

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta aplikovaných věd
Katedra geomatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Potenciál rozvoje modro-zelené infrastruktury
v kampusu Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň, 2021

Bc. Pavel Žák

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel ŽÁK**
Osobní číslo: **A19N0011P**
Studijní program: **N0732A260002 Územní plánování**
Studijní obor: **Strategické plánování měst a regionů**
Téma práce: **Potenciál rozvoje modro-zelené infrastruktury v kampusu Západočeské univerzity v Plzni**
Zadávací katedra: **Katedra geomatiky**

Zásady pro vypracování

1. Rozbor problematiky a příkladů dobré praxe.
2. Zpracování analytických podkladů území kampusu.
3. Bilanční vyhodnocení vodohospodářských dat.
4. Posouzení potenciálu rozvoje modro-zelené infrastruktury.
5. Návrh rozvoje území kampusu.

Rozsah diplomové práce: **cca 45 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Kopp, J.; Raška, P. a kol. (2017): Ekohydrologický management mikrostruktur městské krajiny. Plzeň: Západočeská univerzita. 165 s. ISBN 978-80-261-0719-4.
- Kubba, S. (2012): Handbook of green building design and construction: LEED, BREEAM, and Green Globes. Amsterdam: Butterworth-Heinemann. 820 s. ISBN 978-0-12-385128-4.
- Loos, F.; Van Vliet, M. [eds] (2016): Green streetscape design with stormwater management. Mulgrave: Images Publishing Group. 247 s. ISBN 978-1-86470-645-1.
- Slaney, S. [ed.] (2017): Stormwater Management for Sustainable Urban Environments. Mulgrave: Images Publishing Group Pty Limited. 256 s. ISBN 978-1-86470-707-6.
- Víttek, J. a kol. (2015): Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec. 127 s. ISBN 978-80-260-7815-9.

Vedoucí diplomové práce: **RNDr. Jan Kopp, Ph.D.**
Katedra geografie

Datum zadání diplomové práce: **22. června 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. ledna 2021**

Radová

Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka



Václav Čada

Doc. Ing. Václav Čada, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 24. června 2020

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 9. 1. 2021

.....

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval RNDr. Janu Koppovi, Ph.D. za odborné vedení práce, věcné a konstruktivní připomínky a vstřícný přístup. Dále děkuji svým kolegům za inspiraci.

Abstrakt

Žák, P. (2021): Potenciál rozvoje modro-zelené infrastruktury v kampusu Západočeské univerzity v Plzni. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd. 84 s.

Tato práce se věnuje potenciálu rozvoje modro-zelené infrastruktury v kampusu ZČU v Plzni. Pro jeho stanovení bylo třeba provést inventarizaci současného stavu modro-zelené infrastruktury kampusu. Byly tak vytvořeny kartografické výstupy, které popisují prostorovou distribuci povrchů, georeliéf či odvodnění veřejných prostranství. K hodnocení prostorového rozložení modro-zelené infrastruktury byl zvolen ukazatel Helsinky Green Factor a koeficient odtoku. Nejvyššího skóre Helsinky Green Factoru dosahují plochy v okrajových částech univerzitního kampusu, kde se nachází les či náletová zeleň. Tyto plochy vykazují i velmi nízký odtok srážkové vody. Na základě všech analytických podkladů byla navržena modro-zelená opatření, která mají za úkol zefektivnit hospodaření s dešťovou vodou v univerzitním kampusu a snížit dopady změny klimatu.

Klíčová slova

modro-zelená infrastruktura, MZI, hospodaření s dešťovou vodou, HDV, kampus, Západočeská univerzita

Abstract

Žák, P. (2021): Development potential for blue-green infrastructure on the campus of the University of West Bohemia in Pilsen. Diploma thesis. University of West Bohemia in Pilsen. Faculty of Applied Sciences. 84 p.

The thesis deals with the potential for the development of blue-green infrastructure on campus of University of West Bohemia in Plzen. To determine it, it was necessary to make an inventory of the current state of the blue-green infrastructure of the campus. The cartographic outputs describe spatial distribution of surfaces, georelief or drainage in public spaces. Index of blue-green infrastructure Helsinki Green Factor and runoff coefficient were selected to evaluate the spatial distribution of the blue-green infrastructure. Peripheral areas of the campus have the highest score of Helsinki Green Factor because there is a forest or areas with woody plants. These areas show very low stormwater runoff. Based on all analytical data, blue-green measures have been designed to make rainwater management on the university campus more efficient and to reduce the impacts of climate change.

Keywords

blue-green infrastructure, BGI, stormwater management, campus, University of West Bohemia

Obsah

1 Úvod.....	10
1.1 Cíle práce	12
1.2 Metodika.....	12
2 Teoretická část.....	15
2.1 Modro-zelená infrastruktura	15
2.1.1 Šedá infrastruktura	16
2.2 Přínosy modro-zelené infrastruktury	17
2.2.1 Environmentální přínosy	17
2.2.2 Sociálně-psychologické přínosy.....	19
2.2.3 Ekonomické přínosy.....	20
2.3 Green Area Factor	21
2.3.1 Helsinki Green Factor	21
2.4 Hospodaření s dešťovou vodou.....	23
2.4.1 HDV v české legislativě	26
2.5 Koncepce řešení odtokových poměrů města Plzně	30
3 Analytická část.....	33
3.1 Základní informace o kampusu	33
3.2 Povrchy	38
3.3 Termální snímek kampusu.....	42
3.4 Hydrogeologie	44
3.5 Georeliéf	44
3.6 Srážková voda	48

3.6.1 Podpovrchová retenční nádrž RTI	55
3.7 Helsinki Green Factor kampusu ZČU	57
3.8 Projekt Kampus snů	62
4 Návrhová část	64
4.1 Příklady dobré praxe.....	64
4.1.1 Kampus České zemědělské univerzity	64
4.1.2 Kampus Masarykovy univerzity	65
4.1.3 Kodaňská univerzita.....	66
4.2 Potenciál rozvoje modro-zelené infrastruktury v kampusu ZČU	67
4.2.1 Povrchová retence srážkové vody	68
4.2.2 Polopropustný povrch parkovišť	69
4.2.3 Odvodnění cest a chodníků	70
4.2.4 Univerzitní park	71
4.2.5 Zelené střechy	71
5 Závěr	74
Seznam tabulek, grafů a obrázků	76
Seznam literatury.....	78
Seznam příloh	84

1 Úvod

Probíhající změna klimatu, s níž souvisí nárůst teploty vzduchu a zvyšující se extremita počasí, přináší riziko pro společnost. Oproti referenčnímu období 1951–2000 lze v České republice očekávat v letech 2021–2050 navýšení průměrné teploty vzduchu o 1,5 °C a zvýšení tropických dní v roce až o 50 %. Roční úhrn srážek se příliš měnit nebude, bude se však měnit jejich rozložení v čase a prostoru. Díky nárůstu teploty bude docházet i k vyššímu výparu, tedy i ke zvýšenému riziku sucha. (UrbanAdapt, 2015).

V podmínkách městského prostředí Plzně jsou projevy změny klimatu ve 21. století spojené s vyšší četností a delším trváním vln horka, které jsou umocněné tepelným ostrovem města, dále krátkodobými extrémními úhrny srážek a hrozbou bleskových povodní na malých vodních tocích v urbanizovaném povodí, kde díky zvýšenému podílu nepropustných ploch dochází ke značnému povrchovému odtoku. Změna klimatu přináší rovněž delší období s podprůměrnými úhrny srážek, tedy i hrozbou sucha. Nejzásadnějším problémem, který byl v Plzni identifikován, je téma vody, konkrétně riziko bleskových povodní, odtok srážkové vody do kanalizace, nedostatečné zasakování srážkové vody či související tepelný ostrov města (UrbanAdapt, 2017).

Dopady změny klimatu lze zmírnit pomocí ekosystémově založených adaptačních opatření, tedy uplatnění propustných a polopropustných povrchů a zvýšení ploch zeleně. Je potřebné maximum srážkové vody ve městech zadržet a skrze vegetaci odpařit.

Sledovaným územím pro tuto diplomovou práci je kampus Západočeské univerzity v Plzni ležící na periférii města. Předmětem práce je zhodnotit aktuální stav modro-zelené infrastruktury v kampusu a představit návrhy opatření ke zlepšení stavu. Je třeba brát v úvahu, že kampus je prostorem využívaným zejména studenty a zaměstnanci univerzity, proto budou uvažovány různé aspekty modro-zelené infrastruktury.

Tato práce má tři části – teoretickou, analytickou a návrhovou. V teoretické části je snahou popsat různé definice modro-zelené infrastruktury. Jsou rovněž řešeny přínosy modro-zelené infrastruktury. Dále se teoretická část zabývá ukazateli modro-zelené infrastruktury. Dalším tématem teoretické části je hospodaření s dešťovou vodou a jeho zakotvení v české legislativě. V poslední kapitole teoretické části je stručně představen koncepční dokument města Plzně, který se zabývá řešeními odtokových poměrů.

V analytické části je hodnocen univerzitní kampus Západočeské univerzity za pomoci vlastních kartografických výstupů.

V návrhové části je na základě analytických podkladů řešen samotný potenciál rozvoje modro-zelené infrastruktury.

1.1 Cíle práce

Pro tuto práci byly stanoveny tyto základní cíle:

1. Provést inventarizaci stavu modro-zelené infrastruktury v kampusu ZČU
2. Zhodnotit prostorové rozložení modro-zelené infrastruktury pomocí vhodných ukazatelů
3. Na základě analytických podkladů navrhnout modro-zelená opatření v kampusu ZČU

1.2 Metodika

Předmětem práce je zhodnotit aktuální stav modro-zelené infrastruktury v kampusu a představit návrhy opatření ke zlepšení stavu. Aby toho bylo možné docílit, bylo nutné shromáždit vhodné sekundární zdroje informací a ty doplnit o vlastní primární výzkum.

Inventarizace všech povrchů v kampusu proběhla v srpnu a září roku 2020. Sekundárním zdrojem pro tuto část práce byl Generel rozvoje ZČU ve formátu softwaru Autodesk AutoCAD. Ten obsahoval zákresy budov, parkovišť, chodníků, stromů aj. Pro analytickou práci byl generel konvertován z CADu do GISu, dále tak byl již použit program ArcGIS Desktop. V GISu byla provedena kategorizace Land Coveru. Hranice vygenerovaných polygonů byly upraveny dle aktuálního stavu. Jednotlivé plochy získaly informaci o povrchu, jenž se v daném místě vyskytuje (beton, asfalt, intenzivní zeleň, křoviny aj.). Tato informace byla sice uvedena v anotaci Generelu, nicméně vzhledem ke stáří datového souboru nebylo možné anotaci pouze převzít, ale vše důsledně zkontrolovat terénním výzkumem. Dalšími cennými podklady pro kategorizaci polygonů bylo Ortofoto České republiky ve formě WMS služby (ČÚZK, 2019), dále letecké snímky Mapy.cz a 3D pohled v aplikaci Google Earth. Malé prvky byly v terénu zaměřeny pomocí GPS. Díky terénnímu výzkumu byla vrstva stromů doplněna o 30 jedinců. Výstupem je mapa povrchů v kampusu ZČU, která je uvedena v analytické části.

Dále se práce zabývá povrchovým odtokem v zájmovém území. Ten se počítá jako součin srážkového úhrnu sumy redukováných ploch o odtokové koeficienty. Pro tuto práci byly použity hodnoty koeficientu odtoku uvedené *ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace (2014)*.

Tabulka je uvedena v teoretické části v *kap. 2.4.1*. Vzhledem k tomu, že některé prvky modro-zeleno-šedé infrastruktury nejsou v této normě uvedeny, bylo nutné tyto prvky doplnit z jiného zdroje, konkrétně z Katalogu městské krajiny pro potřeby ekohydrologického managementu (Kopp a kol., 2016).

Hodnoty koeficientu závisí nejen na povrchu, ale i na sklonu. Sklony povrchu se zde uvádějí v procentech a jsou stanoveny tři kategorie – sklon do 1 %, 1–5 %, nad 5 %. Pro výpočet sklonu na určitém povrchu bylo využito metod GIS. Vstupními daty byly rastrový Digitální model reliéfu České republiky 5. generace [DMR 5G], který vznikl v letech 2009–2013, a již hotová vektorová vrstva modro-zeleno-šedé infrastruktury. Výstupem jsou plochy povrchů v kampusu ZČU přiřazené k jednotlivým kategoriím sklonu.

Pro výpočet povrchového odtoku bylo třeba jednotlivé typy povrchů přiřadit do kategorií stanovených v *ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace (2014)* a Katalogu městské krajiny pro potřeby ekohydrologického managementu (Kopp a kol., 2016). Koeficienty odtoku jsou platné i pro povrchy střech, nicméně pro jednotlivé kategorie sklonu nabývají koeficienty stejných hodnot, proto nejsou sklony střech budov kampusu sledovány. Do výpočtu povrchového odtoku není uvažován vliv stromů, ani jejich schopnost intercepce srážek.

Ukazatelem pro hodnocení modro-zelené infrastruktury byl zvolen Helsinki Green Factor [HGF]. Tento ukazatel byl vybrán zejména pro jeho komplexnost. Na skóre prvku modro-zelené infrastruktury se podílí 5 dílčích známek. Výpočet skóre vybraného prvku je uveden v teoretické části v *kap. 2.3.1*.

Pro výpočet celkového skóre byl použit excelovský soubor, který je volně ke stažení na webových stránkách Iwater Project (2020). Hodnota cílového skóre Helsinki Green Factor zájmového území byla určena jako 0,8, což odpovídá lokalitě s kancelářskými budovami. Nástroj vyžaduje informace o plochách jednotlivých prvků modro-zeleno-šedé infrastruktury, které byly zjištěny již v rámci inventarizace všech povrchů v kampusu.

Dalším analytickým materiálem je Kampus snů? Závěrečná zpráva (CpKP, 2018). Tento dokument shromažďuje podněty a požadavky uživatelů pro lepší využívání kampusu. Informace byly získány na základě workshopů a také pocitové mapy, do níž mohli uživatelé kampusu přímo zaznamenat, co se jim líbí a nelíbí. Pro tuto práci budou z tohoto dokumentu využity podněty a požadavky uživatelů na zlepšení veřejných prostranství, a to zejména v otázce modro-zelené infrastruktury.

Na základě všech analytických podkladů byly vybrány lokality, které vykazují potenciál pro rozvoj modro-zelené infrastruktury. Pro ně jsou navržena vhodná modro-zelená opatření.

2 Teoretická část

2.1 Modro-zelená infrastruktura

Definice *modro-zelené infrastruktury* (MZI) není v odborné literatuře a strategických dokumentech jednotná. Jednotné není ani samotné označení, UrbanAdapt (2015) používá termín *modrá a zelená infrastruktura*, Vítek a kol. (2018) upřednostňuje označení *modrozelená infrastruktura*, v zahraniční literatuře se termín často sjednocuje pod zelenou infrastrukturu. Zde v práci je užíván termín *modro-zelená infrastruktura* se spojovníkem, protože termín je chápán jako souřadné spojení modré a zelené infrastruktury, nikoli jako spojení podřadné (Ústav pro jazyk český, 2020).

Zelenou infrastrukturu je možné definovat jako „propojenou síť zeleně, která zachovává přirozené hodnoty a funkce ekosystému a poskytuje související výhody lidské populaci“ (McMahon, Benedict, 2002). Tuto definici lze tak shrnout obecně jako ekologický rámec pro udržitelnou sociální, ekonomickou i environmentální oblast.

Od roku 2010 začíná Evropská komise hovořit o zelené infrastruktuře jako novém konceptu ochrany přírody. Chápe ji jako „strategicky plánovanou síť přírodních a přírodě blízkých opatření s dalšími environmentálními prvky navrženými a řízenými tak, aby poskytovaly širokou škálu ekosystémových služeb. Zahrnuje zelené plochy (nebo modré plochy, pokud se jedná o vodní ekosystémy) a jiné fyzické prvky v pevninských (vč. pobřežních) a mořských oblastech. Na pevnině se zelená infrastruktura může vyskytovat v rurálním i urbánním prostředí“ (Evropská komise, 2013). Nyní, Evropská komise (2020) doplňuje, že díky síti zelených a modrých prostorů může dojít ke zlepšení podmínek prostředí, čímž se zvýší kvalita života občanů.

Zatímco v Evropě je termín zelené infrastruktury spíše chápán v oblasti ochrany přírody a krajiny, ve Spojených státech amerických je vnímán spíše jako nástroj hospodaření s dešťovou vodou. Zelená infrastruktura podporuje infiltraci a výpar pomocí přírodě blízkých opatření. Přináší environmentální, sociální a ekonomické výhody (EPA, 2020).

Postupně se do strategií, jež jsou zaměřené na udržitelnost měst vůči změně klimatu, dostává i koncept modro-zelené infrastruktury (Perini, Sabbion, 2017). Modro-zelená infrastruktura představuje environmentální urbánní infrastrukturu, jejíž součástí je správná

volba městské vegetace spolu s důmyslnými hydrologickými prvky, jež jsou součástí městského systému odvodnění (Vítek a kol., 2018). MZI stojí na základech hospodaření s dešťovou vodou [HDV], je ovšem zdůrazněna funkce zeleně jako klimatizace pro městské prostředí, tedy snížení dopadů teplého počasí beze srážek. Díky propojení termínů modrá infrastruktura a zelená infrastruktura je lépe vystižen vztah závislosti zeleně a vody. Jejich součinnost je tím hlavním aspektem modro-zelené infrastruktury.

Koncept MZI zahrnuje slovo infrastruktura. Ta je definována jako soubor vzájemně provázaných prvků (zde modro-zelených prvků). Použití termínu infrastruktura je uznáním skutečnosti, že přírodní procesy spojené s vegetací a hydrologií jsou prospěšné pro lidskou společnost (Dreiseitl, Wanschura a kol., 2016).

Díky modrým a zeleným opatřením v urbánním prostředí je posílen městský ekosystém, zlepšena kvalita života i hospodaření s dešťovou vodou. Konkrétní opatření lze jasně definovat jako „zelená“ (např. zeleň ve veřejných prostranstvích, zelené střechy, zelené fasády aj.) či „modrá“ (vodní toky, nádrž, jezírka aj.). Pro městské i venkovské prostředí je ale přínosné tyto dvě složky kombinovat a vzájemně funkčně propojovat. Navrhovaná opatření v rámci MZI by měla řešit více problémů najednou. Daná opatření by měla být multifunkční (Vítek a kol., 2018).

2.1.1 Šedá infrastruktura

Kromě modro-zelené infrastruktury je pro tuto práci vhodné si definovat i šedou infrastrukturu (v angličtině možné termíny „gray infrastructure“ i „grey infrastructure“). Tou rozumíme technické řešení vytvořené člověkem. Použitými materiály jsou často beton, asfalt, ocel (Talbert, Hanson, 2012). Prvky šedé infrastruktury pak jsou silnice, železnice, městská zástavba, vodovodní potrubí, kanalizace, čistička odpadních vod, příkopy, hráze aj.

Pro snižování rizik povodní se jeví využití šedé infrastruktury jako velmi vhodné. Je ovšem třeba šedou infrastrukturu kombinovat s modro-zelenou infrastrukturou, která přináší řadu výhod, jež šedá infrastruktura nemůže poskytnout (Alves a kol., 2019).

2.2 Přínosy modro-zelené infrastruktury

Proč zavádět modro-zelené prvky do urbanizovaného prostředí? Na rozdíl od šedé infrastruktury poskytuje modro-zelená infrastruktura řadu benefitů, které zlepšují stav ekosystému a mají pozitivní vliv na člověka.

Skupiny benefitů je možné dle metodik oceňování ekosystémových služeb převádět na finanční hodnoty (Vítek a kol., 2018). Ekosystémovou službou se rozumí přínos, který ekosystém člověku poskytuje a navyšuje jeho životní úroveň (Machač a kol., 2019). Ekosystémové služby se standardně člení do čtyř skupin. První skupinou jsou regulační služby, čímž jsou myšleny užitky spojené s regulací přírodních procesů (v případě MZI např. odtoku, redukce povodňového rizika), dále kulturní služby, jež jsou definovány jako nemateriální užitky (rekreační funkce), produkční služby, což jsou produkty, které ekosystém člověku poskytuje (plodiny, dřevo, biomasa), a konečně podpůrné služby, tedy poskytování prostoru pro faunu a flóru (tvorba biotopu).

Na MZI lze nahlížet i z pohledu udržitelného rozvoje. Udržitelný rozvoj uspokojuje potřeby současné generace, aniž by byly ohroženy podmínky života budoucích generací. Spočívá ve vyváženém vztahu podmínek pro příznivé přírodní prostředí, hospodářský rozvoj a soudržnost společnosti obyvatel území (Zákon č. 183/2006 Sb., § 18). Bývá tak definován jako rovnováha ekologického (environmentálního), sociálního a ekonomického pilíře (Maier, 2012). Na bázi pilířů udržitelného rozvoje dělíme přínosy MZI jako environmentální, sociálně-psychologické a ekonomické.

2.2.1 Environmentální přínosy

Aplikace opatření na bázi MZI přináší řadu environmentálních benefitů od zlepšení hydrologického cyklu v městském prostředí po zmírnění tepelného ostrova města.

Vzhledem k nárůstu nepropustných ploch ve městě dochází k zrychlení povrchového odtoku a zvýšenému odtoku do kanalizace. MZI může napomoci tento odtok výrazně zpomalit a snížit jeho objem. Díky tomu dochází ke snížení nároků na energii a poplatků spojené s jeho čištěním (Dreiseitl, Wanschura a kol., 2016). Pomáhá také snížit riziko

povodní, protože dochází ke snížení kulminačních průtoků přívalových srážek. Podrobněji se problematice vody v městském prostředí věnuje *kap. 2.4 Hospodaření s dešťovou vodou*.

Přínos MZI lze spatřit i v otázce městského klimatu. MZI podporuje evapotranspiraci. Dřevinná vegetace odpařováním vody a zastíněním povrchů snižuje teplotní výkyvy a zlepšuje tak mikroklima (Pokorný, 2014). Listnatý strom, jenž je dobře vodou zásoben, dokáže během jediného dne odpařit až 400 litrů vody. Z ovzduší na to odčerpá 280 kWh tepelné energie. V noci při kondenzaci tuto energii vodní pára uvolní a vzniká rosa (Šerá, 2015). Vzhledem k rozdílnému zahřívání vzduchu nad zastavěnými plochami (včetně vyasfaltovaných a vydlážděných ploch) a nezastavěnými plochami s vegetací se zvyšuje lokální proudění vzduchu (Jim, He, 2011). Díky výměně vzduchu je podporována samočistící schopnost vzduchu (Šerá, 2015).

