Bárta (CityOne)

Ing. Petr Kvasnička (CITIQ)

Ing. Karol Hrudkay (UNIZA) a Jaroslav Jaroš (UNITI)

Ing. Zuzana Švédová (CDV)

s podporou technických znalostí senzorických sítí, Ing. Lukáš Veci a Ing. Vojtěch Giesl (CITIQ).

Obsah

Manažerské shrnutí	4
Městská laboratoř dopravy a klimatu v Žilině	5
O senzorické síti	5
Stěžejní výsledky.....	8
Doprava	8
Závěry:	8
Klima	10
Dopad na děti	10
Prohřívání a ochlazování povrchů.....	11
Ochlazení Aupark.....	12
Místa postižená tepelnými ostrovy	13
Vliv městského parku Sad na Studničkách na ochlazení centra	13
Analýza lokalit a návrhy na řešení.....	16
Závěry:	17
Lokace v centru města	17
Lokace A – Severní strana Na príkope a Sládkovičova.....	17
Lokace B – Jána Kalinčiaka	17
Lokace C – Tržiště	17
Lokace D – Hodžova	18
Lokace E – Katedrála a Námestie Andreja Hlinku	18
Lokace F – Pernikárska.....	19
Lokace G – Aupark	19
Lokace H – Vlakové nádraží	19
Lokace I – Autobusové nádraží	20
Lokace J – Vojtecha Tvrdeho a Národná.....	20
Lokace K – Křižovatky mezi Velká okružná – Hálkova a Velká okružná – Komenského.....	20
Závěry o klimatu:	21
Příloha 1: Podrobnější vyhodnocení tepelných ostrovů: podklady pro zprávu	22
Vybrané lokace Žilina	23
Výpis lokací	23
Závěry z měření	32
Příloha 2: Posouzení proudění větru	34
Úvod	34
Lokace A.....	35
Lokace C	36

Lokace J	37
Lokace Sad na Studničkách	38
Lokace Aupark	39
Statistiky proudění větru	40
Trendy ve směru větru.....	41
Příloha 3 Posouzení vlivu tvorby náledí a námrazy na UNIZA.....	42
Úvod	42
Vyhodnocení.....	42
Příloha 4 Technické zázemí a limity využívaných technologií	45
Koncepční nasazení senzorických sítí	45
Technické parametry sítě a senzorů	47
Sledované parametry radiové sítě	48
Závěry k limitům LoRawan sítě	49
Příloha 5 Vyhodnocení přínosu a využití senzorických sítí pro dopravní účely	50
Zámer projektu	50
Senzorová sieť.....	50
Ukážka z použitia v Žiline	51
Aplikácia v riadení a plánovaní dopravy	56
Dopravné modely	56
Mikroskopické modely.....	59
Obmedzenia na dopravnej sieti	59
Strategické modelovanie dopravy v širšom území	63
Ostatné použitie	64
Bezpečnosť cestnej premávky	64
Interakcia dopravy a životného prostredia.....	66
Práce na ceste.....	67
Statická doprava	68
Ostatné možnosti.....	69
Literatura	70

Manažerské shrnutí

Senzorické sítě internetu věcí (IoT) jsou novým technologickým fenoménem pro vyšší efektivitu a optimalizaci provozů komerčních firem. Ve veřejném sektoru doposud neexistuje metodika, jak tyto technologie využít pro různé agendy, nejsou známy jejich pořizovací či provozní náklady, ani standardy, jak vzniklá data publikovat ve formě otevřených dat pro podporu digitální ekonomiky.

Projekt CleverNet se zaměřil na využití dat z IoT senzorických sítí pro plánování investic v oblasti dopravy a klimatu, neboť tyto dvě oblasti spolu silně souvisí. I když jsou tyto agendy ze strany samospráv mnohdy řešeny odděleně, je to právě digitalizace, která umožňuje změřit „kvalitu daného místa“ posouzenou z mnoha úhlů. Následné investice tak mohou být dobře zacílené a prezentované veřejnosti ve formě argumentů zakládajících se na faktech.

Tato závěrečná zpráva nejprve prezentuje nasazenou senzorickou síť a její skladbu, následně pak stěžejní výsledky z oblasti dopravy a z oblasti klimatu.

Další kapitola se věnuje podrobnějšímu rozboru lokalit, které byly zkoumány především z pohledu klimatu a pro které byla na základě vyhodnocených dat navržena konkrétní doporučení.

Příloha 1 poskytuje čtenáři vhled do analýzy dat tepelných ostrovů, související příloha 2 se pak věnuje analýze proudění větru v daných lokalitách. Příloha 3 popisuje specifický výstup – využití algoritmu pro výpočet výskytu námrazy a náledí. Příloha 4 posuzuje koncepční přístup k pořízení senzorických sítí a dále i technologické možnosti sítě LoRa, tj. uvádí její výhody a limity. Poslední rozsáhlejší příloha 5, zpracovaná Žilinskou univerzitou je rozbořem aplikace získaných dopravních a klimatických dat pro různé agendy dopravního plánování a modelování, bezpečnosti dopravy apod., který prokazuje nepochybné přínosy takových dat pro různé agendy a profese.

Projekt CleverNet tak naplnil své cíle, a to jak metodické uchopení senzorických sítí (pro něž zpracoval i samostatnou příručku), tak i praktické nasazení senzorické sítě v podobě městské laboratoře v krajském městě. Uvedenými výsledky prokazuje, jaké praktické přínosy tyto technologie mohou mít pro samosprávy, ale i stát, v oblasti digitálního plánování územního rozvoje, efektivity řízení a správy majetku, bezpečnosti či participace občanů, digitálního vzdělávání a gramotnosti i navazující výzkumné a vývojové činnosti. Demonstraval jednoduchost a rychlost nasazení senzorických sítí, kdy i v rigidním prostředí veřejné správy lze získat potřebná a dostatečná data v řádu měsíců či jednotek let.

Městská laboratoř dopravy a klimatu v Žilině

Klimatická změna má reálné dopady na kvalitu života v Žilině. Existuje několik míst v centru města, které jsou ohroženy tepelným ostrovem a hlavními příčinami jsou vysoká intenzita dopravy a související velké plochy dopravní infrastruktury, nedostatek zeleně a některá místa bojují s potřebnou ventilací.

Projekt CleverNet (program Interreg SK_CZ, 2021-2022) dospěl ke konkrétním výsledkům na základě dlouhodobého monitorování dopravy a klimatu pomocí unikátní senzorické sítě internetu věcí (IoT) coby městské laboratoře, kterou nasadil v létě 2021 a ze které tak kontinuálně získává potřebná data. Předmětem vyhodnocení jsou letošní data do 15.9.2022.

Cílem projektu CleverNet je představit odborné i neodborné veřejnosti užitek senzorických dat aplikovaných v praxi městského plánování a developmentu, plánování dopravy a parkovací politiky, adaptace na klimatickou změnu či bezpečnosti dopravy. Výsledky se tak dotýkají všech těchto agend a mají sloužit jako návodná ukázka tvorby městské laboratoře a následné práce s daty na úrovni samospráv pro lepší zacílení investic.

O senzorické síti

Senzorická síť byla navržena pro sledování těchto jevů:

- **Množství vozidel v centru Žiliny:** sčítání dopravy ve formě virtuálního plotu (tzv. geofencing) kolem centra města, které je ukázkou nízkonákladového plošného řešení dopravní politiky, dostupné pro každou obec
- **Bezpečnost na přechodech pro chodce:** využití umístění senzorů sčítání dopravy na přechodech pro chodce, celkem 6 míst, a vznik tzv. safety indexu poskytujícího rychlý vhled do statistik rychlé jízdy coby nástroje pro městskou policii a politiku zklidnění dopravy a dalších preventivních opatření na přechodech pro chodce
- **Tepelné ostrovy v centru města:** meteostanice, doplněné senzory teploty povrchu a podpovrchem v hloubce 6 cm a 30 cm, monitorují kvalitu mikroklimatu a prohřívání/ochlazování místa. Pro možnost srovnání byly typologicky vybrány lokality v centru města: rušná ulice bez významnější zeleně u vchodu do nákupního centra Aupark jako referenční místo, u něž se očekává tepelný ostrov, dále nedaleko vzdálený park na Studničkách, kde sledujeme mikroklima parku v kontextu přehřátého centra, a třetí meteostanice je umístěna v areálu Žilinského vědeckého centra, kde se zkoumá vliv okolního lesoparku na maximální teploty a ochlazování obdobně zastavěné oblasti jako Aupark.
- **Podmínky klimatu pro děti:** speciální senzor teploty ve výšce 80 cm nad zemí pro sledování teploty, kterou dýchají děti ve věku 3-5 let věku.

LoRa sieť



Dopravný senzor



Mikroklim. jednotka



Námrazový senzor



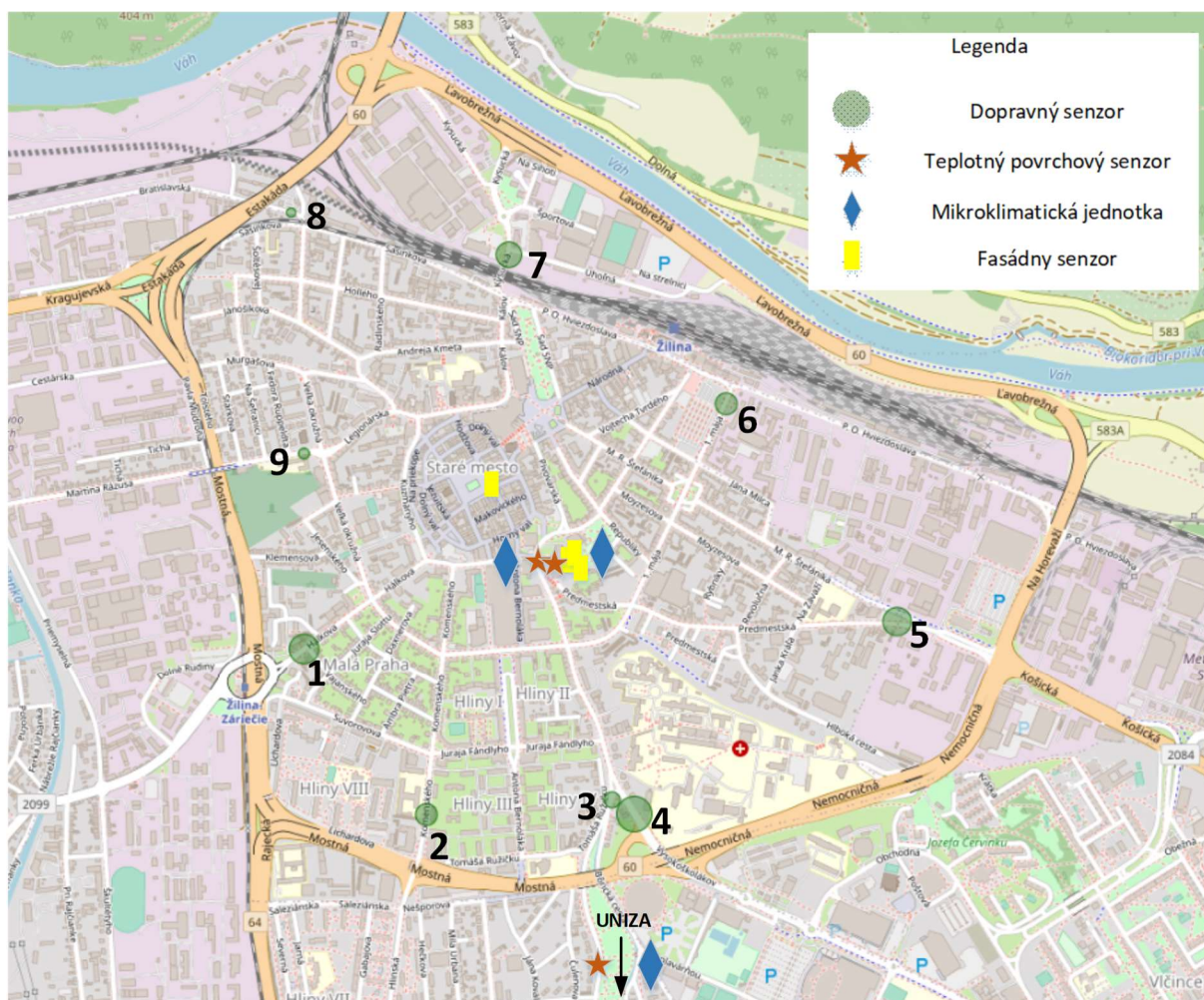
Parkovací senzor



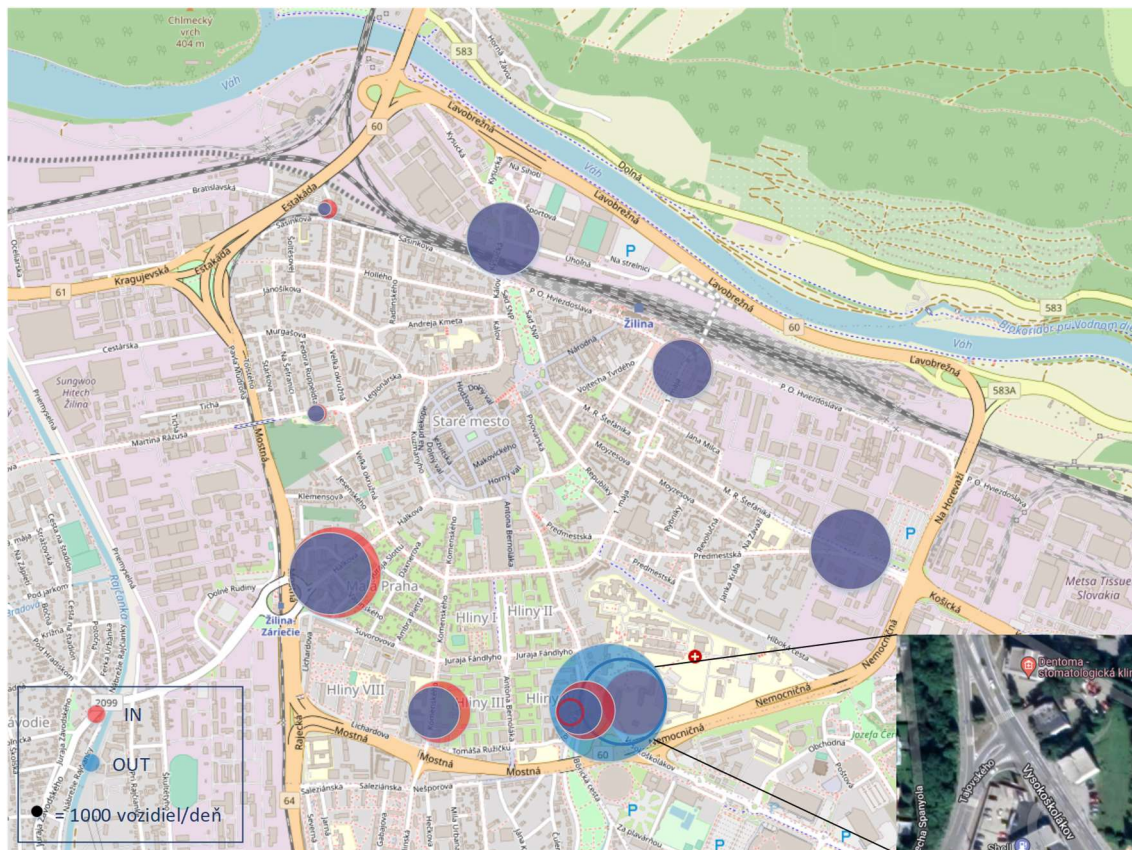
Fasádný senzor



Obrázek 1: Přehled nasazených senzorických prvků



Obrázek 2: Rozmístění senzorů v centru Žiliny



Obrázek 3: Dopravní IoT geofencing (virtuální plot) kolem centra města



Obrázek 4: Meteostanice a senzory prohřívání povrchu nasazené na lokality v centru (Aupark a Na Studničkách, vlevo) a na lokalitě univerzity obklopené lesy (vpravo), data z 30.7.2022

Stěžejní výsledky

Do centra Žiliny týdně vjede cca 300tis. vozidel. Tato vozidla potřebují silnice (13,5 %) a spolu s budovami a jejich parkovišti se jedná o 44 % celkové plochy centra Žiliny. Zeleň tvoří slabou čtvrtinu plochy a třetina plochy představuje potenciál pro nové funkce. Z poměru tak vyplývá, že je pro zmírnění dopadů klimatické změny třeba prověřit funkční využití ploch bez typického využití ve prospěch ochlazování města a větší podíl zeleně ve veřejných prostorech, a dále zvážit dopravní opatření pro snížení intenzity dopravy, důslednější parkovací politiku a zastínění parkovacích ploch i ulic. S ohledem na dobrou schopnost ochlazování města je právě zastínění konkrétních ploch nejúčinnějším nástrojem pro eliminaci špičkových dob, které negativně ovlivňují mikroklima ve městě.

Tabulka 1: Plochy v centru Žiliny a jejich využití

Typ plochy	m2	podíl na celkové ploše
Plocha bez typického využití (m2)-bez staveb - CELKOVÁ	855 611	32,5 %
Zastavaná plocha - vrátane parkovísk	798 047	30,5 %
Plocha komunikací - CELKOVÁ	356 750	13,5 %
Úžitková zeleň (m2) - CELKOVÁ	568 812	21,5 %
Cintorín (m2)	33 510	1,5 %
Ovocný sad, zahrada - CELKOVÁ	5 270	0,2 %
PLOCHA CELKOM (m2)	2 618 000	100 %

Doprava

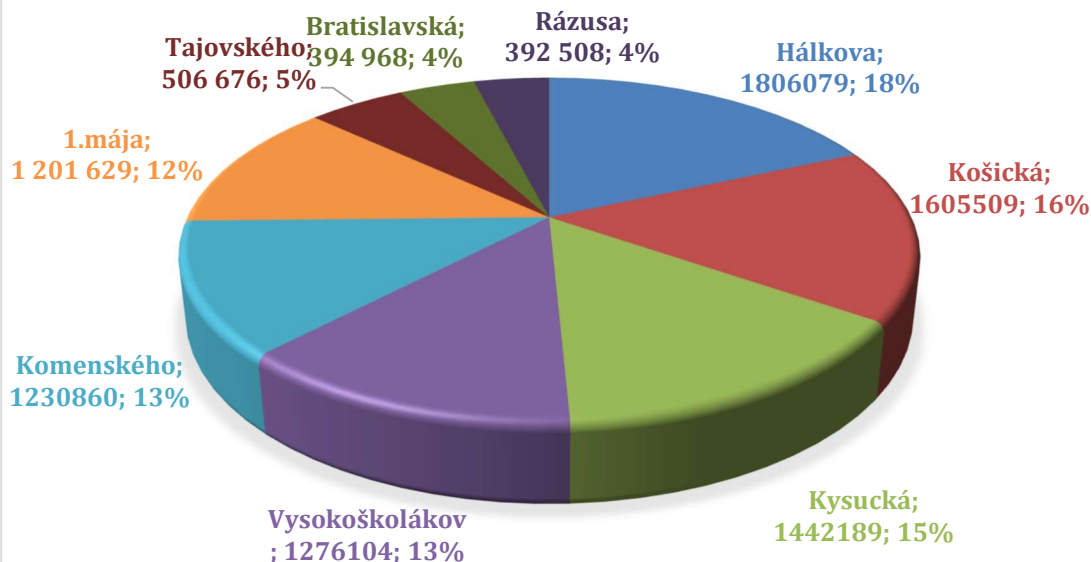
Do centra Žiliny denně v ročním průměru vjede 43 930 vozidel, z toho je 6 120 nákladních. Do úplného centra pak 4250 vozidel, z toho 85 nákladních vozidel. Měsícem s nejvyšší dopravní intenzitou je květen, 1 474 759 vozidel, nejméně pak únor 1 173 257 vozidel.

Z dlouhodobého vyhodnocení (1-8/2022) vyplývá, že nejzatíženější je jižní směr (Komenského, Vysokoškolakov, Tajovského, 31 %) a severní směr (Kysucká, 1.mája, Bratislavská, 31 %), následuje západní směr (Háľkova, Rázusa, 22 %) a východní směr (Košícká, 16 %).

Závěry:

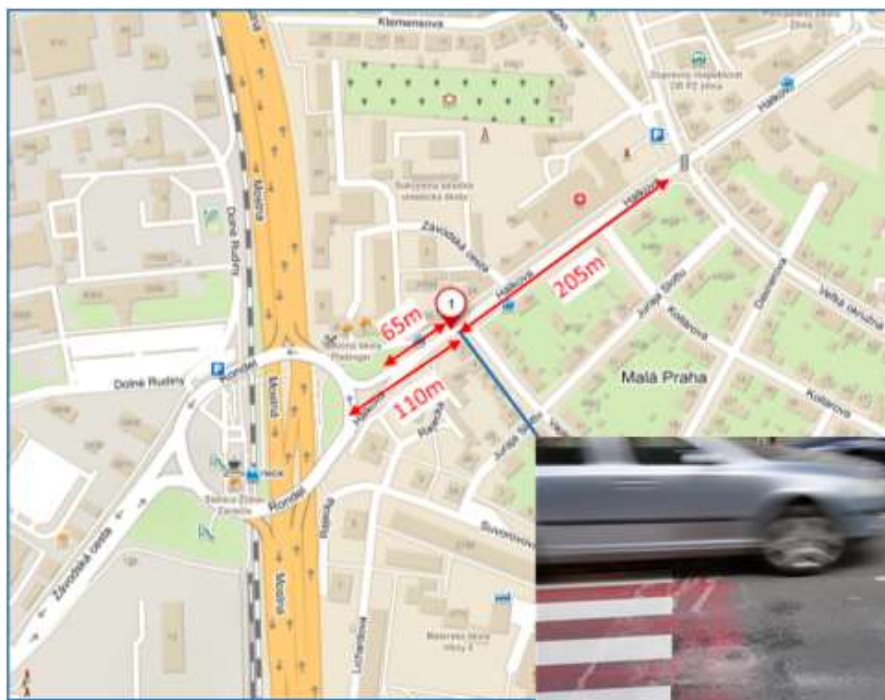
Z hlediska budoucí parkovací politiky se nabízí zaměřit pozornost na oblast železničního a autobusového nádraží, kde jsou klimatické podmínky z oblastí v centru města nejhorší, viz dále. Zachycení vozidel na parkovištích P+R (nebo spíše P+B) při zónové regulaci umožní snížit intenzity dopravy a poskytnout prostor pro zeleň a nové bydlení na úkor ploch pozemních komunikací. Příhodné se jeví budovat tyto kapacity u přivaděčů na „dálniční“ síť, tj. Kysucká, Háľkova, Vysokoškolakov a Košícká dle parametrů zónové regulace. Denní intenzity a jejich průběh napovídají, že by se kapacitně mělo v souhrnu jednat o 800 až 1500 parkovacích míst.

INTENZITY DOPRAVY V ŽILINĚ ZA 1-8/2022



Obrázek 5: Skladba intenzit dopravy v centru Žiliny

Co se týká dopravní bezpečnosti na 6 sledovaných přechodech pro chodce, bylo zjištěno, že cca 20 % vozidel překračuje rychlost 60 km/h, a to především v nočních hodinách, kdy jsou malé intenzity dopravy. Nejhorším přechodem je suverénně Háľkova (až 60 %), dále Komenského (52 %) a Vysokoškolákov (42 %), naopak nejbezpečnější je přechod Tajovského, kde vozidla kvůli křížení přirozeně zpomalují.



Obrázek 6: Sledování bezpečnosti dopravy na ulici Háľkova

Klima

Žilina se díky své poloze a nadmořské výšce velmi dobře ochlazuje, problém tepelného ostrova nastává na několika místech v centru, které si žádají investice do kvality veřejného prostoru. Zatímco počet chladných dní (pod 0 °C) je u všech tří lokalit stejný; počet tropických dní (nad 30 °C) se významně liší a ukazuje na místa, která jsou postižena klimatickou změnou a představují vyšší zátěž na veřejné zdraví.

Metrika počtu tropických dní byla aplikována na všechna tři místa, a to i v hodinovém rozlišení. V lokalitě Aupark v centru města bylo těchto dní 28, tj. o 4 více než ve stavebně podobném prostředí na univerzitě a působení lesoparku kolem univerzity také ovlivnilo průměrnou teplotu, která je nižší o téměř jeden stupeň. Mnohem většího rozdílu pak zaznamenala lokalita městského parku ve Studničkách, vzdáleného od lokality Aupark cca 200 m. I když je vzdálenost relativně malá, park zaznamenal jen 13 tropických dnů, tj. méně než polovinu než Aupark, v hodinách se jedná o 40% rozdíl, a průměrná teplota přitom byla nižší jen o 0,7 °C, tj. že i prostředí parku je zpětně silně ovlivněno okolním prostředím zastavěného centra a průměrné teploty jsou zde dokonce vyšší než na zastavěném prostředí univerzity. Na konci listopadu byl rozdíl teploty povrchu v Aupark a univerzitě celý 1 stupeň (2,5 °C vs 1,5 °C).

Pozitivní vliv lesoparku na ochlazování univerzitního centra, a naopak i vysoké teploty uvnitř městského parku způsobené okolím, poukazují na nové potřeby plánování veřejných prostor, zeleně a potřebné ventilace centra města, ale i regulace dopravy.

Zajímavé je i srovnání maximální teplot mezi lokalitami; dne 30.6. byly zaznamenány nejvyšší hodnoty, a to lokalita Aupark 38 °C, Studničky 34,8 °C a univerzita 36,2 °C, tj. kompaktní zeleň Studničky dokázala poskytnout chladnější mikroklima jen o 3,2 °C, z čehož vyplývá, že je tento zelený ostrůvek v centru města hodně izolovaný a Žilina potřebuje alespoň dvě další podobné lokality, jako je park Na Studničkách, propojené zelenými koridory, aby byl efekt zeleně pro ochlazení centra města významný. Naopak teplota na univerzitě dokládá, že je okolní lesopark schopen ochladit zastavěné území univerzity o 1,8 °C.

Dopad na děti

Mnohem závažnější je situace pro malé děti. Horko dýchané dospělými je mnohem nižší než u dětí. V lokalitě Aupark jsme zjistili, že pro děti bylo toto prostředí v režimu tropického dne 90 dnů, tj. více než trojnásobek oproti dospělým 28 dnům, a trojnásobek je to i v hodinách. Průměrná teplota byla o 1,3 °C vyšší, ale mnohem závažnější jsou maximální teploty: zatímco ve výšce dospělých bylo maximum 38 °C, ve výšce malých dětí 44,1 °C, tj. o více než 6 stupňů, což je alarmující s ohledem na přirozenou teplotu těla. Takto přehřáté dítě je tak na jedné straně vystaveno dehydrataci, ale na druhé i vyššímu riziku působení zplodin a prachových částic z dopravy. Navíc následné zchlazení v nákupním centru velmi pravděpodobně způsobí dýchací potíže a letní nastydnutí. Aupark lze tak svými parametry zařadit mezi lokality se zvýšenou zdravotní zátěží a rizikem vzniku astmatu.

