



Bakalářská práce

Přírodní poměry povodí Jizerského potoka a jejich vliv na hydrologii území Zoologické zahrady v Liberci

Studijní program:

B0532A330022 Aplikovaná geografie

Autor práce:

Tomáš Ernée

Vedoucí práce:

RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

Katedra geografie

Liberec 2024



Zadání bakalářské práce

Přírodní poměry povodí Jizerského potoka a jejich vliv na hydrologii území Zoologické zahrady v Liberci

<i>Jméno a příjmení:</i>	Tomáš Ernée
<i>Osobní číslo:</i>	P21000635
<i>Studijní program:</i>	B0532A330022 Aplikovaná geografie
<i>Zadávající katedra:</i>	Katedra geografie
<i>Akademický rok:</i>	2023/2024

Zásady pro vypracování:

Cíle:

- Analýza dostupných historických a současných mapových vrstev a fotografií povodí Jizerského potoka a území Zoo v Liberci
- Zmapování aktuálních hydrografických poměrů povodí Jizerského potoka (detailní popis hydrografické sítě)
- Analýza dostupných časových řad klimatických a hydrologických dat
- Posouzení zranitelnosti a potenciálu zájmového území z hlediska budoucího udržitelného hospodaření s vodou

Metody:

- Analýza vrstev GIS
- Mapování pomocí GPS
- Základní statistika klimatických a hydrologických datových řad (vlastních či převzatých)
- Monitoring průtoků a vydatnosti pramenů

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

tištěná/elektronická

Jazyk práce:

čeština

Seznam odborné literatury:

Robinson, M., et al. "Long-Term Environmental Monitoring in the UK: Origins and Achievements of the Plynlimon Catchment Study." *Transactions of the Institute of British Geographers*, vol. 38, no. 3, 2013, pp. 451–63. *JSTOR*, Dostupné 25. 12. 2023 z: <http://www.jstor.org/stable/24582459>

Wang, Yinping, et al. "Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: A Systemic Review." *Journal of Coastal Research*, 2019, pp. 22–30. *JSTOR*, Dostupné 20. 12. 2023 z: <https://www.jstor.org/stable/26853248>

Saleh, Thomas, and Madeline Stanley. "Water Monitoring." *Real-Time Water Quality Monitoring: Benefits for Decision Making*, International Institute for Sustainable Development (IISD), 2023, pp. 3–8. *JSTOR*, Dostupné 26. 12. 2023 z: <http://www.jstor.org/stable/resrep51837.4>

Minea, G., Rodrigo-Comino, J., Morosanu, G. A. Playing with water – An introduction to experimental hydrology. 2018. Dostupné 26. 12. 2023 z: https://www.researchgate.net/publication/329527133_Playing_with_water_-_An_introduction_to_experimental_hydrology

Město Liberec. Vodní toky a plochy. 2003. Dostupné 25. 12. 2023 z: https://docs.liberec.cz/Odb_UK/prezentace%20UP/%C5%99e%C5%A1en%C3%AD%20%C3%BAp%20obce/

Vedoucí práce:

RNDr. Jan Kocum, Ph.D.

Katedra geografie

Datum zadání práce:

27. září 2023

Předpokládaný termín odevzdání: 24. dubna 2024

L.S.

doc. PaedDr. Aleš Suchomel, Ph.D.
děkan

doc. Mgr. Hynek Böhm, Ph.D.
garant studijního programu

V Liberci dne 5. října 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu této práce panu RNDr. Janu Kocumovi, Ph.D. za její vedení, množství konzultací, rad a věnovanému času. Dále panu Mgr. Danielu Vrbíkovi, Ph.D. za cenné konzultace a nasměrování této práce. A na závěr společnosti Photon Water za současnou i budoucí spolupráci na řešené problematice, řediteli Zoo Liberec MVDr. Davidu Nejedlovi za cenné informace, oddělení ÚAP a GIS magistrátu Liberec za poskytnutí použitých dat, Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. za svolení data použít a samozřejmě mé přítelkyni, kocourovi a rodině za podporu po celou dobu studia.

Tato práce je založena na využití Velké výzkumné infrastruktury CzeCOS podporované Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci programu CzeCOS, číslo grantu LM2023048

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem přírodních poměrů na část povodí Jizerského potoka, do které spadá i Zoo Liberec, v souvislosti s probíhajícími změnami klimatu. V práci jsou postupně představeny vybrané přírodní poměry, které mají na zájmové území vliv. Dále jsou v práci analyzovány vybrané mapové vrstvy, ze kterých jsou identifikována místa náchylnější na klimatickou změnu. V práci jsou rovněž analyzována klimatická data v nejdelší dostupné periodě, ze kterých je patrný růst teploty vzduchu, stagnace srážkového úhrnu a úbytek sněhové pokrývky. V rámci terénního výzkumu byly poté v zájmové části Jizerského potoka monitorovány průtoky jednotlivých vodních toků, polohově zaměřovány jejich pramenné oblasti, a naměřená data byla následně porovnávána s daty o vodních tocích a nádržích DIBAVOD. Z výsledků terénního výzkumu bylo zjištěno, že je Jizerský potok hlavním vodním zdrojem zájmového území, a že data DIBAVOD zcela neodpovídají reálnému stavu. Ke konci práce je posouzena zranitelnost zájmového území, při které byla určena Zoo Liberec jako místem nejnáchylnějším ke změně klimatu, a zároveň jeho potenciál, který tkví v aktuálně probíhajícím projektu na cirkulární hospodaření s vodou v areálu zoo. Hlavními výstupy práce jsou mapové výstupy s výsledky terénního výzkumu a jejich následného porovnání s daty DIBAVOD.