Dalšími environmentálními přínosy, které MZI přináší, je zlepšení kvality ovzduší. Zeleň má schopnost odbourávat škodlivé plyny, které jsou produkovány průmyslem či dopravou. Kromě plynných látek má zeleň vliv i na pevné látky. Stromy jsou schopné zachytit na svých listech prachové částice, které na sebe vážou řadu toxických látek, např. těžkých kovů. 1 ha jehličnatého lesa zachytí 30–35 t prachu za rok, listnatý les o stejné výměře až 70 t prachu za rok (Šerá, 2015). Prvky městské zeleně navíc fungují jako protihluková bariéra. Platí, že čím hustší porost, tím je jeho efekt výraznější.

Dalšími environmentálními přínosy jsou například podpora biodiverzity obohacením biotopů a propojením území biokoridory (Dreiseitl, Wanschura a kol., 2016), redukce oxidu uhličitého či eliminace erozní činnosti prostřednictvím zpevnění půdy kořeny či zatravněním (Machač a kol., 2019).

2.2.2 Sociálně-psychologické přínosy

MZI je faktorem, jenž zvyšuje kvalitu veřejných prostor. Zeleň a voda je hodnocena obyvateli či návštěvníky měst kladně. Lidské oko se při pohledu na modrou a zelenou barvu méně namáhá, proto pohled na vegetaci či vodní plochu člověka uklidňuje. Jak uvádí Dannhoferová (2012), modrá barva zklidňuje a působí jednotně a chladně. Bývá spojována s relaxací a dálkou. Zelená barva má rovněž uklidňující účinek. Působí příjemně, rovněž chladně, vyvolává pocit harmonie. Oproti tomu šedá barva, která je považována za zašpiněnou bílou nebo nedokonalou černou, působí nevýrazně, špinavě, někdy až depresivně.

Zeleň působí pozitivně na lidské zdraví a duševní pohodu. Bylo prokázáno, že u obyvatel města, jejichž domovy obklopují plochy zeleně, se mnohem méně vyskytují duševní nemoci (Nilsen, Hansen, 2007). Harting (2006) uvádí, že zeleň ve městech má vliv na rychlejší zotavení pacientů po operacích, snižuje bolest, únavu a navozuje pocit pohody. Na druhou stranu neudržovaná zeleň, kterou lze často najít na periférii města, nevypadá dobře a nemá tak kladný efekt jako udržovaná zeleň (Šerá, 2015).

Zelené a modré prvky ve městě tak mohou navodit určitý komfort. Díky své estetické funkci dotváří MZI architektonický charakter městských částí či městských objektů (Šerá, 2015). Gehl (2012) uvádí, že stromy, parková úprava i květiny hrají podstatnou roli mezi prvky městského prostoru. Stromy dávají v horkých letních dnech stín, ochlazují a čistí vzduch, definují městský prostor a pomáhají akcentovat důležitá místa. Veřejné prostory s prvky MZI slouží jako významný bod občanské identity (Dreiseitl, Wanschura a kol., 2016).

Úspěšné projekty, které zvýší atraktivitu města, kvalitu života a spokojenost obyvatel, mohou posloužit městu k vytváření pozitivní image města pro firmy, nové obyvatele nebo návštěvníky. Takové město se pak může označovat jako „Blue-green city“ nebo „Water sensitive city“ (Kopp, Raška a kol., 2017). Úspěšná implementace MZI může posloužit jako názorná ukázka pro účely výuky.

2.2.3 Ekonomické přínosy

Aplikace modro-zelené infrastruktury do městského prostoru má vliv na ceny nemovitostí. Díky atraktivnějšímu okolí se hodnota nemovitostí zvyšuje (Dreiseitl, Wanschura a kol., 2016). Vzhledem ke zlepšení mikroklimatu a snížení prašnosti je městská populace zdravější a spokojenější, což snižuje náklady na zdravotní péči. Podobně lze nahlížet i na modro-zelená opatření v otázce povodní. Díky vynaloženým nákladům v podobě MZI je sníženo riziko, že bude daná oblast povodněmi postížena. Je tak ochráněn majetek a zdraví lidí, lze tedy říci, že jsou ochráněny náklady na případné řešení škod, jež by povodeň způsobila.

2.3 Green Area Factor

Green Area Factor (GAF) je ukazatelem udržitelnosti městských lokalit a také nástrojem pro zlepšení modro-zelené infrastruktury na soukromých pozemcích. Nástroj byl vyvinut již v roce 1997 v Berlíně pod názvem Biotope Area Factor (IWater Project, 2020). Poté vzniklo několik dalších regionálních ukazatelů – The Seattle Green Factor, The Green Infrastructure Score of North West England, Stockholm’s Green Space Factor aj. Ukazatele modro-zelené infrastruktury (GAF) je možné použít k řešení environmentálních výzev ve městě, příkladem může být tepelný ostrov města, znečištění ovzduší či zvýšený povrchový odtok srážkové vody.

Metodika výpočtu jednotlivých indexů zmíněných výše se zásadně neliší (Vartholomaios a kol., 2013). Rozdíl je v určení faktoru (váhy), které mohou mít jednotlivé ukazatele rozdílný.

$$GAF = \frac{\sum_i (\text{faktor}_i \cdot \text{plocha}_i)}{\text{celková plocha}}$$

GAF se počítá jako suma ekologicky účinných povrchů, která je dána do poměru k celkové ploše zájmového území. Ukazatelé počítají s různým využitím územím, proto lze nastavit různé minimální či cílové hodnoty. Nástroj dle Iwater Project (2020) neřeší veřejné prostory. Pro ně je třeba citlivě stanovit cílové hodnoty. Příliš nízké cíle by mohly narušit environmentální přínosy, naopak příliš vysoké by mohly narušit přijatelnost nástroje uživateli veřejného prostoru.

2.3.1 Helsinki Green Factor

Helsinki Green Factor vznikl v letech 2012–2014 v rámci projektu Climate-Proof City – Tools for Planning. Cílem bylo vytvořit plánovací nástroje, které pomohou urbanistům rozvíjet klimaticky odolné město (Climate-proof city, 2014).

Na stanovení faktoru HGF jednotlivých prvků se podílí takzvané „individuální skóre“ a „expertní skóre“. Individuální skóre se hodnotí 0 až 3 body, zahrnuje kategorie ekologie (biodiverzita, zachycení a čištění srážkové vody), funkčnost (přívětivé mikroklima, rekreace, výchova k životnímu prostředí), městská krajina (amenitní hodnota, výsadní krajinné prvky), a údržba (roční údržba).

Později byla doplněna ještě jedna kategorie – srážková voda (zachycení a čištění srážkové vody). Aktualizace ukazatele tak přinesla větší důraz na hospodaření s dešťovou vodou. Body byly přiřazeny na základě studií o ekologickém a sociálním dopadu jednotlivých prvků (City of Helsinki, 2016).

Autoři tohoto ukazatele nevycházeli pouze ze studií. Zorganizovali rovněž rozhovory s experty v oboru (územní plánovači, krajinní architekti, developeri, odborníci v oblasti ochrany životního prostředí). Na základě těchto rozhovorů vzniklo expertní skóre budoující jednotlivé kategorie.

Konečné skóre prvku je dáno jako vážený průměr individuálního skóre vynásobený expertním skórem, součin probíhá ve všech kategoriích. Výpočet je ukázán níže v *tabulce 1*.

Tab. 1: Ukázka výpočtu konečného skóre prvku Helsinki Green Factor

	Ekologie	Funkčnost	Krajina	Údržba	Srážková voda	
Expertní skóre	1,59	1,51	0,84	0,7	1,25	
Individuální skóre	Ekologie	Funkčnost	Krajina	Údržba	Srážková voda	
Zachovalý velký strom v dobrém stavu	3	3	3	2,5	3	
Expertní skóre *						
Individuální skóre	Ekologie	Funkčnost	Krajina	Údržba	Srážková voda	Vážený průměr
Zachovalý velký strom v dobrém stavu	4,77	4,53	2,52	1,75	3,75	3,46

Upraveno dle City of Helsinki (2016)

Výpočet celkového skóre Helsinki Green Factor je již analogický jako u ostatních ukazatelů. Hodnota cílového skóre se liší podle toho, pro jakou oblast tento nástroj je využit. V případě, že je použit pro rezidenční lokalitu, je třeba dosáhnout skóre **0,9**; u lokality, kde dominují kancelářské budovy, činí cílové skóre hodnoty **0,8**. Nástroj počítá ještě se dvěma kategoriemi, a to komerční lokalita, pro niž je cíl dosáhnout hodnoty alespoň **0,7**; průmyslová lokalita, kde nástroj stanovuje cílové skóre **0,5**.

2.4 Hospodaření s dešťovou vodou

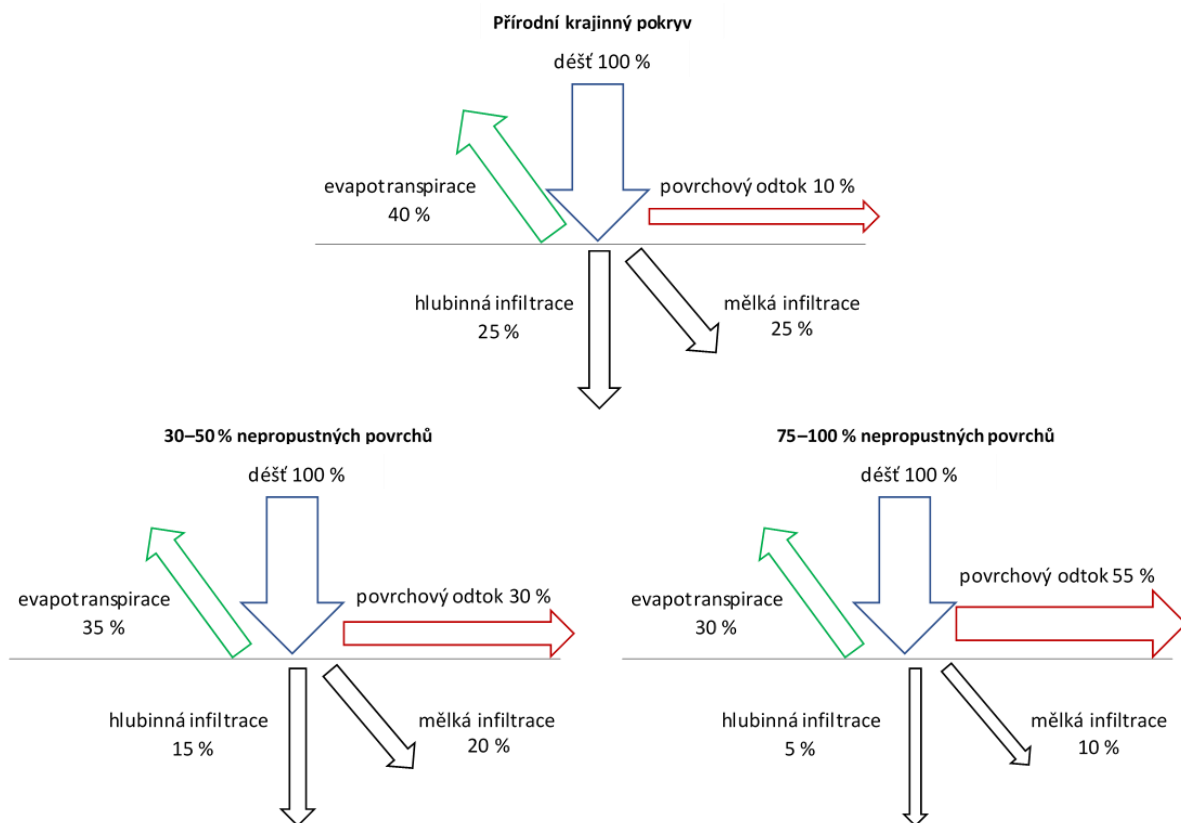
Hospodaření s vodou ve městě se postupně mění se sídelním vývojem. Primárními úkoly v minulosti bylo zajištění pitné vody pro domácnosti, nakládání s odpadními vodami, jejich vedení do vodního toku a později jejich čištění v čisticí stanici odpadních vod. Tyto úkoly jsou stále aktuální. Objevují se nové postupy čištění vody nebo výroby pitné vody, rozvíjí se plánování technické infrastruktury. Ve městech se ovšem voda využívá i pro její další funkce, například rekreační, sociální, estetická, hygienická, ekologická a klimatická (Kopp, Raška a kol., 2017).

V současnosti je stěžejním úkolem změna hospodaření s dešťovou vodou. Účelem městského odvodnění v minulosti byla ochrana intravilánu před zvýšeným povrchovým odtokem srážkové vody a také zajištění hygieny. Byly tak vybudovány systémy městského odvodnění, které společným potrubím odváděly dešťovou i splaškovou vodu mimo město. Později došlo k oddělení splaškových a dešťových vod (Vítek a kol., 2015).

Klasický způsob odvodnění je dlouhodobě neudržitelný. Neudržitelnost má dvě příčiny – změna klimatu, která s rostoucí teplotou přináší zvýšený výpar z území a také změnu režimu srážek, a urbanizace (Vítek a kol., 2015).

Pro město je typický vysoký podíl nepropustných ploch (komunikace, chodníky, parkoviště, střechy budov aj.). Voda dopadající na povrch urbanizovaného povodí se nemůže přirozeně vsakovat do podloží, je i snížena úroveň celkového výparu. Oproti povodí s přirozeným vegetačním krytem je výrazně zvýšen povrchový odtok, a to až o 45 %. Voda odtéká po nepropustných površích do dešťových vpustí, jež odvádějí srážkovou vodu pryč z urbanizovaného prostředí a v povodí tak prakticky nezůstává (viz obr. 1).

Dané schéma je pouhým modelem, neplatí pro celý svět. Existuje několik faktorů, které rozdělení vody dopadající na povrch určuje (Kopp, Raška a kol., 2017). Mezi faktory autoři řadí klimatické poměry, množství a intenzitu srážek, podpovrchové prostředí, evapotranspirační podmínky, odtokové podmínky (sklonitost) a časoprostorový rámeček hydrologické bilance.



Obr. 1: Hydrologická bilance přírodního a urbanizovaného prostředí

Upraveno dle Perini, Sabbion (2017)

Omezená možnost infiltrace v urbanizované krajině přináší snížení podzemní vody v hlubších zásobách podzemních vod. Dalším problémem je chybějící voda v půdě, která je důležitá pro transpiraci rostlin a evaporaci (Kopp, Raška a kol., 2017). Hladina podzemní vody se tak postupně snižuje. Při nedostatečném zásobení vodou nemůže vegetace sloužit jako nejlevnější a nejprogresivnější klimatizační zařízení ve městě (Vítek a kol., 2015).

Zvýšený objem povrchového odtoku a jeho rychlosti přináší změnu hydrologického režimu, která se projevuje častějším výskytem lokálních povodní (Tetzlaff a kol., 2005). Ty způsobují škody na hmotném majetku v okolí toku, případně i na zdraví. Významný je i efekt na vodní tok prostřednictvím přepadů z dešťových oddělovačů jednotné kanalizace a odtoků z dešťové kanalizace (Vítek a kol., 2015).

Důsledkem velkého objemu povrchového odtoku může být překročení kapacity stokového systému, které se projevuje vystoupením vody do úrovně sklepních prostorů či přímo na terén, kdy dochází k rozlivu do okolního prostoru. Dalším důsledkem je transport

znečišťujících látek akumulovaných na nepropustných urbanizovaných plochách do systému odvodnění a následně do vodního toku (Vítek a kol., 2015).

Konvenční způsob odvodnění, který je založen na rychlém odvedení vody z nepropustných povrchů nebo staveb do recipientu, předpokládá, že voda získaná z deště je problémem. Podstata HDV vychází z jiných zásad, než je konvenční způsob odvodnění (Vítek a kol., 2015). Cílem je napodobit přirozený hydrologický režim, a to zejména díky systému decentrálních objektů. Výhodou decentrálního systému oproti centrálnímu je řešení problému v místě dopadu srážky. Decentrální způsob odvodnění tak srážkovou vodu vsakuje nebo ji zadržuje, případně zpomaluje její odtok. Díky tomu je možné se přiblížit k přirozenému koloběhu vody v urbanizované krajině a dochází tak ke zmírnění důsledků urbanizace a změny klimatu. Zároveň je více chráněn majetek a zdraví obyvatel před povodněmi (MŽP, 2019). Dosavadní centralizovaný systém ve městech není třeba rušit, je ale vhodné ho doplnit o prvky decentrálního systému (Kopp, Raška a kol., 2017).

Vhodně zvolený způsob HDV v zastavěných plochách může nabídnout podobný přínos jako jsou v přírodě mokřady, listnaté lesy či louky. V urbanizovaném prostředí se zavádějí retenční objekty, průlehy aj. Tyto modré prvky lze kombinovat i se zelenými prvky. Na samotných základech HDV tak stojí modro-zelená infrastruktura. Propojení vodohospodářského účelu se zelení působí synergicky a přináší řadu pozitiv jako například zvýšený komfort bydlení (viz *kap. 2.2 Přínosy modro-zelené infrastruktury*).

Důvody, proč se zavádí nový systém péče o vodu, je možné shrnout do tří bodů (Kopp, Raška a kol., 2017):

1. Zadržet a efektivně využít srážkovou vodu tam, kde dopadá
2. Omezit zrychlený povrchový odtok do jednotného kanalizačního systému a jeho přetoky do vodních toků
3. Podpořit výpar z vodních ploch, mokřadů a městské zeleně a tím snížit vliv přehřátých povrchů městských povrchů

2.4.1 HDV v české legislativě

Základním právním rámcem pro aplikaci HDV tvoří Politika územního rozvoje ČR a Národní plány povodí ČR (dříve Plán hlavních povodí ČR). Zákonů, které popisují HDV, je více.

Zákon č 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), udává povinnost hospodařit se srážkovými vodami přímo na pozemku stavby. V § 5, odstavci 3, se mimo jiné píše:

„Při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání jsou stavebníci povinni ... zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby v souladu se stavebním zákonem.“

Vodní zákon aplikaci HDV požaduje u novostaveb, ale rovněž i u stávající zástavby při provádění změn. Tím je v rozporu se stavebním zákonem, který ukládá povinnost aplikace HDV pouze u novostaveb (Vítek a kol., 2015).

Ve **vyhlášce č. 501/2006 Sb.**, o obecných požadavcích na využívání území, se v § 20, odstavci 5, písmenu c řeší konkrétní priority z hlediska způsobu hospodaření s dešťovou vodou. Dle tohoto paragrafu má být na pozemku upřednostněno vsakování srážkové vody, pokud není předpoklad jiného využití (zálivka, splachování toalety aj.).

Konkrétně se uvádí:

„Stavební pozemek se vždy vymezuje tak, aby na něm bylo vyřešeno

c) vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití, přitom musí být řešeno

- 1. přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování*
- 2. jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení*
- 3. není-li možné oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.“*

Další vyhláškou, která řeší HDV, je **Vyhláška č. 268/2009 Sb.**, o technických požadavcích na stavby, která ukládá povinnost mít u staveb zajištěn odvod srážkových vod, pokud tyto vody nejsou jinak využity. S tím souvisí **Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)**, který ukládá povinnost vlastníkovu vodovodu či kanalizace umožnit napojení jiného vlastníka, pokud je to technicky možné. V § 20 je dána povinnost platit za odvádění srážkových vod. Vztahuje se tak na vody, které jsou odvedeny do kanalizace z jiných ploch než dálnice, silnice, místní komunikace, plochy drah, zoologických zahrad a ploch nemovitostí.

Tento zákon je prováděn **Vyhláškou č. 428/2001 Sb.**, podle níž se stoková síť navrhuje dle pravidel *ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov*. Dle Vítka a kol. (2018) byla norma přijata ještě před zavedením principů HDV do české legislativy. Není tak známo regulované množství návrhové srážky, stoka je tak navrhována předimenzovaně.

Tato vyhláška v Příloze 16 udává vzorec pro výpočet množství srážkových vod odváděných do kanalizace:

$$Q[\text{m}^3] = \text{suma redukovaných ploch} [\text{m}^2] \cdot \text{dlouhodobý srážkový normál} [\text{mm}/\text{rok}]$$

Plocha je redukována odtokovým součinitelem, který přímo závisí na druhu plochy. V případě, že je možnost odtoku do kanalizace, je u těžce propustných zpevněných ploch, zastavěných ploch (střechy s nepropustnou horní vrstvou, asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár, zámkové dlažby) stanoven odtokový koeficient hodnoty 0,9. Tato kategorie je v normě vedena jako *Plocha typu A*. *Plocha typu B* je definována jako propustné zpevněné plochy (upravené zpevněné štěrkové plochy, dlažby se širšími spárami vyplněnými materiálem umožňujícím zasakování). Pokud je umožněn odtok do kanalizace, nabývá odtokový koeficient hodnoty 0,4. *Plochou typu C* se rozumí plochy kryté vegetací, zatravněné plochy (sady, hřiště, zahrady, komunikace ze zatravněvaných a vsakovacích tvárnic). Za předpokladu, že je umožněn odtok do kanalizace, redukuje odtokový koeficient plochu hodnotou 0,05. Tento výpočet slouží pro účely výpočtu stočného.

Na normu *ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov* navazuje *ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace* z roku 2014. Norma platí pro navrhování, provádění, zkoušení a provoz

gravitačních systémů vnitřní kanalizace. Mimo jiné stanovuje výpočet odtoku srážkových vod z odvodňované plochy:

$$Q_r = i \cdot A \cdot C$$

kde i je intenzita deště pro dimenzování potrubí vnitřní kanalizace, A je půdorysný průmět odvodňované plochy nebo účinná plocha střechy a C je součinitelem odtoku. Na rozdíl od výpočtu množství srážkových vod odváděných do kanalizace je součinitel odtoku podrobněji kategorizován, a to podle druhu odvodňované plochy a sklonu povrchu. Jednotlivé kategorie jsou uvedeny v *tab. 2*.