Zastavěné plochy Aupark či univerzity mají mnohem vyšší počet tropických dní ve výšce 80 cm. Pro oba případy platí, že v této výšce se teplota nad 30 °C dostane trojnásobně častěji a lze tímto parametrem pohlížet na obdobné zastavěné plochy ve městě, včetně dopravní infrastruktury. **Tato lokalita tak vyžaduje zásah do veřejného prostoru ve prospěch zeleně, alespoň formou parkletů, a v neprospěch dopravy.**

Klimatické podmínky centra města Žiliny v roce 2022

~ Meteorostanice Aupark										
200cm	Tropické dny	Tropické hodiny	Chladné dny	Tropické noci	Průměrná teplota	Maximální teplota		Minimální teplota		Nepřetíž tropický časový úsek
	28	190	119	0	12.1 °C	Den	Teplota	Den	Teplota	2022-06-27
						30.06.16:00	38.0 °C	24.01.08:00	-9.2 °C	10 hour
						30.06.17:00	37.5 °C	24.01.07:00	-9.1 °C	
						30.06.15:00	37.4 °C	24.01.09:00	-8.7 °C	
80cm	Počet tropických dní (8...)	Počet tropických hodin ...	Počet chladných dní (8...)	Tropické noci	Průměrná teplota	Maximální teplota		Minimální teplota		Nepřetíž tropický časový úsek
	90	539	116	0	12.9 °C	Den	Teplota	Den	Teplota	2022-06-30
						30.06.16:00	44.1 °C	24.01.08:00	-9.2 °C	12 hour
						30.06.15:00	43.8 °C	24.01.07:00	-9.1 °C	
						21.07.16:00	43.1 °C	08.01.05:00	-8.6 °C	
~ Meteorostanice Sad na Studničkách										
200cm	Tropické dny	Tropické hodiny	Chladné dny	Tropické noci	Průměrná teplota	Maximální teplota		Minimální teplota		Nepřetíž tropický časový úsek
	13	89	119	0	11.5 °C	Den	Teplota	Den	Teplota	2022-07-21
						30.06.17:00	34.8 °C	24.01.07:00	-9.2 °C	9 hour
						30.06.16:00	34.7 °C	24.01.08:00	-9.2 °C	
						30.06.15:00	34.4 °C	24.01.06:00	-8.8 °C	
80cm	Počet tropických dní (8...)	Počet tropických hodin ...	Počet chladných dní (8...)	Tropické noci	Průměrná teplota	Maximální teplota		Minimální teplota		Nepřetíž tropický časový úsek
	19	115	116	0	11.6 °C	Den	Teplota	Den	Teplota	2022-07-21
						30.06.16:00	35.4 °C	24.01.07:00	-9.5 °C	9 hour
						30.06.17:00	35.1 °C	24.01.06:00	-9.5 °C	
						30.06.15:00	35 °C	24.01.08:00	-9.3 °C	
~ Meteorostanice UNIZA										
200cm	Tropické dny	Tropické hodiny	Chladné dny	Tropické noci	Průměrná teplota	Maximální teplota		Minimální teplota		Nepřetíž tropický časový úsek
	24	136	119	0	11.2 °C	Den	Teplota	Den	Teplota	2022-07-21
						30.06.16:00	36.2 °C	24.01.07:00	-9.9 °C	9 hour
						30.06.17:00	36.0 °C	24.01.08:00	-9.9 °C	
						21.07.17:00	35.8 °C	24.01.06:00	-9.8 °C	
80cm	Počet tropických dní (8...)	Počet tropických hodin ...	Počet chladných dní (8...)	Tropické noci	Průměrná teplota	Maximální teplota		Minimální teplota		Nepřetíž tropický časový úsek
	75	406	116	0	11.8 °C	Den	Teplota	Den	Teplota	2022-07-21
						30.06.16:00	42.5 °C	24.01.06:00	-11 °C	10 hour
						23.07.14:00	42.4 °C	24.01.07:00	-11 °C	
						21.07.15:00	41.5 °C	24.01.05:00	-11 °C	

Obrázek 7: Přehled základních klimatických parametrů města Žiliny za rok 2022

Data jsou dostupná na: ["https://doprava.digital/d/XTTn-hM4k/dlouhodoby-prehled?orgId=1&from=now/y&to=now/y&var-company_id=10&var-group_id=2&var-meteo_ids=All&var-frost_ids=All"](https://doprava.digital/d/XTTn-hM4k/dlouhodoby-prehled?orgId=1&from=now/y&to=now/y&var-company_id=10&var-group_id=2&var-meteo_ids=All&var-frost_ids=All)

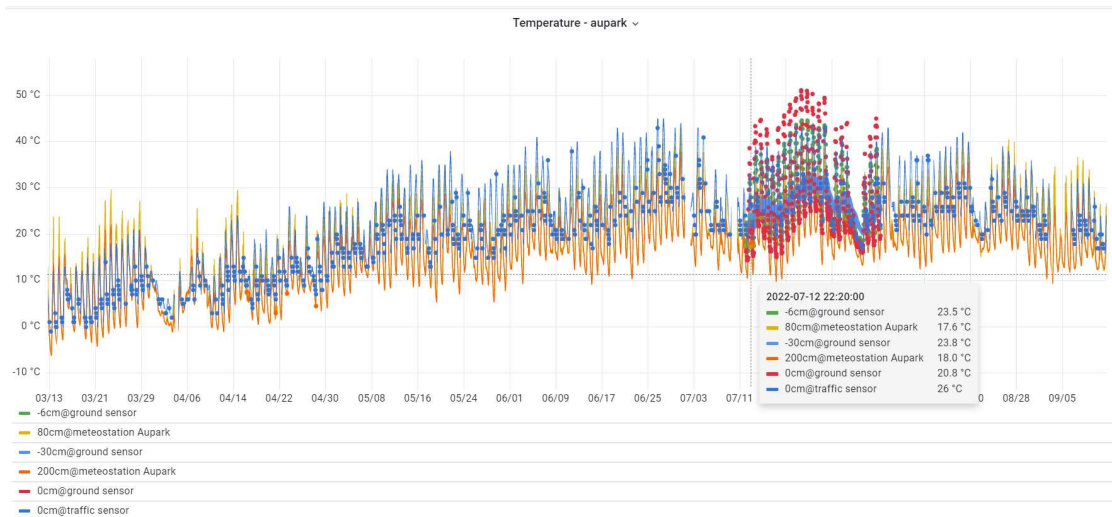
Prohřívání a ochlazování povrchů

Prohřívání povrchů má významný dopad na mikroklima daného místa a jeho schopnosti se ochladit. V Žilině v roce 2022 nebyla ani jedna tropická noc, všechny noční teploty vždy klesly pod 20 °C, byť někdy jen v řádu desetin stupně. Poloha města a nadmořská výška tak přispívají k lepšímu ochlazení dotčených míst.

V lokalitě Aupark byly nasazeny dva senzory teploty: dopravní senzor s měřením teploty, umístěný na přechodu pro chodce v asfaltové vozovce mezi Aupark a novou radnicí, a standardní podpovrchový teplotní senzor umístěný v dlažbě při vstupu do budovy nové radnice. Teplota ve 30 cm pod zemí dosáhla maxima 22.7. (32,5 °C), v 6 cm pod zemí dosáhla maxima již při první vlně veder (30.6., 44,8 °C) a maximum teploty povrchu se tehdy vyšplhalo na 51,3 °C.

Zatímco 12.7. bylo ještě relativně chladno a denní teplo bylo chladnou nocí eliminováno (ráno 13.7. bylo jen 11 °C), 25.7. již tropické teploty přes den měly významný vliv na prohřívání povrchu (cca 24 °C) a naakumulovaná energie se držela několik dalších dnů na vysokých hodnotách a ovlivňovala tak schopnost ochlazení povrchů. Následující tabulka dokládá, že se tepelný ostrov vytváří konsektivním ohříváním povrchů, které předávají svou tepelnou energii nižším vrstvám, které jsou tepelně stabilnější a vychládají dlouhodobě, a které vracejí energii zpět povrchům v noci, čímž snižují efekt nočního ochlazení. Dlažba/asfalt se v průměru ochladila o 24 °C/resp. 15 °C; 25.7. to ale bylo o 2 stupně více (26 °C/17 °C),

nicméně se tato energie uložila do země, jak dokládají teploty ve 30 cm, kdy i přes významné ochlazení (1.8. byla ranní teplota 13,3 °C) se teplota ve 30 cm snížila jen na 20,4 °C a po oteplení znovu rostla, např. 31.8. byla ranní teplota 12,7 °C, ve 30 cm pak 25,4 °C). Pod 20 °C se teplota ve 30 cm dostala až v polovině září (13.9. byla ranní teplota 8,5 °C, ve 30 cm pak 19,1 °C).

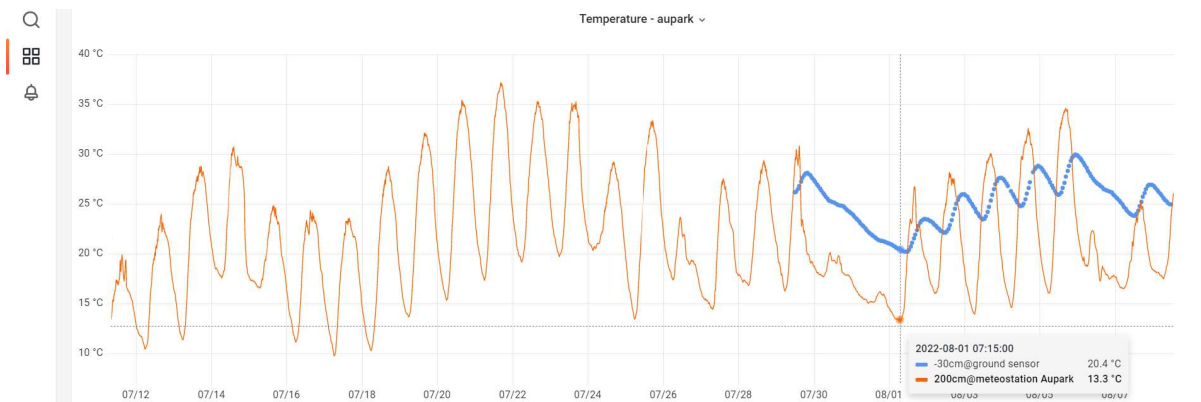


Obrázek 8: Přehled dat o teplotách v centru Žiliny v šesti úrovních výšky

Ochlazení Aupark

Tabulka 2: Srovnání teplot a potenciálu ochlazení lokality Aupark – teploty v °C

	12.7.2022			25.7.2022			29.7.2022		
Teplota ve výšce v cm	odpolední špička 15:30	večerní dojezd 22:20	13.7. ranní sedlo 6:35	odpolední špička 15:30	večerní dojezd 22:20	26.7. ranní sedlo 6:35	odpolední špička 14:15	večerní dojezd 22:20	30.7. ranní sedlo 6:35
200	23,7	18	10,8	32,9	24,9	17,4	29,9	19,2	17,8
80	28	17,6	11,3	38	24,1	18	33,7	19,6	18,2
0 dlažba	38,6	20,8	14,6	49,6	29,3	23,7	44,1	22,6	20,7
0 asfalt	32	26	17	43	34	26	37	26	22
-6	31,2	23,5	16,6	43	32,8	25,8	36,4	24,5	21,8
-30	21,6	21,6	21,6	29,2	31,9	30,1	26,8	27,7	25,9



Obrázek 9: Detail srovnání změn teplot vzduchu v 2m výšky a teplot 30 cm pod povrchem

Zatímco teploty do 25 °C mají na akumulaci tepla do uličních povrchů relativně malý vliv, série velmi teplých dní dokáže eliminovat i silný potenciál nadmořské výšky a polohy města. Žilina v roce 2022 nemá žádnou tropickou noc a při relativně teplém počasí, pokud se nejedná o několikadenní sérii veder, se dokáže velmi efektivně ochladit. Teplota ve 30 cm pod zemí zůstává naprosto stabilní a další vrstvy se ochlazují dle fází dne. Dlažba se dokáže rozpálit mnohem více než asfalt, protože je senzor umístěn do relativního bezvětří, zatímco senzor v asfaltu je pojížděn vozidly a také cesta zde představuje větrný koridor. Nicméně asfalt jasně ukazuje, že z hlediska akumulace energie představuje povrch podporující tepelný ostrov (např. 25.7 se dlažba ochladila o 26 °C, zatímco asfalt jen o 17 °C).

Místa postižená tepelnými ostrovy

Nasazená senzorická síť je pro některé účely stále nedostačující. Pro identifikaci míst postižených tepelným ostrovem tak byla využita další data:

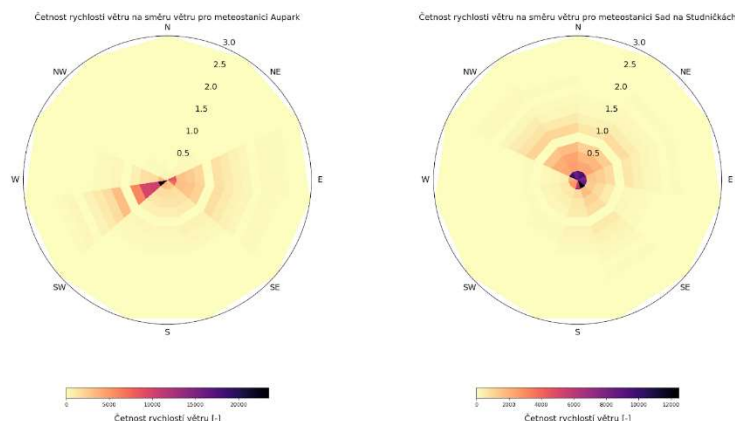
- **Data ze satelitního snímkování** (zdroj World from Space), informativní identifikace tepelných ostrovů – příprava zadání měření
- **Data z denního měření** pomocí přenosného senzoru teploty ve 200 cm, porovnání teplot s referenční Aupark lokalitou, provedené 31.8.2022
- **Data z nočního měření** pomocí přenosného senzoru teploty ve 200 cm, porovnání teplot s referenční Aupark lokalitou pro potenciál ochlazení, provedené 7.9.2022

Výsledky denního měření: kromě dopravních oblastí (křižovatky) jsou barevně rozlišeny lokality s výskytem tepelného ostrova (červené) a lokality ovlivněné tepelným ostrovem (žluté). Protože byly jednotlivé lokality měřeny v jiný čas, byl jako klíčový parametr použit rozdíl teploty vůči Aupark ve výšce 200 cm. Celkem tak bylo identifikováno na 13 lokalit, které si žádají aplikaci opatření pro snížení dopadů klimatické změny.

Vliv městského parku Sad na Studničkách na ochlazení centra

Četnost rychlosti větru na směr větru Aupark vs Sad krásně dokládá (žluté výšečky vlevo (N) a vpravo na SW), jak budova městského úřadu umístěná mezi těmito lokalitami brání proudění směrem do centra. Vliv

parku na ochlazení centra je tak velmi malý a tento efekt je nutné podpořit dalšími zelenými plochami propojenými zelenými koridory.



Obrázek 10: Ukázka výsledků měření ze dvou meteostanic se senzory větru, identifikující budovu městského úřadu jako překážku k proudění větru, a tudíž i eliminace vlivu parku na ochlazení centra města

Stabilní dlouhodobá data z meteostanic poskytují referenční hodnoty pro zkoumání dalších lokalit, které bylo provedeno pomocí přenosného teplotního senzoru dne 31.8. v denních hodinách a 7.9. v nočních hodinách. Bylo tak možné provést ruční měření a srovnat jednotlivé lokality mezi sebou, a zanalyzovat tak desítky míst v centru města a identifikovat tepelné ostrovy. Ty jsou vyznačeny v následující tabulce červenou barvou (kritická místa) a žlutou barvou (potenciálně kritická místa)

Tabulka 3: Výsledky denního měření (31.8.) – identifikace tepelných ostrovů

Název ulice	měřená teplota	0,8m Aupark	0,8m Sad	2m Aupark	2m Sad	diff 0,8m Aupark	diff 0,8m Sad	diff 2m Aupark	diff 2m Sad
Velká Okružná + Komenského	28,777	30,871	22,393	22,521	21,397	-2,094	6,384	6,256	7,38
Velká Okružná + Vojtecha Spanyola	27,97	30,229	22,365	22,082	21,195	-2,259	5,605	5,888	6,775
P, O, Hviezdoslava (Autobusové Nádraží)	25,677	24,953	21,216	20,359	19,383	0,724	4,461	5,318	6,294
Velká Okružná + Hálkova	27,612	30,76	22,891	22,729	21,607	-3,148	4,721	4,883	6,005
J,M, Geromettu (Tržiště)	26,425	28,043	22,645	22,502	21,438	-1,618	3,78	3,923	4,987
Jozefa Vuruma (Center)	26,038	28,893	22,35	22,232	21,244	-2,855	3,688	3,806	4,794
Sad SNP	25,572	25,043	22,146	21,921	21,059	0,529	3,426	3,651	4,513
Sad SNP + Fárské schody	25,105	25,184	22,12	21,611	20,587	-0,079	2,985	3,494	4,518
P, O, Hviezdoslava (Nádraží)	23,997	25,105	21,428	20,748	19,664	-1,108	2,569	3,249	4,333
Vojtecha Tvrdého + M,R Štefánika	23,7	23,223	21,311	21,084	20,192	0,477	2,389	2,616	3,508
Vojtecha Tvrdého	23,728	23,673	21,199	21,328	20,416	0,055	2,529	2,4	3,312
Fárské schody	24,63	25,613	22,693	22,299	21,359	-0,983	1,937	2,331	3,271
Štúrova + Horný Val	24,986	25,665	22,113	22,698	21,54	-0,679	2,873	2,288	3,446
Dolní Val (South)	23,85	24,869	21,385	21,871	21,139	-1,019	2,465	1,979	2,711

Národná	22,992	25,43	21,611	21,239	20,37	-2,438	1,381	1,753	2,622
Na priekope (Center)	23,203	23,048	21,095	21,767	21,073	0,155	2,108	1,436	2,13
Makovického	23,98	24,922	21,959	22,661	21,539	-0,942	2,021	1,319	2,441
Farská ulička + Dolný Val	23,654	24,989	22,453	22,355	21,478	-1,335	1,201	1,299	2,176
Antona Bernoláka (North)	23,523	24,263	21,771	22,276	21,365	-0,74	1,752	1,247	2,158
Dolný Val + Sladkovičova	23,907	24,795	22,404	22,695	21,807	-0,888	1,503	1,212	2,1
Mydlárska	23,948	26,904	23,086	22,74	21,789	-2,956	0,862	1,208	2,159
Sladkovičova + Na priekope	23,87	25,722	22,405	22,692	21,748	-1,852	1,465	1,178	2,122
Na priekope (North)	23,697	24,615	22,227	22,727	21,75	-0,918	1,47	0,97	1,947
Pernikárska + Horný Val (Parking place)	23,267	24,002	21,539	22,301	21,409	-0,735	1,728	0,966	1,858
Jezuitská	22,698	23,316	21,475	21,807	21,123	-0,618	1,223	0,891	1,575
Mariánske námestie	22,878	22,163	21,169	22,031	21,317	0,715	1,709	0,847	1,561
Bottova	23,427	23,672	21,578	22,581	21,479	-0,245	1,849	0,846	1,948
Aquapark	23,11	24,027	21,844	22,301	21,403	-0,917	1,266	0,809	1,707
Antona Bernoláka (South)	23,107	24,133	21,641	22,318	21,372	-1,026	1,466	0,789	1,735
Jezuitská + Dolný Val + Jána Kalinčiaka	22,545	22,338	20,923	21,781	21,125	0,207	1,622	0,764	1,42
Hodžova (North)	23,435	23,646	22,039	22,682	21,693	-0,211	1,396	0,753	1,742
Farská ulička	23,205	30,352	22,832	22,458	21,57	-7,147	0,373	0,747	1,635
Horný Val	23,127	23,412	21,594	22,441	21,447	-0,285	1,533	0,686	1,68
Na bráne	22,757	23,977	21,635	22,305	21,383	-1,22	1,122	0,452	1,374
Dolný Val (North-East)	22,812	23,383	21,516	22,469	21,594	-0,571	1,296	0,343	1,218
Jána Kalinčiaka	22,177	22,385	20,997	21,849	21,195	-0,208	1,18	0,328	0,982
Radničná	22,225	22,445	21,283	22,203	21,383	-0,22	0,942	0,022	0,842

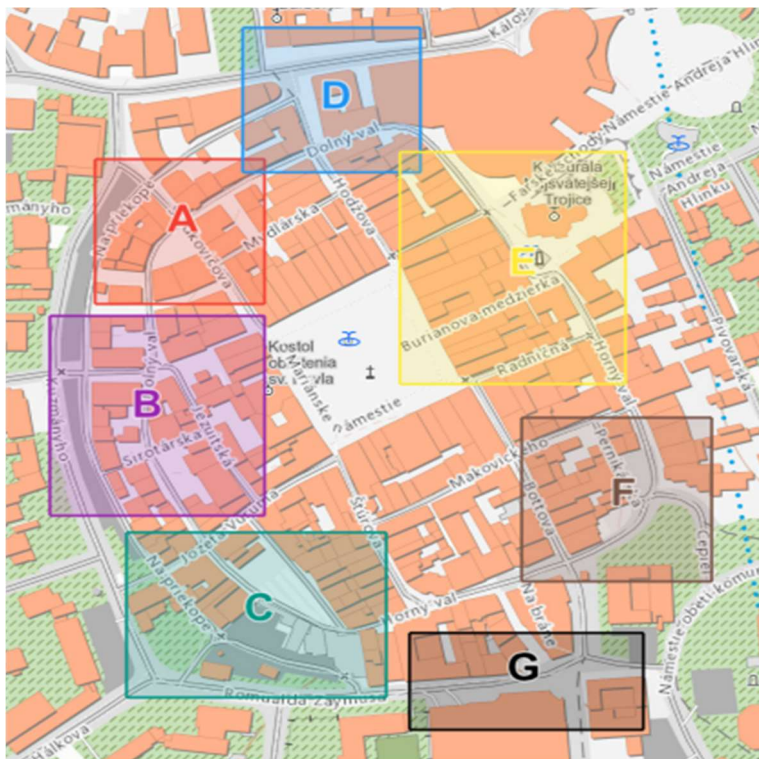
Tabulka 4: Výsledky nočního měření (7.9.) – identifikace tepelných ostrovů – míra ochlazení místa

Název ulice	Naměřená teplota	0,8m Aupark	0,8m Sad	2m Aupark	2m Sad	diff 0,8m Aupark	diff 0,8m Sad	diff 2m Aupark	diff 2m Sad
Vojtecha Tvrdého + Daniela Dlabača (před parkovištěm)	18,39	17,656	16,439	17,771	17,131	0,734	1,951	0,619	1,259
Velká Okružná + Hálkova (Křižovatka)	16,705	16,23	15,438	16,48	15,949	0,475	1,267	0,225	0,756
Národná	17,77	17,352	16,371	17,586	17,037	0,418	1,399	0,184	0,733
Velká Okružná + Vojtecha Spanyola (Křižovatka)	16,853	16,566	15,518	16,723	16,078	0,287	1,335	0,13	0,775
Velká Okružná + Komenského (Křižovatka)	16,755	16,542	15,474	16,604	16,003	0,213	1,281	0,151	0,752
Námestie Andreja Hlinku	17,267	17,055	16,307	17,409	16,974	0,212	0,96	-0,142	0,293
J.M. Geromettu (Tržiště)	17,31	17,113	15,787	16,924	16,406	0,197	1,523	0,386	0,904
Mariánske námestie	17,207	17,013	15,831	16,922	16,357	0,194	1,376	0,285	0,85

Jezuitská + Dolný Val + Jána Kalinčiaka	16,98	16,809	15,895	16,963	16,576	0,171	1,085	0,017	0,404
Dolný Val (parking place)	17,02	16,881	16,049	17,066	16,699	0,139	0,971	-0,046	0,321
Pernikárska (parking place)	17,22	17,089	15,719	16,905	16,228	0,131	1,501	0,315	0,992
Jezuitská	17,003	16,883	15,854	16,924	16,535	0,12	1,149	0,079	0,468
Antona Bernoláka (South)	16,997	16,885	15,619	16,834	16,162	0,112	1,378	0,163	0,835

Analýza lokalit a návrhy na řešení

Pro návrhy konkrétních opatření bylo centrum města rozděleno do logických celků/oblastí dle klimatických podmínek. Každá oblast byla zvlášť zanalyzována a byla vypracována doporučení jak pro dlouhodobé měření klimatických či jiných podmínek, tak i pro jejich revitalizaci s ohledem na dopady klimatické změny.



Obrázek 11: Rozdělení předmětných oblastí centra do lokací A až G pro jejich podrobnější zkoumání

Centrum města je z velké části zastavěno budovami. Uličky mezi nimi jsou zpravidla vydlážděny; asfaltové kryty se vyskytují na jižní straně města. V centru je velmi malé množství vegetačních ploch kromě středu centra města, oblast zeleně na severní části (Na Prikope), oblast kolem parkoviště (Horný val) a západní část centra. Vegetační pás v ulici Na Prikope funguje jako štít, nicméně z důvodu vysoké hustoty budov je působení vegetace na centrum minimální. Pro srovnání lokalit a identifikaci kritických míst, které z pohledu klimatické změny vyžadují zásah (červeně vyznačené), byla sestavena následující přehledová tabulka:

Tabulka 5: Sledované parametry a jejich role v hodnocení rizikových lokalit centra Žiliny s ohledem na dopady klimatické změny se vztahem k dopravě

	Proudění větru	vegetační štít	stínění	Hustota/výška budov	parkoviště	doprava a škodliviny
Lokace A	uzavřené	zredukovaný	dobré		ano	
Lokace B	otevřené		dobré	vysoká		
Lokace C	otevřené	slabý	špatné		ano	ano
Lokace D	otevřené	dobrý jen ze Severu			ano	
Lokace E	otevřené	slabý	dobré	vysoká		
Lokace F	otevřené	optimální			ano	
Lokace G	otevřené	žádný	špatné		ano	ano

Závěry:

Na základě dat z nasazené dopravně-klimatické senzorické sítě a provedeného průzkumu jsme dospěli k závěrům, které ukazují na problematické oblasti, kde doprava významně ovlivňuje klima. Oblasti C - Tržiště a oblast G – Aupark byly shledány jako nejvážnější kandidáti na regulaci dopravy a parkování spolu s opatřeními na klimatickou změnu. Nejvíce rizikové oblasti jsme identifikovali na severovýchodě města blízko hlavního vlakového nádraží. Další rizikové oblasti jsou v oblasti kolem silnice Velká okružná, především v oblastech křižovatek, které slouží k přenosu proudění větru kolem města. Jižní část centra je dostatečně zakrytá vegetací.

Lokace v centru města

Lokace A – Severní strana Na prikope a Sládkovičova

Západní vegetační štít na ulici Na prikope je v oblasti A značně zredukovaný. Střed oblasti A (Dolný val a Sládkovičova) je pro proudění větru uzavřený, dále je v oblasti velké parkoviště, které je kryté výškovou budovou orientovanou jižním směrem, z tohoto důvodu je oblast dobře stíněná vůči slunečnímu záření.

Doporučení: protáhnout vegetační štít Na prikope a případně zrekonstruovat parkoviště. Poslední možností je upravení ulice Sládkovičova, přesněji její jižní části před vstupem do Mariánské náměstí. Proudění větru je blokováno budovami ze všech směrů.

Lokace B – Jána Kalinčiaka

Oblast B se vyznačuje vysokou hustotou budov. Výhodou této oblasti je otevřený koridor proudění vzduchu ze Západu a částečně z Východu. Natočení ulice je západovýchodní a sluneční svit je blokován od Východu.

Doporučení: Oblast je vhodná pro měření větru a teplot podobně jako lokalita Aupark.

Lokace C – Tržiště

Tržiště je otevřená oblast z Jihu, nedávno rekonstruována. Jižní budovy byly zdemolovány, čímž se zvýšilo proudění větru z Jihu, a byly nahrazeny betonovou plochou (parkoviště apod.), což zvýšilo riziko vysokých denních teplot. Kvalita vzduchu je tak v oblasti Tržiště ohrožena kvůli otevřenému vzdušnému proudu

z Jihu, procházejícímu přes křižovatky Komenského-Velká okružná a Hálkova-Velká okružná. Přes tyto křižovatky projíždí přibližně 10 000 aut za den. Škodliviny z této komunikace následně dopadají na oblast Tržiště v případě, že vítr směřuje z Jihu na Sever (26 % a jižní směry představují až 50 % z celkového proudění).

Doporučení: Oblast je vhodná pro měření větru a teplot podobně jako lokalita Aupark s rozšířením o měření prachových částic a NOx.