Klíčová slova: Jizerský potok, povodí, Zoo Liberec, změna klimatu, voda

Annotation

This bachelor thesis is focused on impact of natural conditions in context of current climate change on part of Jizera stream basin and Liberec Zoo. Firstly, there are introduced the natural conditions that influence the research area. Secondly there are analysed some of the map layers, from which are identified the places more vulnerable to climate change. In the thesis was also done a climate data analysis in the longest period available, which results are air temperature growths, precipitation stagnation and snow cover decrease. The field research done in this thesis included watercourse flow monitoring, position measurements of water source areas, and finally comparison of field research results with DIBAVOD watercourse and water areas data. The field research results revealed that Jizera stream is the main water source of the research area and that the DIBAVOD data show some lack of accuracy. At the end of the thesis the vulnerability and potential evaluation of the research area was completed. As the most vulnerable place in research area was chosen the Liberec Zoo, which has also a potential in circular water management. The main result of this thesis is in a form of maps presenting the results of the fields research and its comparison with the DIBAVOD data.

Key words: Jizera stream, basin, Liberec Zoo, climate change, water

Obsah

1	Úvod	11
2	Charakteristika zájmového území	13
2.1	Vymezení zájmového území	13
2.2	Geologicko-pedologické poměry	16
2.3	Analýza dostupných historických a současných mapových vrstev zájmového území.....	20
3	Hydro-klimatické poměry zájmového území	31
3.1	Klimatické poměry	31
3.2	Hydrologické poměry	36
3.3	Aktuální hydrografická síť Jizerského potoka.....	42
3.4	Role Lesního koupaliště v hydrologii zájmového území	47
4	Zranitelnost a potenciál zájmového území z hlediska budoucího udržitelného hospodaření s vodou	49
4.1	Zranitelnost povodí Jizerského potoka v souvislosti s probíhajícími změnami klimatu.....	49
4.2	Adaptace Zoologické zahrady v Liberci na nedostatek vody v zájmovém území.....	52
5	Diskuse a závěr	54
6	Zdroje informací a dat	57
6.1	Internetové zdroje.....	57
6.2	Ostatní zdroje.....	61
6.3	Zdroje dat GIS	61

Seznam obrázků

Obr. 1: Vymezení povodí Jizerského potoka a území Zoo Liberec v roce 2024	15
Obr. 2: Geologické poměry zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024	17
Obr. 3: Náchylnost svahu k sesouvání v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024	17
Obr. 4: Půdní poměry zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024	19
Obr. 5: Změna krajinného pokryvu mezi lety 1990 a 2018 v zájmové části povodí Jizerského potoka	22
Obr. 6: Změna krajinného pokryvu v zájmové části povodí Jizerského potoka mezi lety 1990 a 2018	23
Obr. 7: Vegetační index NDVI v kontextu se změnou krajinného pokryvu mezi lety 1990 a 2018 v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2022	25
Obr. 8: Obsah vody ve vegetaci na základě vegetačního indexu WBI4 v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2022	27
Obr. 9: Propustnost povrchu zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024	30
Obr. 10: Umístění meteorologických stanic ČHMÚ v polohovém kontextu k zájmové části povodí Jizerského potoka v roce 2024	32
Obr. 11: Porovnání vývoje průměrné teploty vzduchu mezi lety 1961 a 2022 meteorologických stanic Liberec a Bedřichov	33
Obr. 12: Porovnání vývoje úhrnu srážek mezi lety 1961 a 2022 meteorologických stanic Liberec a Bedřichov	34
Obr. 13: Porovnání vývoje celkové výšky sněhové pokrývky mezi lety 1961 a 2022 meteorologických stanic Liberec a Bedřichov	35
Obr. 14: Základní průměrný odtok zájmové části povodí Jizerského potoka v období 1991-2020	38
Obr. 15: Základní odtok za sucha zájmové části povodí Jizerského potoka v období 1991-2020	39
Obr. 16: Akumulace vody v porovnání s vodními toky v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2022	41
Obr. 17: Výsledky terénního výzkumu konaného ve dnech 20. 3. a 9. 4. 2024 v zájmové části povodí Jizerského potoka	44
Obr. 18: Porovnání vodních toků a nádrží zaměřených pomocí GNSS s daty z DIBAVOD v zájmové části povodí Jizerského potoka v roce 2024	46