Tab. 2: Součinitel odtoku srážkových vod (C)

Druh odvodňované plochy, druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
	do 1 %	1–5 %	nad 5 %
	Součinitel odtoku srážkových vod C		
Střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce do 100 mm (vegetační střechy)	0,7	0,7	0,8
Střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce 100–250 mm (vegetační střechy)	0,4	0,4	0,5
Střechy s propustnou horní vrstvou o tloušťce nad 250 mm (vegetační střechy)	0,3	0,3	0,3
Střechy s vrstvou kačírku (šterku) na nepropustné vrstvě	0,9	0,9	0,9
Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1	1	1
Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 m ²	0,9	0,9	0,9
Asfaltové a betonové plochy, dlažby se zálivkou spár	0,7	0,8	0,9
Dlažby s pískovými spárami	0,5	0,5	0,7
Upravené šterkové plochy	0,3	0,4	0,5
Neupravené a nezastavěné plochy	0,2	0,25	0,3
Komunikace ze zatravnovacích nebo vsakovacích tvárníc	0,2	0,3	0,4
Sady, hřiště	0,1	0,15	0,2
Zatravněné plochy	0,05	0,1	0,15

Upraveno dle ČSN 75 6760 *Vnitřní kanalizace (2014)*

Pro projektování objektů hospodaření s dešťovou vodou jsou určeny dvě normy. ČSN 75 9010 *Vsakovací zařízení srážkových vod* určuje pravidla návrhu, výstavby a provozu povrchových a podzemních vsakovacích zařízení a popisuje rozsah a způsob realizace geologického průzkumu za účelem zjištění podmínek pro vsakování. Tato norma neřeší HDV

komplexně, řeší pouze však na jednotlivých pozemcích. Proto ji doplňuje norma *TNV 75 9011 - Hospodaření se srážkovými vodami*, která řeší nakládání se srážkovými vodami. Tato norma slouží jako návod pro návrh a provoz odvodnění urbanizovaného území způsobem blízkým k přírodě. Norma popisuje nakládání se srážkovými vodami zejména na pozemku stavby (tedy decentrální způsob odvodnění), ale jsou rovněž popisována i centrální opatření z toho důvodu, aby vznikl funkční systém přírodě blízkého odvodnění. Norma rovněž obsahuje i opatření, která vedou ke snížení či prevenci srážkového odtoku.

2.5 Koncepce řešení odtokových poměrů města Plzně

V roce 2020 pořídilo město Plzeň strategický dokument – Koncepti řešení odtokových poměrů města Plzně [KOP] (DHI, 2020). Podkladem pro řešení KOP byl územní plán města Plzně schválený roku 2016, Generel odvodnění města Plzeň aktualizovaný v roce 2013, historické srážkové časové řady ČHMÚ pro Plzeň z let 1999–2009, klimatologická a hydrologická data ČHMÚ, data Povodí Vltavy, Adaptační strategie města Plzně, jejíž vizí je snížit zranitelnost a zajistit odolnost města Plzně vůči dopadům změny klimatu s využitím vhodných adaptačních opatření. Dalším podkladem pro zpracování koncepce byl Strategický plán města Plzně z roku 2018, kde jedním z cílů je zlepšení životního prostředí ve městě, zejména hospodaření s vodami a udržení ploch zeleně. Dalšími podklady byly jednoznačné plochy Generelu zeleně, hydrogeologické podklady, podklady znečištění povrchu území, mapy rozlivů toků a mnohé další.

Tato koncepce je již zpracována podle současné legislativy a nového vodohospodářského trendu, který město lépe ochrání před přívalovými srážkami a před obdobími sucha. Jedná se tak o odklonění od centrálního (konvenčního) systému odvodnění k tomu decentrálnímu. Podstatou decentrálního systému odvodnění je využití srážkové vody na pozemku, kde dopadne, tedy jestli se bezpečně vsákne do půdy či bude zpomalen její odtok do recipientu či kanalizace.

KOP počítá se zavedením principů HDV u novostaveb, u stávajících objektů pouze tam, kde je to možné a vhodné. Díky tomu by měla být méně zatížena kanalizační síť, svodnice a vodní toky při intenzivních srážkách. Zvýší se i dotování podzemní vody.

Koncepce také stanovuje pravidla odvodnění staveb a stavebních pozemků. Objekt pro decentrální systém odvodnění musí být nedílnou součástí odvodňované stavby. Limitem pro odtok srážkové vody ze stavebního pozemku je takzvaný specifický odtok. Pokud nejsou návrhové parametry odvodnění, může specifický odtok dosahovat nejvýše $q_{\max} = 4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$. Odvodnění pozemku prostřednictvím decentrálního systému odvodnění se skládá ze žlabů a potrubí, jimiž je srážková voda svedena do retenčního objektu, odkud odtéká přes regulátor odtoku do vodoteče či kanalizace. Pokud jsou na pozemku vhodné podmínky pro zasakování, je retenční objekt zároveň i objektem vsakovacím nebo je s ním

alespoň propojen. Objem retenčního objektu je dimenzován podle toho, jaký je maximálně povolený odtok daný specifickým odtokem (v případě Plzně $q_{\max} = 4 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$) a jaký objem srážkové vody se vsákne do podloží. Kapacita retenčního objemu nesmí být překročena více než jednou během pěti let. Mohou nastat situace, kdy je odvodnění stavby zatíženo velmi intenzivní srážkou nebo dojde k selhání funkce škrtkového zařízení na odtoku, proto musí retenční zařízení být vybaveno bezpečnostním přelivem. Dalším pravidlem, které retenční objekt musí splňovat, je včasné vyprázdňování, aby byl schopen přijmout novou srážku a nedošlo k přetečení. Doporučená doba vyprázdnění je stanovena na 8 hodin, jako maximální dobu koncepce uvádí 24 hodin.

Dle Adaptační strategie města Plzně (UrbanAdapt, 2017), která je rovněž zahrnuta v Koncepci odtokových poměrů, dochází v Plzni k nedostatečnému zasakování srážkových vod, což vede ke zvýšenému riziku přívalových povodní. Druhým hydrologickým extrémem, který Plzeň rovněž postihuje, je vzhledem ke zhoršení retenční kapacity i sucho.

Adaptační strategie neřeší jen problémy s vodou, které umocňuje změna klimatu. Cíle adaptační strategie města Plzně jsou:

1. snížit negativní vliv extrémních teplot, vln horka a městského tepelného ostrova na zdraví citlivých skupin obyvatel
2. snížit dopady přívalových dešťů, povodní a dlouhodobého sucha a tím zajistit stabilní vodní režim ve městě a ve volné krajině
3. snížit energetickou náročnost a podpořit adaptaci budov
4. zlepšit připravenost v oblasti mimořádných událostí a krizového řízení
5. zlepšit podmínky v oblasti environmentálního vzdělávání, podpořit monitoring a výzkum

Těchto cílů (zejména cíle 1 a 2, případně i 3) lze dosáhnout vhodnou aplikací modro-zelené infrastruktury. Strategie tak počítá s nárůstem zelených a modrých ploch ve městě, tedy nárůstu městské zeleně, parků, vegetačních pásů, jezírek, nádrží, mokřadů či vodotečí. Dalšími modro-zelenými, ale i šedými opatřeními, jsou (polo)propustné zpevněné povrchy, vsakovací průlehy, povrchová vsakovací zařízení doplněná zelení, podzemní vsakovací či retenční objekty, zelené či štěrkové střechy, zelené fasády, retenční dešťové nádrže aj.

Je možné také srážkovou vodu vést žlaby do míst, kde se dokáže vsáknout. Pomoci může i odstranění nebo zapuštění obrubníků nebo úprava terénu.

Koncepce odtokových poměrů a Adaptační strategie nejsou jedinými plánovacími dokumenty, které se zabývají problematikou modro-zelené infrastruktury či hospodaření s dešťovou vodou. Jejich zaměření shrnuje *tabulka č. 3*.

Tab. 3: Zaměření plzeňských plánovacích dokumentů

Zaměření plánovacích dokumentů	Krajinný pokryv a využití ploch	Zelené sítě	Vodní biokoridory	Hydrologické procesy	Ekosystémy	Veřejný prostor	Hospodaření s dešťovou vodou	Adaptace na změny klimatu	Ekosystémové služby
Revitalizace nábřeží plzeňských řek – územní studie (2011)			klíčové téma						
Program rozvoje města Plzně - aktualizace (2013)			dílčí téma						
Generel odvodnění města Plzně (2013)				klíčové téma			klíčové téma		
Generel veřejných prostranství v Plzni (2016)					dílčí téma	klíčové téma			
Generel zeleně města Plzně - aktualizace (2016)		dílčí téma			klíčové téma				
Analýza možností podpory zelených střech (2016)							dílčí téma		dílčí téma
Územní plán Plzeň (2016)	klíčové téma	klíčové téma	dílčí téma						
Adaptační strategie města Plzně (2017)	dílčí téma							klíčové téma	klíčové téma
Strategický plán města Plzně (2018)		dílčí téma	dílčí téma					klíčové téma	
Požadavky na řešení dešťových vod Plzeň - Metodický podklad (2018)				dílčí téma		klíčové téma	klíčové téma		
Koncepce odtokových poměrů města Plzně (2020)	klíčové téma		dílčí téma	klíčové téma				dílčí téma	

klíčové téma
dílčí téma

Zdroj: Kopp a kol. (2020)

3 Analytická část

3.1 Základní informace o kampusu

Kampus Západočeské univerzity leží na periférii města, v městské části Borská pole. V době položení základního kamene univerzitního kampusu, v roce 1985, nebyla na Borských polích téměř žádná zástavba. Využití půdy odpovídalo poloze, tedy extravilánu města Plzně. Rozkládala se zde rozsáhlá pole, ale i letiště.

Na počátku 90. let, konkrétně v roce 1992, se do kampusu přemístila první fakulta, a to konkrétně Fakulta strojní [FST]. Do budovy Fakulty strojní se přestěhovala také Fakulta aplikovaných věd [FAV]. V 90. letech se kampus rozrostl ještě o rektorát, menzu, tělocvičnu a Centrum informatizace a výpočetní techniky [CIV]. CIV je s Fakultou strojní propojen mostem. V letech 1999–2001 se stavěla budova univerzitní knihovny, která je stavebně přímo propojena s budovou CIV. V roce 2004 byla dokončena budova Fakulty elektrotechnické [FEL].

O osm let později byla v kampusu zkolaudována budova Fakulty designu a umění Ladislava Sutnara [FDULS] a výzkumné centrum Regionální technologický institut [RTI], které je propojeno s budovou Fakulty strojní. V roce 2014 byla dostavěna nová budova Fakulty aplikovaných věd a výzkumného centra Nové technologie pro informační společnost [NTIS]. Ve stejném roce byla dokončena přístavba univerzitní knihovny. V roce 2015 byla v kampusu dostavěna již třetí budova výzkumného centra, tentokrát Regionálního inovačního centra elektrotechniky [RICE], budova je přímo propojena s Fakultou elektrotechnickou. O rok později se do kampusu přestěhovala Fakulta ekonomická [FEK], která se nyní nachází v prostorech, které uvolnila Fakulta aplikovaných věd (Modrá, 2016).

Dosud poslední výstavbou přímo v kampusu byla přístavba vysokoškolské menzy v roce 2018. O rok později byla vybudována do kampusu nová přístupová cesta, došlo k dostavbě tramvajové trati na Borská pole.

Kampus v současné podobě znázorňuje *obr. 2*.

Zájmové území bylo určeno jako lokalita ohraničená z jihu Univerzitní ulicí, ze západu ulicí U Letiště, ze severu tramvajovou tratí a z východu přeštickým přivaděčem. Do zájmového území není počítána čerpací stanice ležící u křižovatky ulic Univerzitní a Dobřanská.

Univerzitní areál netvoří pouze budovy, nýbrž i prostor mezi nimi (*viz obr. 3*). Vyskytují se zde veřejná prostranství typická pro univerzitní kampus, ovšem i lokality typické pro extravilán města.

Centrem kampusu je univerzitní park, který se nachází v prostoru mezi vysokoškolskou menzou a Fakultou strojní. Prostor před tělocvičnou nabízí sportovní vyžití, kromě fotbalového hřiště je zde vybudováno i workoutové hřiště. Naopak kulturní potenciál má tzv. zikkurat umístěný mezi FDULS a RICE. Na rozdíl od zikkuratů známých z Mezopotámie má tento zikkurat tři stěny osázené nízkými keři a zbývající stěna je travnatá. Vrch zikkuratu je rovněž travnatý.

Jižní část zájmového území, prostor před FEL a RICE, zaujímá rozsáhlé parkoviště. Západně se od něj nachází točna autobusů městské hromadné dopravy, která po dostavbě tramvajové tratě je podstatně méně využívána než v minulosti. Další parkoviště se nachází na samém JZ okraji zájmového území a východně od budovy NTIS.

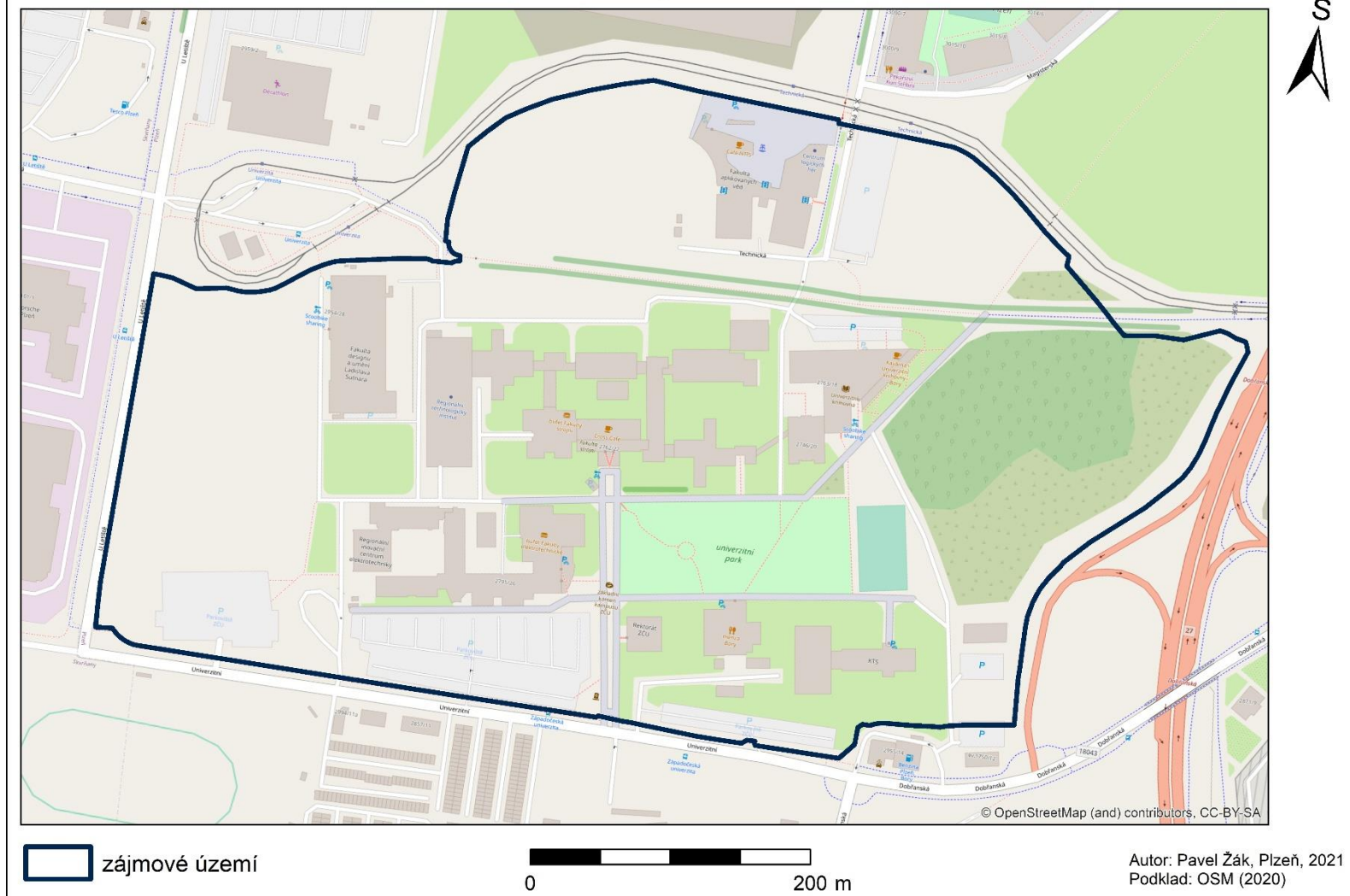
V zájmovém území se ovšem vyskytují i místa, která by byla typická spíše pro extravilán města. Východně od univerzitní knihovny se rozkládá les, který vznikl díky sekundární sukcesi. Lokalita byla původně skládka zeminy vzniklá při stavbě univerzitního areálu.

Mezi FAV a zbytkem kampusu se nachází stromová alej. Ta je od roku 2001 registrována jako významný krajinný prvek na území města Plzně. Lokalita je chráněna pro krajinářský a dendrologický význam (Odbor ŽP města Plzně, 2020).

Posledními lokalitami, které ještě nebyly stručně popsány, jsou nezastavěné plochy na severu a západě zájmového území. Zatímco pozemky nezastavěných ploch poblíž FAV patří městu Plzeň, lokalita na západě kampusu je v majetku Západočeské univerzity. Tyto lokality jsou v územním plánu města Plzně (ÚKRMP, 2016) označeny jako „3_64a Západočeská univerzita“. V těchto lokalitách se má rozvíjet charakter veřejné infrastruktury pro občanské vybavení. Konkrétně se uvádí využití pro vysoké školství.

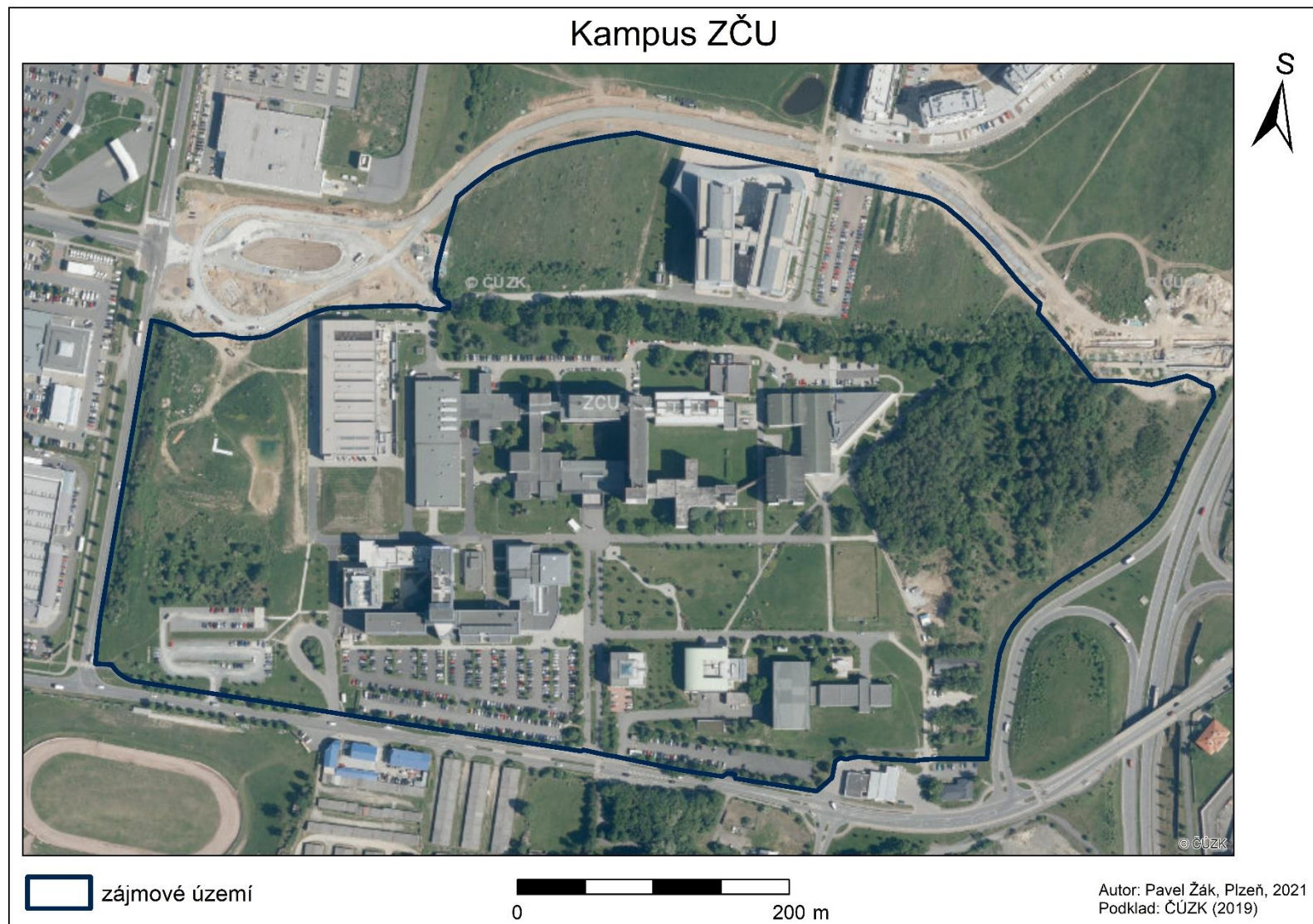
Rozvoj univerzity je řešen ve strategickém dokumentu Dlouhodobý záměr ZČU 2016–2020 (ZČU, 2015). V otázce rozvoje infrastruktury jsou řešeny rekonstrukce budov, rozšíření prostor, inovace prostor pro výzkumně orientované doktorské a navazující studijní programy, rozšíření telemetrické sítě aj. Bohužel se v dokumentu nemluví o rozvoji modro-zelené infrastruktury ani o rozvoji univerzitního kampusu na Borských polích.

Kampus ZČU



Obr. 2: Kampus ZČU

Vlastní zpracování



Obr. 3: Kampus ZČU na ortofoto snímku z roku 2019

Vlastní zpracování

3.2 Povrchy

Umístění kampusu Západočeské univerzity na periférii města přináší kombinaci povrchů, které jsou typické pro veřejná prostranství kampusu i lokality v extravilánu města.