Doporučení 2: Nasazení vyšší vegetace z Jihu Tržiště tak, aby na plochu tržiště dopadal stín. Vegetace bude následně blokovat škodliviny z jižní komunikace.

- Plocha oblasti Tržiště 7623 m², asfaltová plocha představuje přibližně 50 % plochy Tržiště
- Plocha zeleně z Jihu 400 m² představuje 5 % oblasti
- Plocha zeleně ze Západu 1105 m² představuje 14 % oblasti
- Plocha parkoviště 2874 m² představuje 37 % oblasti
- Plocha tržiště 1401 m² představuje 18 % oblasti
- Plocha budov 1981 m² představuje 26 % oblasti
- NDVI (normalized difference vegetation index)
 - 94 % ... 0
 - 3 % ... <0,3
 - 3 % ... >0,3

Lokace D – Hodžova

Oblast D je otevřená vůči proudění vzduchu ze Severu a částečně z Jihu. Oblast má zvýšenou přítomnost vegetace ze severní části, vliv vegetace se tak uplatní, pouze pokud vítr proudí ze Severu. Jižní strana je ovlivněná teplotami z centra.

Doporučení: Oblast je vhodná pro měření větru a teplot podobně jako lokalita Aupark.

Doporučení 2: Vegetační úpravou by bylo vhodné upravit ulici Hodžova, konkrétně parkoviště.

Lokace E – Katedrála a Námestie Andreja Hlinku

V Oblasti E se vyskytují nejvyšší budovy, tj. konkrétně rozhledna, katedrála a část obchodního domu. Ulice Farská má nejvyšší poměr mezi šířkou mezi budovami a výškou budov, je natočená západně a je otevřena vůči proudu vzduchu z Východu a částečně otevřená ze Západu. Sluneční svit je přístupný z Východu, západní část částečně blokována budovou, která následně stíní slunečnímu záření v odpoledních hodinách.

Oblast Námestie Andreja Hlinku má dostatečné množství vegetace v severní části náměstí, nicméně před vstupem do Farských schodů je množství vegetace razantně omezeno. Oblast navíc není nijak stíněná.

- Plocha oblasti Farská ulička 200 m²
- Délka uličky 61 m a šířka uličky je 3,3 m
- Podlaží v uličce je tvořeno pouze kamennou dlažbou
- Průměrná výška okolních budov 15,5 m

Doporučení: Oblast je vhodná pro měření větru a teplot podobně jako lokalita Aupark.

Doporučení 2: Přidat více zeleně kolem katedrály a rozhledny.

Doporučení 3: Přidat více zeleně v oblasti jižní strany Námestie Andreja Hlinku (oblast před obchodním domem a Farskými schody)

Lokace F – Pernikárska

Oblasť F má optimálne vegetačné podmienky v celom centre mesta. Južná časť obsahuje vyvýšenú vegetáciu. Parkovišťa je blokovávané stromy, ktoré sú natočené južným smerom a vrhajú tieň na parkovišťa.

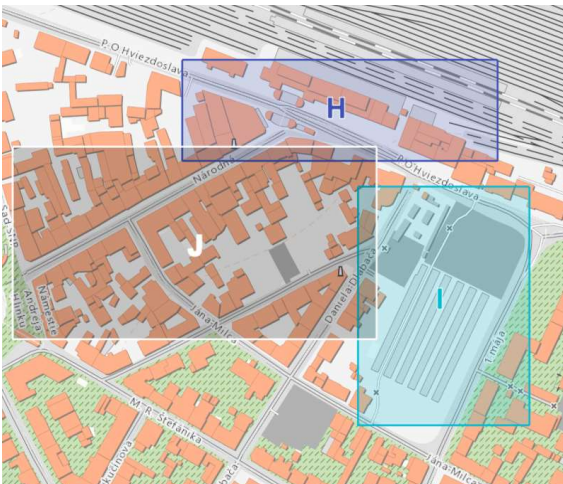
Doporučení: Oblasť je vhodná pre meranie vetru a teplot podobne ako lokalita Aupark. Z dôvodu zvýšenej vegetácie a otvoreného priestranstva je doporučované namontovať snímače pre meranie teploty povrchu na parkovišťa a prilehlé vozovky. Dôvodom je zvýšené riziko námrazy v zime.

Lokace G – Aupark

Lokace G je meraná. V lokácii je zvýšená hustota pohybu obyvateľstva z dôvodu vchodu do Auparku. Oblasť je natočená západovo-východne a je otvorená voči proudeniu vetru z oboch strán. Slnečný svit nie je blokovávaný v žiadnom smere.

Doporučení: Zvýšiť množstvo vegetácie pred vstupom do obchodného domu, zameziť vjazdu vozidiel, tj. rozšíriť pobytovú zónu pred nákupným centrom.

Lokace mimo centrum



Lokace H – Vlakové nádraží

Nádraží je natočené západovo-východne, rovnako ako pozemná komunikácia, preto je proudenie vetru plne otvorené z oboch strán. Proud vetru je v každom prípade redukovaný hustou zástavbou, ktorá sa nachádza naproti vstupu do ulice Národná a pred vstupom do vlakového nádražia. Po komunikácii P.O. Hviezdoslava v priebehu dňa prejde približne 10 000 aut. Z dôvodu nedostatku proudenia vetru škodliviny zostávajú poblíž vlakového nádražia. Tieto škodliviny následne zvyšujú zdravotné riziká a spôsobujú zvýšenie efektu tepelného ostrova. Z dôvodu zvýšenej intenzity pohybu obyvateľstva a dopravného zaťaženia pred nádražím je ďalej **doporučované** meranie kvality ovzdušia.

Doporučení: Oblasť je vhodná pre meranie vetru a teplot podobne ako lokalita Aupark s rozšírením o meranie prachových častíc a NOx.

Doporučení 2: Revitalizaci oblasti provést tak, aby objekty, které blokují proudění větru, byly nahrazeny vyšší vegetací tak, aby snižovaly teplotu v okolí a pohlcovaly škodliviny z dopravy.

Lokace I – Autobusové nádraží

Autobusové nádraží je velká otevřená asfaltová plocha, která ve dne způsobuje vysoké teploty. Plocha je vůči proudu větru uzavřená ze všech směrů, což brání přirozenému ochlazení. Nádraží je obklopeno nízkou vegetací (pouze travní porost) s nepravidelným výskytem stromů. Ve vnitřní části se nevyskytuje žádná zeleň. Oblast má vyvýšené střechy, které zakrývají část plochy a vytvářejí stín.

Doporučení: Oblast je vhodná pro měření větru a teplot podobně jako lokalita Aupark.

Doporučení 2: vegetační úpravy; zvýšit podíl zeleně u autobusové nádraží, zdvojnásobit množství stromů a přidat křovinaté porosty okolo autobusového nádraží. Zvýšená intenzita stromů by měla být na jižní straně. Z důvodu uzavřené struktury vůči proudění vzduchu z Jihu by neměl být problém přidat více stromů na jižní stranu. Zastřešení nad zastávkami by bylo vhodné přetříť na reflektivní materiál, který by zvýšil odrazivost dopadajícího světla.

Doporučení 3: U přilehlé parkoviště v ulici Daniela Dlabáča je doporučeno osadit stromy tak, aby vytvářely stín v odpoledních hodinách.

Lokace J – Vojtecha Tvrdého a Národní

Nejvíce riziková ulice v oblasti J je ulice Vojtecha Tvrdého. Ulice je natočena Jihozápadně. Proudění větru je blokováno z obou stran. V oblasti jsou dvě parkoviště, které jsou velmi blízko sebe. Parkoviště u autobusového nádraží je asfaltové, druhé je dlážděné betonovými bloky.

Ulice Národní je nejvíce zatížená ulice ve městě s ohledem na pohyb obyvatelstva. Podél ulice jsou v jedné řadě osazeny stromy, které redukuje teplotní efekt. Problém této ulice se vyskytuje v severní části, která je napojená na vlakové nádraží. Více o řešení tohoto problému je popsáno v oblasti H – vlakové nádraží.

Doporučení: Snížit počet parkovacích míst na parkovišti a nahradit je zelení, která by vytvářela stín pro parkoviště.

Lokace K – Křižovatky mezi Velká okružná – Hálkova a Velká okružná – Komenského

Z důvodu velkého pohybu vozidel, přibližně 10 000 za den, je oblast vhodná pro monitorování rychlosti a směru větru, z důvodu kvality ovzduší. Křižovatky jsou plně otevřené do všech stran. Nečistoty vytvořené na křižovatkách ovlivňují obyvatelstvo v závislosti na směru větru.

Doporučení: Z pohledu teplotních výkyvů je nejhorší křižovatka Velká okružná – Hálkova, která je doporučena pro měření teploty vzduchu.

- Vzdálenost do centra od křižovatky Velká okružná – Hálkova je 230 m
- Plocha oblasti Velká okružná – Hálkova je 5 556 m²
- Plocha zeleně oblasti Velká okružná – Hálkova 1 719 m² představuje 30 % oblasti
- Plocha budov oblasti Velká okružná – Hálkova 1 348 m² představuje 24 % oblasti

- Z využitím dat z [1] byla respondenty křižovatka označena jako místo s extrémními teplotami a zhoršenou kvalitou ovzduší.
- Vzdálenost do centra od křižovatky Velká okružná – Komenského je 270 m
- Plocha oblasti Velká okružná – Komenského je 4 542 m²
- Plocha zeleně oblasti Velká okružná – Komenského 663 m² představuje 14 % oblasti
- Plocha budov oblasti Velká okružná – Komenského 1 562 m² představuje 34 % oblasti
- Z využitím dat z [1] byla respondenty křižovatka označena jako místo s extrémními teplotami.

Doporučení 2: Na této křižovatce osadit stromy do prostor vedle parkoviště na jižní straně.

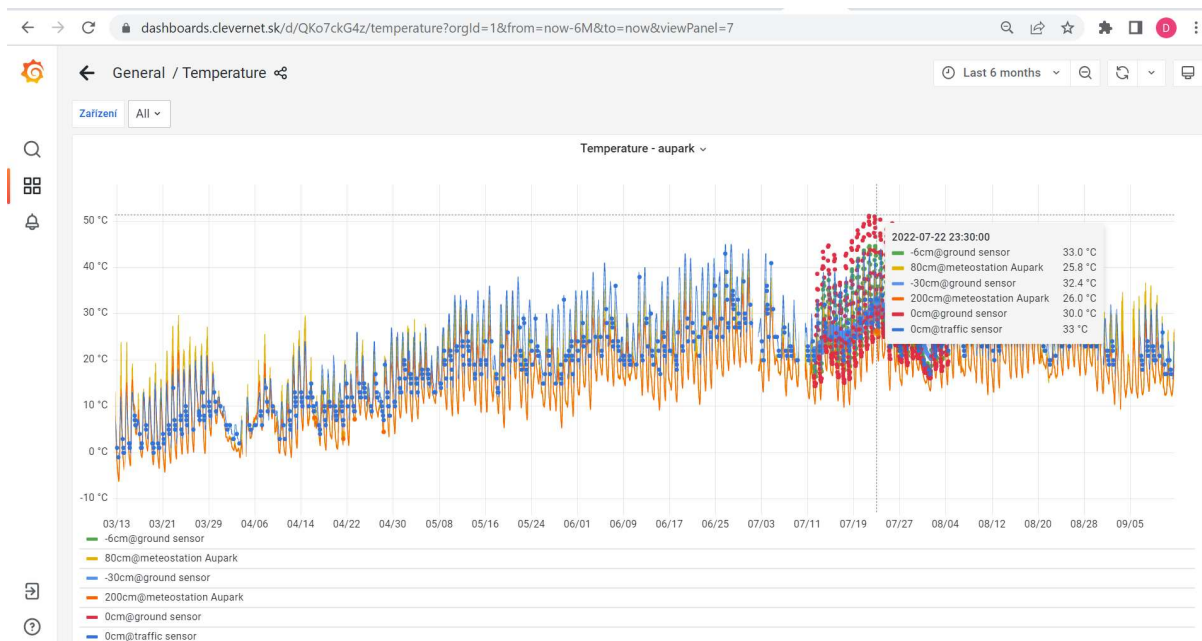
Závěry o klimatu:

Žilina je městem, které se díky své poloze a nadmořské výšce velmi dobře ochlazuje, o čemž svědčí fakt, že v Žilině nebyla letos ani jedna tropická noc, i když tropických dnů bylo 28. Centrum města trpí nedostatkem zeleně a některá místa i nedostatečnou ventilací vzduchu. Významná část těchto míst souvisí s dopravou, klíčovými místy pro řešení tak jsou:

Lokalita Aupark – vyžaduje zeleň, která nebude bránit proudění vzduchu, vyžaduje rekonstrukci veřejného prostoru před Auparkem doprovázenou změnou regulace dopravy a přísnější parkovací politikou v okolí

Lokalita autobusového nádraží – vyžaduje významnou rekonstrukci

Problémem jsou v letním období horká odpoledne akumulující energii, která je vyzařována do okolí i po 23. hodině, a která sužuje návštěvníky centra města, především malé děti.



Obrázek 12: Datově podložené teplotní rozdíly v lokalitě Aupark, která vyžaduje aplikaci opatření pro zmírnění dopadů klimatické změny

Příloha 1: Podrobnější vyhodnocení tepelných ostrovů: podklady pro zprávu

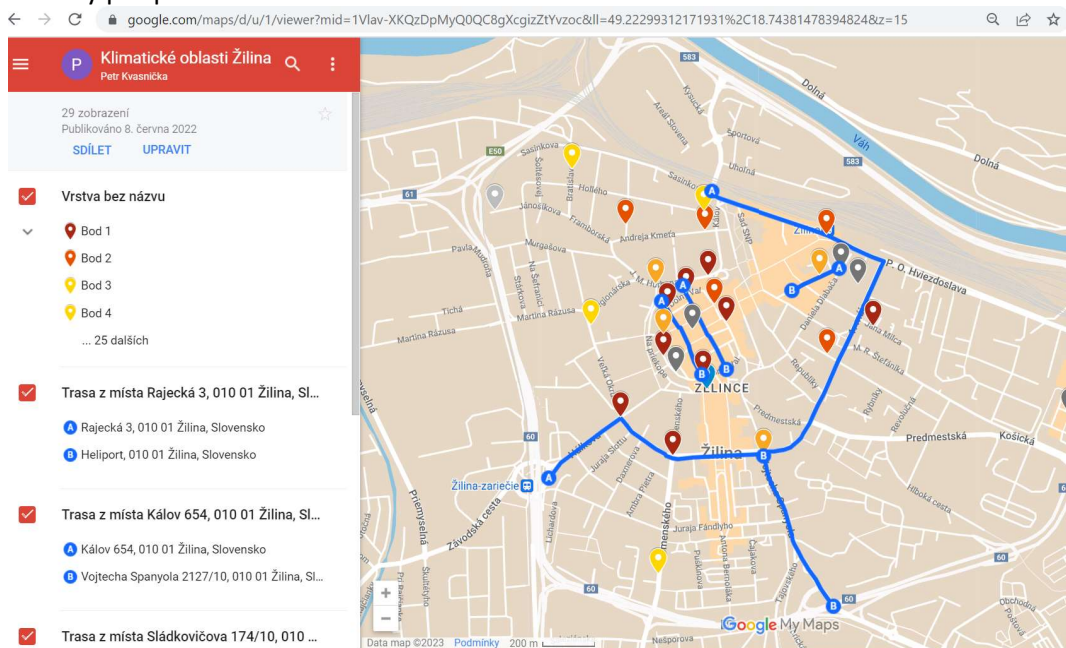
Analytické práce se zakládaly na provedených měřeních/datech ze senzorické sítě dle globálních kritérií pro identifikaci tepelných ostrovů.

Goal	Macro-Criteria and Criteria	Intensity Ranges
Absolute Max Urban Heat Island Intensity	Meteorological Variables	
	Windless Days v_1	- More than 15% $w_{1,1}$ 10% - 15 % $w_{1,2}$ 5% - 10% $w_{1,3}$ 1 % - 5 % $w_{1,4}$ - Less than 1% $w_{1,5}$
	Average Max Summer Temperature v_2	- More than 30°C $w_{2,1}$ 28°C - 30°C $w_{2,2}$... $w_{2,3}$ 22°C - 24°C $w_{2,5}$ - Less than 22°C $w_{2,6}$
	Average Summer Thermal Excursion v_3	- More than 16°C $w_{3,1}$ 14°C - 16°C $w_{3,2}$... $w_{3,3}$ 8°C - 10°C $w_{3,5}$ - Less than 8°C $w_{3,6}$
	Clear Sky Days v_4	- More than 70% $w_{4,1}$ 60% - 70% $w_{4,2}$... $w_{4,3}$ 10% - 20% $w_{4,7}$ - Less than 10% $w_{4,8}$
	Characteristics of the City (Albedo)	
	Land Cover Types (Albedo) v_5	0.10 - 0.12 $w_{5,1}$ 0.12 - 0.14 $w_{5,2}$... $w_{5,3}$ 0.26 - 0.28 $w_{5,9}$ 0.28 - 0.30 $w_{5,10}$
	Land Cover (Greenery) v_6	- Less than 5% $w_{6,1}$ 5 - 10% $w_{6,2}$... $w_{6,3}$ 45 - 50% $w_{6,9}$ - More than 50% $w_{6,10}$
	Anthropogenic Heat	
	Population Density v_7	- More than 18,000 ab/Km² $w_{7,1}$ 16,000-18,000 ab/Km² $w_{7,2}$... $w_{7,3}$ 1,000-2,000 ab/Km² $w_{7,10}$ - Less than 1,000 ab/Km² $w_{7,11}$
	City Canyons	
	Building Height (UCZ) v_8	- Zone 1 $w_{8,1}$ - Zone 2 $w_{8,2}$ - Zone 3 $w_{8,3}$ - Zone 4 $w_{8,4}$ - Zone 5 $w_{8,5}$
	Average Width of Streets v_9	- Less than 5m $w_{9,1}$ 5 - 10 m $w_{9,2}$ 10 - 15 m $w_{9,3}$ 15 - 20 m $w_{9,4}$ - More than 20 m $w_{9,5}$
	Canyons Orientation v_{10}	- South $w_{10,1}$ - South - West $w_{10,2}$ - South - East $w_{10,3}$ - West $w_{10,4}$
	Irregularity of the City v_{11}	- Irregular streets $w_{11,1}$ - Mixed streets $w_{11,2}$ - Regular streets $w_{11,3}$

Obrázek 13: Tepelné ostrovy – Základní kritéria hodnocení a rozsah hodnot [2]

Vybrané lokace Žilina

Pro návrh zkoumaných lokalit byly využity stávající datové zdroje (satelitní klimatická data <http://zelenza.worldfrom.space/> a statistiky počtu dotčených obyvatel <https://www.zilina.sk/zivot-v-meste/o-meste/statistika-o-pocte-obyvatelov-2021/>). Celkem bylo vybráno 29 lokací a navrženy optimální trasy pro provedení měření:



Obrázek 14: Příprava na lokální měření tepelných ostrovů

Mapa je dostupná na: <https://www.google.com/maps/d/u/1/viewer?mid=1Vlav-XKQzDpMyQ0QC8gXcgizZtYvzoc>

Pro jednotlivé lokace byly doplněny charakteristiky dle dostupných dat.

Výpis lokací

BOD 1

- **Název ulice:** J. M. Hurbana
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 7
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřený pro jeden proud větru (Ostrý úhel)
- **Natočení:** Západní - Jižní
- **Aut za den:** 3000
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké

BOD 2

- **Název ulice:** Andreja Kmeťa
- **NDVI min:** 0

- **NDVI max:** 28
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřený
- **Natočení:** Západní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední
- **Poznámky:** Západní část ulice má lepší NDVI

BOD 3

- **Název ulice:** Hollého
- **NDVI min:** 5
- **NDVI max:** 18
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** částečně blokovaný východ
- **Natočení:** Západní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Středně-nízké

BOD 4

- **Název:** Střední škola
- **Název ulice:** Komenského
- **NDVI min:** 28
- **NDVI max:** 32
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřený
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:** 10 000
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 1606 + 1491 (Hliny VIII + Hliny III)
- **Riziko:** Nízké (Riziko kvality ovzduší vyšší)
- **Poznámky:** Škola vykazuje vyšší riziko na kvalitu ovzduší

BOD 5

- **Název:** Křižovatka
- **Název ulice:** Hálkova – Velká Okružná
- **NDVI min:** 5
- **NDVI max:** 23
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**

- **Proudění větrů:** Otevřený
- **Natočení:** Jihozápadní
- **Aut za den:** 16 000
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 305+ 8 900 (Malá Praha + Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty)

BOD 6

- **Název:** Křižovatka
- **Název ulice:** Velká Okružná – Komenského
- **NDVI min:** 8
- **NDVI max:** 13
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřený
- **Natočení:** Západní – Jižní
- **Aut za den:** 10 000 - 15 000
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 305 + 838 + 8 900 (Malá Praha +Hliny I +Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty)

BOD 7

- **Název:** Střed náměstí
- **Název ulice:** Mariánské námestie
- **NDVI min:** No info
- **NDVI max:** No info
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřená
- **Natočení:** Jihovýchodní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední – Vysoké
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty)

BOD 8

- **Název:** Autobusové nádraží
- **Název ulice:**
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 20
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřena
- **Natočení:** Jihozápadní

- **Aut za den:** 10 000
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Stredne – nízke (kvalita ovzduší)
- **Poznámky:** Otvorená plocha (Vysoké denné teploty)

BOD 9

- **Název:** Aupark Žilina (Sever)
- **Název ulice:** Romualda Zaymusa
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 18
- **Šírka ulíc:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** částečně uzavřený východ
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Měřená stanice

BOD 10

- **Název ulice:** Bratislavská
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 7
- **Šírka ulíc:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** uzavřený jih
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Nízká
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Nízké

BOD 11

- **Název ulice:** Radlinského
- **NDVI min:** 2
- **NDVI max:** 5
- **Šírka ulíc:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** částečně uzavřený jih
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Nízká
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední

BOD 12

- **Název:** Konec ulice (Západní)
- **Název ulice:** Janošíková
- **NDVI min:** 7
- **NDVI max:** 10
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřený
- **Natočení:** Západní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední
- **Poznámky:** Industrial + obchody

BOD 13

- **Název ulice:** Velká okružná
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 30
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřený
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:** 5000
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Nízké
- **Poznámky:** Velmi malá oblast ulice

BOD 14

- **Název:** Křižovatka
- **Název ulice:** J. M. Hurbana + Kuzmányho
- **NDVI min:** 3
- **NDVI max:** 10
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřená ze západu a severu
- **Natočení:** Západní + Jižní (no Sever)
- **Aut za den:** 3000
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední

BOD 15

- **Název:** Hub 1
- **Název ulice:** Dolný Val + Sládkovičova
- **NDVI min:** 0

- **NDVI max:** 10
- **Šírka ulíc:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřená ze severu
- **Natočení:** Jihovýchodní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoká
- **Poznámky:** Uzavřená plocha (Vysoké noční teploty), možnost uprav zeleně

BOD 16

- **Název:** Hub 2
- **Název ulice:** Dolný Val + Hodžova
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 0
- **Šírka ulíc:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřená
- **Natočení:** Jihovýchodní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Uzavřená plocha (Vysoké noční teploty), možnost úprav zeleně, parkoviště

BOD 17

- **Název:** Hub 3
- **Název ulice:** Horný Val
- **NDVI min:** 1
- **NDVI max:** 4
- **Šírka ulíc:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřená
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Uzavřená plocha (Vysoké noční teploty), možnost úprav zeleně

BOD 18

- **Název:** Kostel
- **Název ulice:** Horní val + Farská ulička
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 0
- **Šírka ulíc:**

- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřená ze západu
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední – Vysoké
- **Poznámky:** (Vysoké denní teploty)

BOD 19

- **Název:** Střed náměstí
- **Název ulice:** Horní Val
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 0
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** částečně uzavřené
- **Natočení:** Západní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Blízko měřené oblasti

BOD 20

- **Název:** Trh
- **Název ulice:** Horní val
- **NDVI min:** No info
- **NDVI max:** No info
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřená
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední – Vysoké
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty)

BOD 21

- **Název:** Hub 3
- **Název ulice:** Dolní Val
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 0
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřená

- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Uzavřená plocha (Vysoké noční teploty), možnost úprav zeleně

BOD 22

- **Název:** Hub 4
- **Název ulice:** Jana Kalinčiaka + Dolní val + Jezuitská
- **NDVI min:** 2
- **NDVI max:** 9
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřená západ + částečně otevřený východ
- **Natočení:** Západní + Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední
- **Poznámky:** Uzavřená plocha (Vysoké noční teploty), možnost úprav zeleně

BOD 23

- **Název:** Křižovatka
- **Název ulice:** Velká Okružná + Vojtecha Spanyola
- **NDVI min:** 21
- **NDVI max:** 26
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřená
- **Natočení:** Jihovýchodní
- **Aut za den:** 15 000 - 20 000
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty)

BOD 24

- **Název:** Moyzesova (západní část)
- **Název ulice:** Moyzesova
- **NDVI min:** 3
- **NDVI max:** 7
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Uzavřený
- **Natočení:** Západní
- **Aut za den:**

- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední – Vysoké

BOD 25

- **Název:** Křižovatka
- **Název ulice:** Daniela Dlabača + Vojtecha Tvrdého
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 0
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** Otevřený jih
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední – Vysoké
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty), úprava vegetace

BOD 26

- **Název ulice:** Vojtecha Tvrdého
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 28 (konec ulice směrem k náměstí)
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** uzavřený
- **Natočení:** Jihozápadní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:**
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední
- **Poznámky:**

BOD 27

- **Název:** Vlakové nádraží
- **Název ulice:** P. O Hviezdoslava
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 0
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** otevřená
- **Natočení:** Západní
- **Aut za den:** 10 000
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvateľ:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Vysoké
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty), kvalita ovzduší

BOD 28

- **Název ulice:** Jána Milca
- **NDVI min:** 10
- **NDVI max:** 15
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** částečně uzavřená
- **Natočení:** Jihozápadní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední – Vysoké

BOD 29

- **Název:** TESCO
- **NDVI min:** 0
- **NDVI max:** 10
- **Šířka ulic:**
- **Výška budov:**
- **Proudění větrů:** částečně uzavřená
- **Natočení:** Jižní
- **Aut za den:**
- **Intenzita pohybu osob:** Vysoká
- **Počet obyvatel:** 8 900 (Staré mesto)
- **Riziko:** Střední
- **Poznámky:** Otevřená plocha (Vysoké denní teploty)

Závěry z měření

Centrum města vyžaduje pozornost s ohledem na dopady klimatické změny a regulaci parkování, protože míst ohrožených dopady klimatické změny je hodně. Při revitalizačních projektech doporučujeme nasadit senzorické prvky, které by evidovaly hodnoty před investicí a po investici. Jedná se primárně o síť meteostanic, senzorů povrchové a podpovrchové teploty, indikačních senzorů kvality ovzduší, senzorů dopravy a senzorů pro sčítání chodců. Získaná data budou mít vliv nejen na efektivní řešení revitalizace centra města, ale i na retail, neboť vzniknou místa příjemná k pobytu účelně propojená zelenými koridory. Vzbudí se také zájem o opatření pro řešení klimatické změny, účelné nasazování OZE a udržitelnou dopravu.