Seznam použitých zkratk

AV ČR – Akademie věd České republiky

CASI – Compact Airborne Spectrographic Imager (hyperspektrální senzor používaný v dálkovém průzkumu země)

CENIA – Česká informační agentura životního prostředí

CORINE – Coordination of information on the environment (iniciace Evropské unie pro koordinovaný sběr informací a tvorbu výstupů v oblasti krajinného pokryvu, biotopů a kvality vzduchu)

ČGS – Česká geologická služba

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČR – Česká republika

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DIBAVOD – digitální báze vodohospodářských dat

DMR – digitální model reliéfu (zobrazení zemského povrchu v digitální podobě)

DMR 5G – digitální model reliéfu 5. generace od ČÚZK

FP TUL – Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická Technické univerzity v Liberci

GIS – geografické informační systémy

GNSS – Global Navigation Satellite System (globální navigační satelitní systém používaný k určování polohy)

GPS – Global Positioning System (satelitní navigační systém americké vlády)

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (vegetační index zobrazující výskyt a zdravotní stav vegetace)

ÚAP – územně analytické podklady

VÚV TGM – Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigue Masaryka

WBI4 – Water Band Index (vegetační index zobrazující výskyt vody ve vegetaci)

ZABAGED – Základní báze geografických dat

1 Úvod

Klimatická změna. Fenomén, o kterém už asi každý někdy slyšel a ví, že se ve světě děje a je problematický. Může si pod ním představit například tání ledovců, či stoupaní hladiny moří (Fakta o klimatu, 2024) a říct si, že v České republice moře ani ledovce nejsou, tak se to našeho území netýká. To by ale byla velmi mylná představa. Klimatická změna má totiž zcela konkrétní projevy a postihuje i tak malá území, jako je povodí Jizerského potoka či ještě menší území Liberecké zoo, na která je tato práce zaměřená.

Změna klimatu je dnes silně ovlivněna činností člověka, který například spalováním fosilních paliv přidává skleníkové plyny do atmosféry, a tím podporuje oteplování planety Země (Fakta o klimatu, 2024). Tato změna tak ovlivňuje nějakým způsobem celé území Evropy. Konkrétní projevy se potom liší v závislosti na regionu (Evropský parlament, 2023). Česká republika leží ve střední Evropě (MZP, 2006), která spadá do oblasti kontinentální a horské (Evropský parlament, 2023). Mezi hlavní projevy změny klimatu v těchto oblastech patří znatelné výkyvy teplot, rozložení srážek v čase, úbytek ledovců, vymírání některých živočišných a rostlinných druhů, či riziko sesuvů půdy (Evropský parlament, 2023).

V posledních 60 letech je zaznamenán růst teploty vzduchu i v ČR, nejznatelněji ve velkých městech a jejich okolí (MZP, 2021, s. 20). V ČR roste průměrná roční teplota vzduchu o $0,35^{\circ}\text{C}$ za každých deset let (ENVIROMETR, 2020). Mezi lety 1961–2023 tak průměrná roční teplota vzduchu v ČR vzrostla o $2,2^{\circ}\text{C}$ (Fakta o klimatu, 2024). Vlivem dlouhodobého růstu teploty stoupá v letní sezoně počet letních dní, kdy maximální teplota vzduchu přesáhne hranici 25°C , tropických dní, kdy je maximální teplota vzduchu více jak 30°C a tropických nocí, kdy je po celou noc více jak 20°C (ENVIROMETR, 2020). V zimní sezoně naopak klesá počet mrazových dní, kde minimální teplota klesne pod bod mrazu, ledových dní, kde maximální denní teplota nepřekoná 0°C a arktických dní, kdy je maximální denní teplota nižší než -10°C (ENVIROMETR, 2020).

Co se týče srážkových úhrnů, tak vzhledem k jejich kolísavosti a střídání suchých a vlhkých období, není určen trend jejich vývoje. Dochází ale ke změně v jejich prostorovém a časovém rozložení. Čím dál více přibývá dní s vysokými srážkovými úhrny, které mohou vést k nárazovým povodním, ale zároveň přibývá i dnů, respektive období, kdy je srážkový úhrn nulový, či velmi malý (MZP, 2021, s. 22).

I povodí Jizerského potoka, které se nachází na okraji Jizerských hor, je dlouhodobě postihováno nejen změnou klimatických podmínek, ale také lidskou činností. Ať už se jedná o růst teploty, dlouhodobý úbytek sněhové pokrývky, či změny krajinného pokryvu. Jizerský potok je navíc hlavním vodním zdrojem pro zoologickou zahradu v Liberci, která se stará o zachování biodiverzity více než 160 druhů zvířat (ZOO Liberec, 2024), a negativní změny jeho přírodních poměrů zapříčiněny změnou klimatu mohou zoo v budoucnu ohrozit. Areál Zoo Liberec se má navíc v následujících letech rozšířit o 12 ha (ZOO Liberec, 2024), takže stabilní zdroj vody v podobě Jizerského potoka je nepostradatelný.