Veškeré inventarizované povrchy, plochy a jejich lokalizace jsou uvedeny v *obr. 4*. V zájmovém území bylo detekováno celkem 17 typů povrchů a 3 typy povrchů střešních krytin. V kampusu se nachází 687 solitérních stromů. Další stovky stromů lze nalézt v lese při východním okraji kampusu, případně jako součást náletů v náletové zeleni, takové stromy ovšem nebyly pro potřeby práce počítány.

Cesty jsou v areálu převážně asfaltové. Je to patrně z toho důvodu, že tyto cesty nevyužívají pouze uživatelé kampusu, ale i údržbové vozy či svoz odpadu. Kromě cest je asfalt použit i jako povrch parkoviště na jihu území. Asfalt je položen zhruba na 10 % území kampusu. Vzhledem k tomu, že se v zájmovém území vyskytují i plochy typické pro extravilán města, lze říci, že tento podíl je relativně vysoký.

Dalšími povrchy, které byly využity pro cestní síť, jsou dlažba, beton a štěrk. Před knihovnou dělí veřejné prostranství cestičky z písku. Zatímco dlažba je položena zejména v blízkosti budov (např. při vstupu do FEL nebo FDULS), beton slouží spíše jako povrch pro příjezdovou cestu pro zaměstnance univerzity, zároveň je i základním materiálem pro odvodňovací žlaby, jež byly z kategorie beton vyjmuty. Dlažba byla položena na 4 % zájmového území, beton na 2 %. Povrchem cesty v aleji stromů je převážně štěrk, na východě je v aleji použita zámková dlažba. Štěrk jako jeden ze zástupců polopropustných povrchů pro vodu se vyskytuje zhruba na 2 % území, podíl je zvýšen o parkoviště nacházející se na jihozápadě zájmového území. Písek kromě prostoru před knihovnou je také použit jako základní materiál pro workoutové hřiště. Celkový podíl pískových ploch je zanedbatelný.

V kampusu byly sledovány ještě tři typy nepropustných povrchů. Žula je základním materiálem pro nádvoří Fakulty aplikovaných věd, asfaltová drť byla použita pro potřeby parkoviště poblíž FAV. Velice nízký podíl zaujímá ocel, což je materiál kontejnerů umístěných v lokalitě západně od FDULS.

Dalším typem povrchu použitý v kampusu jsou zatravnovací tvárnice. Ty jsou použity jako materiál pro parkovací místa za Fakultou strojní a Fakultou ekonomickou. Dále se vyskytují při západním okraji Fakulty aplikovaných věd, zde jsou značně zarostlé vegetací.

V kampusu se nevyskytují pouze nepropustné či polopropustné povrchy, ale i ty propustné. Nejvýznamněji se na celkové ploše v kampusu podílí intenzivní zeleň, a to zhruba z 25 %. Jako intenzivní zeleň je počítána tráva, která je pravidelně udržována a sekána. Z obr. 4 je patrné, že se travnaté plochy nevyskytují pouze uvnitř kampusu, nýbrž i při jeho jihozápadním okraji. Z intenzivní zeleně je cíleně vyjmuta kategorie travnaté hřiště pro potřeby koeficientu odtoku.

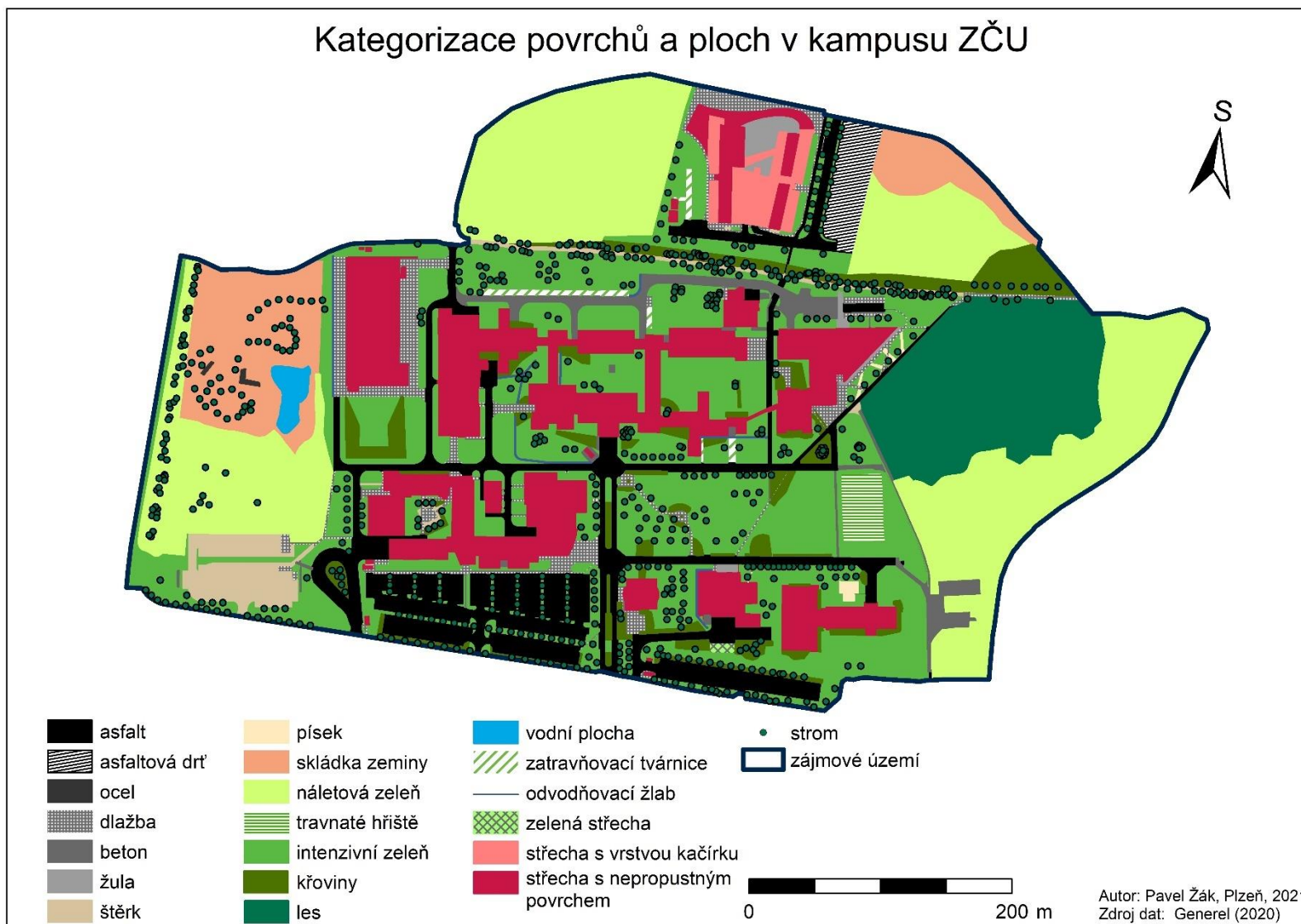
Další kategorií jsou křoviny. Ty dotvářejí vizuální stránku veřejných prostranství přímo v kampusu, Mezi křoviny je počítána i nízká dřevinná vegetace ve stromové aleji.

Již bylo řečeno, že se v kampusu nachází les. Les vznikl sukcesí na skládce zeminy po stavbě prvních budov v kampusu. Les plní funkci environmentální, konkrétně má vliv na zadržení vody v krajině, na mikroklima, slouží jako stanoviště pro živočichy. Plní ovšem i funkci bariéry proti hluku z přeštického přivaděče. Les zaujímá zhruba 7 % zájmového území.

V okrajových částech se nachází ještě dvě stanovené kategorie, a to skládka zeminy a náletová zeleň. Náletová zeleň se vyskytuje na více než pětině plochy území. Jak již z názvu kategorie vypovídá, typické jsou pro ni nálety nízké dřevinné vegetace. Náletová zeleň se nachází při západním, severním i východním okraji zájmového území.

Skládky zeminy zaujímají necelých 6 % území. Zatímco skládka v severovýchodní části kampusu, která vznikla po stavbě tramvajové tratě, je zarovnána do roviny a postupně zarůstá vegetací, v západní části kampusu byly ponechány umělé vyvýšeniny terénu. Obě skládky zeminy se zásadně liší tím, že v té západní byly vysázeny stromy. Jedná se tak poněkud o nevšední místo, které je sice ponecháno ladem, ovšem na kopcích jsou vysázené stromy. Ve vzniklé depresi se nachází vodní plocha. Její rozloha je v čase proměnná, záleží na úhrnu srážek. Na obr. 4 je znázorněna její maximální plocha.

Střechy budov v kampusu mají většinou nepropustný povrch (plech, asfalt aj.), pouze FAV má části střech s vrstvou kačírku. Budova při jižním okraji kampusu, poblíž vysokoškolské menzy, má zelenou střechu.



Obr. 4: Kategorizace povrchů a ploch v kampusu ZČU

Vlastní zpracování

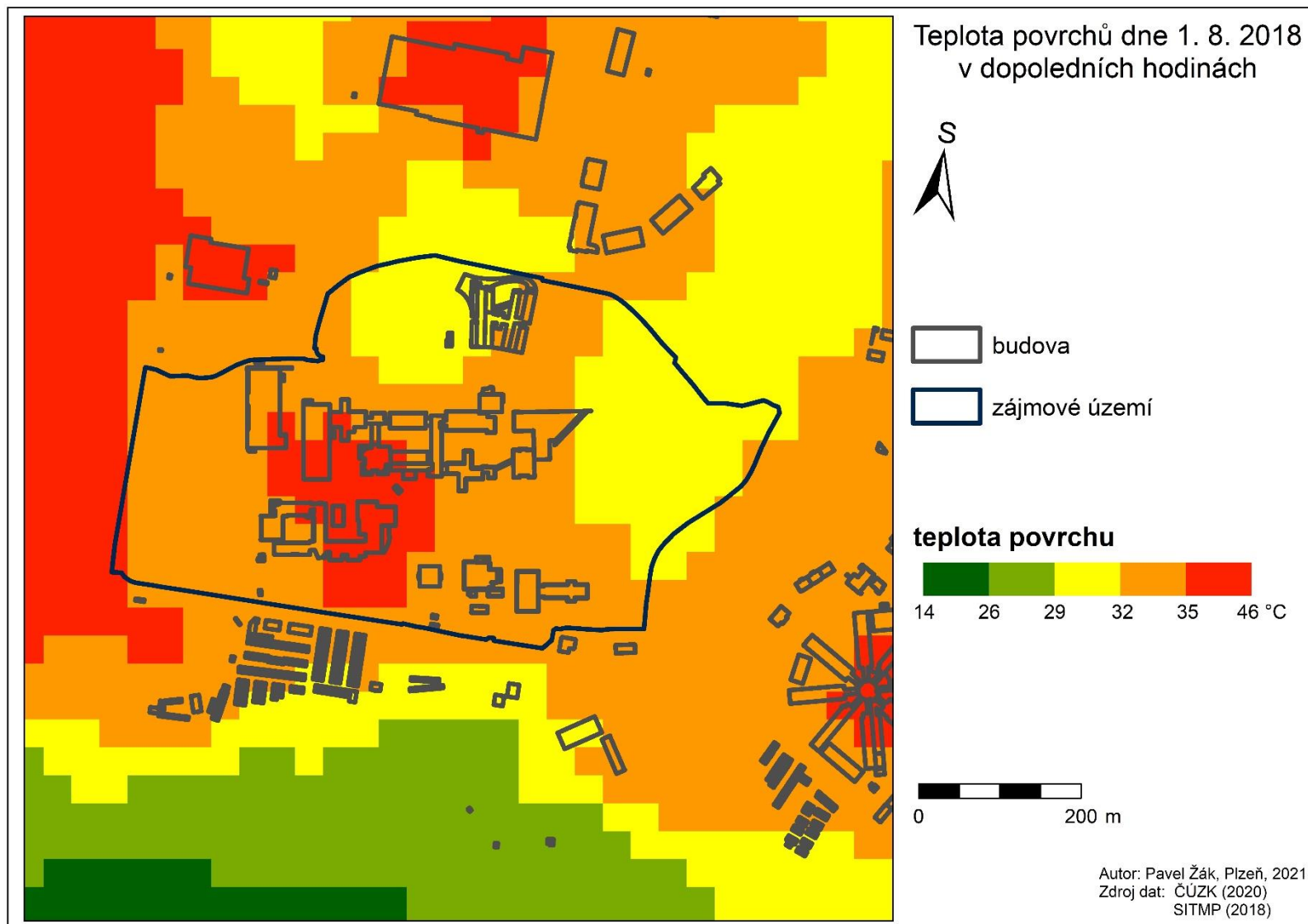
3.3 Termální snímek kampusu

V letech 2015–2018 probíhala ve spolupráci města Plzně a World from Space s.r.o. analýza satelitních snímků města Plzně. Byl sledován vliv zeleně, vody a budov na teplotu povrchu. K hodnocení teploty povrchu byla použita multispektrální data o rozlišení 30 m pocházející z družice Landsat 8. Dále byly použity informace získané analýzou volně dostupných satelitních dat programu EU Copernicus,

Při vlně veder jsou přírodní parky až o 20 °C chladnější než tepelné hotspoty (World from Space, 2018). Těmi jsou zejména průmyslové oblasti, tedy i průmyslová zóna Borská pole. Kampus leží na samém okraji této průmyslové zóny a nevykazuje tak extrémní hodnoty jako samotná průmyslová zóna.

Na přelomu července a srpna roku 2018 probíhala ve střední Evropě vlna veder. Maximální teplota vzduchu ve 2 metrech nad zemí na meteorologické stanici Plzeň-Bolevec dosáhla dne 1. 8. hodnoty 37 °C (ČHMÚ, 2019a). Právě z tohoto dne pochází satelitní snímek Plzně, který byl pořízen patrně v dopoledních hodinách.

Obr. 5 je výřezem tohoto satelitního snímku a představuje teploty povrchů v dopoledních hodinách v kampusu ZČU a jeho nejbližším okolí. Na jihu zájmového území, kde se nachází parkoviště a Fakulta elektrotechnická, je patrný negativní vliv antropogenních povrchů. Tyto povrchy mají nízké albedo, významná část slunečního záření je tak absorbována. Pozitivní vliv má naopak les při východním okraji či rozvojové plochy na severu zájmového území. Lze ovšem očekávat, že stále se rozrůstající průmyslová zóna, zejména pak výstavba průmyslových hal při severní hranici, sníží pozitivní efekt těchto rozvojových ploch.



Obr. 5: Teplota povrchů dne 1. 8. 2018 v dopoledních hodinách

Vlastní zpracování

3.4 Hydrogeologie

Před výstavbou objektu RICE byly provedeny tři vrty o hloubce 12–15 metrů a penetrační sondáž. Svrchní polohy jsou tvořeny málo mocnou navázkou, pod navázkou se nachází jílovitá zemina. Pod touto zeminou již byly nalezeny terasové sedimenty. Svrchní část je tvořena převážně štěrkem a štěrkopískem, spodní část je písčítá s vložkami prachovitých jílu. V nejhlubší vrstvě, tedy v hloubce 12–15 metrů, se dle provedených vrtů vyskytuje jemnozrný štěrkopísek. Podzemní voda nebyla vrty zastižena, dle zkušeností autorů průzkumu lze odhadovat podzemní vodu v hloubce 18 metrů (ARCADIS, 2015).

Dle Koncepce odtokových poměrů (DHI, 2020) je dané horninové prostředí vhodné pro zasakování. Koncepce konkrétně sledovala rozvojové plochy zájmového území (3_64a Západočeská univerzita). Dle tohoto materiálu je povrchové zasakování vhodné, hlubinné zasakování je vhodné pouze za splnění určitých podmínek. Hladina podzemní vody se dle koncepce nachází v hloubce 15,45 m.

3.5 Georeliéf

Pro analýzy georeliéfu zájmové oblasti byl využit digitální model reliéfu 5. generace. Tento model má velmi vysokou podrobnost, velikost buňky je 0,5 x 0,5 m. Snímkování proběhlo v letech 2009–2013, samotný model byl vydán v roce 2016 (DMR 5G, 2017). Model přináší přesnou vizualizaci reliéfu zájmového území, ovšem v době, kdy samotný model vznikl. Reliéf od doby vzniku DMR 5G byl mírně přemodelován zejména v západní části zájmové oblasti. Rozvojová lokalita ležící na západě zájmové oblasti je oproti vzniku DMR 5G více členitá (dokumentační fotografie je přiložena v příloze). Ve vzniklé depresi mezi dvěma vyvýšeninami terénu se udržuje vodní plocha. Výrazná deprese mezi FEL a RTI se již v daném místě nevyskytuje, terén byl zarovnan.

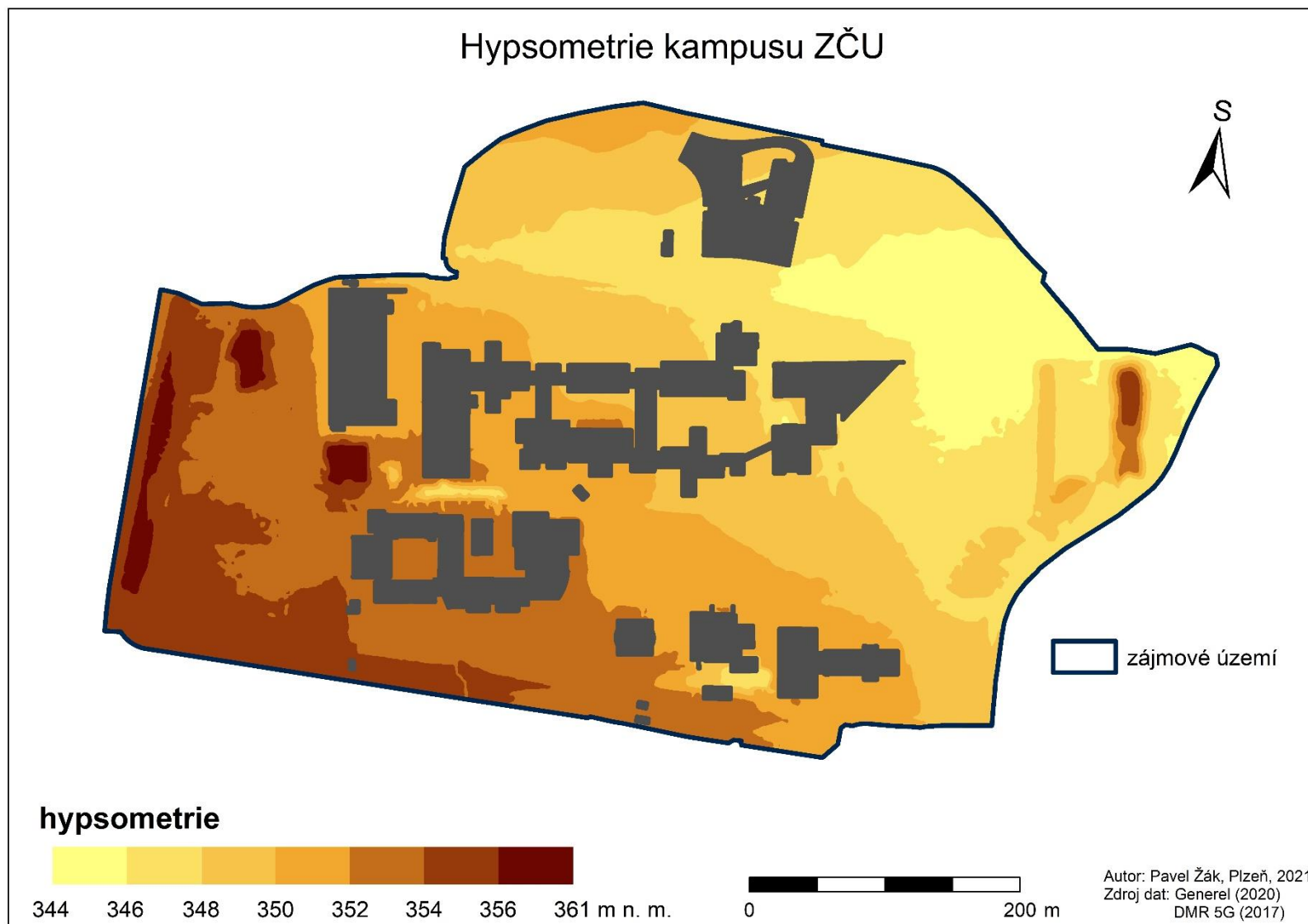
Pro znalost členitosti kampusu ZČU byly vytvořeny dva výstupy. Prvním výstupem hypsometrie kampusu (*obr. 6*), druhým výstupem je sklonitost svahů v kampusu (*obr. 7*).

Z *obr. 6* lze vyčíst, že nejvyšší nadmořské výšky se nacházejí na západě zájmového území, nejnižší na východě. Rozdíl nejvyššího a nejnižšího místa reliéfu kampusu činí 17 m. Z popisu, že území klesá od Z k V, vybočuje vyvýšenina na jih od FDULS. Tu představuje již

jednou popisovaný zikkurat. Dále je patrný snížený terén při jižní stěně vysokoškolské menzy. Velmi členitý terén se nachází i v lese, kde je patrná deprese mezi dvěma rovnoběžnými valy. Terén v lese byl značně přemodelován v 80. a 90. letech 20. století, kdy probíhala výstavba univerzitního areálu a tato lokalita sloužila jako skládka zeminy.