Tabulka 6: Přehled doporučeného nasazení senzorů pro měření tepelných ostrovů a kvality prostředí

Lokace A Sládkovičova	Meteostanice
Lokace B Jána Kaliničáka	Meteostanice
Lokace C Tržiště	Meteostanice + PM + NOx
Lokace D Hodžova	Meteostanice
Lokace E Katedrála a Namiestie A. Hlinky	Meteostanice
Lokace F Pernikárska	Meteostanice + teplota povrchu a pod povrchem
Lokace H Vlakové nádraží	Meteostanice + PM + NOx
Lokace I Autobusové nádraží	Meteostanice
Lokace K Velká okružná-Hálkova	Meteostanice + PM + NOx

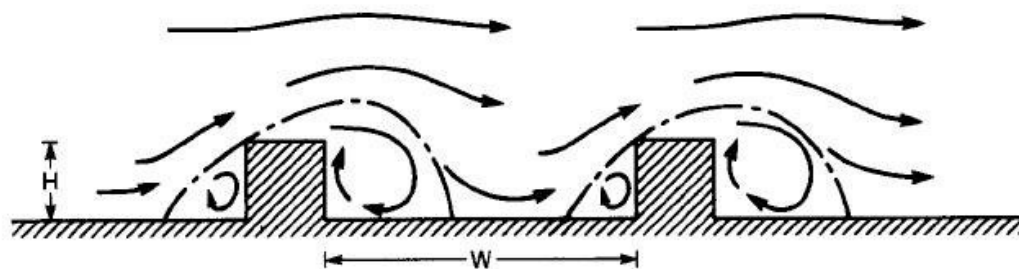
Poznámka: Meteostanice, tj. měření teploty vzduchu ve 2m a v 80cm, vlhkosti vzduchu, atmosférického tlaku, síly a směru větru.

Příloha 2: Posouzení proudění větru

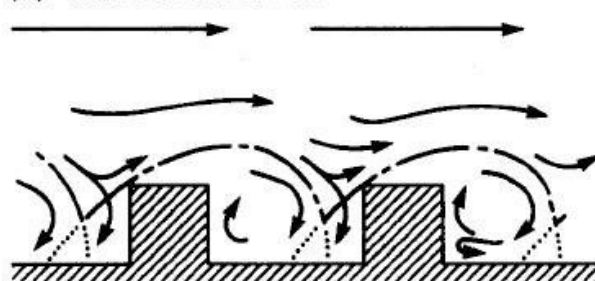
Úvod

Rychlost větru ovlivňují překážky, které blokují proudění větru. Proudění větru jsou definovány koridory ulic. Platí, že čím větší šířka ulice, tím lepší proudění větru. Tyto ventilační uzly nejsou jediný zdroj větru. Pokud proud větru narazí na překážku, část proudu je odkloněna do vyšších vrstev (nad střechu budovy). Ilustrace tohoto jevu je zobrazena na obrázku níže. Zjednodušeně, pokud je šířka mezi budovami malá, vzdušný proud vstupuje do ulice, a tím je dosaženo snížení rychlosti proudění větru v ulici. V případě, že vzdálenost mezi budovami je dostatečně velká, vzdušnému proudu se umožní stabilizovat v plné síle. K plnému obnovení vzdušného proudu dochází, když je vzdálenost od budovy přibližně 2 až 3násobek výšky budovy, do které vzdušný proud narazil. Dále platí, že pokud je v cestě další překážka (např. koruna stromu), může tato překážka prodloužit vzdálenost pro obnovení vzdušného proudu. Tento jev je pozorovatelný na měřící meteostanici Sad na Studničkách, kde ze západního směru není detekovaný vzdušný proud. Vzdušný proud se odráží od radnice do vyšší vrstvy a při zpětném obnovení se vzdušný proud zpětně odráží od korun stromů.

(a) *Isolated roughness flow*



(b) *Wake interference flow*



(c) *Skimming flow*

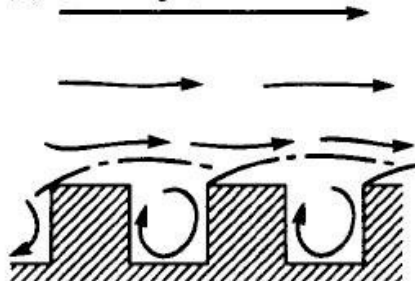
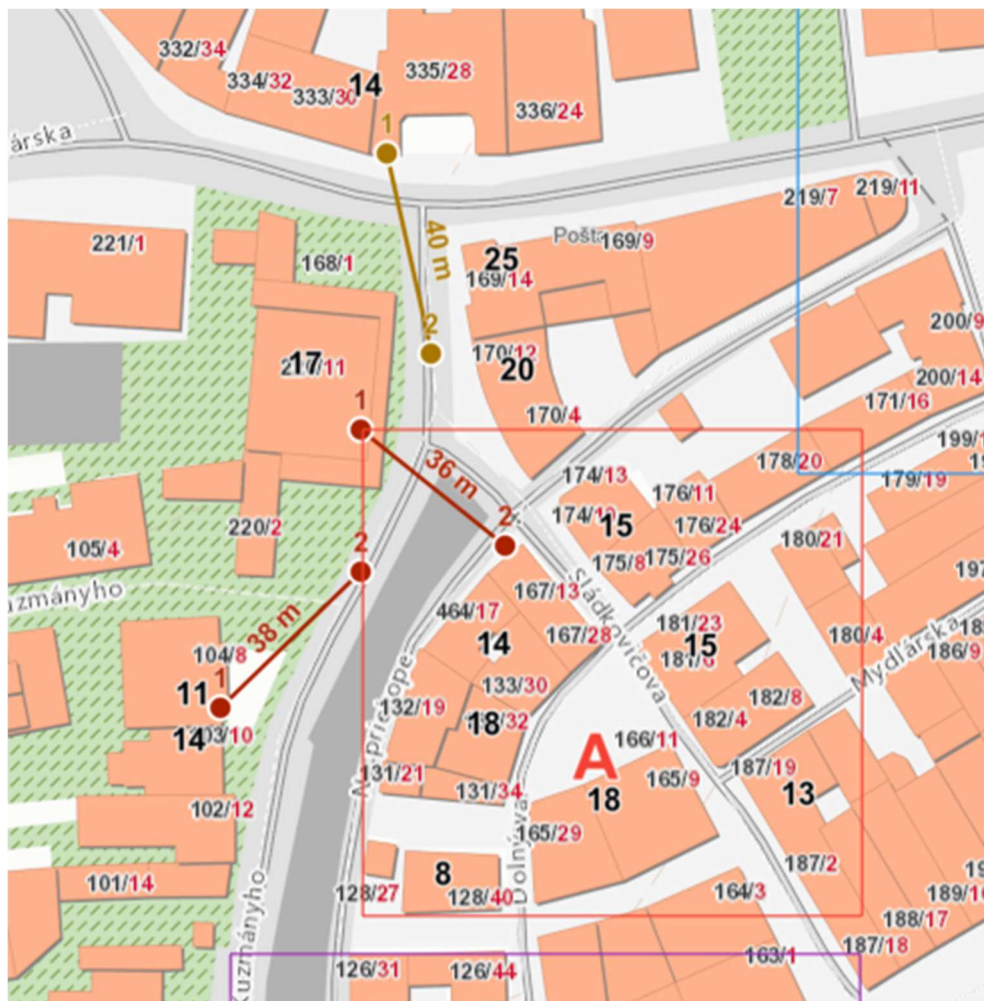


Fig. 1. The flow regimes associated with air flow over building arrays of increasing H/W .

Obrázek 15: Chování vzdušných proudů [10]

S ohledem na proudění větru byly zkoumány vybrané lokace, u kterých byla řešena šířka a výška budov a vzdálenosti mezi různými překážkami proudění větru.

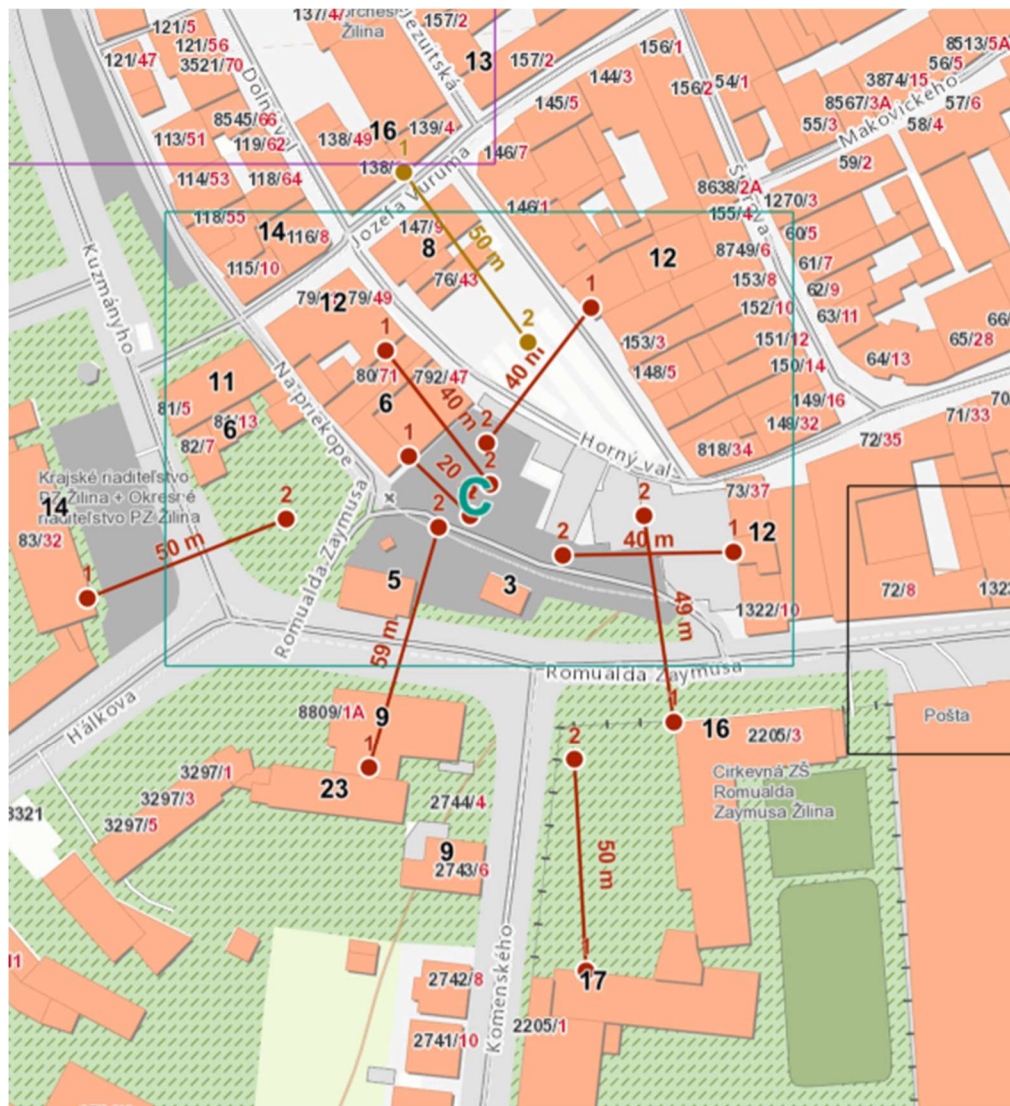
Lokace A



Obrázek 16: Lokace A

V lokaci A je možné vidieť, že výšky budov (vyznačené čiernymi číslami) zabráňujú obnovení vzdušných proudů v oblasti. Hlavní vliv je v oblasti parkoviště kolem ulice Dolný val a Sládkovičova. V případě oblasti severní části mezi Kuzmányho a Na prikope. Je možné pozorovat, že proud větru má šanci se obnovit ze severní strany a západojižní strany. Severní strana se může využít pro vedení vzdušné tepny k centru města. **Je doporučeno zvýšit úroveň vegetace na ulici Sládkovičova a dále zvážit nasazení měřící meteorostanice na ulici Sládkovičova.**

Lokace C

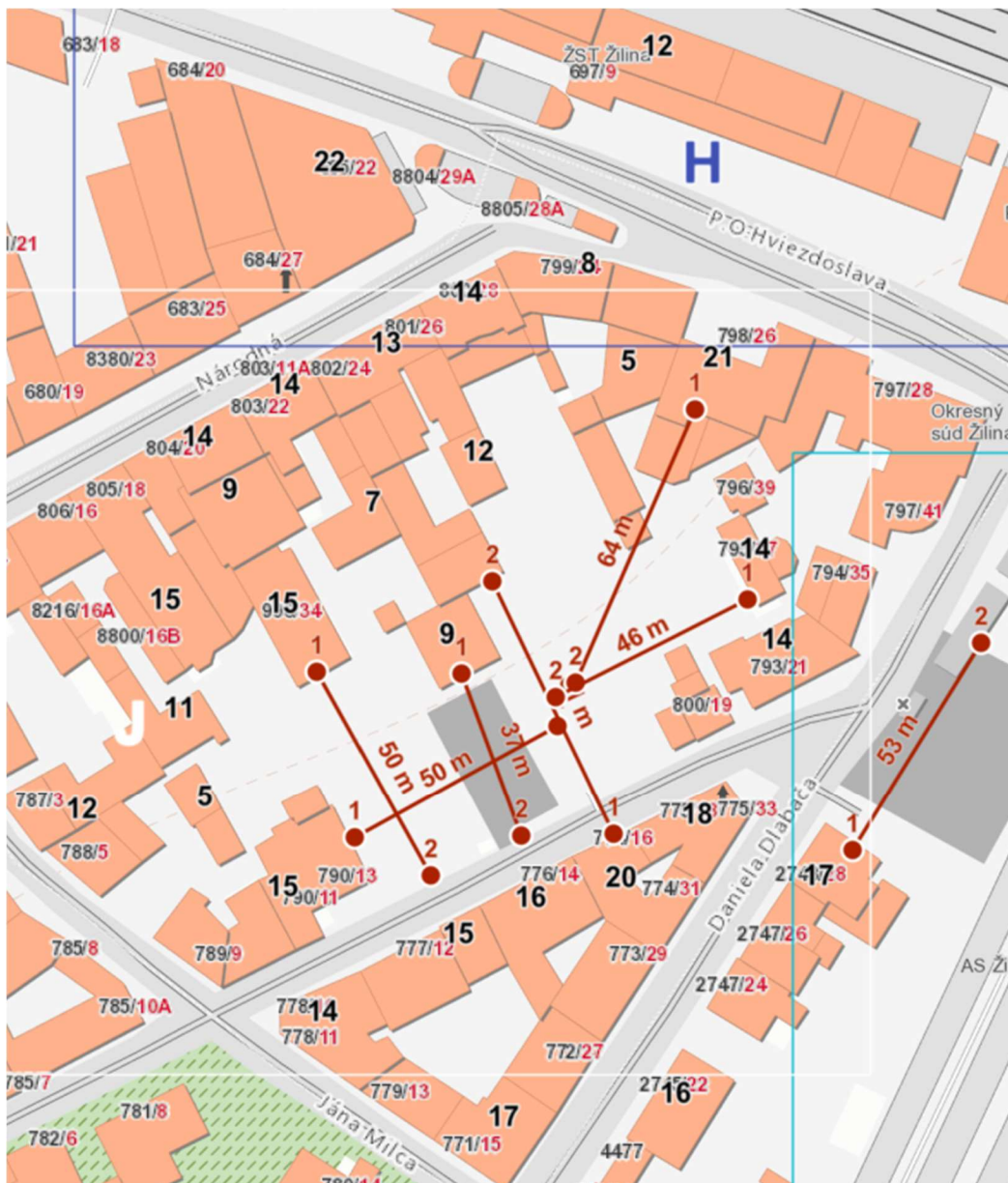


Obrázek 17: Lokace C

Z větrné analýzy Lokace C (Tržiště) je možné pozorovat, že oblast má velmi dobré šance na obnovení proudu větru z jižní, jihozápadní a částečně západní strany. Nevýhody této lokace jsou, že není přímý koridor do centra města. Vliv případné vegetace se projeví na západní straně centra přes ulici Horný val v případě jižního proudění. Tržiště ovlivní Jižní stranu města přes jižní část ulice Horný val. Pokud proud větru bude proudit jihozápadně, vliv na střed centra bude minimální z důvodu nepřímého koridoru do města, část vzdušného proudu se bude z velké části odrážet od přilehlých budov a následně „přeletí“ střed centra.

Z důvodu zvýšené hustoty dopravy u ulic Hálkova a Komenského je zde zvýšené riziko snížení kvality ovzduší.

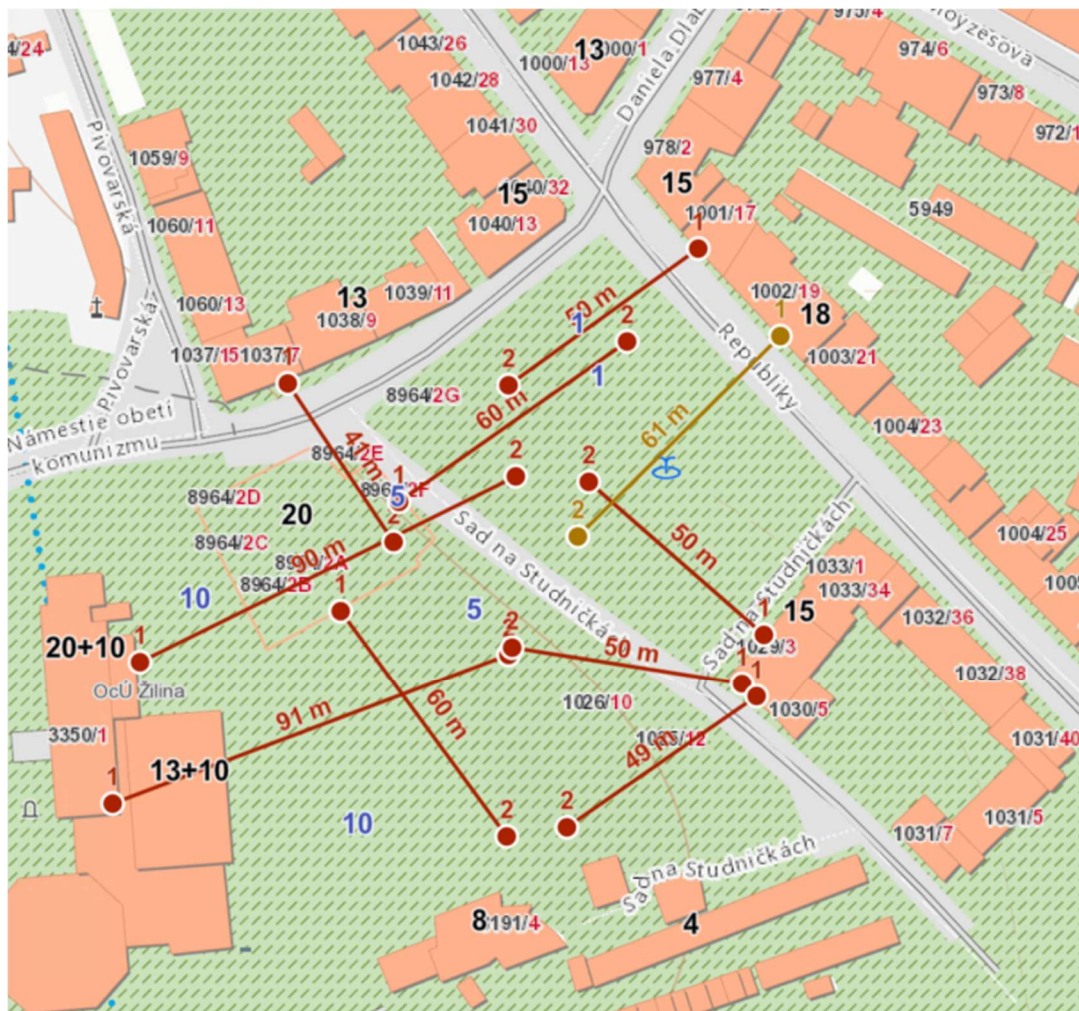
Lokace J



Obrázek 18: Lokace J

Lokace J oblast kolem parkoviště je uzavřená ze severozápadu a jihu. Parkoviště má šanci si obnovit proud větru ze severu a severovýchodu. Parkoviště by bylo vhodné zastínit stromy případně jinými střešními metodikami. Je doporučeno nasadit vyšší vegetaci na jižní straně parkoviště; z důvodu vysokých budov na jižní straně nebude hrozit blokování vzdušného proudu. Budovy na jihu zabraňují proudění větru. Parkoviště má negativní vlivy na civilní obyvatelstvo, jelikož je v blízkosti obytných domů.

Lokace Sad na Studničkách

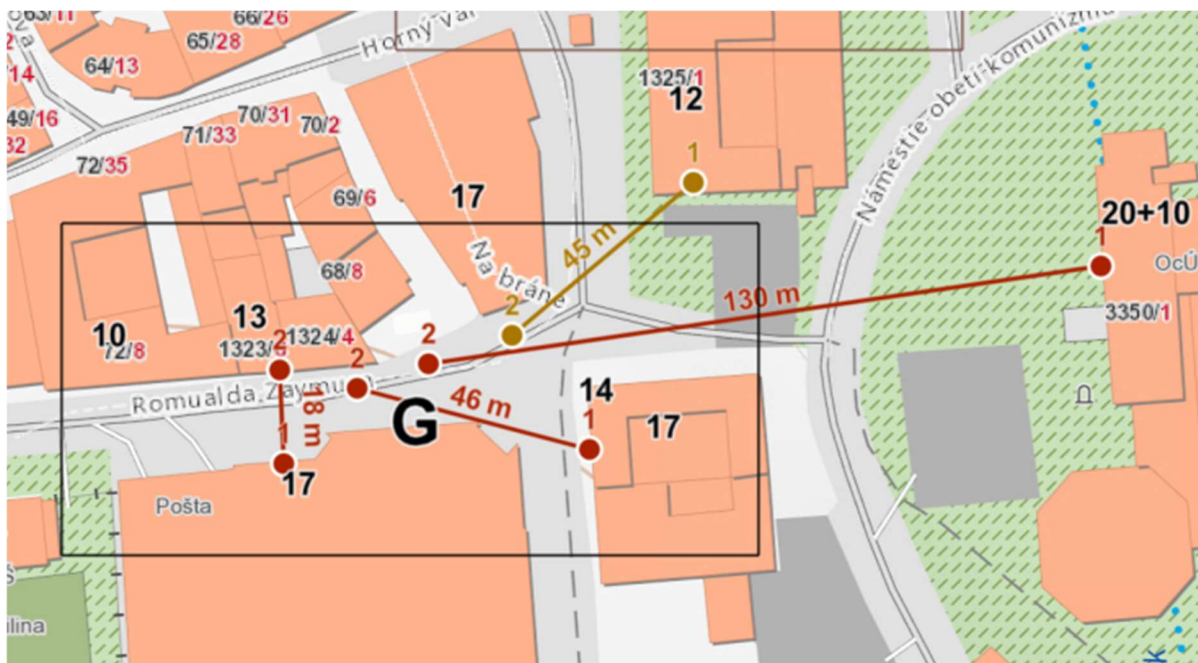


Obrázek 19: Lokace Sad na Studničkách

Měřená lokace Sad na Studničkách je veřejný park s vysokou hustotou vyšší vegetace, která je umístěna v malém kopci, strmost kopce je znázorněna modrými čísly. Oblast radnice je vyvýšená přibližně 10 m. V případě pohybu větru tato skutečnost znamená, že radnice z pohledu parku je vysoká 30 m. Proud západního větru, který přelétává radnici, se může ustálit v nejhorším případě až v 90 m od radnice. Dále je důležité si uvědomit, že v parku se vyskytuje vysoká vegetace, která následně prodlužuje vzdálenost, kdy se vítr dostane k zemi. Jev je možné pozorovat na grafu "Četnost rychlosti větru na směru větru Sad vs Aupark".

Přístup jižní části parku vůči větru je dobře vedený, jelikož na jižní části jsou objekty s malou výškou (přibližně do 4 až 8 m). Východní strana je blokována budovami s výškou kolem 18 m, v každém případě budovy už nejsou vyvýšené.

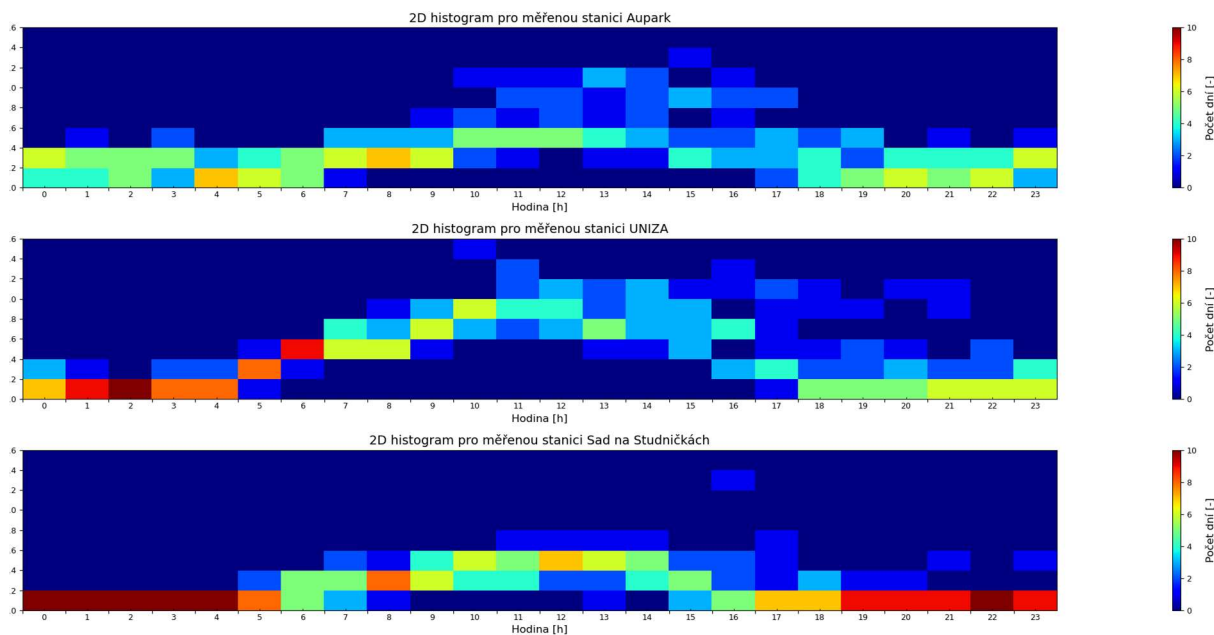
Lokace Aupark



Obrázek 20: Lokace Aupark

V měřené lokaci Aupark je možné pozorovat, že západní a východní část není blokována žádnou překážkou, tím pádem by tyto směry měly mít relativní rychlosti větru. Tuto skutečnost je možné pozorovat na grafu "Četnost rychlosti větru na směru větru Sad vs Aupark", kde je možné vidět, že rychlosti v západním a východním směru jsou markantní. Směry jižní a severní jsou zcela izolované, a pokud proud větru proudí jedním z těchto směrů, rychlost by měla být drasticky snížena. Tato vlastnost je též pozorovatelná z grafu. Dále je možné vidět, že na proud větru nemá vliv nová radnice, jelikož je vzdálená přibližně 130 m od Auparku.

Statistiky proudění větru



Obrázek 21: Rozbor síly a směru větru při maximálních teplotách vyšších než 30 °C ve výšce 2m za měsíc červenec 2022 ("Max_Temperature_200cm_more_30_C_histogram_M_7")

POPIS:

Na obrázku 21 je vytvořený 2D histogram. Histogram udává četnost výskytu rychlosti větru pro specifickou hodinu na všechny měřené stanice.

- Rychlosti větru jsou průměrované do jedné hodiny.
- Dny, které byly vybrány, odpovídají tropickým dnům (teplota ve dne přesáhla 30 °C) na meteostanici Aupark pro měsíc červenec. Teplota se měří ve výšce 2 m nad zemí.
- Celkový počet tropických dnů pro měsíc červenec byl 10 dní.