Cíle této práce jsou:

- Analýza dostupných historických a současných mapových vrstev a fotografií povodí Jizerského potoka a území Zoo v Liberci
- Zmapování aktuálních hydrografických poměrů povodí Jizerského potoka (detailní popis hydrografické sítě)
- Analýza dostupných časových řad klimatických a hydrologických dat
- Posouzení zranitelnosti a potenciálu zájmového území z hlediska budoucího udržitelného hospodaření s vodou

Pro splnění cílů byly zvoleny metody:

- Analýza vrstev GIS
- Mapování pomocí GPS
- Základní statistika klimatických a hydrologických datových řad (vlastních či převzatých)
- Monitoring průtoků a vydatnosti pramenů

Hypotézy této práce jsou následující:

- Průměrná roční teplota vzduchu vzrostla na zájmovém území mezi lety 1961–2022 méně, než je průměr za stejné období pro celou ČR.
- Hydrografická síť zájmového území vycházející z dat DIBAVOD není v pramenných oblastech přesně zmapována.

2 Charakteristika zájmového území

2.1 Vymezení zájmového území

Zájmové území, na které je zaměřena tato práce, je částí povodí Jizerského potoka. Pro vymezení jak celého povodí Jizerského potoka, tak jeho části, byla využita data z laserového skenování, která byla pořízena Ústavem výzkumu globální změny AV ČR dne 19.6.2022 (Liberec, 2022, s.46) v rámci kampaně pro adaptační strategii na změnu klimatu pro statutární město Liberec.

Laserové skenování bylo provedeno skenerem Riegl LMS Q780 dne 19. 6. 2022 ve výšce 1650 metrů nad povrchem a plánované prostorové rozlišení bez překrytu bylo 2,5 bodu na metr čtvereční (CZECH GLOBE, 2021). Přesnost tohoto skeneru jsou pak 2 cm (Riegl, 2015). Z výsledného mračna bodů, které laserovým skenováním vzniklo, byl vytvořen DMR (CZECH GLOBE, 2022), neboli digitální model reliéfu, který reprezentuje přirozený zemský povrch a obsahuje v sobě informaci o nadmořské výšce jednotlivých bodů.

Samotný DMR byl dále zpracováván v programu ArcGIS Pro v následujících krocích.

Nejprve byl DMR převeden z formátu las do formátu rastrového, aby na něm mohly být provedeny další kroky. K tomu byla využita funkce „LAS Dataset To Raster,“ po které vznikl DMR v rasterovém formátu, kde každá buňka obsahuje informaci o nadmořské výšce dané buňky.

Na DMR v rastrovém formátu poté byla použita funkce „Flow Direction,“ pro zjištění směru odtoku jednotlivých buněk. Tato funkce přiřadí každé buňce jednu z 8 hodnot, které reprezentují světové strany na základě nadmořské výšky dané buňky a buněk sousedních. Hodnota pak vyjadřuje směr odtoku buňky k sousední buňce, která má nižší nadmořskou výšku (Esri, 2024).

Nakonec pro určení samotného povodí jizerského potoka byla použita funkce „Watershed,“ která určuje povodí, vztahující se ke konkrétnímu bodu (Esri, 2024). V případě této práce byly zvoleny dva body, pro které bylo povodí vytvořeno. Konkrétně se jednalo o výpust' z Labutího jezírka, které se nachází na území Zoo Liberec, a poté místo, kde se vlívá Jizerský potok do řeky Lužická Nisa. Bod na soutoku Jizerského potoka a Lužické Nisy byl zvolen z důvodu, že se zde nachází konec celého povodí Jizerského potoka, a bod u Výpusti z Labutího jezírka byl zvolen proto, že zde končí areál Zoo Liberec, a tím pádem zde končí část povodí, která má na území Zoo Liberec přímý vliv. Pro úspěšné použití funkce

„Watershed,, je zapotřebí již dříve vytvořený rastr funkcí „Flow Direction,, a také pro účely této práce dva vztažné body. Výsledkem této funkce byl rastr definující jednak celé povodí Jizerského potoka, tak zájmovou část Jizerského potoka.

Aby se s povodími dalo dále pracovat, byly následně převedeny z rastrového formátu na formát vektorový. Byla pro to použita funkce „Raster to Polygon,, po jejímž dokončení vznikly dvě nové, vektorové, polygonové vrstvy.