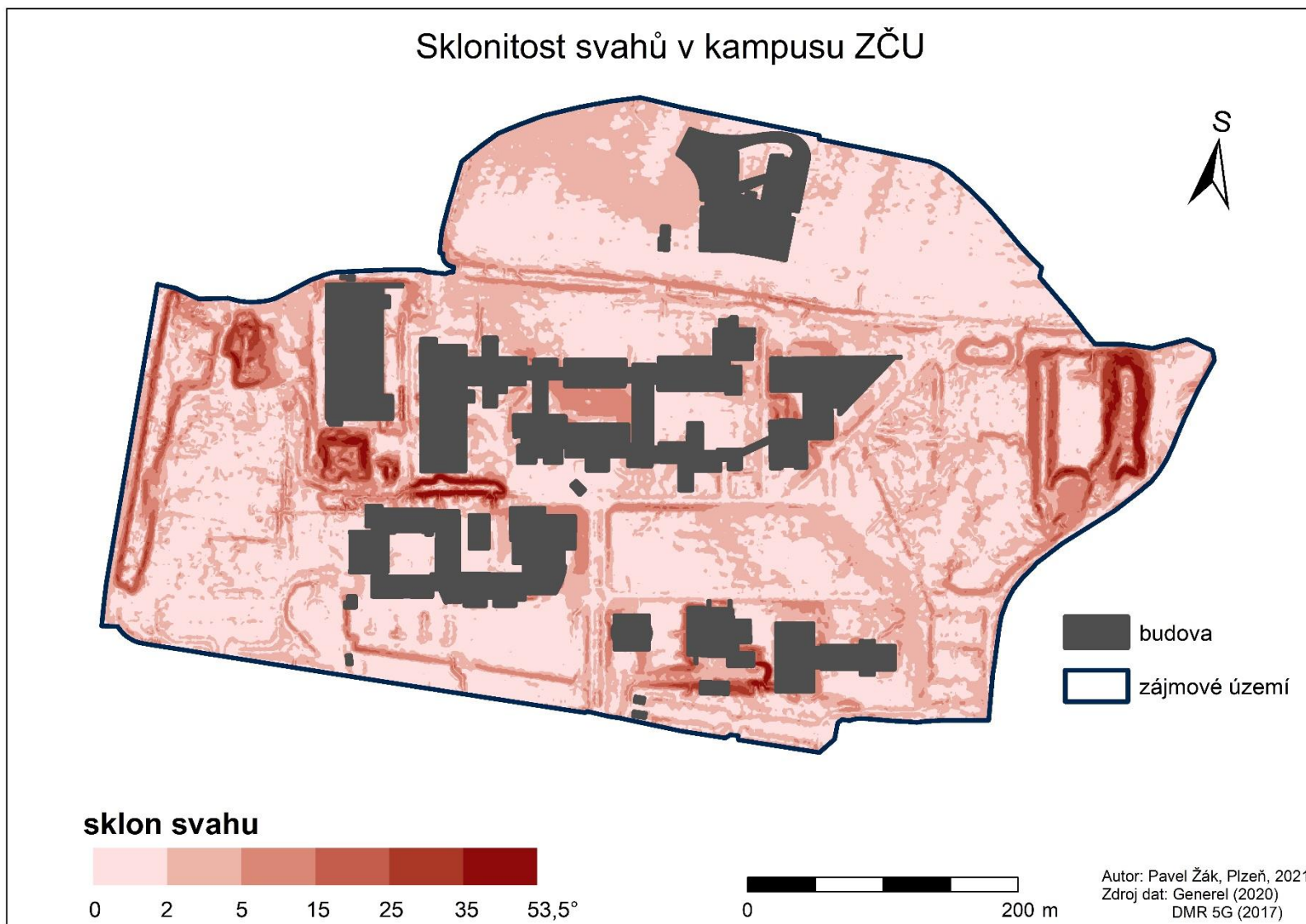
Druhým výstupem je sklonitost svahů v zájmovém území (*obr. 7*). Kategorizace sklonů svahů byla vytvořena dle Demka a Mackovčina (2006), kteří stanovují kategorii 0°–2° jako rovinné plochy, do 5° jako mírně skloněné plochy, do 15° jako značně skloněné plochy, do 25° jako příkře skloněné plochy, do 35° jako velmi příkře skloněné plochy a do 55° jako srázy.

V zájmovém území převažují rovinné či mírně skloněné plochy. Vysoké sklony svahů se vyskytují u popsáných vyvýšenin či sníženin terénu, tedy skládek zeminy na západě i na východě území nebo jižně od vysokoškolské menzy. Značně skloněné plochy až příkře skloněné plochy se nacházejí také severně od budovy CIV. Díky podrobnosti DMR 5G jsou viditelné i sklony velmi malých ploch. Je tak patrná hrana univerzitního parku, zejména při její SZ straně či cesta v aleji.



Obr. 6: Hypsometrie kampusu ZČU (stav k roku 2011)

Vlastní zpracování

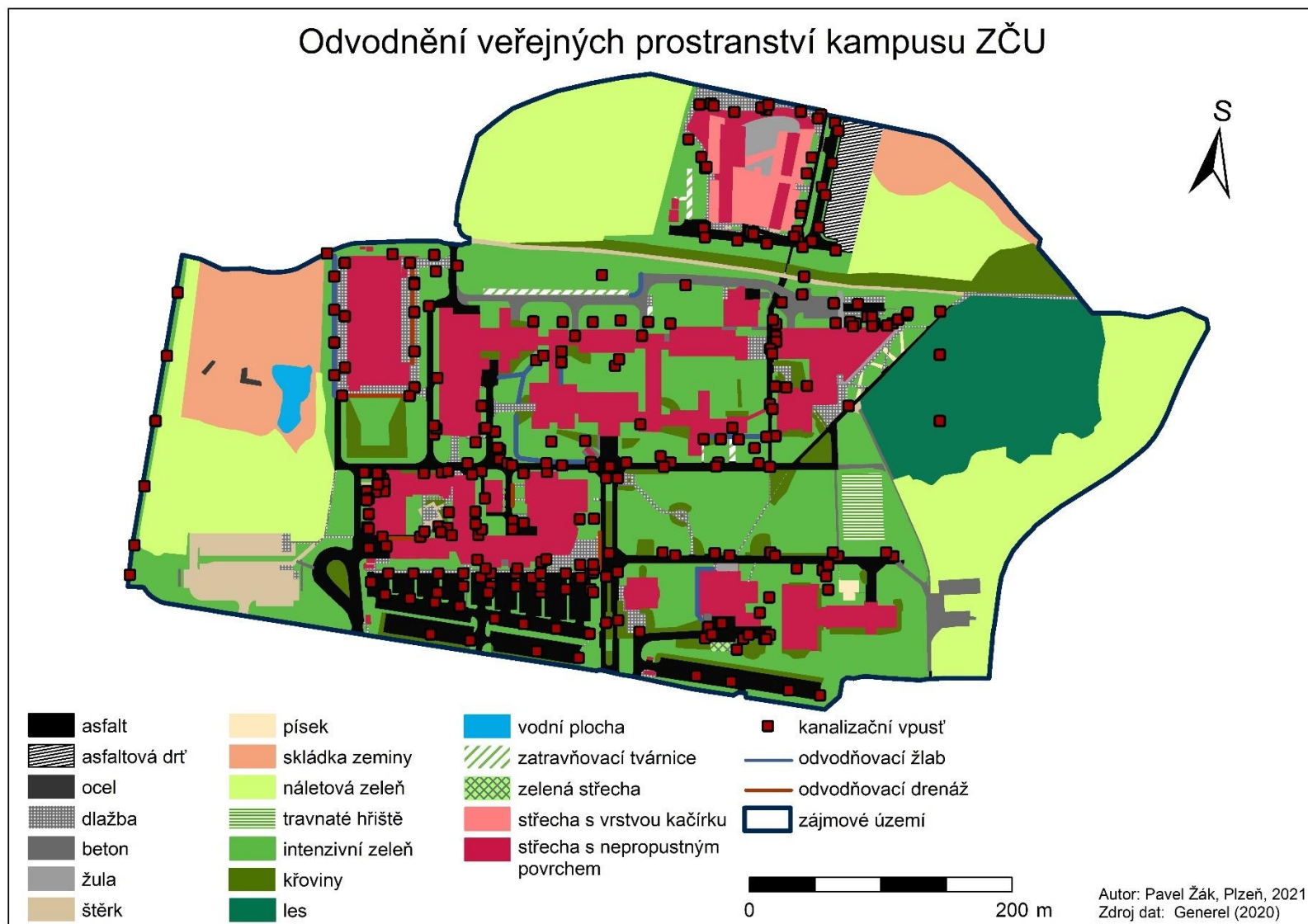


Obr. 7: Sklonitost kampusu ZČU (stav k roku 2011)

Vlastní zpracování

3.6 Srážková voda

Analýza výškopisu přinesla informace o tom, kde se přirozeně akumuluje srážková voda. Jedná se o nejnižší místa v dané lokalitě, proto lze usuzovat, že srážková voda se bude akumulovat na jihu území u vysokoškolské menzy či na východě. Nicméně zatímco ve východní části se jedná o přírodě blízké prostředí, voda se zde může přirozeně vsakovat, u vysokoškolské menzy převládá asfalt, k infiltraci tak prakticky dojít nemůže, proto je srážková voda odváděna do jednotné kanalizace. Odvodnění nepropustných ploch je takto řešeno v celém kampusu. Zajímavostí ovšem je, že kanalizační vpusti jsou v kampusu i součástí propustných ploch, například univerzitního parku ve středu kampusu či dokonce lesa (viz *obr. 8*). Kanalizační vpusti lze nalézt i v intenzivní zeleni poblíž FAV, tam ovšem pomáhají odvodnění i nepropustných povrchů. Toho je docíleno díky sníženému obrubníku. Podobně je řešeno i prostranství před univerzitní knihovnou, ovšem zásadním rozdílem je to, že se zde vpusti do kanalizace nenacházejí. Voda tak odtéká do níže položených míst. Vpusti do kanalizace se nacházejí i při západním okraji zájmové oblasti, kde je patrně zachytáván povrchový odtok ze skládky zeminy. Odvodnění areálu napomáhají odvodňovací žlaby a odvodňovací drenáž.



Obr. 8: Odvodnění veřejných prostranství kampusu ZČU

Vlastní zpracování

Střechy budov jsou odvodněny dvěma možnými způsoby, a to vně budovy svodem po fasádě nebo vnitřně do vpusti a svodného potrubí. Vnější odvodnění střechy je použito u budovy CIV, RTI, menzy, poslucháren FEL a nádvoří FAV. Tyto budovy mají střechy o vyšším sklonu. Zbývající střechy jsou odvodněné vnitřně.

Objem srážkové vody, který odeče do kanalizace, lze spočítat pomocí odtokových koeficientů. Hodnota odtokového koeficientu závisí na povrchu, na němž dochází k odtoku srážkové vody, a sklonu. Sklon je pro potřeby odtokových koeficientů uváděn v procentech, hraničními hodnotami jsou sklon o 1 % (1,75°) a sklon o 5 % (8,75°).

Plochy povrchů o určitém sklonu, na nichž dochází k povrchovému odtoku srážkové vody, byly vypočteny metodami GIS. U střech budov nebyl sklon zjišťován, nicméně výpočet celkového odtokového koeficientu tímto nebyl ovlivněn. Vliv stromů na odtok nebyl uvažován.

Plochy jednotlivých povrchů o určitém sklonu a odtokovém koeficientu jsou publikovány v *tabulce 4*. Uvedené plochy jednotlivých povrchů vycházejí z DMR 5G, který vznikl v letech 2009–2013.

Celkový koeficient odtoku byl vypočten jako poměr celkové redukované plochy ku celkové ploše. Odtokový koeficient zájmového areálu nabývá hodnoty **0,364**, údaj je platný k datu vzniku DMR 5G. Tato hodnota naznačuje, že v kampusu převažují propustné, případně polopropustné povrchy pro srážkovou vodu. Pro zpomalení odtoku jsou v zájmovém území vybudována technická opatření HDV, například zatravňovací tvárnice či vegetační střechy. Podíl těchto technických opatření je ovšem nízký, podíl vegetačních střech na všech střeších je 0,42 %, zatravňovací tvárnice se nacházejí na 0,49 % území (bez budov). Pod povrchem kampusu se nachází retenční objekty s regulovaným odtokem. Popis podpovrchové retenční nádrže objektu RTI je uveden v *kap. 3.6.1*.

Sledováno je i prostorové rozložení odtokových koeficientů, jejich znázornění představuje *obr. 9*. Nejvyšší koeficienty odtoku jsou vázány na šedou infrastrukturu, konkrétně na nepropustné povrchy střech, střechy s vrstvou kačírku a asfaltové či betonové plochy. To je i patrné právě z *obr. 9*, povrchy s nejvyšším odtokovým koeficientem jsou na jihu zájmového území, kde se nachází rozsáhlé parkoviště, ale i budovy FEL, rektorátu,

vysokoškolské menzy či tělocvičny. Ve střední části zájmového území jsou rovněž patrné budovy FDULS, RTI, FST a FEK a knihovny. Na severu území nejvíce srážkové vody odtéká do kanalizace ze střech FAV a z přilehlého parkoviště. Nízké koeficienty jsou vázané na propustné povrchy, zejména pak nazatrávněné plochy. Ty jsou v kampusu jak v samotném středu, kde se nachází univerzitní park, tak především v rozvojových plochách. Právě rozvojové plochy výrazně snižují celkový koeficient odtoku pro kampus. Pokud by bylo vymezeno zájmové území bez těchto ploch, byl by celkový koeficient odtoku jistě vyšší.

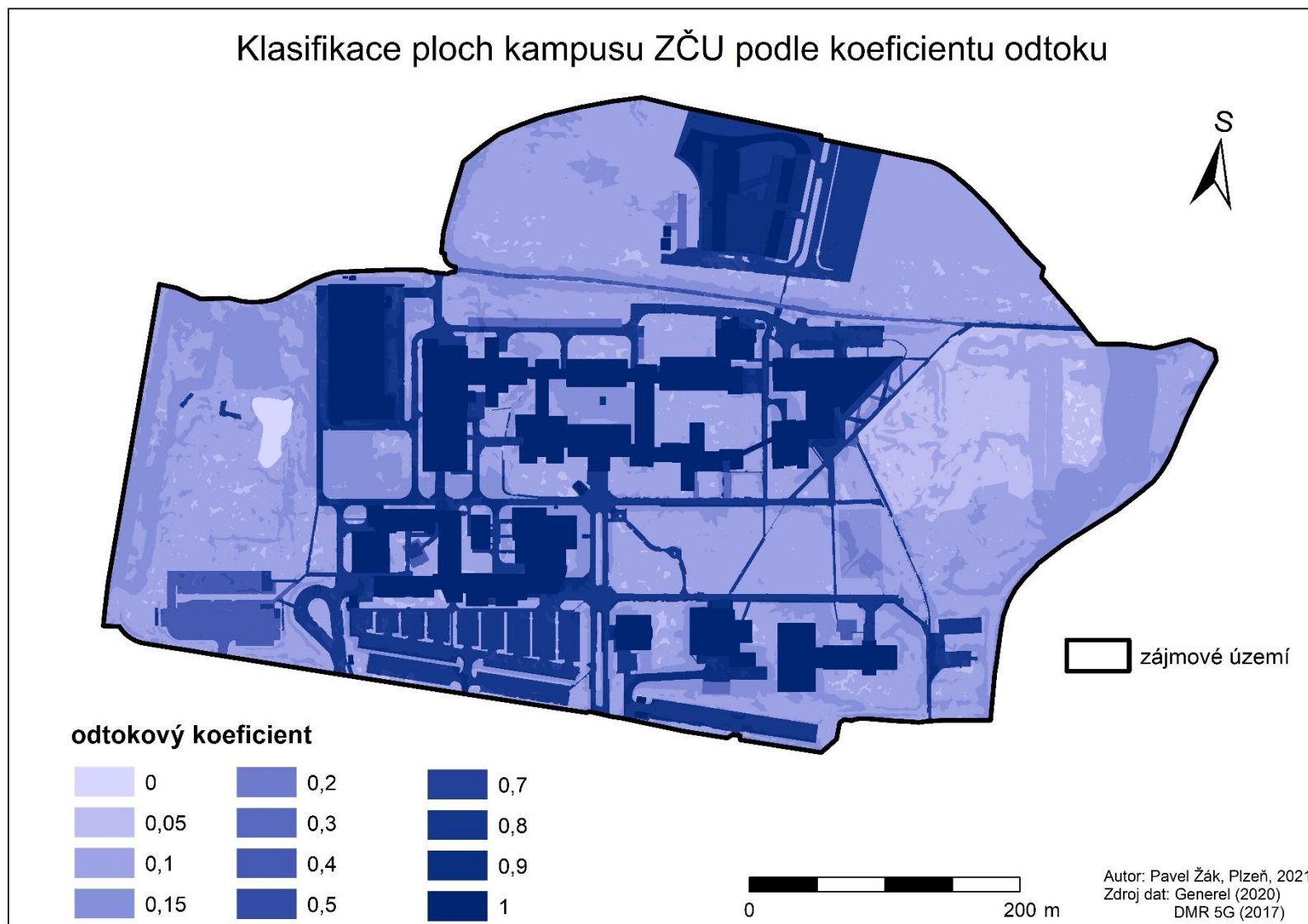
Tab. 4: Výpočet celkového koeficientu odtoku v kampusu ZČU

POVRCH	sklon do 1 %			sklon 1 až 5 %			sklon nad 5 %			celkem	
	koeficient odtoku	plocha	redukováná plocha	koeficient odtoku	plocha	redukováná plocha	koeficient odtoku	plocha	redukováná plocha	plocha	redukováná plocha
asfalt	0,7	1 877 m ²	1 313,9 m ²	0,8	18 094 m ²	14 475,2 m ²	0,9	5 966 m ²	5 369,4 m ²	25 937 m ²	21 158,5 m ²
asfaltová drť	0,7	49 m ²	34,3 m ²	0,8	2 683 m ²	2 146,4 m ²	0,9	1 m ²	0,9 m ²	2 733 m ²	2 181,6 m ²
ocel	0,7	6 m ²	4,2 m ²	0,8	57 m ²	45,6 m ²	0,9	33 m ²	29,7 m ²	96 m ²	79,5 m ²
dlažba	0,7	593 m ²	415,1 m ²	0,8	6 998 m ²	5 598 m ²	0,9	2 969 m ²	2 672,1 m ²	10 560 m ²	8 685,6 m ²
beton	0,7	322 m ²	225,4 m ²	0,8	3 639 m ²	2 911,2 m ²	0,9	1 027 m ²	924,3 m ²	4 988 m ²	4 060,9 m ²
žula	0,7	9 m ²	6,3 m ²	0,8	1 232 m ²	985,6 m ²	0,9	204 m ²	183,6 m ²	1 445 m ²	1 175,5 m ²
štěrk	0,3	279 m ²	83,2 m ²	0,4	4 318 m ²	1 727,2 m ²	0,5	535 m ²	267,5 m ²	5 132 m ²	2 078,4 m ²
písek	0,3	0 m ²	0 m ²	0,4	272 m ²	108,8 m ²	0,5	34 m ²	17 m ²	306 m ²	125,8 m ²
skládka zeminy	0,05	410 m ²	20,5 m ²	0,1	9 047 m ²	904,7 m ²	0,15	5 832 m ²	874,8 m ²	15 289 m ²	1 800 m ²
náletová zeleň	0,05	2 710 m ²	135,5 m ²	0,1	37 037 m ²	3 703,7 m ²	0,15	16 426 m ²	2 463,9 m ²	56 173 m ²	6 303,1 m ²
travnaté hřiště	0,1	23 m ²	2,3 m ²	0,15	1 033 m ²	155 m ²	0,2	620 m ²	124 m ²	1 676 m ²	281,3 m ²
intenzivní zeleň	0,05	3 768 m ²	188,4 m ²	0,1	44 414 m ²	4 441,4 m ²	0,15	22 661 m ²	3 399,2 m ²	70 843 m ²	8 029 m ²
křoviny	0,05	847 m ²	42,4 m ²	0,1	5 760 m ²	576 m ²	0,15	4 706 m ²	705,9 m ²	11 313 m ²	1 324,3 m ²
les	0	954 m ²	0 m ²	0,05	10 283 m ²	514,2 m ²	0,1	7 839 m ²	783,8 m ²	19 076 m ²	1 298,1 m ²
zatravnovací tvárnice	0,2	31 m ²	6,2 m ²	0,3	1 008 m ²	302,4 m ²	0,4	69 m ²	27,6 m ²	1 108 m ²	336,2 m ²
odvodňovací žlab	0,7	11 m ²	7,7 m ²	0,8	112 m ²	89,6 m ²	0,9	126 m ²	113,9 m ²	249 m ²	210,7 m ²
vodní plocha	0	924 m ²	0 m ²							924 m ²	0 m ²
zelená střecha	0,3			0,3			0,3			160 m ²	48 m ²
střecha s vrstvou kačírku	0,9			0,9			0,9			3 153 m ²	2 837,7 m ²
střecha s nepropustným povrchem	1			1			1			34 790 m ²	34 790 m ²
suma										265 951 m²	96 804,2 m²

Zdroj hodnot koeficientů: ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace (2014), Kopp a kol. (2016)

Vlastní zpracování

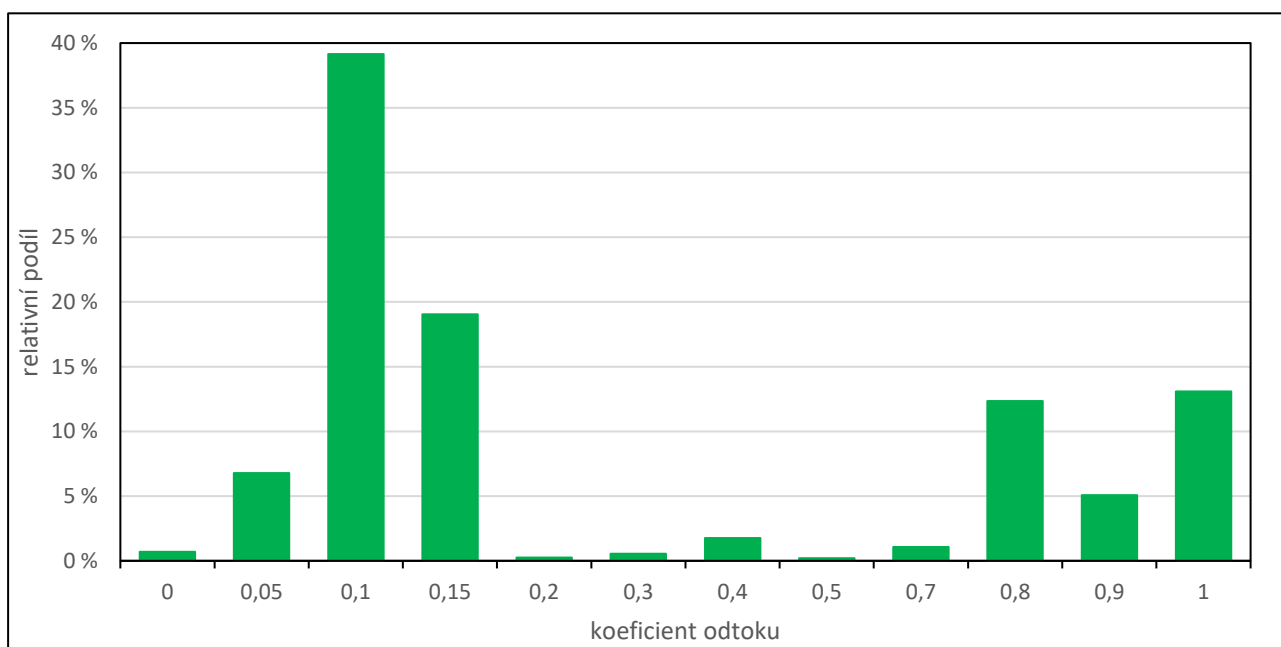
Celkový odtokový koeficient je roven 0.364.