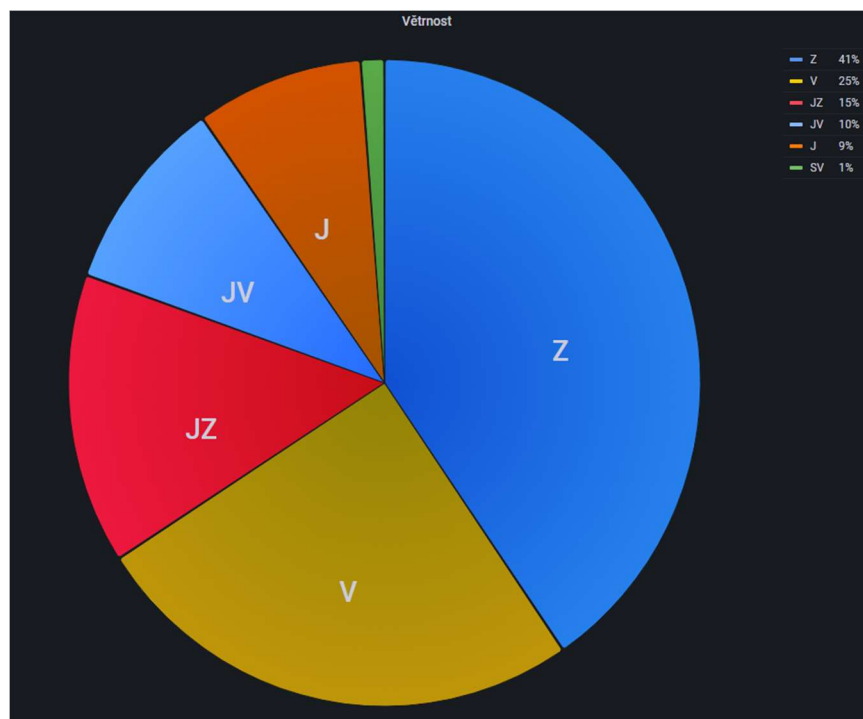
POZOROVÁNÍ:

- Z histogramu lze pozorovat, že rychlost proudění větru je drasticky omezena v nočních hodinách. Při porovnání lokací Aupark se Sadem na Studničkách je možné pozorovat rozdíly v nočních a denních rychlostech větru. V nočních hodinách je proudění v Auparku intenzivnější než v Sadu na Studničkách.
- V odpoledních hodinách je rychlost větru v Auparku dvojnásobná než v přilehlém Sadu na Studničkách.

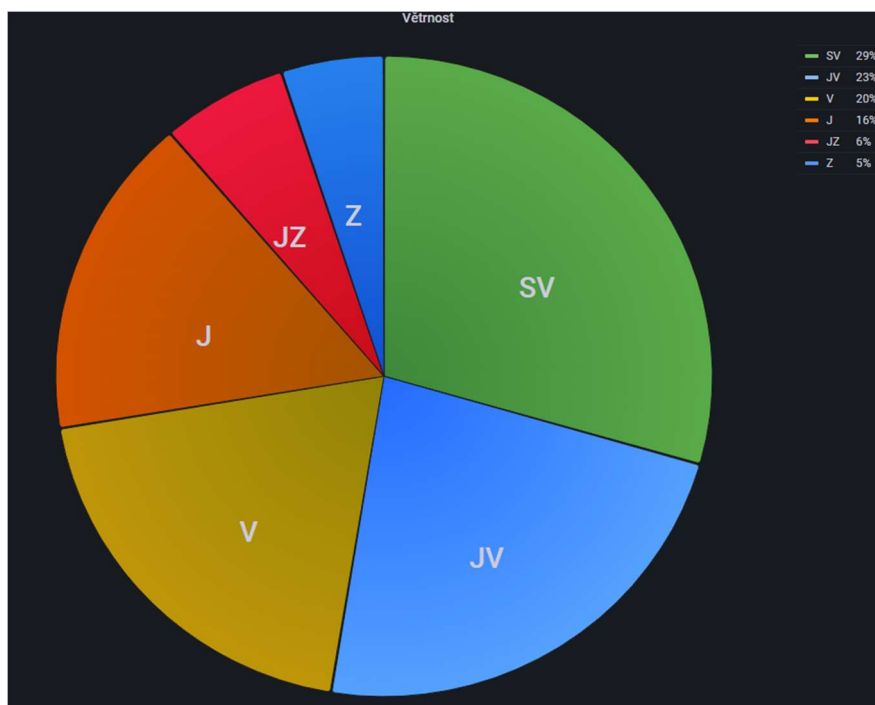
DŮVODY:

- Rozdílnost v rychlostech větru se dá zdůvodnit přítomností vysoké vegetace v Sadu na Studničkách.
- Dalším důvodem je vliv okolních budov kolem sadu, které vytvářejí větrný štít. Tyto budovy díky své výšce brání přístupu vzduchu, tento vliv je možné pozorovat na grafu "Četnost rychlosti větru a směru větru".

Trendy ve směru větru



Obrázek 22: Lokalita Aupark, léto 2022, skladba proudění větru;
západní větry představují 66 %



Obrázek 23: Lokalita Sad na Studničkách, léto 2022, skladba proudění větru;
východní větry představují 72 %.

Příloha 3 Posouzení vlivu tvorby náledí a námrazy na UNIZA

Úvod

Náledí a námraza jsou fyzikální jevy, které vytváří ledové povrchy. Tyto ledové povrchy následně tvoří rizikové oblasti, ve kterých se mohou zranit chodci nebo mohou způsobit automobilovou nehodu. Fyzikální jev náledí je definován tvorbou ledu způsobený zbytkovými zásobami vody, které zůstaly po dešti nebo roztátém sněhu. Jev se začíná projevovat tehdy, když teploty vzduchu a teplota povrchu klesne pod 0 °C. Náledí se dá odvodit s využitím měřených teplot vzduchu, povrchu a srážek. Odlišný jev, který způsobuje zamrzání povrchu se nazývá námraza. Podmínka, kdy teploty vzduchu a povrchu jsou pod nulou, platí jako u náledí. Hlavní rozdíl je v generaci vody. Námraza se vytváří kondenzací vody. Voda se kondenzuje z důvodu rozdílu teplot mezi vzduchem a povrchem, tj. pokud je povrch chladnější než teplota okolního vzduchu a vlhkost vzduchu se blíží nasycení. Vzduch není schopen udržovat vlhkost a tím začne vytvářet vodu na povrchu. Pokud je teplota povrchu pod 0 °C, kondenzovaná voda se následně mění na kluzký led.

Vyhodnocení

Pro vyhodnocení jevu náledí a námrazy bylo vybráno období prosinec roku 2021. Pro měření byla využita lokace kolem univerzity UNIZA. Součástí měřících částí byla meteostanice, snímač povrchových a podpovrchových teplot a online meteo služba Tomorrow.io, která poskytovala údaje o oblačnosti a srážkách. Dále bylo provedeno kontaktní pozorování s vybranou oblastí. Pozorované jevy byly tvorba ledu na snímáči, chodníku, silnici a jestli se v oblasti vyskytovaly zbytky sněhu. Výsledky jsou prezentovány v tabulce.

Tabulka 7: Analýza a vyhodnocení výskytu náledí a námrazy v prosinci 2021

Analýza Prosinec 2021								
Datum	Čas	Vyvozené			Pozorované			
		Sněžení	Náledí	Námraza	Led Snímač	Led Chodník	Led Silnice	Sněžení
01.12.2021	4:00	X	X		X	X	X	X
05.12.2021	3:00	X	X					
06.12.2021	8:00	X						X
08.12.2021	18:00			X				
09.12.2021	7:00	X		X				
10.12.2021	18:00		X					
13.12.2021	22:00		X	X	X	X	X	
20.12.2021	6:00	X						X

21.12.2021		X						X
25.12.2021	11:00	X	X					
28.12.2021	15:00		X					

V tabulce jsou vypsány úkazy, které byly odvozené v úvodu. Kontaktní pozorování pro měsíc prosinec se provádělo od 1.12.2021 až do 21.12.2021 a byly vynechány víkendy. Na začátku prosince se vyskytuje náledí, které bylo způsobené deštěm a částečným sněžením, které proběhlo v nočních hodinách. Mezi 5.12 - 6.12 se vyskytovalo vydatné sněžení. První námraza byla pozorovaná 8.12, kdy se vytvářela v nočních hodinách a následně v ranních hodinách následujícího dne (9.12). V týž den začalo i sněžit. Tento sních 10.12 se v průběhu dne rozpouštěl a zbytková voda zamrzla v nočních hodinách. Dne 13.12 se v nočních hodinách vytvořila námraza. V období kolem 20.12 - 21.12 se projevilo vydatné sněžení, které vytvořilo sních, který vydržel až do konce Silvestra. Náledí se v této době vytvořilo 25.12 a 28.12, kdy teploty vzduchu se ve dne dostaly nad 0 °C, tyto teploty následně rozpustily sních a voda v těch dnech zamrzla. Celkové množství dní, kdy se vyskytovalo náledí, bylo 6 dní a pro námrazu to byly 3 dny.

Na obrázcích níže jsou uvedeny příklady námraza a náledí. Na prvním grafu obrázku 24 jsou barevně vyznačeny oblasti, kdy teplota povrchu je chladnější než teplota vzduchu.

Barevná indikace:

- Červená - teplota povrchu je chladnější než teplota vzduchu a teplota vzduchu je menší než 0 °C
- Žlutá - teplota povrchu se přibližuje teplotě vzduchu a teplota vzduchu je menší než 0 °C
- Zelená - teplota povrchu se přibližuje teplotě vzduchu a teplota vzduchu je větší než 0 °C
- Modrá - teplota povrchu je chladnější než teplota vzduchu a teplota vzduchu je větší než 0 °C

Čárkované svislé čáry udávají čas, kdy bylo provedeno pozorování lokace. Ve spodní části těchto čar jsou vypsány jevy, které byly pozorovány.

- S - Pozůstatky sněhu nebo sněžení
- R - Led byl pozorován na silnici
- C - Led byl pozorován na chodníku
- D - Led byl pozorován měřícím zařízením

Na druhém grafu obrázku 24 jsou zobrazeny hodnoty vlhkosti, oblačnosti a srážek. Oblačnost a srážky jsou získávány za pomoci webové služby Tomorrow.io.

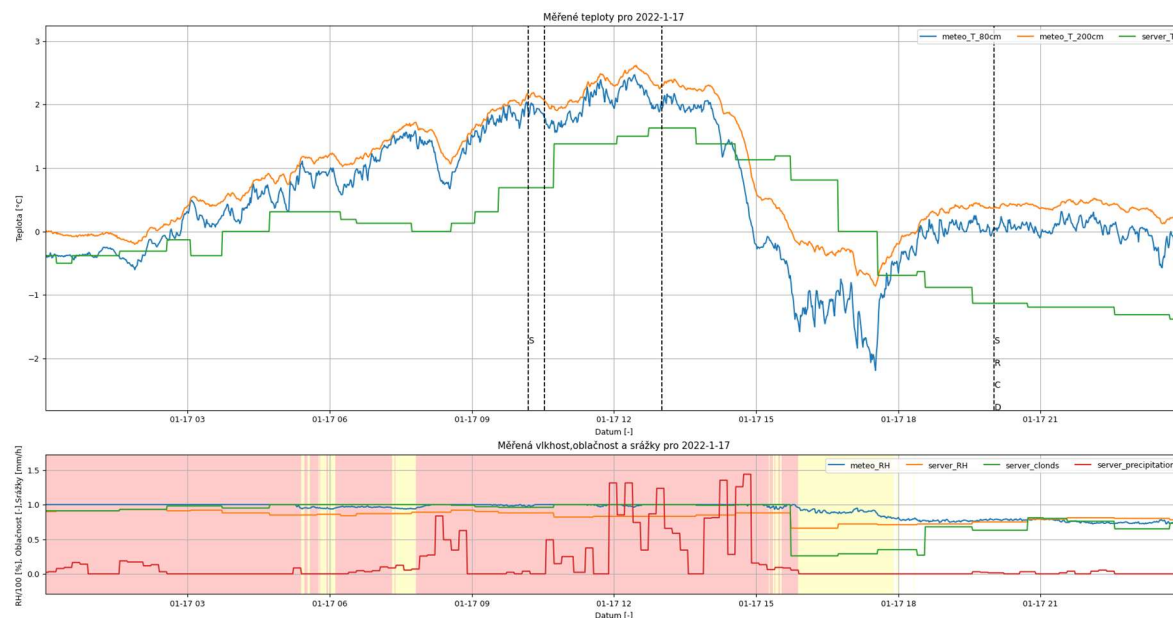
Barevná indikace:

- Červená - vlhkost je vyšší než 95 %
- Žlutá - vlhkost je vyšší než 80 %



Obrázek 24: Příklad výskytu námrazy z 9.12.2021

Námraza se krátkodobě vytvořila v ranních hodinách, kdy teplota vzduchu byla teplejší než teplota měřeného povrchu a vlhkost vzduchu byla větší než 95 %.



Obrázek 25: Příklad výskytu náledí z 17.01.2022

Náledí se vytvořilo ve večerních hodinách způsobené vytrvalým deštěm v odpoledních hodinách.

Příloha 4 Technické zázemí a limity využívaných technologií

Senzorické sítě internetu věcí (IoT) jsou celosvětovým trendem pro efektivnější řízení různých agend veřejného i soukromého sektoru. Kontinuální a dlouhodobé sledování konkrétních jevů vytváří potřebnou datovou základnu pro využití machine learning a umělé inteligence. Současné limity jsou především v nedostatečném pokrytí (sleduje se pouze jeden jev pro konkrétní službu, např. teplota mrazicího boxu soukromého dopravce) či sektorově orientované nasazení (např. dálkové odečty distribuční energetické sítě konkrétního operátora).

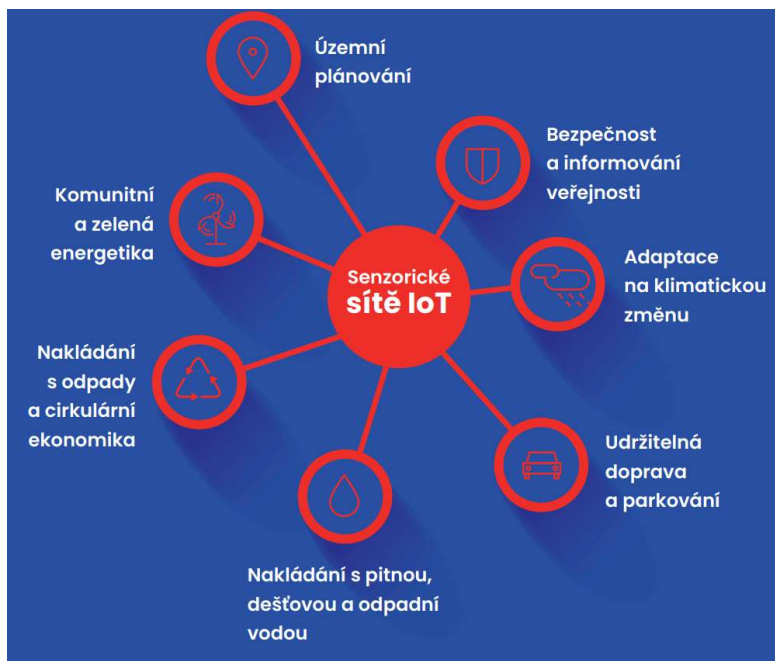
Projekt CleverNet se zabýval jak koncepčním nasazením senzorických sítí, tak i technickými výhodami či limity nasazených sítí. V oblasti koncepčního uchopení byla zhotovena příručka pro digitální územní plánování, které je chápáno jako nadrezortní/ celostní přístup k rozvoji senzorických sítí a digitální ekonomiky. V oblasti technických výhod a limitů byly zkoumány jak provozně ekonomické, tak i HW a SW vlastnosti nasazené sítě.

Koncepční nasazení senzorických sítí

Digitální územní plánování je konceptem digitální ekonomiky, jejíž primární cíl je pomoci zefektivnit procesy spojené s rozvojem území, tj. územním a stavebním řízením a limitů/hrozeb neudržitelných projektů a staveb. Zahrnuje tak 4 klíčové oblasti, ve kterých je uplatnění senzorických sítí vnímáno jako kritické:

- energetika a rozvoj OZE,
- vodohospodářství a dostupnost vody v krajině,
- doprava a logistika
- klimatické podmínky a klimatická změna

Všechny tyto oblasti rozhodují o realizovatelnosti investic v území (např. dostatek energetického příkonu, dostatek vody, dopravní napojení...) a dostupnost těchto informací je pro rozvoj jakéhokoliv územního celku kritická. Senzorické sítě jsou nasazovány jednoduše (např. pro energetickou síť) a informace nejsou sdíleny či provázány s jinými obory, které však primárně ovlivňují danou efektivitu, např. intenzita přímého slunečního záření má dopad na výrobu energií z OZE, což dopadá při aktuálním masivním rozvoji OZE na stabilitu energetické sítě. Pro koncepční nasazení senzorických sítí tak byl vytvořen souhrnný přehled agend, pro které je datová podpora/digitalizace klíčová.



Obrázek 26: Přehled hlavních agend, které vyžadují digitální transformaci

Pro jednotlivé agendy byla sestavena sada senzorických sítí, které se jednotlivě již používají, ale kterým chybí koncepční přístup k digitalizaci. Jednotlivé případy užití tak byly spojeny i s návrhem dotační podpory rozvoje sítí ze strany různých ministerstev (aplikováno na prostředí ČR).

	OBOR	PŘÍPAD UŽITÍ	SENZORY	AGENDA	SPRÁVCE DOTAČ. TITULU
Rozšířená senzorická síť pro obce s rozšířenou působností základní senzorická síť pro obce všech velikostí	BEZPEČNOST A KONEKTIVITA	Digitalizace krizového řízení Konektivita IoT	CITYWAN	Digitalizace veřejných služeb	Ministerstvo pro místní rozvoj Ministerstvo vnitra
	KLIMA	Adaptace na klimatickou změnu	Meteorostanice Senzory teploty povrchu Pyranometr Srážkoměr	Digitalizace veřejných služeb	Ministerstvo pro místní rozvoj Ministerstvo životního prostředí
	DOPRAVA	SUMP Dopravní generel	Senzory dopravní intenzity	Digitalizace veřejných služeb	Ministerstvo pro místní rozvoj
	ENERGETIKA	Územní energetická koncepce	Dálkové odečty spotřeby energií, tepla a plynu Dálkové odečty vyrobené energie z FVE	Digitalizace veřejných služeb	Ministerstvo pro místní rozvoj
	VODA	PRVKÚK a ČOV	Dálkové odečty spotřeby pitné vody Dálkové řízení ventilů (u obcí postižených suchem) Stav čerpacích stanic VHI	Digitalizace veřejných služeb	Ministerstvo pro místní rozvoj
	ODPADY	Církulární ekonomika Digitalizace sběru a svozu	Vážení na svozovém vozidle, nebo Senzory naplněnosti kontejnerů	Digitalizace veřejných služeb	Ministerstvo pro místní rozvoj
	DOPRAVA	SUMP	Senzory sčítání chodců, cyklistů a cestujících v MHD (včetně alternativy trackování)	Digitální podpora SUMP	Ministerstvo dopravy
	VODA	Modrozelená infrastruktura a dešťová voda	Hladinoměry dešťových nádrží Hladinoměry fek Senzory vlhkosti půdy	Digitalizace modrozelené infrastruktury	Ministerstvo životního prostředí
	ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	„Akční plán kvality ovzduší Hluková mapa“	Senzor prachových částic Senzor oxidu dusíku Hlukoměry Senzory vnitřního prostředí veřejných budov	Digitalizace kvality prostředí	Ministerstvo životního prostředí
	VODA/ ENERGETIKA	Energetický benchmarking čistření odpadních vod	Dálkové odečty ČOV	Digitalizace odpadních vod	Ministerstvo životního prostředí
	VODA	Odpadní voda	Senzory COVID19 a drog	Digitalizace odpadních vod	Ministerstvo životního prostředí

Obrázek 27: Propojení případů užití senzorických sítí s potenciálními dotačními tituly

Technické parametry sítě a senzorů

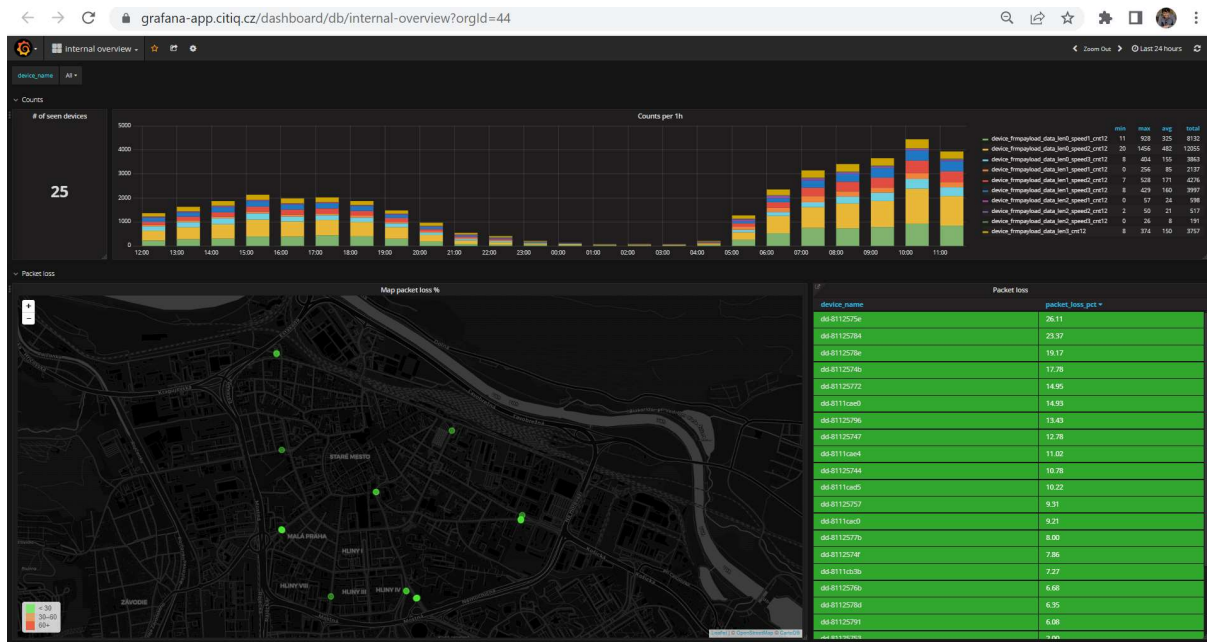
Projekt CleverNet se zaměřil na propojení oblastí dopravy a klimatické změny; zjednodušeně řečeno na vlivy dopravy a dopravní infrastruktury, primárně betonové či asfaltové plochy, na mikroklima a tepelné ostrovy ve městě. Pro účely analýzy dat tak vytvořil dashboardy, volně dostupné pro širší odbornou či laickou veřejnost:



Obrázek 28: Přehled dashboardů s otevřenými daty, sestavenými pro zkoumání konkrétních případů užití

- dopravní dashboard dostupný na <https://dashboards.clevernet.sk/d/-ewuYuM7k/traffic?orgId=1>
- dashboard tepelných ostrovů, dostupný na <https://dashboards.clevernet.sk/d/Hg9R6uVnk/heat-islands?orgId=1>
- dashboard srovnání lokalit dle klimatických podmínek, dostupný na <https://dashboards.clevernet.sk/d/QKo7ckG4z/temperature?orgId=1>
- dashboard pro sledování mikroklimatu, dostupný na <https://dashboards.clevernet.sk/d/5SaxJA47z/micro-climate?orgId=1&tag=clevernet>

Tyto dashboardy umožnily dlouhodobou analýzu dat a následné vyhodnocení, zpracované v této zprávě. Umožnily také zkoumat technické záležitosti, tj. spolehlivost HW či limity konektivity senzorické sítě., pro které byl vytvořen speciální interní dashboard:



Obrázek 29: Interní dashboard pro sledování parametrů radiové sítě

Sledované parametry radiové sítě

- ztráta datových packetů (packet loss)
- síla radiového signálu (rssi)
- radiový šum (snr)

RF parameters				
RF parameters (latest values)				
Time	device_name	rssi	snr	dr
2023-01-02 11:41:15	ds-8111cae0	-111.00	-1.00	4
2023-01-02 11:40:14	ds-8111cae5	-110.00	-3.50	4
2023-01-02 11:42:43	ds-8111cae0	-110.00	-7.00	4
2023-01-02 11:44:40	ds-8111cae4	-105.00	2.50	4
2023-01-02 11:44:01	ds-8111cae3b	-110.00	-2.00	5
2023-01-02 11:40:31	ds-8112573d	-71.00	10.00	5
2023-01-02 11:44:56	ds-81125744	-115.00	-9.75	0
2023-01-02 11:42:14	ds-81125747	-113.00	-7.25	4
2023-01-02 11:40:28	ds-8112574b	-113.00	-3.75	3
2023-01-02 11:44:44	ds-8112574f	-101.00	3.75	4
2023-01-02 11:44:07	ds-81125751	-94.00	4.25	5
2023-01-02 11:44:36	ds-81125753	-91.00	9.25	5
2023-01-02 11:41:21	ds-81125757	-96.00	3.75	4
2023-01-02 11:42:30	ds-8112575e	-113.00	-5.00	4
2023-01-02 11:44:28	ds-8112576b	-104.00	5.50	5
2023-01-02 11:44:47	ds-8112576d	-95.00	-1.00	5
2023-01-02 11:41:03	ds-81125772	-110.00	-1.75	5
2023-01-02 11:44:33	ds-8112577b	-106.00	2.50	5
2023-01-02 11:44:25	ds-81125784	-113.00	-9.00	1
2023-01-02 11:45:00	ds-8112578d	-96.00	5.50	5
2023-01-02 11:40:46	ds-8112578e	-103.00	-7.75	4
2023-01-02 11:30:53	ds-8112578f	-69.00	10.00	5
2023-01-02 11:43:52	ds-81125791	-97.00	-8.50	4
2023-01-02 11:44:43	ds-81125795	-110.00	-3.50	5
2023-01-02 11:42:25	enviro-front-8111cae13	-63.00	9.75	5

Obrázek 30: Tabulární přehled senzorů a parametrů jejich konektivity

Závěry k limitům LoRawan sítě

Konektivita LoRawan je pro účely městské senzorické sítě dostačující, její limity jsou v dosahu sítě, kdy spolehlivost (ztráta packetů) klesá se vzdáleností senzoru od LoRa gateway a úrovní šumu (snr) způsobeného lokálními systémy (především zabezpečovacími systémy). Lokalita Bratislavská, která je vzdálena cca 1km od LoRa gateway a která je v blízkosti benzínové stanice se zabezpečovacím systémem s radiovou komunikací, vykazovala významnější úroveň ztráty packetů a v některých obdobích byly výpadky významné. Při nasazování senzorických sítí v hustě zastavěných oblastech měst (centra měst) je tak nutné posílit síť ve vzdálenějších místech od centrální LoRa gateway a překonat tak vysoké hodnoty šumu. Toto platí především pro senzory, které jsou instalovány pod povrch, jakými jsou dopravní magnetometry či senzory teploty povrchu a pod povrchem, jejichž síla signálu je ovlivněna jak materiálovou překážkou (např. asfaltová vrstva), tak i nízkými hodnotami signálu při dešti, kdy vodní film je pro radiový signál tlumícím elementem.

Příloha 5 Vyhodnocení přínosu a využití senzorických sítí pro dopravní účely

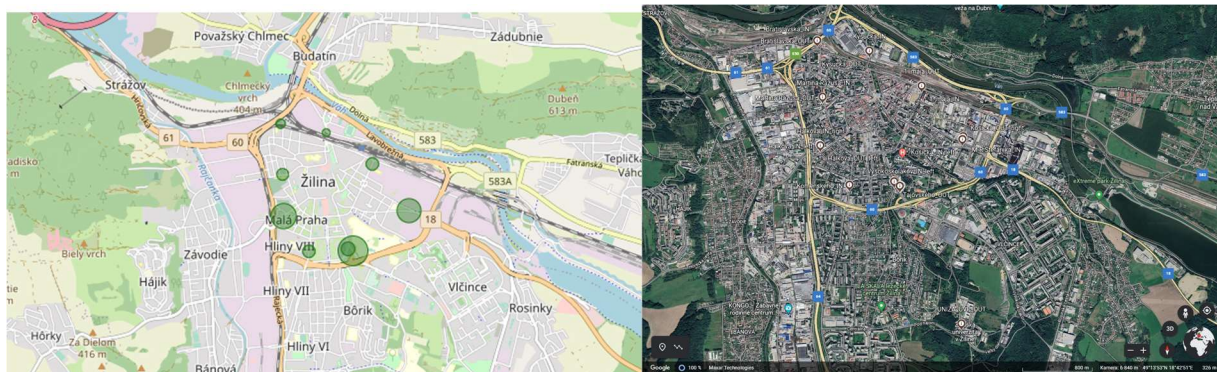
Tuto přílohu zpracovali dopravní odborníci z Žilinské univerzity a je ponechána ve Slovenské verzi. Jedná se o podrobnější popis využití dat z dopravy pro efektivnější řízení a modelování dopravy.