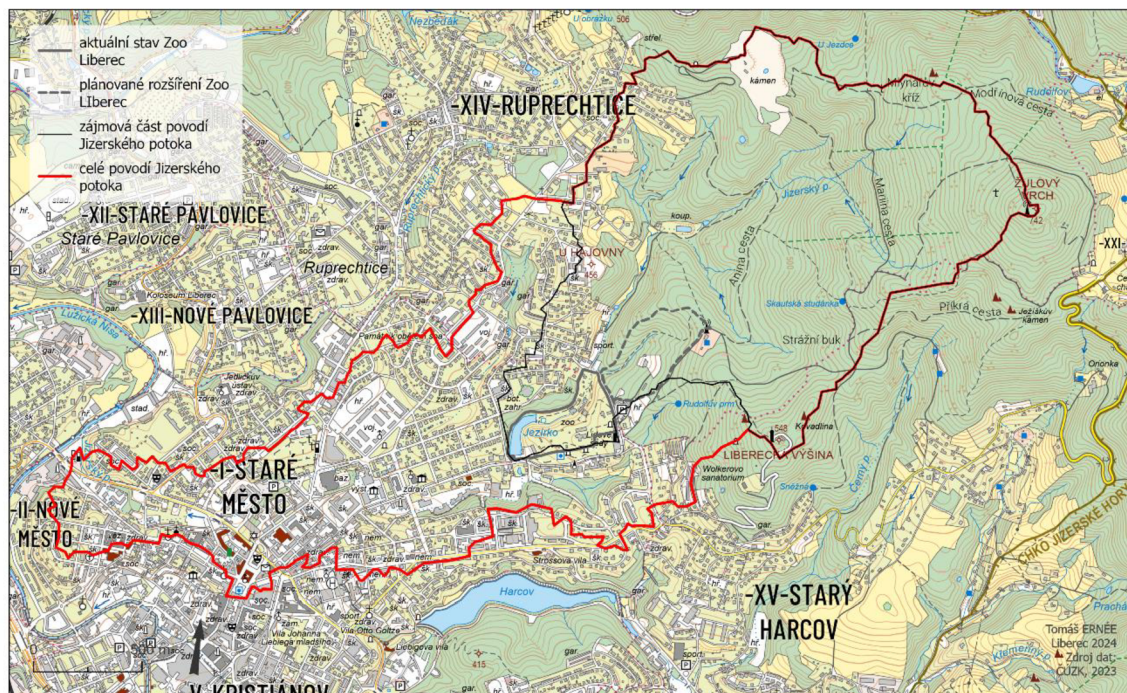
Jelikož došlo v malé východní části povodí k nepřesnému vymezení, byla tato část opravena o povodí vymezené stejným postupem, jako je zde zmíněný, akorát za použití DMR 5G od ČÚZK (ČÚZK, 2023).

Pro zjištění rozlohy celého povodí Jizerského potoka a jeho zájmové části byla nejdříve v atributových tabulkách jednotlivých vrstev přidána nová pole s názvem „rozloha [ha],, a poté byla v těchto polích pomocí funkce „Calculate Geometry,, vypočítána jejich plocha v hektarech. Na základě zde popsaného postupu vyplývá, že celé povodí Jizerského potoka má rozlohu 492,6 ha, zatímco jeho část, kterou se zabývá tato práce má rozlohu 283,0 ha, což činí zhruba 57% z celého povodí.

Zoologická zahrada Liberec, která je rovněž předmětem zájmu této práce a leží na zájmové části Jizerského potoka, byla založena v roce 1904 a jedná se o nejstarší zoo na území České republiky (Zoo Liberec, 2024). Rozkládá se na ploše necelých 14 ha a pečuje o více jak 160 druhů zvířat (Zoo Liberec, 2024). Tím, že více jak polovina chovaných druhů spadá pod evropské záchovné programy, pomáhá zoo se zachováním a ochranou ohrožených druhů a tím výrazně podporuje biodiverzitu (Zoo Liberec, 2024). Areál zoo byl pro účely této práce vymezen z katastrální mapy od ČÚZK (ČÚZK, 2021).

V následujících letech by se navíc měl areál zoo, díky zvýšenému financování, rozšířit o 12 ha (Zoo Liberec, 2024), a tím zlepšit podmínky jak pro chované druhy, tak pro návštěvníky. Mimo rozšíření samotného areálu by v zoo mělo dojít i k rekonstrukci stávajících pavilonů, či vybudování nového bistra (Zoo Liberec, 2024). Areál budoucího rozšíření zoo se rovněž nachází v zájmové části Jizerského potoka a byl vymezen na základě schématu z webových stránek Zoo Liberec (Zoo Liberec, 2023).