Obr. 9: Kategorizace ploch kampusu ZČU podle koeficientu odtoku

Vlastní zpracování

Sledován je rovněž relativní podíl ploch kampusu podle koeficientu odtoku (viz *graf 1*). Je zřejmé, že nejvyšší podíl ploch zaujímají plochy o koeficientu odtoku **0,1**. Jedná se o téměř dvě pětiny zájmového území. To je dáno zejména rozlohou ploch intenzivní a náletové zeleně o sklonu 1–5 %. Devatenáctiprocentní podíl zaujímají plochy o koeficientu odtoku **0,15**. Plochy o odtokovém koeficientu rovném **1**, tedy plochy střech s nepropustným povrchem, se na celkovém koeficientu odtoku podílejí z 13 %. Podobně jsou zastoupeny i plochy o koeficientu odtoku **0,8**. Plochy s odtokovým koeficientem o **0,05** se v kampusu vyskytují v 7 %, kategorie **0,9** je zastoupena v 5 % případů. Zbývající kategorie se na celkovém odtokovém koeficientu již výrazně nepodílejí, jejich zastoupení se pohybuje v intervalu 0–2 %.



Graf 1: Relativní podíly ploch dle koeficientu odtoku

Vlastní zpracování

Odtokový koeficient byl i využit pro výpočet objemu srážkové vody, která odtéká z ploch kampusu. Objem srážkové vody v kampusu má vzorec:

$$\text{Objem povrchového odtoku [m}^3\text{]} = 96\,804,2 \cdot \text{srážkový úhrn [mm]}$$

Po dosazení průměrného srážkového úhrnu na meteostanici Plzeň-Bolevec z let 1970–2019 529 mm (ČHMÚ, 2019b) nabývá roční povrchový odtok hodnoty 51 232 m³ (51 232 000 l), což zhruba odpovídá objemu Třebošenského rybníka.

3.6.1 Podpovrchová retenční nádrž RTI

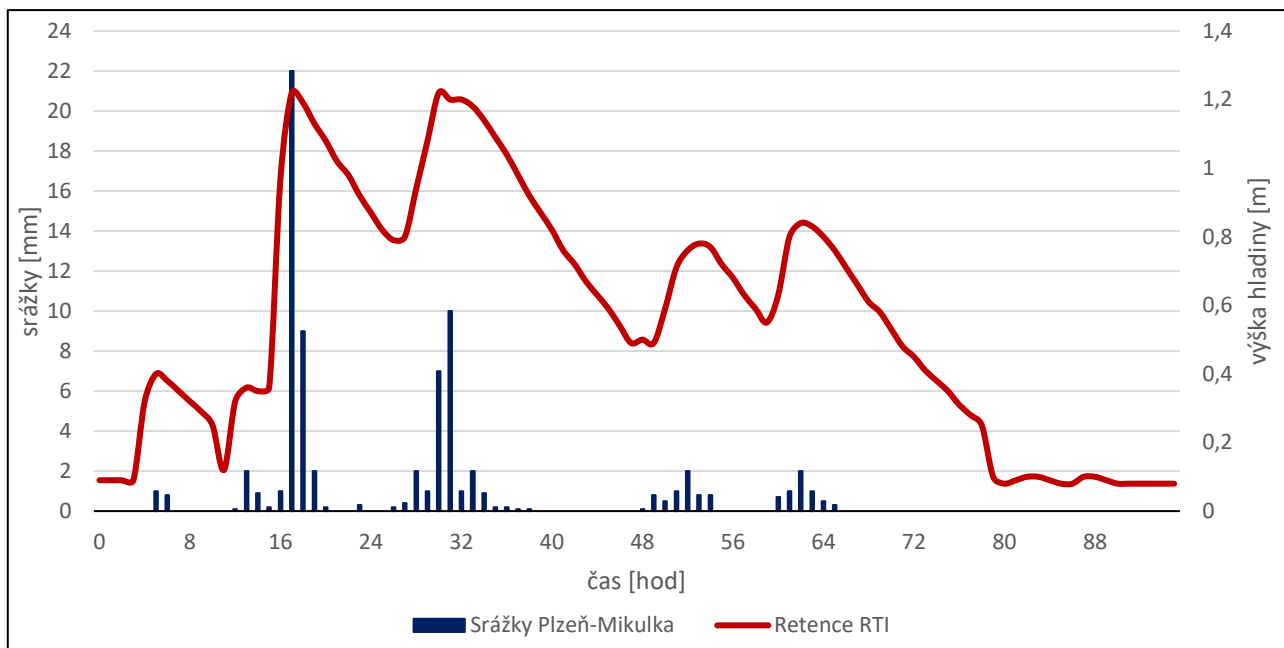
Podpovrchová retenční nádrž RTI shromažďuje vodu ze střechy objektu RTI, která má plochu 2 970 m². Nádrž byla vybudována pro zajištění odtoku do jednotné kanalizace v maximální hodnotě 4 l · s⁻¹ · ha⁻¹, jak stanovuje Koncepce odtokových poměrů (DHI, 2020).

Retenční objekt RTI má objem 36,29 m³, podstava je tvaru obdélníka o rozměrech 3 x 9,6 m (plocha dna je rovna 28,8 m²), výška objektu je 1,26 m. Je postavena ze vsakovacích bloků Garantia RainBloc GLNWED, které jsou obaleny hydroizolační fólií (Glynwed, 2011). Nátok do nádrže je řešen gravitačně, před retencí byla osazena usazovací šachta DN600 pro zachycení nečistot s hloubkou sedimentačního prostoru 0,8 m. Hladina je monitorována v místě odtoku z nádrže, v plastové revizní šachtě DN1000 s prvkem pro regulaci odtoku. Bezpečnostní přepad se nachází ve výšce 1,26 m nad úrovní regulovaného odtoku. Škrtkící regulační kolečko odtoku je nastaveno na 1 l · s⁻¹.

Graf 2 ukazuje chování zásobníku při srážkoodtokové události ve dnech 2. – 5. 8. 2020. Tyto dny byly vybrány pro vysoké hodinové úhrny srážek. Retenční nádrž RTI reaguje na srážku poměrně rychle, a to jak plněním objektu, tak i jeho vyprazdňováním. Včasné vyprazdňování je důležité zejména proto, aby bylo možné přijmout novou srážku a nedošlo tak k přetečení. Právě *graf 2* ukazuje skutečnost, že retenční nádrž RTI zvládá přijmout i intenzivní srážku a objekt včas připravit na novou srážku. I přes vysoké hodinové úhrny srážek nedošlo k přetečení.

Graf 3 sleduje bilanci přítoku srážkové vody ze střechy a odtoku z retenční nádrže při stejné srážkové události. Z grafu je opět patrná reakce zásobního prostoru. Při sledované srážkové události byl maximální objem zadržené vody v nádrži roven 35,1 m³.

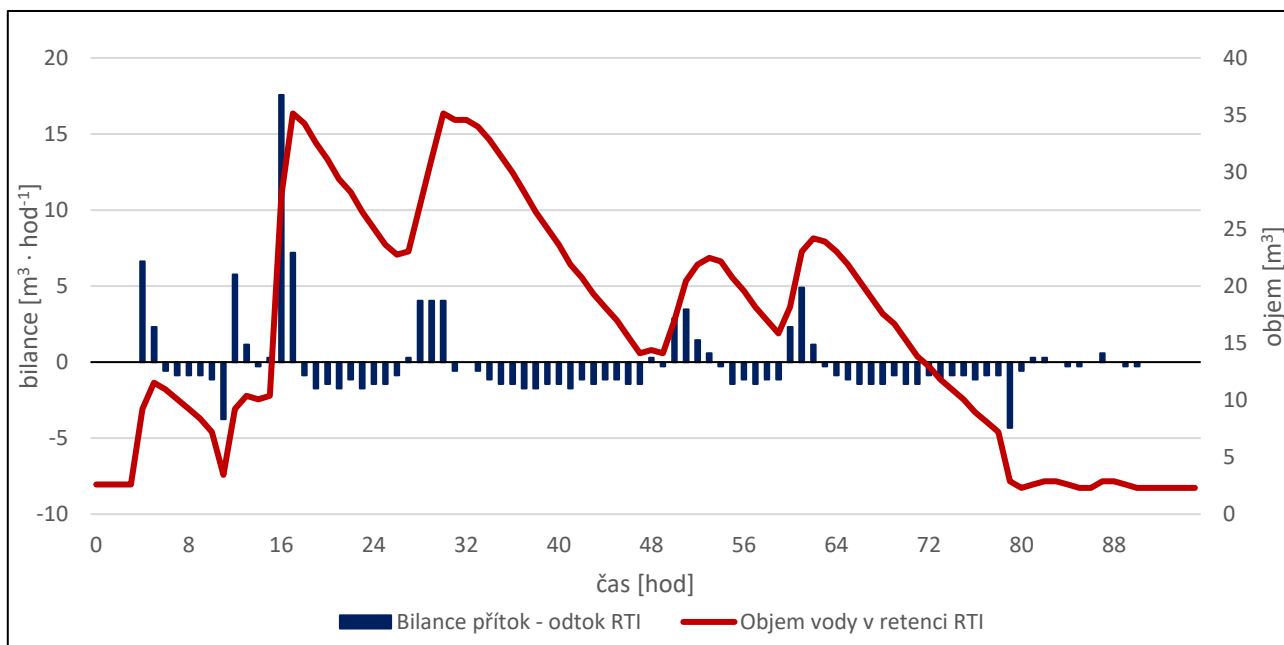
Retenční nádrž RTI plní svůj účel, tedy zpomaluje odtok srážkové vody do kanalizace. Je relevantní otázkou, zda by zachycená voda ze střechy RTI nemohla být z retenční nádrže využita například pro zálivku. Je zde ovšem problém nutnosti včasného vyprázdnění nádrže, aby bylo možné zachytit další srážku, proto lze usoudit, že aktuálně není technicky možné akumulovanou srážkovou vodu včas využít.



Graf 2: Vývoj výšky hladiny retenčního objektu RTI ve vztahu ke srážkoodtokové události v čase 2.8.2020 0:00 – 5.8.2020 0:00

Zdroj dat: RTI (2020), In-počasí (2020)

Vlastní zpracování



Graf 3: Bilance přítoku a odtoku retenčního objektu v reakci na srážkovou událost v čase 2.8.2020 0:00 – 5.8.2020 0:00

Zdroj dat: RTI (2020)

Vlastní zpracování

3.7 Helsinki Green Factor kampusu ZČU

Pro hodnocení modro-zelené infrastruktury v kampusu ZČU byl vybrán Helsinki Green Factor [HGF]. Cílové skóre, kterého by se mělo dosáhnout, bylo stanoveno na hodnotu **0,8**, což odpovídá kancelářské oblasti.

Ukazatel má 40 předvyplněných kategorií, do kterých bylo třeba reklasifikovat plochy v kampusu ZČU. Problémové bylo zařazení plochy lesa. V HGF jsou stanoveny 4 kategorie pro stromy, nicméně přímo pro les nikoliv. Stromy v lese nebylo reálné v terénu spočítat, počítány byly pouze solitérní stromy v kampusu. Nakonec byl les přiřazen do kategorie „*Preserved large (fully grown > 10 m) tree in good condition, at least 3 m (25 m² each) [pcs]*“. Pokud vydělíme plochu lesa plochou koruny stromu stanovené pro tuto kategorii, dosáhneme počtu 763 stromů, které vstupují do výpočtu HGF. Do této kategorie byly rovněž přiřazeny i stromy v aleji. Zbývající stromy byly rozčleněny do dalších kategorií dle velikosti, výška stromů byla odhadnuta při terénním výzkumu.

Zařazení hodnot do jednotlivých kategorií představuje *tabulka 4*.

Tab. 4: Helsinki Green Factor kampusu ZČU

Green Factor	Element group	Element description	Unit	Area or quantity	Weighting	Weighted area, m ²	Runoff coefficient C		
1,35	Preserved vegetation and soil	Preserved large (fully grown > 10 m) tree in good condition, at least 3 m (25 m ² each)	pcs	898	3,5	77842,3	0,1		
Target level		Preserved small (fully grown ≤ 10 m) tree in good condition, at least 3 m (15 m ² each)	pcs		3,0	0,0	0,1		
0,80		Preserved tree in good condition (1.5–3 m) or a large shrub (3 m ² each)	pcs		2,4	0,0	0,15		
Site area, m ²		Preserved natural meadow or natural ground vegetation	m ²	58104	2,2	128232,3	0,1		
265951		Preserved natural bare rock area (at least partially bare rock surface, not many trees)	m ²		1,9	0,0	0,7		
Total weighted area, m ²	Planted/new vegetation	Large tree species, fully grown > 10 m (25 m ² each)	pcs	83	2,8	5832,3	0,1		
360180		Small tree species, fully grown ≤ 10 m (15 m ² each)	pcs	469	2,3	16119,4	0,1		
Stormwater volume m ³		Large shrubs (3 m ² each)	pcs		1,7	0,0	0,1		
		Other shrubs	m ²	11321	1,4	16053,8	0,15		
		Perennials	m ²		1,6	0,0	0,2		
		Meadow or dry meadow	m ²	15296	1,8	27092,0	0,2		
		59660	Cultivation plots	m ²		2,0	0,0	0,3	
		Precipitation mm	Lawn	m ²	68963	1,1	75979,0	0,25	
		529	Perennial vines (2 m ² each)	pcs		1,3	0,0	0,15	
		Runoff coefficient C	Green wall, vertical area	m ²	0	0,9	0,0	-	
		0,4	Pavements	Semipermeable pavements (e.g. grass stones, stone ash)	m ²	1108	1,0	1130,7	0,6
				Permeable pavements (e.g. gravel and sand surfaces)	m ²	5438	1,4	7754,8	0,35
				Impermeable surface (calculated automatically)	m ²	83601	-	-	1
		Stormwater management solutions	Rain garden (biofiltration area) with a broad range of layered vegetation	m ²		2,8	0,0	0,2	
			Intensive green roof / roof garden, depth of substrate 20 – 100 cm	m ²	160	2,0	325,3	0,1	
	Semi-intensive green roof, depth of substrate 15 – 30 cm		m ²		1,5	0,0	0,4		
	Extensive green roof, depth of substrate 6-8 cm		m ²		1,4	0,0	0,6		
	Infiltration basin or swale covered with vegetation or aggregates (no permanent pool of water, permeable soil)		m ²		2,3	0,0	0,1		
	Infiltration pit (underground)		m ²		1,5	0,0	0,1		
	Pond, wetland or water meadow with natural vegetation (permanent water surface at least part of the year; at other times the ground remains moist)		m ²	924	2,8	2625,4	0,1		
	Retention or detention1) basin or swale covered with vegetation or aggregates (permeable soil)		m ²		2,0	0,0	0,2		
	Retention or detention1) pit, tank or cistern (underground, notice units: volume!)		m ³		1,4	-	-		
	Biofiltration basin or swale	m ²		2,7	0,0	0,15			
	Bonus elements, max score 1 per category	Capturing stormwater from impermeable surfaces for use in irrigation or directing it in a controlled manner to permeable vegetated areas	m ²		0,7	0,0			
		Directing stormwater from impermeable surfaces to constructed water features, such as ponds and streams, with flowing water	m ²		0,8	0,0			
		Shading large tree (25 m ² each) on the south or southwest side of the building (especially deciduous trees)	pcs		0,9	0,0			
		Shading small tree (15 m ² each) on the south or southwest side of the building (especially deciduous trees)	pcs		0,9	0,0			
		Fruit trees or berry bushes suitable for cultivation (10 m ² each)	pcs		1,0	0,0			
		A selection of native species – at least 5 species/100 m ²	m ²		0,9	0,0			
		Tree species native to Helsinki and flowering trees and shrubs – at least 3 species/100 m ²	m ²		0,9	0,0			
		Butterfly meadows or plants with pleasant scent or impressive blooming	m ²		0,8	0,0			
		Boxes for urban farming/cultivation	m ²		0,6	0,0			
		Permeable surface designated for play or sports (e.g. sand- or gravel-covered playgrounds, sports turf)	m ²	1676	0,7	1192,4			
		Communal rooftop gardens or balconies with at least 10% of the total area covered by vegetation	m ²		0,6	0,0			
		Structures supporting natural and/or animal living conditions such as preserved dead wood/stumps or birdboxes (5 m ² each)	pcs		1,2	0,0			

Vlastní zpracování na podkladu City of Helsinki (2016)

Skóre zájmového území dosahuje hodnoty **1,35**, významně tak přesahuje stanovené cílové skóre 0,8. Pokud by došlo k výpočtu HGF pouze na pozemku univerzity, tedy území bez aleje stromů a oblasti na západ a východ od FAV, skóre by se snížilo na hodnotu **1,10**. I tak by to ale znamenalo, že cílové skóre by bylo o tři desetiny vyšší než stanovený cíl.

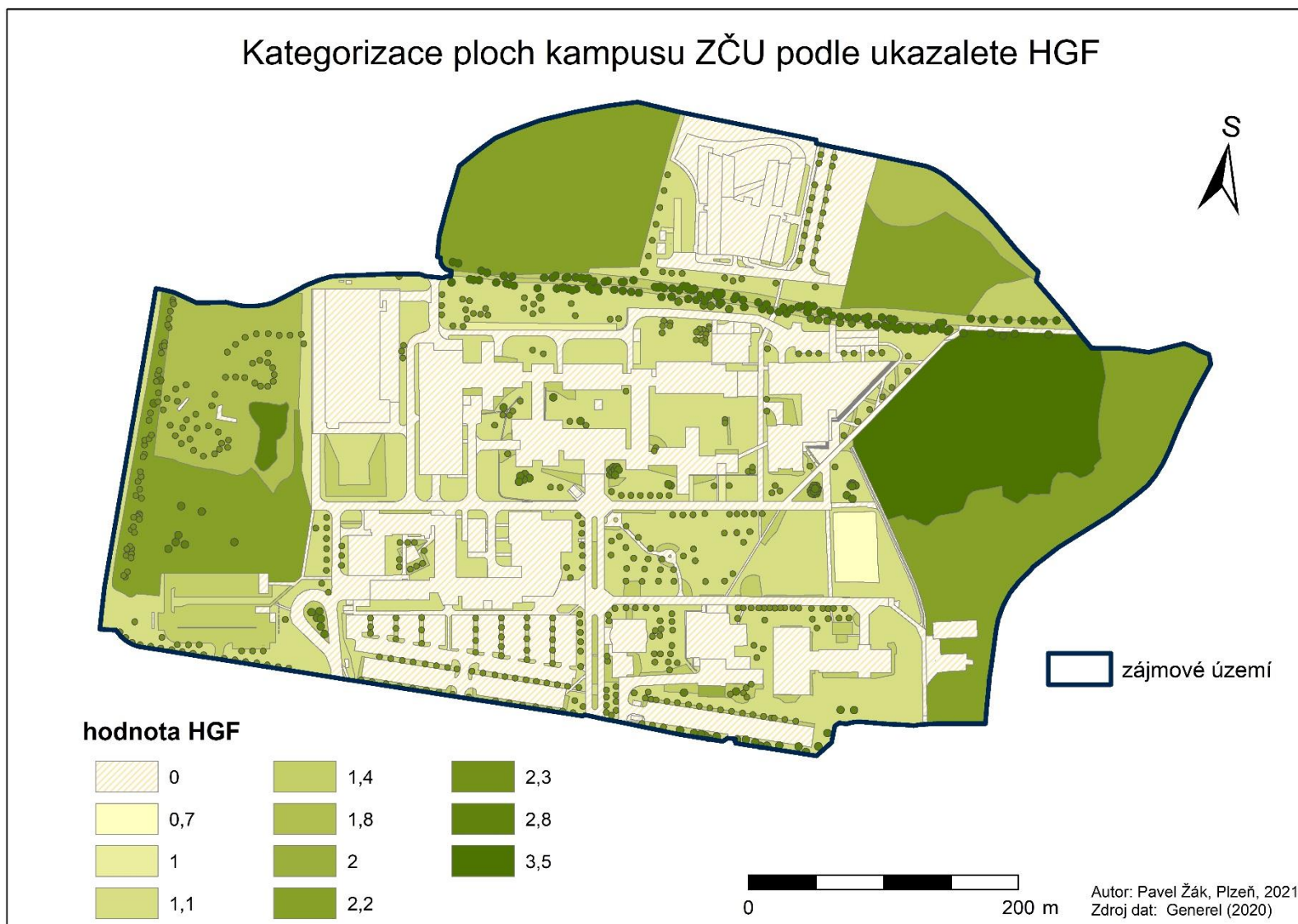
Celkové skóre je vypočítáno váženým průměrem. Váhami jsou ekologie, funkčnost, městská krajina, údržba a srážková voda. Funkčnost se podílí na celkové známce z 25 %, ekologie z 24 %, stejně tak kategorie srážková voda. Krajina má vliv na známku z 15 %, údržba z 12 %.

Vysokého skóre HGF je dosaženo díky značnému podílu zeleně v kampusu. Na celkové známce se velmi podílí rozvojová území univerzity, jak je patrné z obr. 10. Právě v rozvojových lokalitách se nacházejí rozsáhlé plochy vysoce ohodnocených prvků, konkrétně lesa, vodní plochy či náletové zeleně. Na vysoké známce se také podílejí stromy, které se nacházejí i v centrální části kampusu. Ovšem najdou se i plochy zeleně zcela beze stromů, například na východě univerzitního parku.

Výsledné skóre **1,35** je poměrně vysoké, to ovšem neznámá, že aktuální stav modro-zelené infrastruktury lze hodnotit jako dokonalý. V zájmovém území je vysoký podíl rozvojových ploch, který sice kladně navyšuje celkové skóre, nicméně jejich stav aktuálně neumožňuje významné využití uživateli univerzitního areálu. Za předpokladu, že tyto plochy budou v budoucnu zkulturněny, zpřístupněny uživatelům kampusu a bude přitom dbáno na principy modro-zelené infrastruktury, lze očekávat, že výsledné skóre HGF kampusu se sníží. Na druhou stranu může být taková změna vnímána uživateli kampusu pozitivně.