Zámer projektu

Klíčovou motiváciou pre projekt bolo, že zatiaľ čo v komerčnej sfére je investícia do senzorových sietí posudzovaná podľa návratnosti (napr. v prípade nasadenia priemyselných senzorových sietí, tzv. IoT), pri verejných službách nie je ekonomika primárnym cieľom; cieľi sa na istotu (pravidelnosť a spoľahlivosť, napr. spojov verejnej dopravy, ponuke voľnej parkovacej kapacity, bezpečnosti), na kvalitu služby (napr. zdravotnej starostlivosti) a jej dostupnosť (nediskriminácia).

Celkovým zámerom projektu bolo vytvorenie katalógu prípadov použitých senzorických sietí a ich vhodnej aplikácie v rámci investícií verejného sektora.

Súčasťou projektu bola realizácia tzv. „živého laboratória“, ktoré bolo realizované v rámci mesta Žilina. Sensory, slúžiace na sledovanie intenzity dopravy boli aplikované na všetkých dôležitých vstupoch a výstupoch z centra mesta. Umiestnenie senzorov je vidieť na Obrázok 1 (pozn. veľkosť zeleného kruhu je závislá od veľkosti intenzity dopravy na sledovaných miestach).



Obrázek 31: Senzorická sieť v meste Žilina

Senzorová sieť

Výhodou senzorovej siete je sledovanie aktuálneho stavu v cestnej sieti. V prípade mimoriadnej situácii (napr. stavebné práce na danej ceste, dopravná nehoda, kongescie a iné) je vysoká pravdepodobnosť presmerovania dopravy na okolité komunikácie. Senzorová sieť zachytí zmenu či už na intenzite, alebo na znížený rýchlosti vozidiel čo nám evokuje že na danom mieste nastáva situácia, ktorá môže viesť napríklad ku vzniku kolón. V tomto prípade by bola daná informácia odoslaná do dostupných informačných panelov, premenného dopravného značenia, čo by viedlo k informovanosti ostatných účastníkov cestnej premávky o danej situácii, celkové zdržanie v danom smere, resp. alternatívnu trasu.

Ukážka z použitia v Žiline

Senzorová sieť je zhotovená tak, aby dokázala zachytiť všetky vozidlá, ktoré vchádzajú, alebo vychádzajú z centra mesta Žilina. Celkovo je pokrytých deväť vstupov, konkrétne umiestnenie je uvedená na Obrázku 31.

Z existujúceho usporiadania cestnej siete, možno „rozdeliť“ cestnú sieť do dvoch skupín:

- **Dvojpruhová, smerovo rozdelená komunikácia** (ul. Bratislavská, ul. Kysucká, ul. 1. mája, ul. Komenského, ul. Tajovského – dvojpruh do križovatky, pod ČS SHELL)
- **Štvorpruhová komunikácia**, smerovo rozdelená s dvoma jazdnými pruhmi v jednom smere (ul. Háľkova, ul. Vysokoškolákov a ul. Košická/Predmestská s odbočením do jednosmernej komunikácie Štefánikova)

V prípade dvojpruhovej smerovo rozdelenej komunikácie nenastal žiadny problém z hľadiska počtu senzorov a ich umiestnenia. V prípade štvorpruhovej smerovo rozdelenej komunikácie (ul. Háľkova, ul. Vysokoškolákov a ul. Predmestská) bolo potrebné osadenie senzora na každý jazdný pruh osobitne (dva jazdné pruhy smerom do centra mesta, dva jazdné pruhy smerom z centra mesta). Celkovo je osadených 26 senzorov, ktoré sledujú intenzitu dopravy na daných miestach. Umiestnenie senzorov do konštrukcie vozovky je s výhodou situované v miestach priechodov pre chodcov.

Odosielanie údajov zo senzorov do cloudu je cez existujúcu mobilnú sieť (viď. špecifikácia senzora). Údaje o intenzite dopravy je zasielaná v 5 minútových intervaloch, následne sú spracované a analyzované. Dáta sú verejne dostupné (link: <https://dashboards.clevernet.sk/?orgId=1>, tu sú však dáta agregované na minimálny interval 15 min.), čo umožňuje každému si dané dáta pozrieť, resp. stiahnuť a následne s nimi pracovať.

Údaje, ktoré zaznamenávajú senzory v Žiline sú nasledovné (zaznamenávané dáta sú softvérovo definované, možné je napr. zdefinovať až 13 kategórií vozidiel, no množstvo dát je obmedzené vlastnosťami LoRa siete):

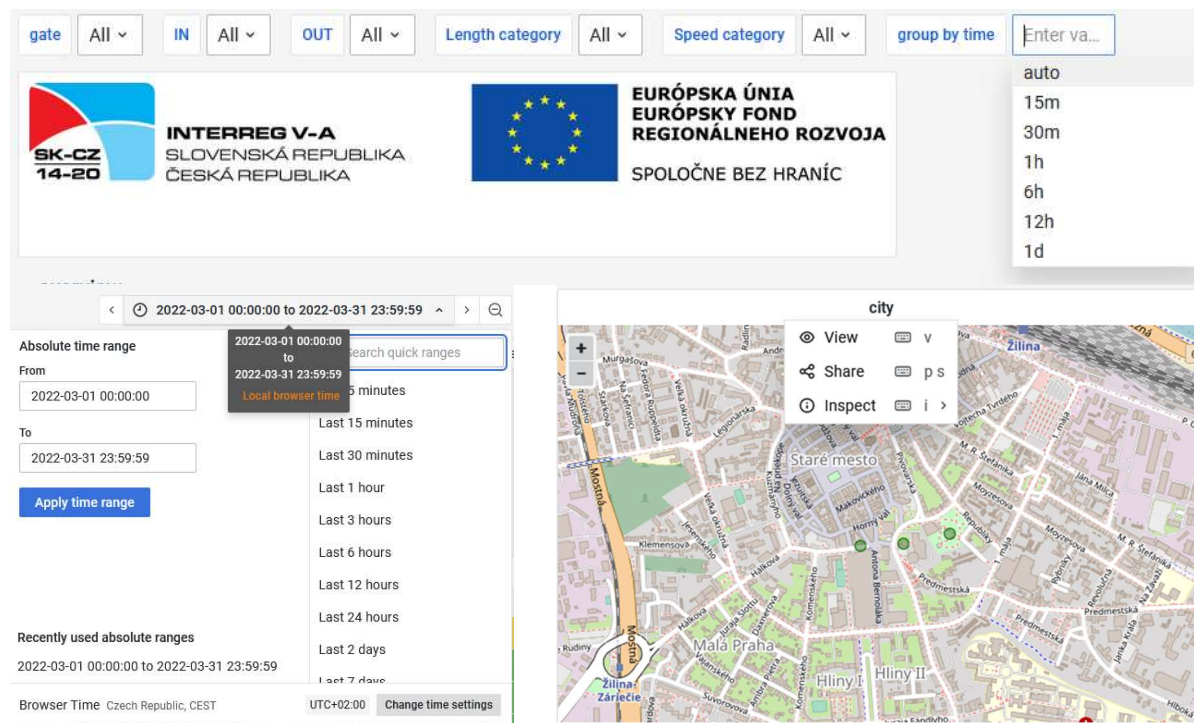
- typ vozidla (v závislosti od dĺžky):
 - krátke – osobné vozidlá, „cars“,
 - stredné – „van“,
 - dlhé – „trucks“,
 - nekatégorizované – „not categorized“.
- rýchlosť vozidla, zatriedenie do rýchlostných kategórií:
 - <30 km/h,
 - 30-60 km/h,
 - >60 km/h.

Internetová stránka umožňuje si pozrieť on-line vyhodnotenie. Vyhodnotenia sú uvedené v reálnych číslach, ale aj v grafickom prevedení. V hornej časti je dostupný „filter“, ktorý umožňuje si vybrať:

- buď konkrétne miesto, alebo všetky miesta naraz „all“,
- dostupné údaje pre vstup do mesta „IN“, alebo na výstupe z mesta „OUT“,
- kategória vozidla,

- rýchlostná kategória,
- časovú skupinu (od skupiny veľkosti 15 min. do jedného dňa).

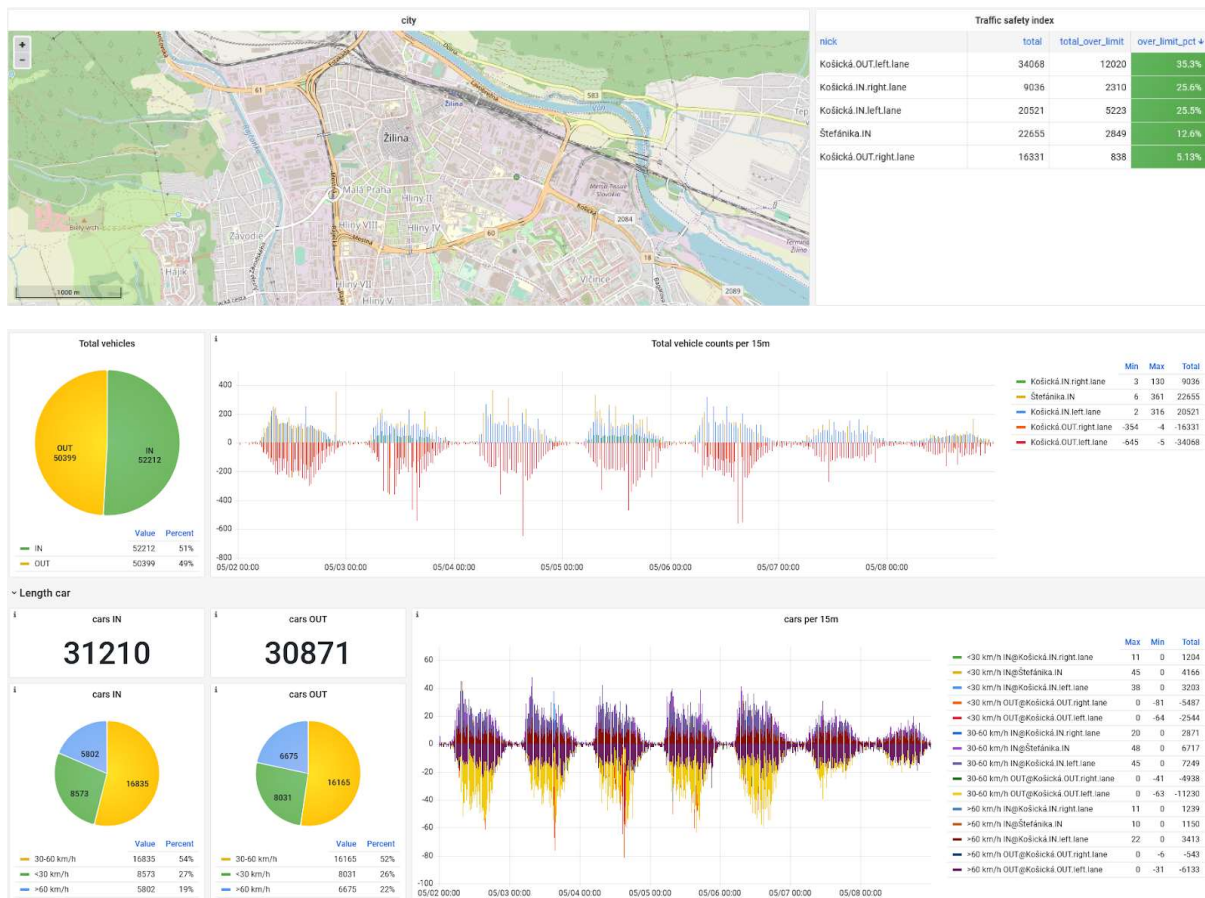
V pravom hornom rohu je dostupná záložka, ktorá dovoľuje si pozrieť staršie údaje (archív).



Obrázek 32: Ukážka možnosti filtrácie, zobrazenia a exportu dát

Nasadená sieť tak predstavuje prvý IoT dopravný geofencing centra mesta v strednej Európe, ktorá umožňuje dlhodobu a kontinuálne sledovať, ako mesto dopravne dýcha. Možné je tak analyzovať a študovať javy, ku ktorým v meste dochádza a hľadať riešenia dopravných problémov, napr. v oblasti mestskej logistiky, bezpečnosti dopravy, statickej dopravy alebo environmentu.

V časti nižšie je znázornená mapa mesta Žilina, na ktorej sú znázornené umiestnenia senzorov s menným zoznamom. Nasledujú vyhodnotené dáta pre konkrétne skupiny vozidiel, rýchlostne kategórie s číselným, ako aj s grafickým zobrazením. V grafe je na osi x zobrazený čas a na osi y počet vozidiel, pričom y os je v kladnom a v zápornom zobrazení. Kladná hodnota nám predstavuje vstup do mesta a záporná hodnota zobrazuje výstup mesta.



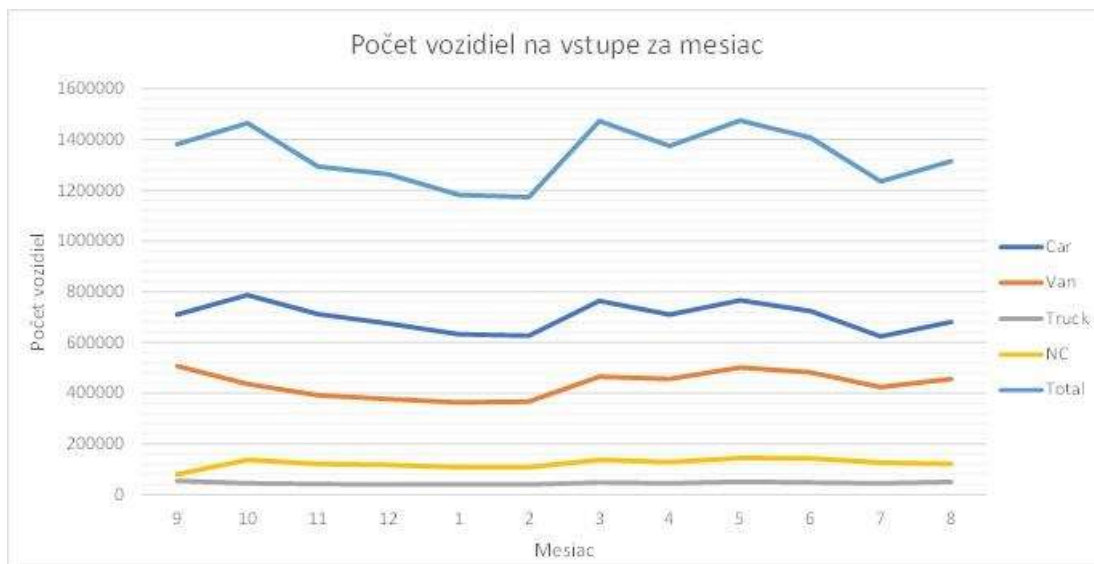
Obrázek 33: Ukážka on-line systému dopravných údajov

Vpravo vedľa mapového náhľadu sa nachádza tzv. Traffic safety index (pre dané nastavenie filtrov dát), ktorý udáva mieru prekračovania rýchlosti 60 km/h vozidlami.

Senzorová sieť bola nasadená v lete 2021 a sú teda dostupné dopravné dáta za dostatočne dlhú dobu. Základný náhľad na dopravu v centre nám dáva údaj o počte vozidiel vchádzajúcich a vychádzajúcich z centra mesta. V nasledujúcom grafe je zobrazený počet vozidiel na vstupe do oblasti za mesiac za obdobie jedného roka. Ročne tak do centra mesta vstúpi 16 mil. vozidiel, mesiacom s najmenším počtom vozidiel vstupujúcich do centra bol február 2021 (1,173 mil. vozidiel/mesiac), maximum bolo zaznamenané v máji 2022 (1,474 mil. vozidiel/mesiac)

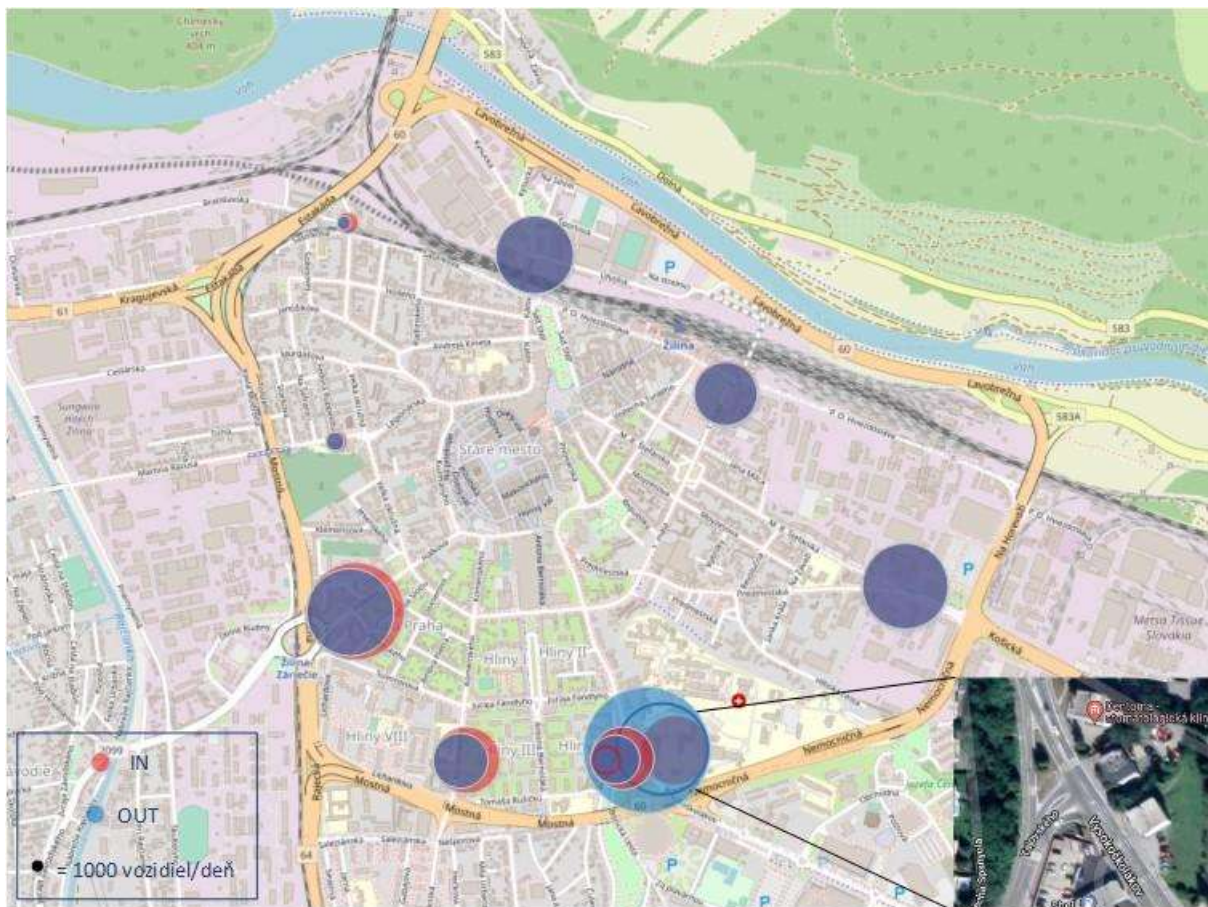
Typicky do centra vstúpi týždenne 300 – 335 tis. vozidiel, za deň 44 tis. vozidiel. Zaznamenané maximum bolo 64 tis. vozidiel/deň (Zelený štvrtok).

Tieto počty sú ekvivalentné 4 vjazdom obyvateľa centra za deň.



Obrázek 34: Počet vozidiel vstupujúcich do centra za mesiac

Je samozrejmé, že premávka na jednotlivých vstupoch do centra sa líši nielen čo do počtu ale aj do charakteru. Máme tak vstupy s relevantným podielom mimomestskej zdrojovej/cieľovej dopravy (Háľkova, Košická, Kysucká) a tiež vstupy s typickou vnútromestskou dopravou (Komenského, Vysokoškolákov, Tajovského).



Obrázek 35: Porovnanie počtu vozidiel vchádzajúcich a vychádzajúcich zo zóny

Poznámka k zobrazeniu na vstupe Tajovského a Vysokoškolákov: križovatka pri ČS Shell má špecifický tvar s odbočovacím pruhom Tajovského/Vysokoškolákov, čím takýto dopravný prúd vstupuje do centra a hneď z neho vystupuje. Kruhom sú teda znázornené všetky dáta zo senzorov, kružnicou je odrátaný prúd na odbočení Tajovského/Vysokoškolákov.

Dáta nám umožňujú vizualizovať dýchanie dopravy v centre mesta počas dňa. Nižšie je uvedený príklad pre pracovný deň. Vidieť napr., že špička na vstupe do zóny je na ulici Háľkova doobeda a tiež poobede. Podobne sa chová aj doprava na vstupe na Košickej, ale Kysucká má výraznejšiu špičku iba ráno, a to o približne hodinu skôr.

WD	Tajovskéh	Komenskí	Kysucká	Háľkova	Košická	Vysokoškr	1.mája	Bratislavl	Rázusa	Tajovskéh	Komenskí	Kysucká	Háľkova	Košická	Vysokoškr	1.mája	Bratislavl	Rázusa
23:00	10,2	41,4	47,4	46	40,4	40,4	29,6	13,8	4,8	-25,2	-17,2	-33,2	-42,6	-33,2	-59,8	-26,4	-6,2	-6,2
0:00	7,2	17,2	15,6	34,2	10,8	13,2	20,8	7,4	3,4	-5,6	-23,6	-19,6	-36	-19,6	-20	-21,4	-2,8	-3,4
1:00	2,6	13,8	11	15,6	17,2	11,8	6,6	5,4	2	-6	-6,8	-13,6	-10,6	-13,6	-11	-8,6	-4	-3,6
2:00	3,8	9,4	12,6	10	6	6,4	5	8,6	0	-6,8	-1,6	-11	-13,4	-11	-5	-5,6	-2	-2,4
3:00	1,2	9,4	9,8	8	13,6	5,2	12	6,2	1,6	-3,8	-6,6	-15	-10,2	-15	-12,4	-9,4	-4,8	-6,8
4:00	4,6	11,6	23,8	24,2	23,4	21	17	9,6	1,4	-6,8	-9,4	-21,4	-25,6	-21,4	-26,8	-16,8	-1,8	0
5:00	28,4	65	145	101,8	172,2	58,4	80,4	46,2	28,2	-23,4	-38,4	-88,8	-95,4	-88,8	-95,4	-103,4	-41,4	-30,8
6:00	103,2	173	451,8	373,2	488,8	197,6	213,4	129,4	80	-87,2	-95,2	-279,2	-237,8	-279,2	-163,2	-236,8	-58,2	-57,2
7:00	194,4	482,8	600,4	802	769	445	393,6	113,2	226,8	-268,6	-391,2	-361,4	-405,4	-361,4	-377,8	-349,6	-55	-95,8
8:00	159,6	524,2	638	850,8	691,6	568,8	438,8	279,2	240	-348	-221,8	-357,2	-599,2	-357,2	-635,6	-381	-107,2	-115,8
9:00	169,4	448,2	528,6	830	638,2	460,4	344	217,2	184,6	-287,8	-295,8	-461,6	-561,8	-461,6	-505,8	-346,6	-54,2	-113,6
10:00	172,8	357,4	500,2	678,6	551	466,8	431,8	97,2	163,8	-260,4	-369,8	-462,6	-464,8	-462,6	-642,8	-402,4	-150,8	-115,4
11:00	88,2	535,8	377,4	577,2	557,8	465,8	401,4	196	162,2	-315,6	-502,4	-482,2	-692,8	-482,2	-535,6	-443,6	-103	-77,4
12:00	164,2	435,6	431	638,4	594,4	365,8	370,6	138,4	182,8	-297,2	-278,2	-483,2	-632,8	-483,2	-531,8	-402,8	-96	-162
13:00	273,8	374,8	464,6	638,8	453,6	448	425,8	272,2	167,4	-356	-361,6	-505,4	-660,8	-505,4	-462	-417,2	-142,2	-143,4
14:00	142,4	401,8	401,2	753,8	548	466,4	439,4	197,8	175,6	-394,2	-362,8	-476,6	-583	-476,6	-883,8	-422	-101	-148,8
15:00	173,6	533,4	345,2	796,8	602,4	490,4	453,2	356	156,6	-433,6	-571,6	-753,6	-520,6	-753,6	-639,2	-421	-68	-203,8
16:00	152,6	537,4	370,4	782	470,8	405,2	457,4	179,2	170,6	-511,4	-289	-546,8	-657,8	-546,8	-556,8	-424	-116,6	-186,8
17:00	111,4	377,8	342	535,2	441,6	340,6	383,2	157,2	109,6	-383,2	-540,4	-493,6	-696	-493,6	-564,2	-354,6	-129,4	-148,4
18:00	108	275,2	310,4	318,4	380,6	330,6	317,6	97,2	74,8	-289,2	-319	-408,6	-519,4	-408,6	-423	-293	-43,6	-79,2
19:00	227	246,8	276,6	396,4	295,6	239,8	203	76	60	-256,6	-193	-266,6	-357,2	-266,6	-348,2	-219,2	-45,2	-55
20:00	89	201,6	188,2	255	216,8	222	186	77,4	51,6	-143,2	-121,6	-250	-291,8	-250	-346,4	-181,8	-32	-24,8
21:00	50	141,8	155,2	143,4	170	139,4	142,6	39,2	36,6	-82,8	-174,2	-160,8	-198,2	-160,8	-217,4	-132,4	-27,4	-56,4
22:00	44,6	75	116	80,6	88,4	81,4	99,2	57,8	13,8	-60,4	-75,8	-133,4	-139,2	-133,4	-119,4	-117,2	-25	-28,6
	2482,2	6290,4	6762,4	9690,4	8242,2	6290,4	5872,4	2777,8	2298,2	-4853	-5267	-7085,4	-8452,4	-7085,4	-8183,4	-5736,8	-1417,8	-1865,6

WD	Tajovskéh	Komenskí	Kysucká	Háľkova	Košická	Vysokoškr	1.mája	Bratislavl	Rázusa
23:00	-15	24,2	14,2	3,4	7,2	-19,4	3,2	7,6	-1,4
0:00	1,6	-6,4	-4	-1,8	-8,8	-6,8	-0,6	4,6	0
1:00	-3,4	7	-2,6	5	3,6	0,8	-2	1,4	-1,6
2:00	-3	7,8	1,6	-3,4	-5	1,4	-0,6	6,6	-2,4
3:00	-2,6	2,8	-5,2	-2,2	-1,4	-7,2	2,6	1,4	-5,2
4:00	-2,2	2,2	2,4	-1,4	2	-5,8	0,2	7,8	1,4
5:00	5	26,6	56,2	6,4	83,4	-37	-23	4,8	-2,6
6:00	16	77,8	172,6	135,4	209,6	34,4	-23,4	71,2	22,8
7:00	-74,2	91,6	239	396,6	407,6	67,2	44	58,2	131
8:00	-188,4	302,4	280,8	251,6	334,4	-66,8	57,8	172	124,2
9:00	-118,4	152,4	67	268,2	176,6	-45,4	-2,6	163	71
10:00	-87,6	-12,4	37,6	213,8	88,4	-176	29,4	-53,6	48,4
11:00	-227,4	33,4	-104,8	-115,6	75,6	-69,8	-42,2	93	84,8
12:00	-133	157,4	-52,2	5,6	111,2	-166	-32,2	42,4	20,8
13:00	-82,2	13,2	-40,8	-22	-51,8	-14	8,6	130	24
14:00	-251,8	39	-75,4	170,8	71,4	-417,4	17,4	96,8	26,8
15:00	-260	-38,2	-408,4	276,2	-151,2	-148,8	32,2	288	-47,2
16:00	-358,8	248,4	-176,4	124,2	-76	-151,6	33,4	62,6	-16,2
17:00	-271,8	-162,6	-151,6	-160,8	-52	-223,6	28,6	27,8	-38,8
18:00	-181,2	-43,8	-98,2	-201	-28	-92,4	24,6	53,6	-4,4
19:00	-29,6	53,8	10	39,2	29	-108,4	-16,2	30,8	5
20:00	-54,2	80	-61,8	-36,8	-33,2	-124,4	4,2	45,4	26,8
21:00	-32,8	-32,4	-5,6	-54,8	9,2	-78	10,2	11,8	-19,8
22:00	-15,8	-0,8	-17,4	-58,6	-45	-38	-18	32,8	-14,8
	-2370,8	1023,4	-323	1238	1156,8	-1893	135,6	1360	432,6

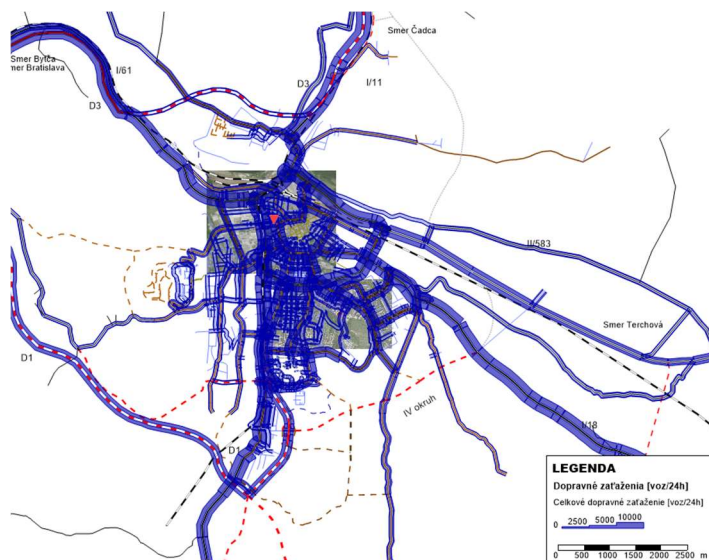
Obrázek 36: Dýchanie dopravy v centre Žiliny počas pracovného dňa (hore, červená = vstup/IN, zelená = výstup/OUT) a rozdiel počtov vozidiel (IN-OUT)

Aplikácia v riadení a plánovaní dopravy

Dopravné modely

Udržateľnosť nástrojov na sledovanie, analýzu a predikovanie dopravných stavov je možné zabezpečiť aktívnym prepojením údajovej stopy s dopravným modelom. Pre strategické riešenie dopravy sa najčastejšie používajú mezoskopické modely. Cesta zo zdroja do cieľa je základnou modelovacou jednotkou. Pre správne nastavenie toku dopravy cez cestnú infraštruktúru je nevyhnuté pravidelné kalibrovanie dopravnej situácie na cestnej infraštruktúre. Senzorová sieť mesta sa ponúka ako ideálny systém zberu údajov s takmer okamžitým využitím v lokálnom dopravnom modeli. Na nasledujúcom príklade je uvedený dopravný model mesta Žilina. Model je definovaný na základe série dopravných

prieskumov (profilové, smerové, kordónové a pod.). Údaje z dopravných senzorov zvyšujú efektivitu použitia. Správca modelu tak môže stanoviť variácie dopravy v danom profile počas viacerých časových období, dní.