VYMEZENÍ POVODÍ JIZERSKÉHO POTOKA A ÚZEMÍ ZOO LIBEREC v roce 2024



Obr. 1: Vymezení povodí Jizerského potoka a území Zoo Liberec v roce 2024 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

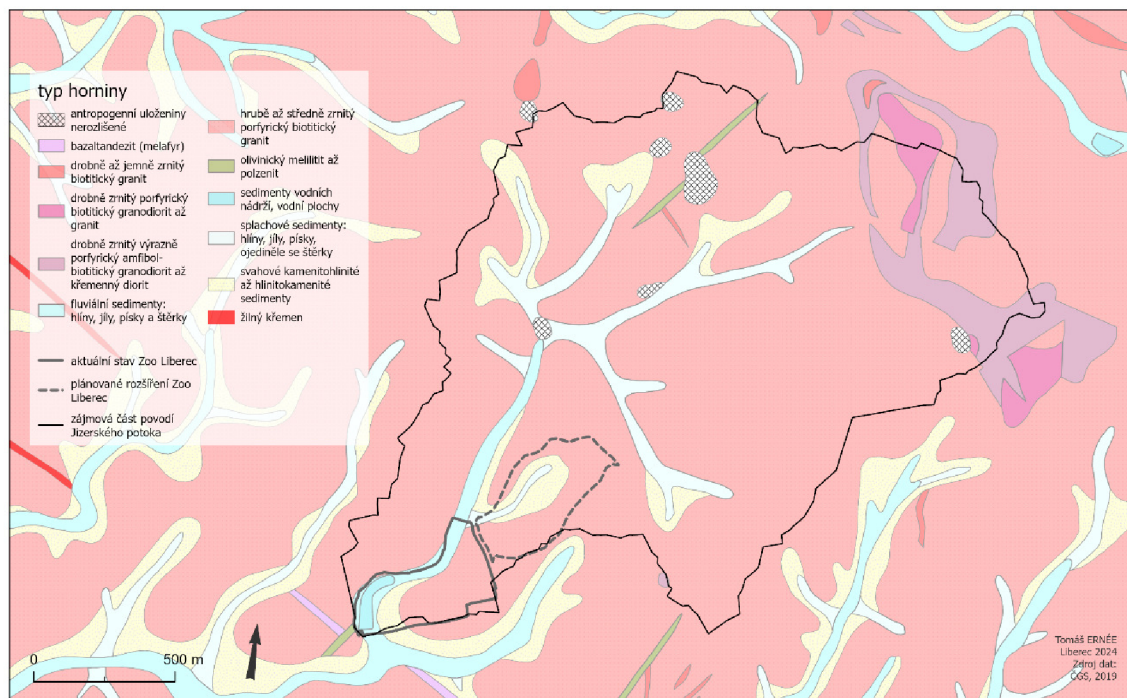
2.2 Geologicko-pedologické poměry

Zájmové území Jizerského potoka se nachází v nejsevernější jednotce Českého masivu, v Lugiku (ČGS, 2007). Konkrétně na území Krkonošsko-jizerského plutonu, který vznikl v prvohorách asi před 330–360 miliony lety (Multimediální mineralogicko, 2011) během hercynského vrásnění (ČGS, 2007). Samotný pluton vznikl nejdříve oddělením granitového magmatu, které začalo stoupat, a následně docházelo k poklesu okolního tlaku a teploty a došlo k postupné krystalizaci. Do dnešní úrovně se horniny dostali postupnou erozí nadložního pokryvu (Multimediální mineralogicko, 2011).

Jelikož je pluton velké těleso magmatického původu (ČGS, 2007), je většina zájmového území pokryta právě vyvřelými horninami. Konkrétně pokrývají vyvřelé horniny hercynského stáří 84,1 % celého zájmového území. Nejrozšířenější horninou je poté hrubě až středně zrnitý porfyrický biotitický granit, který pokrývá 78,6 % zájmového území. Zbytek hornin, které se na zájmovém území nachází jsou horniny sedimentární z období čtvrtohor. Ty pokrývají 15,9 % zájmového území a vyskytují se především v blízkosti vodních toků a ploch. Nejzastoupenějšími sedimentárními horninami jsou splachové sedimenty, jako jsou hlíny, jíly, písky, či ojediněle šterky. Tyto sedimenty pokrývají 6,1 % z celkového zájmového území. K získání a analýze použitých dat byla použita ArcGIS server služba Geologická mapa 1 : 25 000 – zakrytá od ČGS (ČGS, 2019). Vrstva hornin byla nejprve v programu ArcGIS Pro oříznuta vrstvou zájmového území a následně byla pro každou horninu v zájmovém území vypočítána její plocha pomocí funkce „Calculate Geometry,..“. Poté bylo vypočteno procentuální zastoupení jednotlivých hornin z celkové rozlohy zájmového území.