Právě na příkladu rozvojových ploch je snahou ukázat, jak zavádějící by bylo hodnotit modro-zelenou infrastrukturu pouze na základě skóre HGF či jiného Green Area Factoru. Proto byly do této práce zahrnuty i výsledky studie Kampus snů? Závěrečná zpráva (CpKP, 2018), které shrnuje následující kapitola.

Součástí ukazatele HGF je i koeficient odtoku, ten je roven **0,4**. Výpočet je prováděn podle jiné metodiky, než byla použita v kapitole 3.6 *Srážková voda*, zde není počítáno se sklonem. Hodnoty odtokových koeficientů jednotlivých prvků jsou rozdílné, například koeficient odtoku intenzivní zeleně (trávníku) v metodice HGF je **0,25**, zatímco v metodice ČSN **0,05; 0,1; 0,15**, či koeficient odtoku asfaltu v metodice HGF **1,0**, zatímco v metodice ČSN **0,7; 0,8; 0,9**. I přes rozdílné odtokové koeficienty jednotlivých prvků je hodnota odtokového koeficientu zájmového území dle HGF nevýznamně rozdílná oproti výpočtu odtokového koeficientu, který byl proveden v *kap. 3.6*.



Obr. 10: Kategorizace ploch kampusu ZČU podle ukazatele HGF

Vlastní zpracování

3.8 Projekt Kampus snů

V akademickém roce 2017/2018 probíhaly série aktivit, jejichž cílem bylo získat informace o potřebách uživatelů kampusu ZČU. Podněty a požadavky pro využívání kampusu mají být zapracovány do architektonického zpracování studie rozvoje kampusu. V průběhu projektu Kampus snů se do výzkumu různě zapojovali uživatelé kampusu, ať již v podobě pocitové mapy či workshopů (CpKP 2018). Do pocitové mapy mohli účastníci průzkumu také zapsat, co se jim v dané lokalitě líbí nebo nelíbí. Z tohoto dokumentu jsou vybírány podněty či požadavky, které se týkají zapojení modro-zelené infrastruktury, hospodaření s dešťovou vodou či úprav veřejných prostranství.

Účastníci pocitové mapy hodnotili téměř každé místo v kampusu. Univerzitní park v centru kampusu je hodnocen převážně kladně. Je ceněna zejména rozsáhlá plocha zeleně, kterou je možné využít například k učení či relaxaci. Právě relaxace je z pozitivních komentářů uváděna nejčastěji. Kladný komentář je směřován i k umístění stolků s lavičkami v zeleni. Tento komentář byl ovšem spíše výjimkou, mnoho uživatelů si naopak stěžuje na nízký počet laviček a stolků. Účastníci průzkumu si také všímají stromů, které neposkytují dostatečný stín. Uživatelům tak nejvíce v daném místě chybí lavičky a vzrostlé stromy. Zajímavý je návrh na zapojení květin v univerzitním parku.

Prostranství před univerzitní knihovnou je hodnoceno prakticky jen kladně. Zmiňován je vysoký podíl zeleně. Kvalitu lokality navyšuje umístění kavárny. Uživatelé kampusu uvádějí, že je příjemné si sednout na schody či terasu, pít kávu z kavárny a koukat do zeleně.

Více negativních názorů se objevilo v případě lesa. Dle respondentů se jedná o špatně využitý prostor, který je podle komentářů navíc plný odpadků. Les není zpřístupněn pro uživatele kampusu, chybí cesty, altánek či biotop. Některé komentáře žádají úplné zrušení lesa v kampusu.

V památkově chráněné aleji se nacházejí vzrostlé stromy, které byly kladně hodnoceny. Naopak problémem je dle respondentů samotná cesta, která i po mírných deštích je velmi bahnitá.

V případě nádvoří Fakulty aplikovaných věd se mnoho komentářů opakuje na téma beton (případně žula). Respondenti si všímají velice nízkého zapojení zeleně. Jako problematické uvádějí, že se na nádvoří při intenzivních deštích akumuluje voda. Prostor je velmi náchylný na náledí či ledovku. Nádvoří je tak v zimních měsících pro studenty i zaměstnance ohraničené páskou, je nepřístupné. Okapy ústí metr od vpusti do kanalizace. Uživatelé kampusu také uvádějí, že na nádvoří byla v minulosti fontána, nyní je pro nefunkčnost zakrytá.

Prostor západně od FDULS a RICE je hodnocen převážně negativně. Respondenti poukazují na to, že se jedná o zanedbanou plochu či špatně využitý prostor. Našly se i kladné komentáře, které označují prostor jako „kus divoké přírody“ nebo místo, které je biotopem pro živočichy. Účastníci průzkumu zmiňují, že by se prostor měl změnit, například v nový park. Některé komentáře se týkají výstavby nových univerzitních budov, amfiteátru, divadla, restauraci nebo dokonce parkoviště.

Zikkurat u FDULS je hodnocen jako povedené místo, které je i dobře udržované. Kladně je hodnocena i jeho estetická stránka. Respondenti uvádějí toto místo jako vhodné pro relaxaci. Uvědomují si také, že zikkurat má potenciál pro zlepšení, například jako hlediště pro letní kino.

Pouze jeden komentář se věnuje zelené střeše. Respondent ji zmiňuje jako jedinou v areálu, kterou by bylo možné využít jako monitorovací plochu efektu zelených střech.

4 Návrhová část

4.1 Příklady dobré praxe

Téma modro-zelené infrastruktury a hospodaření s dešťovou vodou je živé i v jiných univerzitních kampusech. Příklady, které jsou uváděny v této práci, pocházejí z kampusu České zemědělské univerzity v Praze-Suchdole, kampusu Masarykovy univerzity v Brně-Bohunicích a také bude představena strategie udržitelnosti Kodaňské univerzity.

4.1.1 Kampus České zemědělské univerzity

Kampus České zemědělské univerzity (ČZU) se nachází na okraji Prahy, v městské části Suchdol. Pravidelně je v žebříčku UI Green Metric World University Rankings hodnocen jako jeden z nejekologičtějších kampusů na světě. V roce 2019 patřilo ČZU 31. místo.

Rating kampusu ČZU zvyšuje vysoký podíl zelených ploch, budovy s chytrými technologiemi, program na recyklaci odpadů, zadržování vody v kampusu a zapojení předmětů zaměřených na udržitelnost do studijních programů. V nedávné době byl kampus ČZU rozšířen o High-tech technologicko-výukový pavilon, kde je odváděna voda do vsakovacích studní. Samozřejmostí je i rozsáhlá střešní zahrada. Univerzitní areál se již brzy rozšíří o nový Pavilon tropického zemědělství (termín dokončení je 31. 12. 2020). Ten bude mít systém zachytávání srážkové vody propojený s jímkami a retenční nádrží. Zachycená voda bude sloužit na zalévání. Předsazená fasáda budovy bude pokryta popínavými rostlinami (Kašparová, 2020).

ČZU si stanovila Strategii udržitelnosti 2030. Pilíři jsou strategie řízení, vzdělávací činnost, tvůrčí činnost, vnější vztahy a provoz univerzity. V posledně jmenovaném pilíři jsou řešena témata jako odpady, energie a emise, well-being zaměstnanců a studentů. Čtvrtým tématem je management vody a biodiverzita.

Pro toto téma si ČZU stanovila tři cíle:

1. Snižování spotřeby vody na základě evidence spotřeby vody
2. Efektivnější využívání dešťové vody
3. Možnosti čištění a dalšího využití šedých vod

Opatření, která mají zajistit splnění těchto cílů, jsou například evidence o celkové spotřebě vody a zachycené dešťové vodě, snižování spotřeby vody, průzkum úniků vody, instalace zelených střech a fasád, zachytávání a využívání srážkové vody, využívání šedé vody či péče o travnaté plochy (ČZÚ, 2020).

4.1.2 Kampus Masarykovy univerzity

Kampus v brněnských Bohunicích začal vznikat v prvním desetiletí 21. století. Jedná se o areál, kde je většina střech zelených. O hospodaření s dešťovou vodou se stará systém decentralizovaného odvodnění skrze zasakovací průlehy s retenčními příkopy. Srážková voda je do kanalizace odváděna se zpožděním. Díky modro-zeleným opatřením (zelené střechy, trávníky, stromy, keře, průlehy aj.) jsou zlepšeny mikroklimatické poměry (ENVIC, 2020).

Kampus je často uváděn jako dobrý příklad šetrného hospodaření s dešťovou vodou. Systém odvodnění, kdy vsakovacími průlehy se srážková voda postupně dostane do retenční nádrže, odkud je se zpožděním odváděna do kanalizace, vznikl zejména kvůli tomu, aby se v této lokalitě dalo stavět. Jak uvádí jeden z autorů odvodnění kampusu Radim Vítek, tento systém je v dnešní době, kdy je mnohem častěji opakovaným tématem adaptace na změnu klimatu, poněkud zastaralý. Srážková voda je totiž zadržena pod zemí, nezůstává na povrchu (Fendrychová, 2020). Není tak plně využít její potenciál.

4.1.3 Kodaňská univerzita

V roce 2008 se vedení Kodaňské univerzity rozhodlo pro zelenější a udržitelnější univerzitu. Univerzita si stanovila cíl, že v roce 2013 bude spotřeba energie a emisí oxidu uhličitého na úrovni 80 % roku 2006. Tohoto cíle bylo dosaženo, spotřeba energie klesla oproti roku 2006 o 20,4 %, emise CO₂ byly redukovány o 28,8 %. V roce 2014 vznikla nová strategie Zelený kampus 2020.

V této nové strategii byly například stanoveny cíle jako snížení emisí CO₂ o 65 % oproti roku 2006, poloviční spotřeba energie oproti roku 2006, efektivní využívání zdrojů při zadávání zakázek, provozu a výstavbě, snížení spotřeby vody o 30 % oproti roku 2012, snížení celkového dopadu univerzity na životní prostředí, zvýšení povědomí o Kodaňské univerzitě jako udržitelné univerzitě aj. (University of Copenhagen, 2014).

V roce 2017 byla dostavěna věž Maersk, která je výzkumným pracovištěm zabývajícím se zejména léčbou nemocí. Stavba byla postavena na zásadách udržitelného rozvoje. Věž efektivně hospodaří s dešťovou vodou. Srážková voda je zadržována pro splachování toalet a také pro zálivku. Přebytková srážková voda může prosakovat skrz porézní dlažbu, pod níž se nachází retenční nádrž s kapacitou 650 m³. Zhruba 5 000 m² střech je ozeleněno, což přispívá k lepšímu hospodaření se srážkovou vodou. Zelené střechy slouží i jako izolace budovy (University of Copenhagen, 2017).

4.2 Potenciál rozvoje modro-zelené infrastruktury v kampusu ZČU

Potenciál rozvoje modro-zelené infrastruktury je určen na základě všech podkladů, které byly představeny v analytické části této práce. Smyslem návrhů modro-zelených opatření v kampusu ZČU je efektivnější hospodaření s dešťovou vodou, zlepšení mikroklimatu kampusu, ale i zvýšení spokojenosti uživatelů kampusu.

Pokud by byl kampus hodnocen pouze na základě výstupných hodnot koeficientu odtoku a HGF, bylo by závěrem, že stav modro-zelené infrastruktury je dobrý. Tomu napomáhají plochy v okrajových částech kampusu, kde se daří náletům nízké dřevinné vegetace, dále se zde nacházejí skládky zeminy zarůstající trávou. Na východě se vyskytuje les. Tyto přírodě blízké nebo dokonce přírodní plochy mají značný vliv na mikroklima zájmového území, jsou schopny zadržet srážkovou vodu, voda se tak může vsakovat. Poskytují řadu environmentálních benefitů. Na druhou stranu, jak ukázal průzkum v rámci projektu Kampus snů, tyto lokality nejsou vnímány příliš pozitivně. Pro uživatele kampusu jsou těžko přístupné, nemají pro ně ani estetický význam.

Rozvojové plochy na severu a západě zájmového území jsou vedené v územním plánu města Plzně jako zastavitelné (ÚKRMP, 2016). Je pravdou, že tyto plochy jsou ideální pro výstavbu dalších univerzitních budov v kampusu. Nové objekty by již měly respektovat koncept MZI s využitím zelených střech, případně zelených fasád. Srážková voda by měla být využita pro další účely, neměla by pouze odtéct do kanalizace. Řešením by byly retenční dešťové nádrže, které by sloužily k zachycení a akumulaci srážkové vody, vodu by bylo možné nadále využívat například k zálivce.

4.2.1 Povrchová retence srážkové vody

Vhodnou lokalitou pro vybudování povrchové retenční nádrže se jeví lesní plocha na východě zájmového území. Les není příliš udržován, jeho úpravy by mohly být vítány pozitivně. Tento prostor byl původně skládkou zeminy. Terén lokality je značně přemodelován, nachází se zde dva rovnoběžné valy, mezi nimiž je mírná deprese reliéfu.

Právě zmíněná deprese by mohla posloužit pro povrchovou retenci srážkové vody. Navrhována je tak výstavba umělého mokřadu. Příjem vody by byl zajištěn svodnicemi ze střechy objektu CIV. K tomu není třeba významná rekonstrukce budovy, střecha budovy je odvodněna vně budovy svodem po fasádě. Svodnice by namísto do kanalizace vedly právě do nově vzniklého umělého mokřadu v lese. Retenční objekt by měl regulovaný odtok do jednotné kanalizace.

Při postupu konkrétního návrhu je vhodné postupovat podle platné normy TNV 75 9011 (2013). Je třeba provést výpočet odvodňované plochy a odhad retenční plochy. Dále z hydrologické bilance mezi přítokem a odtokem do retenčního objektu lze stanovit objem plánované nádrže. Hydrologická bilance má tvar:

$$i \cdot (A_{\text{red}} + A_{\text{ret}}) \cdot t \cdot 1\,000^{-1} = 0 + V + 3\,600 \cdot Q_o \cdot t$$

(příjem srážkové vody = vsakování + retenční objem + regulovaný odtok)

i ... intenzita srážky v $\text{mm} \cdot \text{hod}^{-1}$

t ... doba trvání srážky v hod

A_{red} ... redukována odvodňovaná plocha povodí v m^2

A_{ret} ... plocha nadzemního retenčního objektu

V ... retenční objem v m^3

Q_o ... regulovaný odtok v $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Střední hloubku vody mokřadu lze vypočítat jako podíl retenčního objemu a plochy retenčního objektu.

Nový vodní prvek by plnil několik funkcí. Odtok srážkové vody do kanalizace ze střechy budovy CIV by byl zpomalen. Umělý mokřad by zvyšoval biodiverzitu prostředí, navíc lze říci, že je daný vodní prvek esteticky významný.

Výstavba povrchového retenčního objektu by znamenala kácení v lese, a to v místě umělého mokřadu. Les by byl ponechán, ale bylo by vhodné, aby byl protkán cestami, aby byl mokřad pro uživatele kampusu přístupný.

4.2.2 Polopropustný povrch parkovišť

Povrchy použité pro parkoviště v kampusu jsou různé. Použity jsou asfalt (před FEL na jihu kampusu), asfaltová drť (na východ od FAV), dlažba, beton, žula, zatravňovací tvárnice (parkoviště za FST a univerzitní knihovnou) a štěrkové parkoviště na JZ okraji kampusu. Asfalt, asfaltová drť, beton, žula a dlažba jsou přitom nepropustné povrchy pro vodu, jejich odtokový koeficient je roven 0,6–0,8. Zmíněné povrchy také mají nízkou odrazivost, tedy významná část slunečního záření je pohlcena.

Je jasné, že parkoviště mají v kampusu svá opodstatnění a není důvod je rušit. Je ovšem otázkou, zda by nemohl být povrch parkoviště alespoň částečně propustný pro vodu. Takový povrch by znamenal efektivnější hospodaření s dešťovou vodou. Je samozřejmě pravdou, že část parkovišť polopropustný povrch má, zatravňovací tvárnice jsou použity pro parkovací místa severně od FST. Na JZ kampusu se nachází štěrkové parkoviště. I to by mohlo být upraveno pro lepší hospodaření s dešťovou vodou.

Existuje několik typů polopropustných povrchů. Příkladem jsou štěrkový trávník, povrch z kamenné drti, zatravňovací tvárnice (plastové nebo betonové), dlažba se zatravněnými spárami či porézní dlažba. Tyto povrchy jsou schopné infiltrovat běžné srážky a retenovat 50–80 % množství srážek. Zajišťují tak závlahy pro okolní vegetaci. Dále se uvádí snížení hluku či půdní eroze (UrbanAdapt, 2017).

Polopropustné povrchy nelze realizovat na skalnatém podloží a velmi skloněných svazích. Takové podloží se v kampusu ovšem nevyskytuje. Navíc parkoviště se nacházejí spíše na rovinách či mírně skloněných svazích, takže ani sklon svahu není v kampusu problémem.

Cena m² polopropustného povrchu se pohybuje ve stovkách Kč. Roční provozní náklady jsou téměř nulové (UrbanAdapt, 2017).

4.2.3 Odvodnění cest a chodníků

V případě odvodnění asfaltových cest kampusu lze nalézt pozitivní případy. V prostoru v těsné blízkosti FAV jsou nepropustné povrchy díky sníženému obrubníku částečně odvodněny do trávy, kde se nacházejí mírně vyvýšené kanalizační vpusti, které při vyšším úhrnu srážek zajistí, že území nebude zaplaveno. Podobně je řešeno i prostranství před univerzitní knihovnou, kde jsou rovněž snížené obrubníky (viz Příloha A – obr. 3). Zde se ovšem kanalizační vpusti nenacházejí, pokud je tak půda s vegetací nasycena, srážková voda odtéká do níže položených míst.

V kampusu lze nalézt místa, která by mohla být řešena lépe. Příkladem může být odvodnění asfaltové cesty mezi budovami CIV a FST. Terén zde postupně klesá od S k J, sklonitost se pohybuje od 2 do 15°. Srážková voda je zde odváděna do kanalizačních vpustí. Je otázkou, zda by nemohla být částečně odvedena do travnatého prostoru západně od asfaltové cesty. K tomu by posloužil odvodňovací žlab s mřížkou přímo v asfaltu. Je přitom třeba myslet na to, že asfaltová cesta neslouží pouze pro lidi, nýbrž i pro občasné projetí dopravních prostředků.

4.2.4 Univerzitní park

I prostranství s vysokým podílem propustných povrchů mohou mít potenciál pro rozvoj modro-zelené infrastruktury. Univerzitní park je travnatý, je protkaný několika cestami a jsou zde vysázeny desítky stromů. Přesto bylo v pocitové mapě, která byla vytvořena v rámci projektu Kampus snů, zaznamenáno několika respondenty, že centrální prostranství poskytuje nedostatek stinných míst. Zmíněn byl i nízký počet laviček a stolů.

Univerzitní park jako centrální veřejné prostranství kampusu slouží k setkávání lidí. Přes něj vedou hlavní cesty k vysokoškolské menze. Prostor je využíván pro trávení volného času. Počet míst u stolů je omezený. Je otázkou, zda laviček a stolů by nemohlo být více, zda jsou stávající lavičky a stoly umístěny na správných místech, jestli zde lidé pociťují tepelný komfort. Tomuto problému je třeba se nadále věnovat, aby byla navýšena spokojenost uživatelů s centrálním prostranstvím kampusu. Stromy v univerzitním parku skutečně příliš stinného prostoru nenabízí. Jejich význam je ovšem jiný, značně totiž zvyšují estetickou úroveň univerzitního kampusu. Jejich proměny v průběhu roku jsou často titulní fotografií propagačních materiálů univerzity. Je ještě nutné dodat, že stromy se vyskytují v západní a střední části parku, východní část je zcela beze stromů.

Právě východní část univerzitního parku prakticky není využita. Tato lokalita by měla být uživatelům kampusu zpříjemněna. Bylo by vhodné zde vysadit další okrasné dřeviny, případně jiné stromy, které budoucím uživatelům kampusu poskytnou dostatek stinných míst. Prostor by mohl být případně oživen květinovou výzdobou, která v celém kampusu chybí.

4.2.5 Zelené střechy

Potenciál pro rozvoj modro-zelené infrastruktury mají i stávající budovy. Ty mají převážně střechu s nepropustným povrchem (34 790 m²). Dalšími typy střech v kampusu jsou střecha s vrstvou kačírku (3 153 m²), kterou nalezneme na budově FAV a zelená střecha, na budově na jihu zájmového území (160 m²).

Střechy s nepropustným povrchem (asfalt, plech aj.) jsou tak nejčastějším typem střech budov kampusu. Jejich odtokový koeficient je roven 1, srážková voda odtéká do kanalizace buď vnějším (nádvoří FAV, CIV, menza, posluchárny FEL, RTI) či vnitřním odpadním

potrubím (ostatní budovy). Na celkovém odtokovém koeficientu zájmového území se střechy s nepropustným povrchem podílejí z 13 %. Jejich albedo je nízké, významná část slunečního záření je absorbována. Podílejí se tak na efektu tepelného ostrova.

Řešením by byla aplikace zelených střech. Zelená střecha částečně nahrazuje na pozemku, kde stojí budova, zastavěnou zeď a půdu a jejich funkce. Na nosné konstrukci je umístěna hydroizolační vrstva, dále separační vrstva (geotextílie), drenážní vrstva (nopová folie či štěrkový násyp) dále další separační vrstva (geotextílie) a substrát s vegetací (Holler, 2016).

Zelená střecha má řadu funkcí. Díky její aplikaci je snížen efekt tepelného ostrova, rostliny prostřednictvím evapotranspirace ochlazují nejen své tkáně, ale celou střechu. Zelené střechy regulují vlhkost a čistí ovzduší (rostliny na střechách filtrují částice prachu a nečistot, absorbují plynné škodliviny a aerosoly).

Dalším benefitem je intercepce srážek a zpomalení srážkové vody. Jednotlivé vrstvy zelené střechy vsakují dešťovou vodu, dokud nedosáhnou maximálního nasycení. Již při srážkové epizodě se voda vypařuje a vrací se tak do ovzduší. Při nasycení celého vegetačního souvrství dochází k odtoku srážkové vody. Odtok je tak podstatně zpomalen vegetačním souvrstvím zelené střechy. Zelené střechy mají schopnost zadržet 42–85 % z celkového ročního množství srážkové vody (Holler, 2016). Díky tomu není přetížena kanalizační síť.