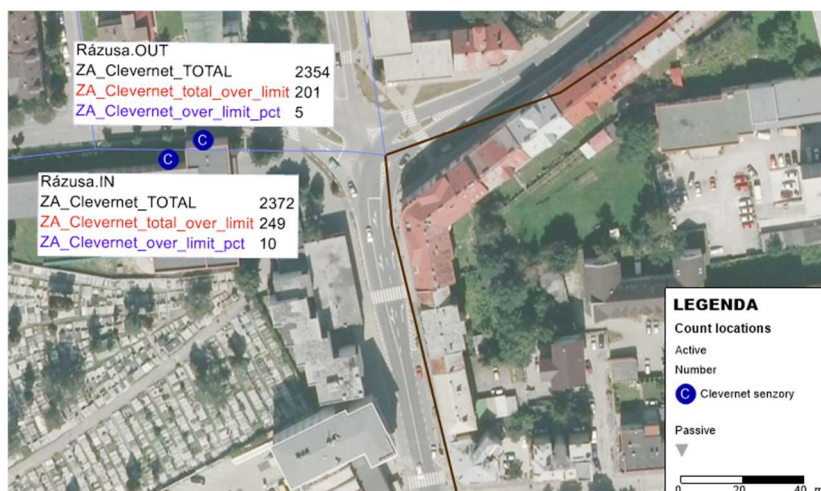
Obrázek 37: Dopravný model Žiliny

Lokalizáciu senzorov je možné previesť do dopravného modelu podľa zvoleného georeferenčného systému. Body (poloha senzorov) sa následne priradia jednotlivým úsekom cestnej siete. Pre každý profil a smer je možné definovať jeden senzor. Údaje zo senzornej siete sa dajú importovať napríklad cez textový súbor. Vo vyššej verzii dopravného modelu je možné takéto údaje online načítavať. Ukážka zadaných senzorov na sieti je zobrazená na nasledujúcom obrázku.



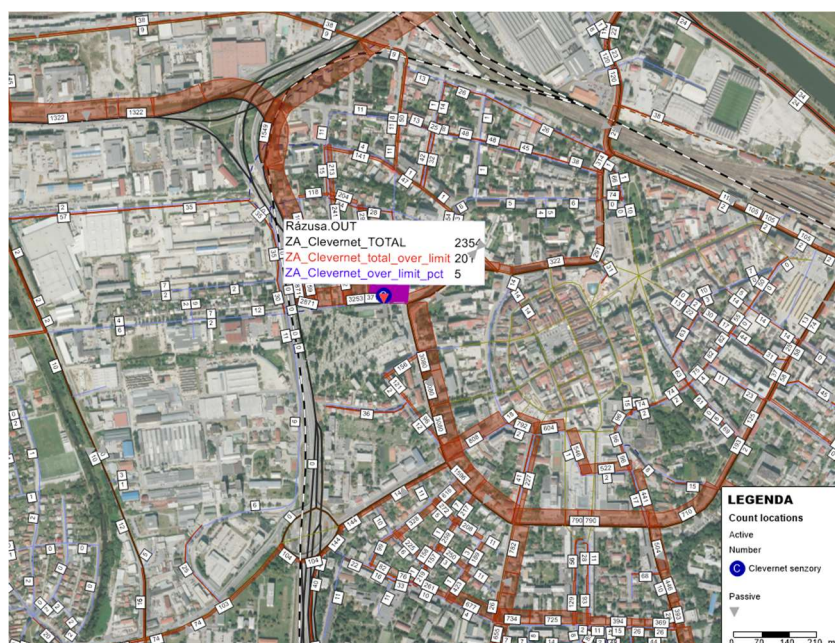
Obrázek 38: Definovanie senzorov v modeli

Kombináciou ponuky užívateľských funkcií softvérového rozhrania a analýzy údajov zo sensorovej siete je možnú spracovať a vyhodnotiť viacero scenárov dopravného zaťaženia. Tvorca modelu si tak môže overiť scenár so zaťažením v mimoriadnych dopravných stavoch, akými sú napríklad štátne sviatky, piatková, víkendová doprava alebo kultúrne podujatie. Na nasledujúcom obrázku je zobrazené porovnanie modelového dopravného zaťaženia a aktuálnych údajov z senzorov.



Obrázek 39: Ukážka načítania údajov z databázy projektu Clevertet

Ďalšou užitočnou aplikáciou je sledovanie dopravy na profile a s modelovým určením smerovania dopravných prúdov v území. Užívateľ si môže overiť nie len intenzitu na profile, ale aj zdroja a cieľ cesty vozidiel.



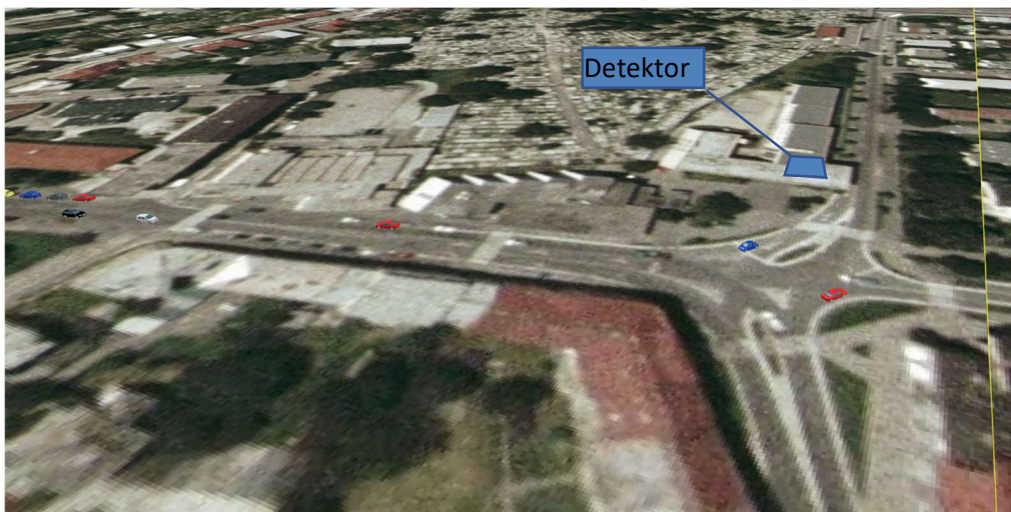
Obrázek 40: Kombinácia údajov dopravného modelu a aktuálnych údajov o doprave

Mikroskopické modely

Mikroskopické modely sa zameriavajú na konkrétne vozidlo, jeho správanie (správanie vodiča), vlastnosti a vzájomné ovplyvňovanie sa s ostatnými vozidlami v dopravnom prúde. Pri spracovaní mikroskopického modelu sú predpokladom kvalitné podklady na detailne priestorovej úrovni, napr. so spracovaním detailného geometrického usporiadania riešeného územia (počet a šírka jazdných pruhov, polohy návěstidiel, rozmery vozidiel, ich hmotnosť, maximálna rýchlosť či hodnoty zrýchlenia). Mikroskopický model počíta časové zdržanie, rýchlosť vozidiel, dĺžku kolón, priepustnosť infraštruktúry apod. Hlavný účelom mikroskopických modelov je nástroj na posudzovanie:

- **Detailného technického riešenia prvkov infraštruktúry** (napr. križovatky v časti mesta, usporiadanie koľajiska železničnej stanice),
- **Detailných dopravno-organizačných opatrení v konkrétnej lokalite** (napr. spôsob riadenia a smerovania dopravy v križovatke).

Detailný výstup senzorov obsahuje časovú stopu prejazdu, rýchlosť a kategóriu vozidla. Použitím programovacieho balíka je možné identifikovať dopravný stav na profile a následne vyhodnotiť, resp cez rozhodovací algoritmus, zmeniť prvky riadenia dopravy, akými je napríklad svetelná signalizácia, premenné dopravné značenie apod.



Obrázek 41: Mikrosimulačný model dopravného uzla s možnosťou definovania lokálnych detektorov

Obmedzenia na dopravnej sieti

Ďalšou ukážkou použitia senzorovej siete v Žiline je merateľné preukázanie zmeny organizácie dopravy kvôli aktuálne prebiehajúcim stavebným prácam na rekonštrukcii železničného uzla v meste Žilina, vrátane železničnej stanice. V priebehu výstavby došlo k uzatvoreniu železničného podjazdu, ktorý slúži na prejazd z ulice Kysucká na ulicu P.O.Hviezdoslava.

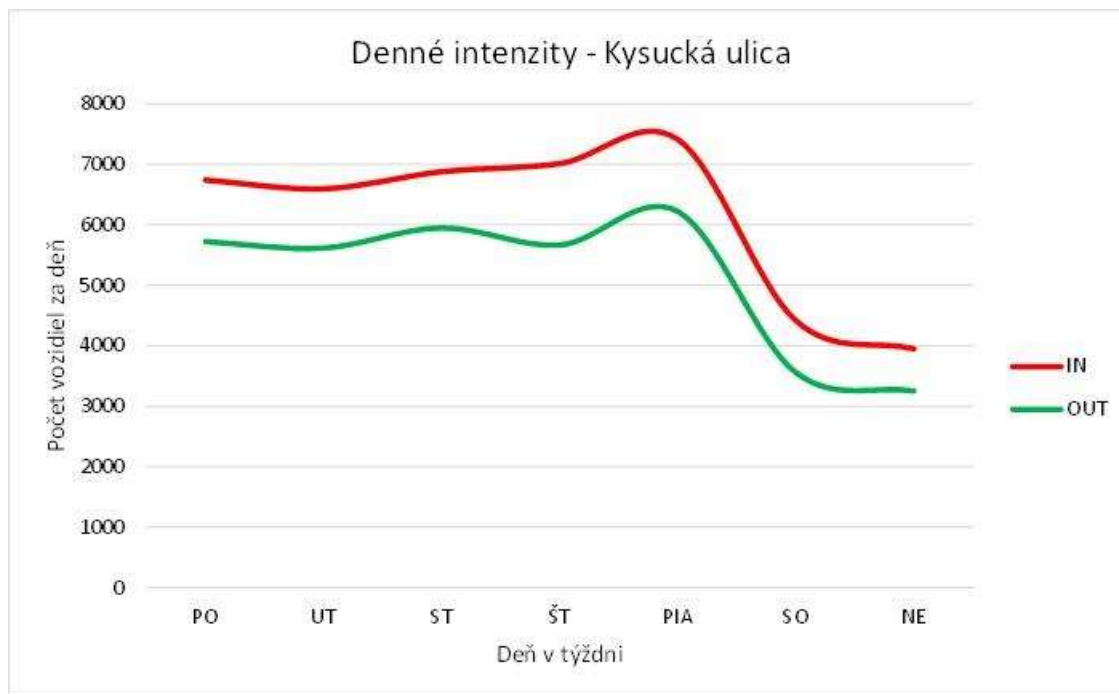
Projekt rekonštrukcie železničného uzla Žilina je dlhodobý plánovaný, preto bolo potrebné posúdiť zmenu dopravy v centre Žiliny po uzatvorení úseku na Kysuckej. Nasledujúci obrázok je výsledkom simulácie dopravného modelu s predpokladaným uzatvorením Kysuckej ulice bez dodatočných opatrení (pozn.:

v projekte sa ráta aj s vybudovaním prepojenia ulíc 1. mája a Ľavobrežná ponad železniciu, to sa však kvôli majetkovému vyrovnaníu nestihlo do zahájenia projektu zrealizovať).



Obrázek 42: Model zmeny dopravného zaťaženia v centre Žiliny po zahájení rekonštrukcie železničného uzla

Reálnu situáciu pred touto zmenou ilustruje nasledujúci graf, ktorý udáva počty vozidiel typicky prechádzajúce Kysuckou ulicou do centra (IN) a z centra mesta (OUT). Vidieť, že touto cestou prichádza v pracovné dni 7000 vozidiel denne, naopak centrum opúšťa takmer 6000 vozidiel za deň. Víkendová premávka je typicky nižšia o 40% oproti pracovným dňom a vo sviatok počas týždňa (napr. 17.11.2022) je pokles premávky na tomto úseku až 55%. Diferencia medzi smermi je približne 20%.

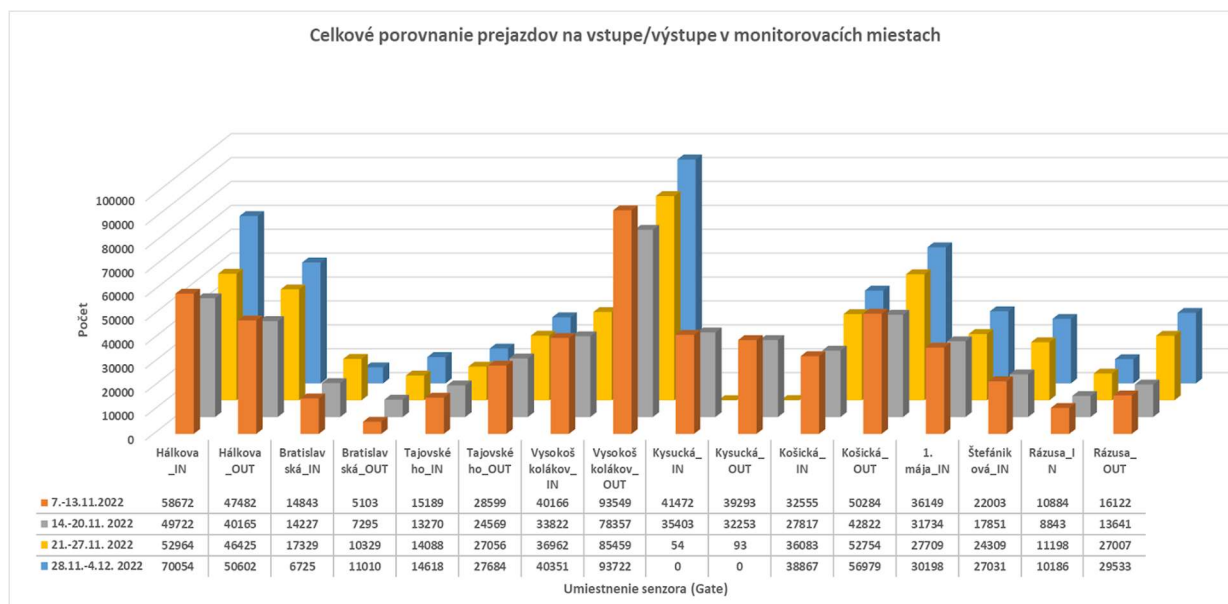


Obrázek 43: Celkové porovnanie počtu prejazdov (vstup/výstup z centra mesta) v miestach monitorovania dopravy

Počas typického týždňa úsekom do centra prichádza 43 tis. vozidiel a naopak z centra odchádza 36 tis. vozidiel. Uzatvorením úseku na ul. Kysucká (kde sa nachádzali aj dopravné senzory, ktoré tak zaznamenali nulovú intenzitu dopravy) muselo dôjsť k zvýšeniu intenzity na iných monitorovaných vstupoch do centra mesta Žilina.

Nasledujúce grafy zobrazujú zvýšenie, resp. zníženie počtu záznamov na jednotlivých monitorovacích vstupoch v období dva týždne pred a dva týždne po uzatvorení podjazdu (uzatvorenie podjazdu o polnoci z 20.11. 2022 na 21.11.2022).

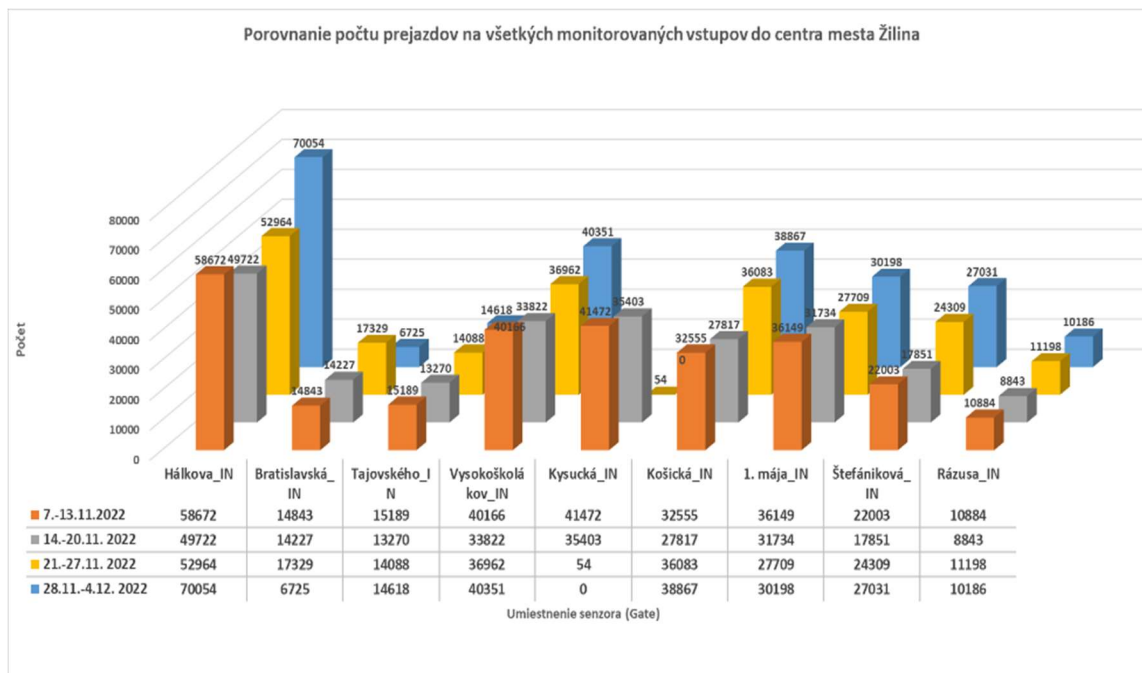
Celkové počty zaznamenaných prejazdov na všetkých vstupoch a výstupoch sú uvedené na Obrázku 44.



Obrázek 44: Celkové porovnanie počtu prejazdov (vstup/výstup z centra mesta) v miestach monitorovania dopravy

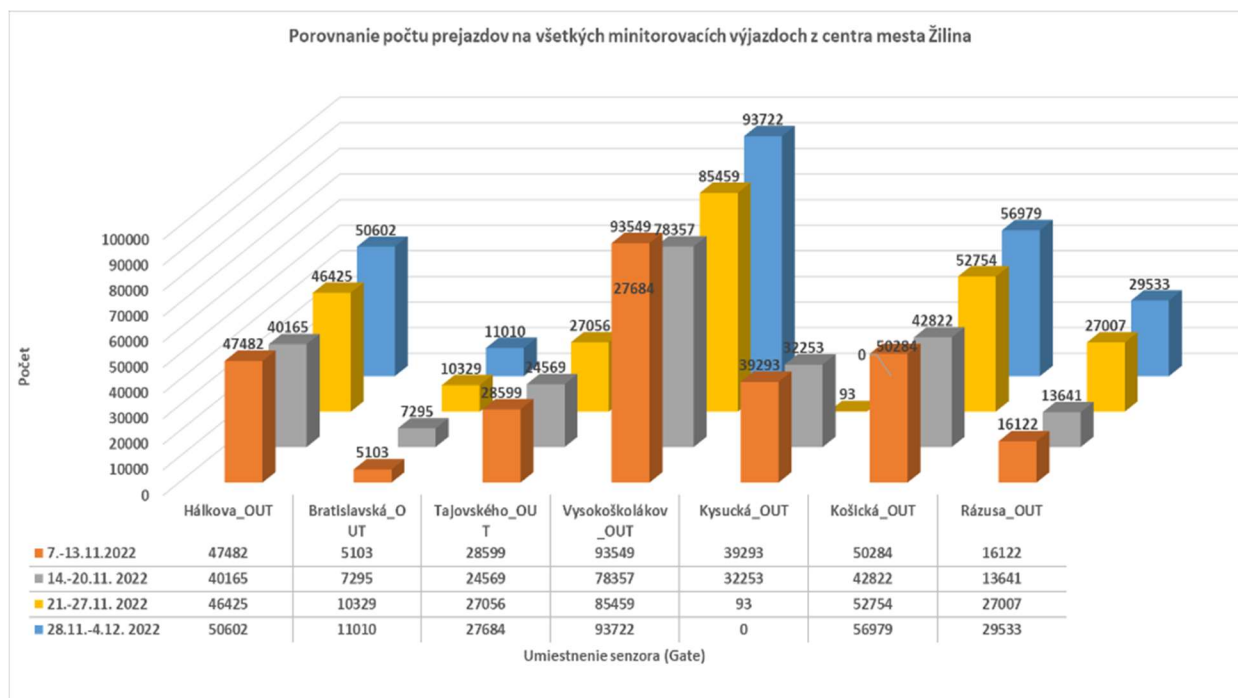
Pre jednoduchšie znázornenie dopravnej situácie, v závislosti od uzatvorenia podjazdu, sa rozčlenil celkový graf, na graf zobrazujúci počty prejazdov na všetkých monitorovaných vstupoch do centra mesta Žilina, Obrázok 45 a na graf zobrazujúci počty prejazdov na všetkých monitorovaných výstupoch z centra mesta Žilina, Obrázok 46.

Údaje poukazujú na zmenu distribúcie dopravy v meste, najvyšší nárast bol na ulici Košická (8266 vozidiel). Vozidlá smerujúce z Ľavobrežnej ulice preferovali novú trasu, a to cez Košickú ulicu.



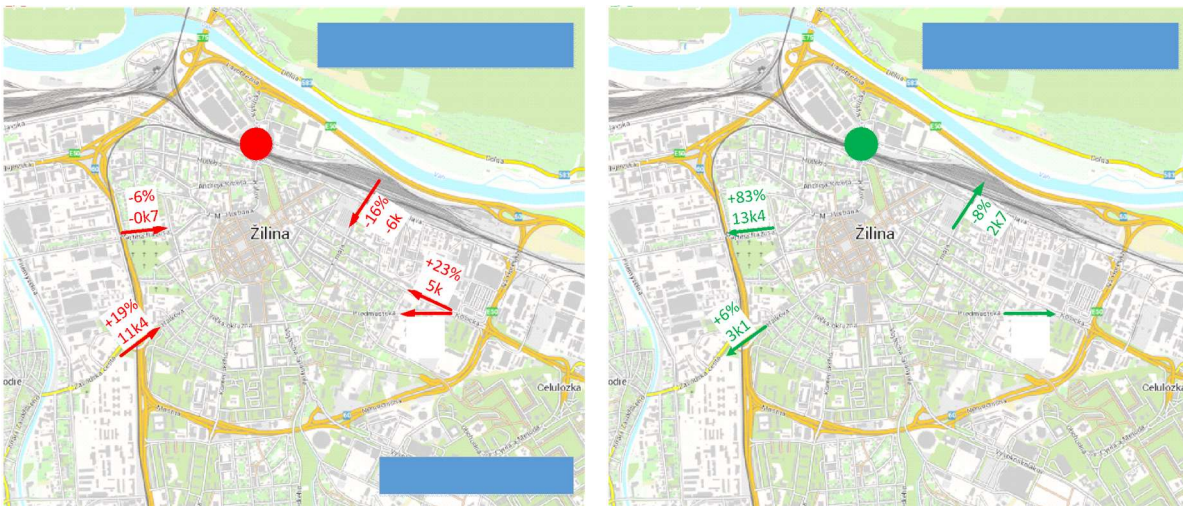
Obrázek 45: Porovnanie počtu prejazdov na všetkých monitorovaných vstupoch do centra mesta Žilina

Výrazná zmena počtu automobilov na výjazde z mesta bola detekovaná na ulici Martina Rázusa (Obrázok 46). Celkový rozdiel medzi obdobím pred a po uzatvorení podjazdu na Kysuckej ulici predstavuje 13366 vozidiel smerujúcich smerom von v mesta Žilina.



Obrázek 46: Porovnanie počtu prejazdov na všetkých monitorovaných výjazdoch z centra mesta Žilina

Bližšie zobrazenie presunu tokov po uzatvorení ulice Kysucká je uvedené na nasledujúcom obrázku.