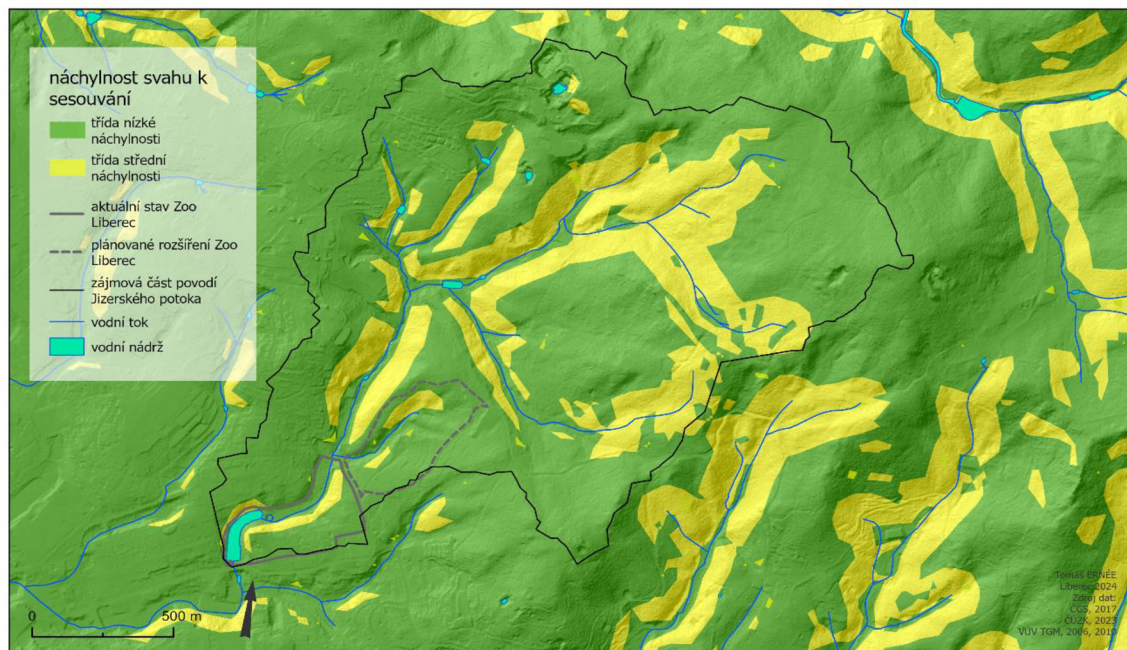
Vzhledem k tomu, že je zájmové území Jizerského potoka výškově členité, je část jeho území náchylná na svahové sesuvy. To jsou pohyby materiálu dolů po svahu vlivem gravitační síly (SCI MUNI, neuvedeno). Podle ArcGIS server služby Náchylnost svahu k sesouvání od ČGS (ČGS, 2017) je většina oblastí v okolí vodních toků v zájmovém území středně ohrožena sesuvem půdy. To je zapříčiněno jednak členitým reliéfem v okolí vodních toků, které se většinou nacházejí v údolích (ČÚZK, 2023), a také výskytem sedimentárních hornin, které se v okolí vodních toků a ploch nacházejí (ČGS, 2019). Nejnáchylnějším místem jsou počáteční úseky Jizerského potoka a jeho druhého levého přítoku. Směrem po proudu je náchylnost k sesuvům nižší. V konečných úsecích Jizerského potoka na zájmovém území je riziko výrazně menší než v počátečních úsecích, jelikož zde reliéf není tak členitý.

GEOLOGICKÉ POMĚRY zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024



Obr. 2: Geologické poměry zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

NÁCHYLNOST SVAHU K SESOUVÁNÍ v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024



Obr. 3: Náchylnost svahu k sesouvání v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