Dalšími přínosy jsou ochrana střešní konstrukce a prodloužení její životnosti, zlepšení izolace vůči hluku či zvýšení tepelné ochrany v zimě i v létě. Zelené střechy zpříjemňují obytné i pracovní prostředí. Zlepšují image majitele a uživatele nemovitosti (Holler, 2016).

Existují základní tři typy zelených střech: extenzivní, intenzivní a střešní zahrady. Liší se od sebe hmotností, výškou souvrství, druhem vegetace, ale i množstvím vody, kterou jsou schopny zadržet a akumulovat. Odlišné jsou i koeficienty odtoku. Samozřejmě rozdílná je i výše investičních a provozních nákladů.

Nejjednodušší zelenou střechou je extenzivní zelená střecha. Vegetačním krytem jsou mechy, rozchodníky, byliny a trávy. Ze všech typů má nejnižší hmotnost ($50\text{--}150\text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). Je schopna akumulovat 18–32 l vody na m^2 . Investiční náklady se pohybují kolem 650 Kč na m^2 , roční provozní náklady v řádu nižších desítek korun na m^2 .

Intenzivní zelená střecha může být navíc pokryta trvalkami či dřevinami. Její hmotnost je od 100 do 360 kg · m⁻². Na jednom metru čtverečním je schopna akumulovat 30–100 l vody. Investiční náklady se pohybují kolem 1000 Kč na m², roční provozní náklady v řádu desítek až nižších stovek korun na m² (rostliny je třeba zalévat).

Střešní zahrady již mohou mít i keře a stromy. Hmotnost takového střešního pokryvu je od 320 zhruba do 1 300 kg · m⁻². Dokáže na 1 m² akumulovat až 320 l vody. Zde jsou investiční náklady v tisících korunách na m², roční provozní náklady ve stovkách korun na m² (Holler, 2016; UrbanAdapt, 2017).

Zelené střechy tak poskytují řadu benefitů. Přesto jsou v kampusu zapojeny pouze minimálně. Je jasné, že existují určité bariéry rozvoje zelených střech, například nosnost stávající střešní konstrukce, specifické využití střechy (ekologický minipark obnovitelných zdrojů energie na střeše budovy FEL), přístupnost střechy nebo prostý důvod – střecha budovy zatím nepotřebuje rekonstrukci.

Rozvoj zelených střech v kampusu je žádoucí. Jejich přínos by nebyl pouze v environmentálních otázkách, ale i v otázce image kampusu či propagace univerzity. Mohly by se využít i ve výuce.

Konkrétní návrh zelené střechy v kampusu představuje ve své kvalifikační práci Motejzíkova (2018), jež se zabývala objektem FAV a NTIS, pro který měla k dispozici rozbor zatížení stavebních konstrukcí. Jejím závěrem je, že pouze část střech budovy FAV a NTIS je vhodná pro aplikaci zelených střech. Vzhledem k nosnosti střešní konstrukce a dalším faktorům jsou v jejím návrhu extenzivní zelené střechy.

5 Závěr

Tato diplomová práce se věnovala potenciálu rozvoje modro-zelené infrastruktury v kampusu Západočeské univerzity v Plzni. Velký důraz byl kladen na zpracování analytických podkladů.

Pro práci byly stanoveny tři základní cíle, a to provést inventarizaci stavu modro-zelené infrastruktury v kampusu ZČU, zhodnotit prostorové rozložení modro-zelené infrastruktury pomocí vhodných ukazatelů a na základě analytických podkladů navrhnout modro-zelená opatření v kampusu ZČU.

Kampus Západočeské univerzity leží na periférii města. Přináší tak kombinaci povrchů běžných pro univerzitní areál, ale i plochy typické pro extravilán města. Bylo zjištěno, že nejvyšší plochu zaujímá intenzivní zeleň (27 %), dále náletová zeleň (21 %) a budovy se střechou s nepropustným povrchem (13 %). Zhruba 10 % území je pokryto asfaltem a 7 % zaujímá les.

Horninové prostředí je vhodné pro povrchové zasakování srážkové vody, pro hlubinné zasakování částečně vhodné. Georeliéf postupně klesá od Z k V. Z tohoto popisu vybočuje vyvýšenina v podobě zikkuratu poblíž FDULS a snížený terén za vysokoškolskou menzou. Terén je členitý zejména v lese, který vznikl sukcesí na skládce zeminy.

Odvodnění kampusu je řešeno jednotnou kanalizací. V areálu lze nalézt i vhodná řešení hospodaření s dešťovou vodou, a to v těsné blízkosti FAV nebo před univerzitní knihovnou. Západně od FAV je srážková voda z nepropustných povrchů do zeleně, kde se nacházejí kanalizační vpusti pro případ významnější srážkové události. Na prostranství před knihovnou vpusti do kanalizace nejsou. Obrubníky jsou zde sníženy, voda odtéká do níže položených míst, kde se vsakuje.

Dále byla v práci sledována prostorová distribuce ploch dle odtokového koeficientu. Bylo zjištěno, že téměř 40 % rozlohy kampusu má hodnotu koeficientu odtoku 0,1. To je dáno vysokým podílem zeleně o sklonu 1–5 %, a to nejen intenzivní zeleně, ale i náletové zeleně v okrajových částech zájmového území. 19 % území zaujímají plochy o koeficientu odtoku 0,15, tedy plochy zeleně o sklonu vyšším než 5 %. Z 13 % se podílí na celkovém odtokovém

koeficientu budovy se střechou s nepropustným povrchem, jejichž koeficient je roven jedné. Celkový koeficient odtoku kampusu je 0,364.

Jako ukazatel modro-zelené infrastruktury byl vybrán Helsinki Green Factor [HGF], a to pro jeho komplexnost. Nejvyššího skóre HGF dosahují stromy (případně les) a náletová zeleň. Nejvyšších hodnot HGF tak dosahují plochy při okrajích zájmového území. Celkové skóre HGF kampusu dosáhlo hodnoty 1,35, což je významně vyšší hodnota, než cílová hodnota 0,8, to je ovlivněno zejména přírodě blízkými plochami v okrajových částech kampusu.

Podkladem pro návrhy modro-zelených opatření byly i požadavky uživatelů kampusu, které byly zaznamenány v roce 2018 v rámci projektu Kampus snů. Centrální prostranství kampusu je hodnoceno velmi pozitivně, přesto by v něm uživatelé rádi našli více stinných míst. Kladně je hodnoceno i prostranství před knihovnou. Naopak negativně je hodnoceno nádvoří FAV, lesní plocha či lokalita západně od FDULS.

Na základě analytických podkladů byla navržena modro-zelená opatření, která by bylo vhodné aplikovat v univerzitním kampusu. Konkrétními návrhy byly zelené střechy, polopropustný povrch parkovišť nebo úpravy univerzitního parku respektující požadavky uživatelů kampusu.

Univerzita bohužel nedisponuje strategickým dokumentem, který by rozvoj modro-zelené infrastruktury řešil. Tato práce může být motivací pro to, aby takový koncepční materiál vznikl. Výsledky této práce mohou být samozřejmě pro takový materiál použity jako analytický podklad. V případě zájmu univerzity mohou být poskytnuta i vzniklá geodata.

Seznam tabulek, grafů a obrázků

Seznam tabulek

Tab. 1: Ukázka výpočtu konečného skóre prvku Helsinki Green Factor	22
Tab. 2: Součinitelé odtoku srážkových vod (C).....	28
Tab. 3: Zaměření plzeňských plánovacích dokumentů	32
Tab. 4: Výpočet celkového koeficientu odtoku v kampusu ZČU	52

Seznam grafů

Graf 1: Relativní podíly ploch dle koeficientu odtoku	54
Graf 2: Vývoj výšky hladiny retenčního objektu RTI ve vztahu ke srážkoodtokové události v čase 2.8.2020 0:00 – 5.8.2020 0:00	56
Graf 3: Bilance přítoku a odtoku retenčního objektu v reakci na srážkovou událost v čase 2.8.2020 0:00 – 5.8.2020 0:00	56

Seznam obrázků

Obr. 1: Hydrologická bilance přírodního a urbanizovaného prostředí	24
Obr. 2: Kampus ZČU	36
Obr. 3: Kampus ZČU na ortofoto snímku z roku 2019	37
Obr. 4: Kategorizace povrchů a ploch v kampusu ZČU	41
Obr. 5: Teplota povrchů dne 1.8.2018 v dopoledních hodinách	43
Obr. 6: Hypsometrie kampusu ZČU (stav k roku 2011).....	46
Obr. 7: Sklonitost kampusu ZČU (stav k roku 2011).....	47
Obr. 8: Odvodnění veřejných prostranství kampusu ZČU.....	49
Obr. 9: Kategorizace ploch kampusu ZČU podle koeficientu odtoku	53
Obr. 10: Kategorizace ploch kampusu ZČU podle ukazatele HGF.....	61

Seznam literatury

Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., Sanchez, A. (2019): Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management. *Journal of Environmental Management*. 239. s. 244–254

ARCADIS (2015): Výstavba objektu pro projekt RICE. Realizační dokumentace zhotovitele. B.1. Souhrnná technická zpráva. 67 s.

City of Helsinki (2016): Developing the city of helsinki green factor method. Report summary. iWater – Integrated Storm Water Management. Interreg Central Baltic.

Climate-proof city (2014): Developing a green factor tool for the city of Helsinki. [cit. 2020-11-18]. Dostupné z: <https://ilmastotyokalut.fi/developing-a-green-factor-tool-for-city-of-helsinki/>

CpKP (2018): Kampus snů? Závěrečná zpráva. Zapojení studentů a zaměstnanců do zpracování návrhu koncepčního řešení areálu ZČU na Borských polích s důrazem na veřejná prostranství. Centrum pro komunitní práci západní Čechy. Plzeň. 132 s.

ČZÚ (2020): Strategie udržitelnosti 2030 České zemědělské univerzity v Praze. Česká zemědělská univerzita [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://csr.czu.cz/cs/r-13686-strategie-a-zprava-o-udrizitelnosti>

Dannhoferová, J. (2012): Velká kniha barev. Kompletní průvodce pro grafiky, fotografy a designéry. Computer Press. Brno. 71 s. ISBN 978-80-251-3785-7

Demek, J., Mackovčín, P. [editoři] a kol. (2006): Hory a nížiny. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Brno, 580 s.

DHI (2020): Koncepce odtokových poměrů města Plzně. DHI a.s., VRV a.s., ÚKRMP, Vodárna Plzeň a.s. Plzeň.

Dreiseitl, H., Wanschura, B. [eds.] (2016): Enhancing Blue-Green Infrastructure and Social Performance in High Density Urban Environments: Summary Document. Ramboll Liveable Cities Lab. Überlingen. 174 s.

ENVIC (2020): Brno, Bohunice – Kampus Masarykovy univerzity. Občanské sdružení ENVIC [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z:

<http://www.envic-sdruzeni.cz/krajina-verejny-prostor/hospodareni-se-srazkovymi-vodami/galerie-prikladu/brno-bohunice-kampus-masarykovy-univerzity.htm>

Evropská komise (2013): Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Green Infrastructure (GI) — Enhancing Europe's Natural Capital [online]. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z:

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0249:FIN:EN:PDF>

Evropská komise (2020): Ecosystem services and Green Infrastructure. https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm Evropská komise, 2020

Fendrychová, S. (2020): Zelené střechy i nádrže na vodu. Brno ukazuje, jak stavět v době klimatické změny. Planeta v nouzi. Klimatický speciál Aktuálně.cz [online]. [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/zahranici/zelene-strechy-na-drze-na-vodu-a-zelen-brno-vi-jak-stavet-v-d/r~98b21e88ff2211ea80e60cc47ab5f122/>

Gehl, J. (2012): Města pro lidi. Partnerství. Brno. 261 s. ISBN 978-80-260-2080-6.

Glynwed (2011): Dešťová retenční nádrž RN. RTI ZČU Plzeň.

Holler, J. (2016): Zelené střechy Plzeň. Analýza možnosti podpory zelených střech. Útvar koncepce a rozvoje města Plzně.

IWater Project (2020): Stormwaters: From waste to resource! [online]. [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <https://www.integratedstormwater.eu/>

Jim, C. Y., He, H. (2011): Estimating Heat Flux Transmission of Vertical Greenery Ecosystem. Ecological Engineering, 37 (8), s. 1112–1122.

Kašparová, J. (2020): ČZU je opět nejekologičtější univerzita v ČR. In: Živá univerzita. Zpravodaj České zemědělské univerzity v Praze. 1-2. 59 s.

Kopp, J., Novotná, M., Frajer, J., Ježek, J., Raška, P., Dolejš, M. (2020): Plánování modro-zelené infrastruktury s využitím ekohydrologického hodnocení mikrostruktur města Plzně. *Urbanismus a územní rozvoj*. 23, 4, s. 7–16,

Kopp, J., Raška, P. a kol. (2017): Ekohydrologický management mikrostruktur městské krajiny. *Západočeská univerzita v Plzni*. 218 s. ISBN 978-80-261-0719-4.

Kopp, J., Raška, P., Vysoudil, M., Dolejš, M., Veith, T., Novotná, M., Frajer, J. (2016): Katalog mikrostruktur městské krajiny pro potřeby ekohydrologického managementu. *Západočeská univerzita v Plzni. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem*. 47 s.

Machač, J., Dubová, L., Louda, J., Hekrle, M., Zaňková, L., Brabec, J. (2019): Metodika pro ekonomické hodnocení zelené a modré infrastruktury v lidských sídlech. *Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem*. 67 s.

Maier, K. (2012): *Udržitelný rozvoj území*. Grada. Praha. 253 s. ISBN 978-80-247-4198-7.

McMahon, E. T., Benedict, M. A. (2002): Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. *Renewable Resources Journal*, 20 (3), s. 12–17.

Modrá, K. (2016): *ZČU 25 let*. *Západočeská univerzita v Plzni*. 2. 40 s. ISSN 2464-7667.

Motejízková, K. (2018): Prověření možností a návrhy úprav střešech na objektu ZČU v Plzni na tzv. zelené střechy. *Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta aplikovaných věd. Plzeň*. 136 s.

MŽP (2019): *Odvádění dešťových vod. Decentrální a centrální systém odvádění dešťových vod. Ministerstva životního prostředí [online]. [cit. 2020-10-21] Dostupné z: http://poradme.se/index.php/Odv%C3%A1d%C4%9Bn%C3%AD_de%C5%A1%C5%A5ov%C3%BDch_vod*

Nielsen, T.S., Hansen, K.B. (2007): Do green areas affect health? Results from a Danish survey on the use of green areas and health indicators. *Health Place* 13, s. 839–850.

Odbor ŽP města Plzně (2020): *Významné krajinné prvky*. Magistrát města Plzně [online]. [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: https://ozp.plzen.eu/priroda/vyznamne-krajinne-prvky/vyznamne-krajinne-prvky.aspx#alej_kaplirova

Perini, K., Sabbion, P. (2017): Urban Sustainability and river restoration. Green and blue infrastructure. Wiley Blackwell. Chichester. 268 s.

Pokorný, J. (2014): Hledáte bezporuchové klimatizační zařízení? Arnika [online]. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <http://arnika.org/klimatizace>

Talbert, J., Hanson, C. (2012): Green vs. Gray Infrastructure: When Nature Is Better than Concrete [online]. World Resources Institute. [cit. 2020-10-06]. Dostupné z: <http://www.wri.org/blog/2012/06/green-vs-gray-infrastructure-when-nature-better-concrete>

Ttetzlaff a kol. (2005): Hydrological criteria to assess changes of flow dynamic in urban impacted catchments. In: Physics and Chemistry of the Earth, s. 426–431.

ÚKRMP (2016): Územní plán Plzeň. Útvar koncepce a rozvoje města Plzně.

University of Copenhagen (2014): Green Campus 2020. Strategy for Resource Efficiency and Sustainability at the University of Copenhagen. 27 s.

University of Copenhagen (2017): Sustainability in the Maersk Tower. Green Campus. 24 s.

UrbanAdapt (2015): Adaptace na změnu klimatu ve městech. CzechGlobe, Nadace Partnerství, Útvar koncepce a rozvoje města Plzně. 84 s.

UrbanAdapt (2017): Adaptační strategie města Plzně s využitím ekosystémově založených přístupů. CzechGlobe, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Ústav koncepce a rozvoje města Plzně. 114 s.

Ústav pro jazyk český (2020): Internetová jazyková příručka. Ústav pro jazyk český Akademie věd České republiky [online]. [cit. 2020-10-21]. Dostupné z: <https://prirucka.ujc.cas.cz>

Vartholomaios, A. Kalogirou, N., Athanassiou, E., Papadopoulou, M. (2013): The green space factor as a tool for regulating the urban microclimate in vegetation-deprived Greek cities. Proceedings of the 1st Changing Cities: Spatial, morphological, landscape & socioeconomic dimensions Conference, Skiathos. s. 1020–1029.

Vítek, J. a kol. (2018): Hospodaření se srážkovými vodami – cesta k modrozelené infrastruktuře. Olomoucké stavební standardy k integraci modrozelené infrastruktury. JV PROJEKT VH s.r.o. Brno. 201 s.

Vítek, J., Stránský, D., Kabelková I., Bareš, V., Vítek, R. (2015): Hospodaření s dešťovou vodou v ČR. 01/71 ZO ČSOP Koniklec. Praha. 128 s. ISBN 978-80-260-7815-9.

World from Space (2018): Satelitní monitoring Plzeň 2018. World from Space s.r.o. 13 s.

ZČU (2015): Dlouhodobý záměr Západočeské univerzity v Plzni na období 2016–2020. Plzeň. 72 s.

Normy, zákony a vyhlášky:

ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace (2014)

ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod (2013)

ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budov (2019)

TNV 75 9011 - Hospodaření se srážkovými vodami (2013)

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby

Vyhláška č. 428/2001 Sb.

Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území

Zákon č 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)

Zákon č. 183/2006 Sb.

Data, mapové podklady:

ČHMÚ (2019a): Plzeň-Bolevec. Denní data dle zákona 123/1998 Sb. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>

ČHMÚ (2019b): Plzeň-Bolevec. Měsíční data dle zákona 123/1998 Sb. Český hydrometeorologický ústav [online]. [cit. 2020-11-30]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>

ČÚZK (2019): Ortofoto [WMS].

ČÚZK (2020): Plzeň. Katastrální mapa ČR ve formátu SHP distribuovaná po katastrálních územích.

DMR 5G (2017): Digitální model reliéfu České republiky 5. generace. Český úřad zeměměřický a katastrální. Referenční datum 2017-01-01.

Generel (2020): CAD data kampusu ZČU.

In-počasí (2020): Plzeň – Mikulka. Archiv počasí [online]. [cit. 2020-12-21]: Dostupné z: https://www.in-pocasi.cz/archiv/plzen_mikulka/

OSM (2020): Open street map [WMS].

RTI (2020): Data z retenční nádrže.

SITMP (2018): Open data – teplota. Plzeň – analýza satelitních snímků. World from Space s.r.o. Správa Informačních Technologií města Plzně.

Seznam příloh

Příloha A: Fotodokumentace kampusu

Příloha B: Kategorizace povrchů a ploch v kampusu ZČU

Příloha C: Odvodnění veřejných prostranství kampusu ZČU

Příloha D: Kategorizace ploch kampusu ZČU podle koeficientu odtoku

Příloha E: Kategorizace ploch kampusu ZČU podle ukazatele HGF

CD

Obsah přiloženého CD:

- DP_ZakPavel.pdf
- Priloha_B_povrchy.pdf
- Priloha_C_odvodneni.pdf
- Priloha_D_odtok.pdf
- Priloha_E_HGF.pdf

Příloha A: Fotodokumentace kampusu



Obr. 1: Nádvoří FAV

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Vzhledem k významnému podílu nepropustných povrchů a tvaru nádvoří se zde akumuluje srážková voda. Prostor náchylný k náledí či ledovce, v zimě je proto na nádvoří znemožněn přístup.



Obr. 2: Alej stromů

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Památkově chráněná stromová alej je nejstarším přírodním prvkem kampusu.



Obr. 3: Prostranství před univerzitní knihovnou

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Velmi dobře hodnocený prostor. Jsou zde snížené obrubníky, které umožňují odtok srážkové vody do propustných povrchů.



Obr. 4: Univerzitní park

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Centrální prostor kampusu, který má potenciál pro relaxaci, bohužel je zde nedostatek laviček se stoly a stromů poskytujících stín. Prostor by mohl být zkrášlen květinovou výzdobou.



Obr. 5: Zelená střecha

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Jediná zelená střecha v kampusu. Součástí zelené střechy je nově meteostanice, která bude poskytovat informace o efektu této střechy na mikroklima.



Obr. 6: Prostor za vysokoškolskou menzou

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Komunikace sloužící pro zásobování menzy. Terén je oproti okolí snížen. Jedná se o jedno z nejnižších míst kampusu. K akumulaci srážkové vody zde ale nedochází, voda je svedena do jednotné kanalizace.



Obr. 7: Hlavní vstup do kampusu

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Kdysi velmi využívaný vstup do kampusu, po dostavbě tramvajové tratě k univerzitě je využíván méně. Dvě rovnoběžné asfaltové cesty tak téměř postrádají význam.



Obr. 8: Parkoviště před FEL

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Rozsáhlá asfaltová plocha sloužící pro parkování aut. Srážková voda je svedena do jednotné kanalizace. Při použití polopropustných povrchů by byla zajištěna alespoň částečná retence vody, přičemž by se funkce prostranství nezměnila.



Obr. 9a, 9b: Zikkurat

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Tři stěny zikkuratu jsou pokryty nízkými keři, čtvrtá je travnatá. Prostor je využíván pro relaxaci uživatelů kampusu. Má potenciál pro další využití, například pro letní kino či venkovní přednášky.



Obr. 10: Prostor mezi FDULS, RICE a ulicí U Letiště

Foto: Pavel Žák, 29. 11. 2020

Rozvojová lokalita kampusu značně zarostlá vegetací. Na terénních vyvýšeninách jsou vysázeny stromy. V depresi se akumuluje voda. Pokud má lokalita sloužit jako park, měla by být zkulturněna. Usnadněn by měl být i přístup.