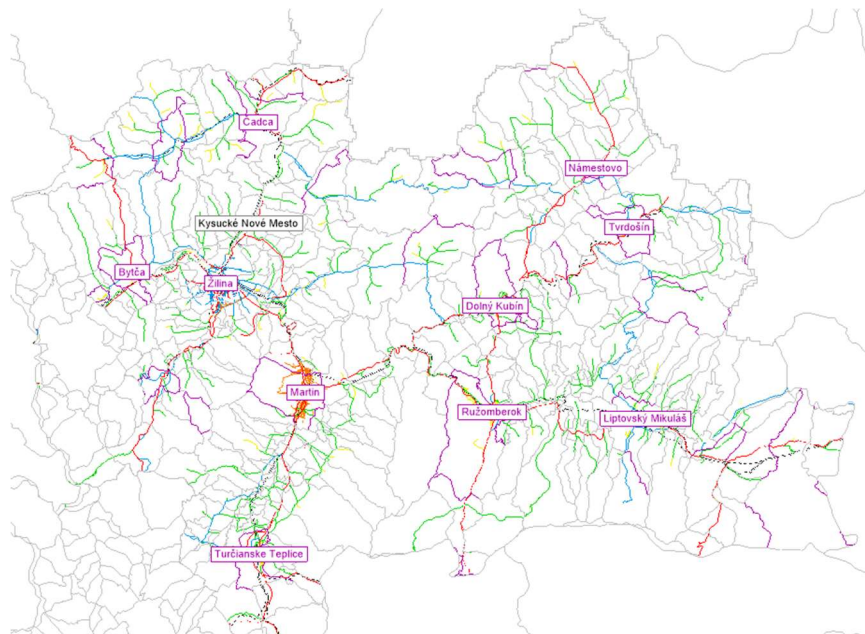
Obrázek 47: Zmena počtu vozidiel za týždeň medzi 45. a 48. týždňom v roku 2022 na vstupe a výstupe z centra

Zmena bola vyhodnotená pre obdobie 45. a 48. týždňa, pretože v 46. týždni bol sviatok (17.11.) a prvý týždeň po uzatvorení Kysuckej bol prechodový, vodiči si zvykali na zmeny v organizácii dopravy.

Podľa očakávaní sa náhradou za vstupnú bránu do centra na Kysuckej stala Háľkova (cez Mostnú) a Košická (cez Ľavobrežnú). V opačnom smere – z centra – sa pridáva aj ulica Martina Rázusa, kde nastal značný nárast vo všetkých kategóriách, no v kategórii TRUCK došlo k nárastu viac než 6 krát (hlavne presmerovaním vozidiel verejnej dopravy cez túto ulicu).

Strategické modelovanie dopravy v širšom území

Strategické dopravné modely sa líšia najmä úrovňou detailu. Oproti mestským modelom je riešené územie väčšie. Dopravné zóny sú spravidla ohraničené katastrálnymi hranicami obcí alebo urbanistickými obvody miest. Princíp monitorovania dopravy senzorovou sieťou má svoje uplatnenie pri analýze zmeny trasovania najmä tranzitnej dopravy v území, kde je možné použiť viacero trás. Kontinuálny záznam intenzít na profiloch v širšom území je možné použiť pre popis atraktivity alternatívnych trás pri špecifických podmienkach (zvýšená intenzita, počasie, stavebné uzávery apod.). Údaje je možné aplikovať do predikčných dopravných modelov, či už krátkodobých alebo dlhodobých. Na nasledujúcom obrázku je ukážka dopravného modelu žilinského samosprávneho kraja. V modeli sú definované senzory, ktoré v súčasnosti obsahujú vzorku údajov z týždňového záznamu dopravy. Tieto údaje sú nevyhnutné pri kalibrácii dopravného modelu.



Obrázek 48: Dopravný model ŽSK

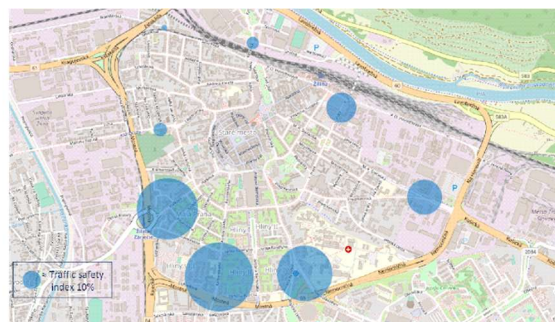
Ostatné použitie

Bezpečnosť cestnej premávky

Senzory sú umiestnené v miestach priechodov pre chodcov. Z tohto dôvodu vieme akou rýchlosťou prechádzajú vozidlá v úseku priechodu pre chodcov (smer jazdy IN/OUT). Údaje tak slúžia ako podklad pre spracovanie opatrení pre zvýšenie bezpečnosti chodcov prechádzajúcich cez priechod pre chodcov, resp. navrhnutie prvkov upokojenia dopravy.

Štatistika prekračovania rýchlosti ukazuje, že približne pätina všetkých vozidiel prekračuje rýchlosť 60km/h. Najvýraznejšie je to v kategórii dodávka (VAN).

Smer	>60 km/h	Car >60 km/h	Van >60 km/h	Truck >60 km/h
IN	20,5%	17,8%	32,4%	18,3%
OUT	19,4%	13,1%	39,6%	22,6%



Obrázek 49: Štatistika prekračovania rýchlosti

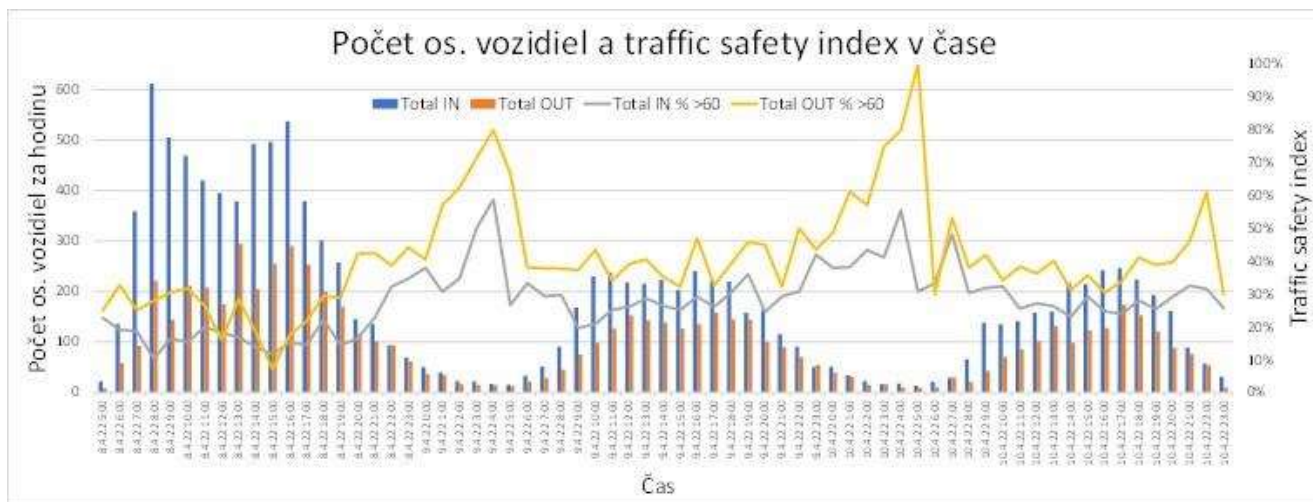
K najzávažnejšiemu prekračovaniu rýchlosti dochádza na nasledujúcich profiloch: Hálkova OUT ľavý pruh, Komenského IN a Vysokoškóľákov IN pravý pruh.

Najzávažnejším miestom je Hálkova ulica, ktorá je definovaná charakterom dopravy (vyšší podiel mimomestskej dopravy) a geometriou lokality.



Obrázek 50: Poloha Hálkovej ulice a detail ulice so vzdialenosťami od prechodu pre chodcov (miesta umiestnenia senzorov)

Analýzou dát sa ukázalo, že existuje veľká závislosť medzi intenzitou dopravy a prekračovaním rýchlosti. Nasledujúci obrázok zobrazuje príklad z dní 8.4. 2022 – 10.4. 2022 (piatok až nedeľa).

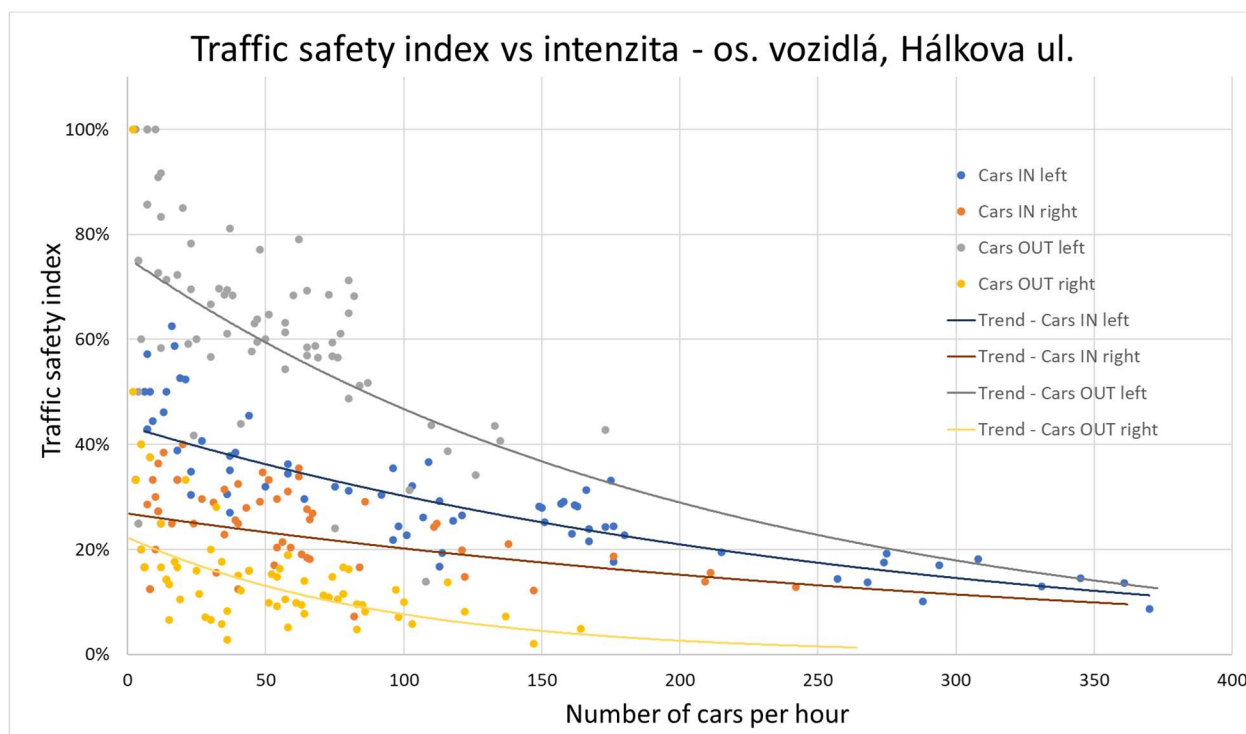


Obrázek 51: Intenzita a traffic safety index pre obdobie 8.4. 2022 – 10.4. 2022

Tiež sa ukazuje, že je relevantný rozdiel nielen medzi smermi dopravy ale aj medzi jazdnými pruhmi. Nasledujúci graf pre rovnaký prípad – miesto a čas – ukazuje závislosť medzi intenzitou (počtom vozidiel za hodinu) a mierou prekračovania rýchlosti 60 km/h (traffic safety index).

Medzi jazdnými pruhmi je zásadný rozdiel, ktorý vyplýva jednak z geometrie úseku ale aj z chovania vodičov. V smere do centra prevažuje faktor geometrie a rozhľadových pomerov, naopak v smere z centra prevažuje ľudský faktor – do ľavého jazdného pruhu sa radia vodiči, ktorých zámer je pokračovať na

okružnú križovatku Rondel, v pravom jazdia neznalí vodiči, vodiči odbočujúci vpravo a vozidlá verejnej dopravy.



Obrázek 52: Príklad vzťahu prekračovania rýchlosti a intenzity pre Háľkovu ulicu

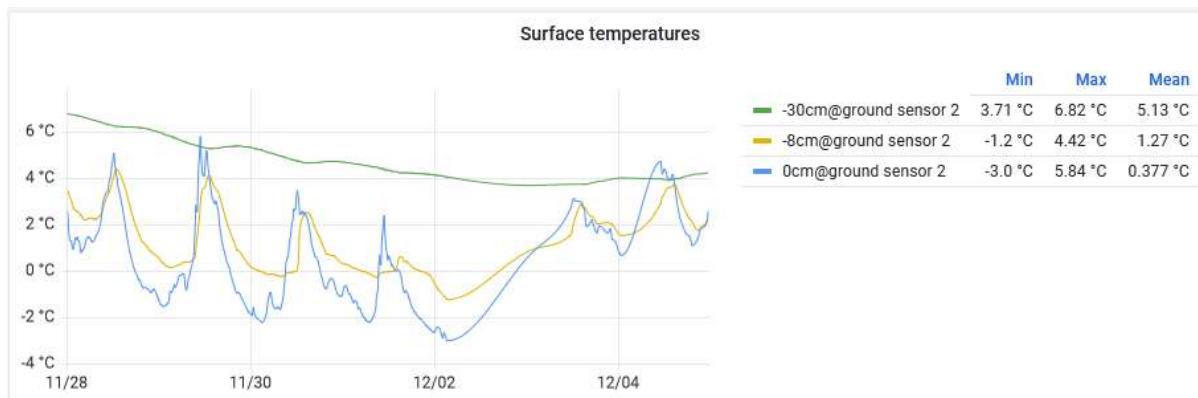
Interakcia dopravy a životného prostredia

Senzorovú sieť kontinuálneho snímání stavu dopravy na cestnej sieti je možné aplikovať do ostatných monitorovacích zariadení. Sledovanie emisného zaťaženia v intraviláne poskytuje obraz o kvalite ovzdušia. Spojením meracích záznamov s dopravnými charakteristikami je možné stanoviť závislosť stavu kvality ovzdušia od zmeny intenzity dopravy.

Počasiť rovnako ovplyvňuje dopravu. V rámci senzorovej siete sú nasadené aj námrazové senzory, ktoré snímajú povrchovú i podpovrchovú (-6 a -30 cm) teplotu a obsahujú aj senzor salinity. Teplotný senzor obsahujú aj vybrané dopravné senzory a merajú podpovrchovú teplotu (skúsenosti ukazujú, že blízku povrchovej teplote).

Na základe dát z týchto senzorov je možné detekovať námrazu a táto informácia môže byť využitá na zvýšenie bezpečnosti na cestách i chodníkoch.

Z hľadiska správy ciest a chodníkov môže správcom slúžiť na kontrolu vykonania chemickej zimnej údržby.



Obrázek 53: Príklad priebehu teplôt na námrazovom senzore v areáli UNIZA

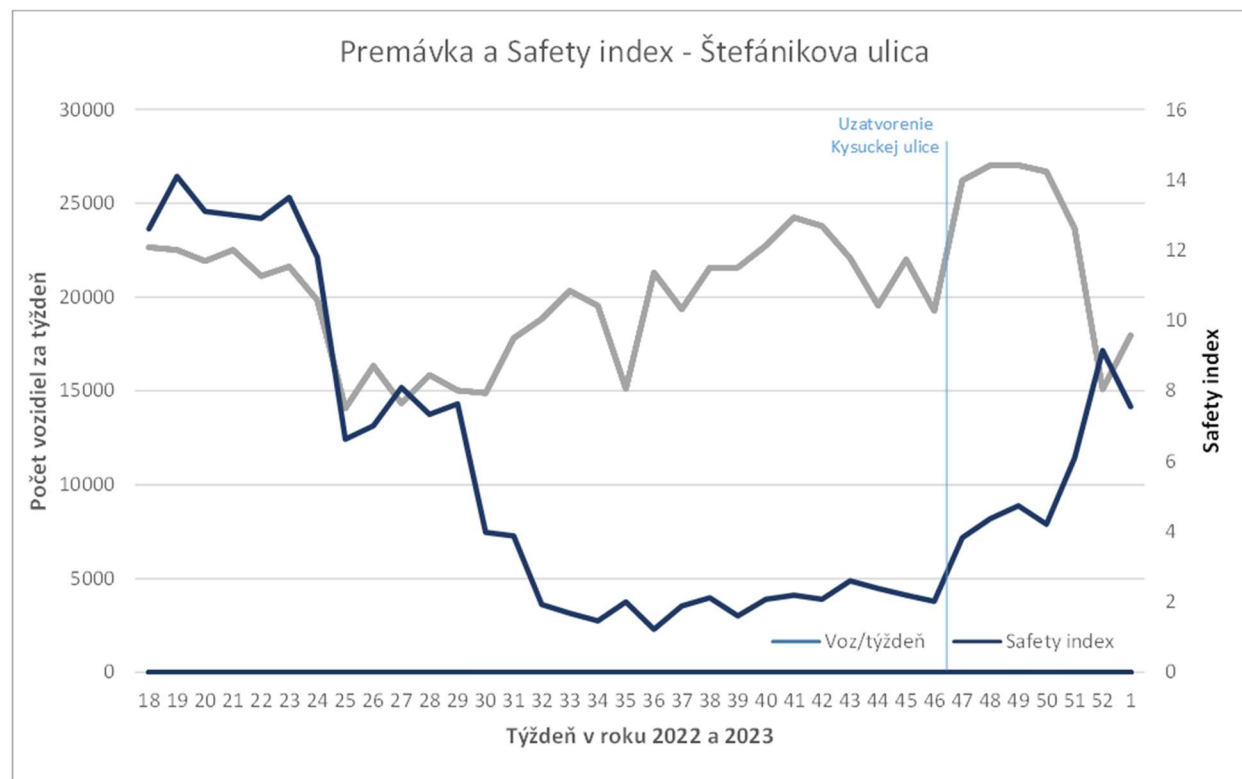
Práce na ceste

Vyššie bol popísaný prípad uzavretia úseku na mestskej radiále, ktorá zásadne ovplyvnila dopravu v centre mesta.

Dopravu môžu výrazne ovplyvniť aj práce na ceste alebo v jej blízkosti. Príkladom je situácia na Štefánikovej ulici v 2. polovici roku 2021.

V pozitívnom tento jav ovplyvnil rýchlosť vozidiel, keď sa relevantne znížila miera prekračovania rýchlosti.

Tiež sa tomto grafe prejavuje uzatvorenie železničného podjazdu na Kysuckej, na prelome rokov potom vidieť vplyv Vianoc a teda zníženej aktivity.



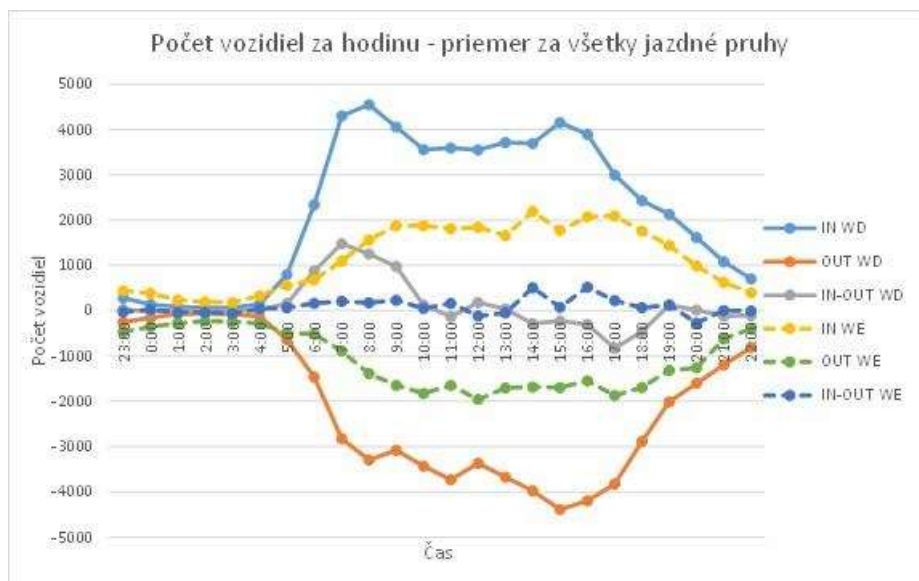
Obrázek 54: Týždňové intenzity a safety index na Štefánikovej ulici v 2. polroku 2022

Statická doprava

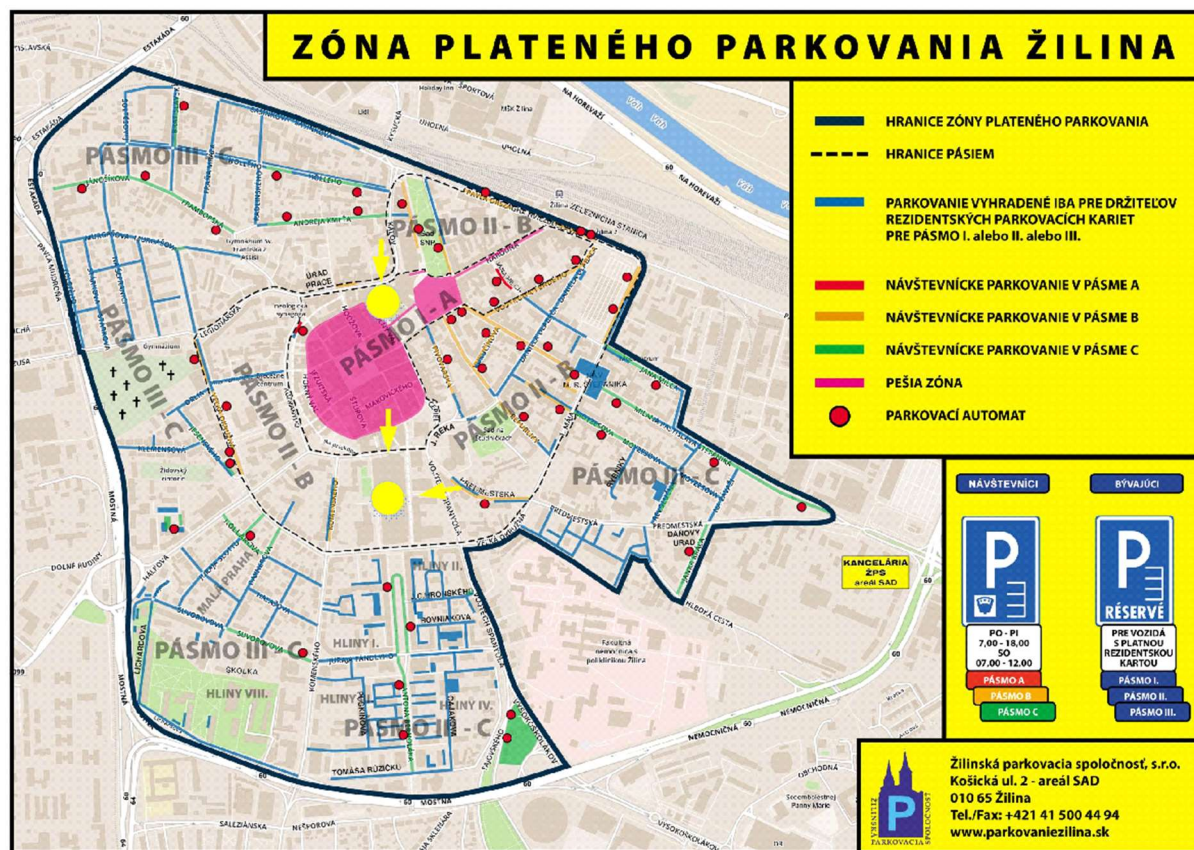
Počet vozidiel vchádzajúcich do a odchádzajúcich z centra sa prirodzene v čase – počas dennej doby – mení. Príklad udáva nasledujúci obrázok pre pracovné dni (WD) a víkend (WE).

Z grafu vidieť rôzne denné priebehy počtu vozidiel vchádzajúcich a vychádzajúcich do centra.

Samozrejme, že časť vozidiel sa v predmetnej zóne zdrží, a pre tieto vozidlá treba riešiť možnosti parkovania. V Žiline je zadefinovaný systém uličného parkovania a v centre sú aj dve obchodné centrá s vysokapacitným podzemným parkovaním.



Obrázek 55: Intenzity v čase počas dňa (pre týždeň 30.5.-5.6.2022, WD – pracovný deň, WE - víkend)



Obrázek 56: Zóny plateného parkovania v Žiline s vyznačením parkovacích domov (spracované na základe zdroja www.parkovaniezilina.sk)

Ostatné možnosti

Ďalšími možnosťami využitia dát z nasadenej senzorovej siete je štúdium indukovanej (vyvolanej) dopravy, otepľovania verejného priestoru dopravou, podpora developmentu, javy ovplyvňujúce dopravu (fúzia s ďalšími dátami).

Literatura

- [1] ZELENĀ A ZĀSTAVBA V ŽILINE V KONTEXTE ZMENY KLÍMY, <http://zelenza.worldfrom.space/>
- [2] Sangiorgio, V., Fiorito, F. & Santamouris, M. Development of a holistic urban heat island evaluation methodology. *Sci Rep* 10, 17913 (2020). Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75018-4>
- [3] Hove, Bert & Steeneveld, Gert-Jan & Jacobs, Cor & Heusinkveld, Bert & Elbers, Jan & Moors, Eddy & Holtslag, Bert. (2011). Exploring the Urban Heat Island Intensity of Dutch Cities. *Plant Journal - PLANT J*. Dostupné z: <https://edepot.wur.nl/171621>
- [4] Oke, T. & Canada,. (2006). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265347633_Initial_guidance_to_obtain_representative_meteorological_observations_at_urban_sites.
- [5] Wong, Man & Nichol, Janet & Ng, Edward & Guilbert, Eric & Kwok, Kai & To, Pui & Wang, Jingzhi. (2010). GIS techniques for mapping urban ventilation, using frontal area index and least cost path analysis. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*. 38. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/229037744_GIS_techniques_for_mapping_urban_ventilation_using_frontal_area_index_and_least_cost_path_analysis
- [6] Urban Heat Island Mitigation Strategy Toolkit [online]. Dostupné z: <https://www.cip-icu.ca/Files/Resources/STUDIO2-RYERSON-UHI-TOOLKIT-FINAL-REPORT.aspx>
- [7] ŻEBROWSKI, Marcin. *COOL IT DOWN - Tackling urban heat island effect in Singapore* [online]. 2021. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/Marcinebrowski2/cool-it-down-tackling-urban-heat-island-effect-in-singapore-marcin-ebrowski-master-thesis> Master Thesis.
- [8] *The UHI Risk Index for Austria: Introduction* [online]. Dostupné z: <https://eoecs.blob.core.windows.net/adapt/FactsheetUHIRiskIndex.pdf>
- [9] Nakata, Camila M., and Léa C. L. de Souza. "VERIFICATION OF THE INFLUENCE OF URBAN GEOMETRY ON THE NOCTURNAL HEAT ISLAND INTENSITY." *Journal of Urban and Environmental Engineering*, vol. 7, no. 2, 2013, pp. 286–92. *JSTOR*, <http://www.jstor.org/stable/26189199> Accessed 4 Jan. 2023.
- [10] SANTAMOURIS, Matheos. *Natural Ventilation in Urban Areas* [online]. 2004, 10. Dostupné z: https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/VIP/VIP03.Urban%20Ventilation.pdf
- [11] JOHANSSON, Lars. *Modelling near ground wind speed in urban environments using high-resolution digital surface models and statistical methods* [online]. 2012 [cit. 2023-01-04]. Dostupné z: <http://lup.lub.lu.se/student-papers/record/2534839>. Diplomová práce. Lund University, Department of Physical Geography and Ecosystems Science.
- [12] BEZRUKOVA, D.N, E. STULOV a D.M. KHALILI. *A Model for Road Icing Forecast and Control* [online]. 2009. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Model-for-Road-Icing-Forecast-and-Control-Bezrukova-Stulov/cd175ec8db77b1059cd6076760956143ee3200>