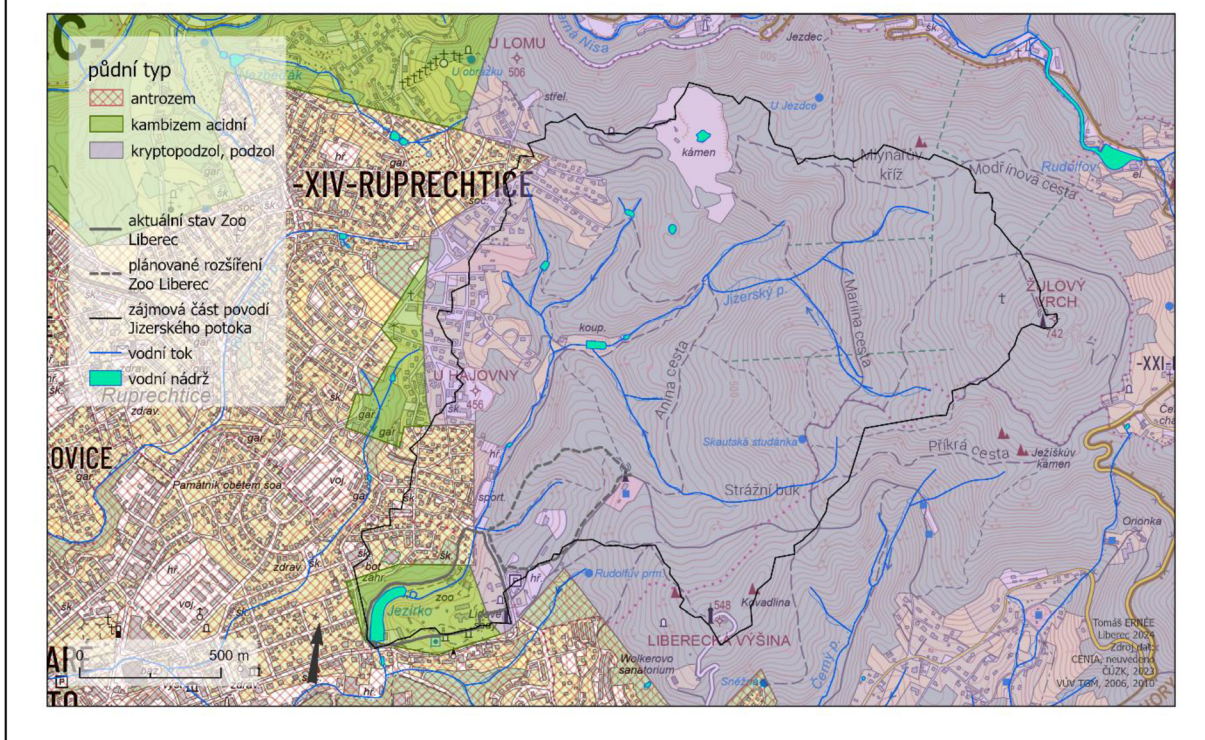
Co se typů půdy týče, podle dat o půdních typech od CENIA (CENIA, neuvedeno), se na zájmovém území Jizerského potoka vyskytují celkem 3. Vůbec nejrozšířenějším typem půdy je na zájmovém území kryptopodzol a podzol. Tento typ půdy pokrývá 91,4 % z celé rozlohy zájmového území. Na rozdíl od aktuálního stavu zoo, na jehož území se vyskytují všechny 3 typy půd, je celé zamýšlené rozšíření zoo pokryto pouze kryptopodzoly a podzoly. Celkem tak tento půdní typ pokrývá většinu zájmového území, až na jeho jihozápadní část, kde se nachází zástavba a většina území Zoo Liberec. Kryptopodzoly mají rezivou barvu, nízkou objemovou hmotnost a jsou vysoce kypré. Vytvářejí se v horských podmínkách s vysokými úhrny srážek například v blízkosti žul (ČPS, 1999), které jsou na zájmovém území široce rozšířeny. Podzoly mají barevnost od hnědé, přes rezivou až po bílou a vyznačují se vysokým obsahem humusu (ČPS, 1999). Rovněž jako kryptopodzoly se vyskytují ve vyšších nadmořských výškách v blízkosti žul.

Druhým nejrozšířenějším půdním typem, který zabírá 5,1 % zájmového území je antrozem. Antrozem je půda, která byla vytvořena při stavební a těžební činnosti člověka (ČPS, 1999). Antrozem a její složení je ovlivněna charakteristikami původního materiálu, vrstvami vzniklými lidskou činností a jejich mísením (ČPS, 1999). Veškerá antrozem na zájmovém území se nachází v oblasti nesouvislé městské zástavby (CENIA, 2018). Většina pak v jihozápadní části zájmového území, a na malém území i v severozápadní části zájmového území.

Nejméně rozšířeným půdním typem je acidní kambizem, která zabírá pouhých 3,5 % z celkové rozlohy zájmové části povodí Jizerského potoka. Kambizem má hnědou barvu a vytváří se především ve svažitéch oblastech vyšších nadmořských výšek (ČPS, 1999). Jinak se kambizem rovněž vyskytuje v širokém rozptýlu klimatických a vegetačních podmínek), což má vliv na výskyt a kvalitu obsaženého humusu (ČPS, 1999). Ačkoliv je kambizem nejméně rozšířená na zájmovém území, je nejrozšířenějším typem půdy na území Zoo Liberec. Kromě areálu Zoo Liberec se nachází ještě v těsné blízkosti severně od areálu.

Pro získání údajů o procentuálním zastoupení jednotlivých půdních typů na zájmovém území Jizerského potoka byla nejprve v programu ArcGIS Pro oříznuta vrstva Typy půd od CENIA (CENIA, neuvedeno) vrstvou zájmové části území Jizerského potoka, a následně pomocí funkce „Calculate Geometry“, byla vypočtena plocha jednotlivých půdních typů. Nakonec bylo vypočteno procentuální zastoupení jednotlivých půdních typů na zájmové části Jizerského potoka.

PŮDNÍ POMĚRY zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024



Obr. 4: Půdní poměry zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

2.3 Analýza dostupných historických a současných mapových vrstev zájmového území

V rámci této podkapitoly byly analyzovány některé z mapových vrstev, které byly pro zájmové území volně dostupné, nebo byly získány po vyžádání. Jedná se o změnu krajinného pokryvu mezi lety 1990 a 2018 z dat krajinného pokryvu od CENIA (CENIA, 2011 a 2018), o vegetační indexy NDVI (CZECH GLOBE, 2022) a WBI4 (CZECH GLOBE, 2022) od Ústavu výzkumu globální změny AV ČR, a nakonec o krajinný pokryv od ÚAP a GIS Liberec (ÚAP a GIS Liberec, 2023), ze kterého byla vytvořena vrstva propustnosti povrchu.

Data o krajinném pokryvu z let 1990 a 2018 od CENIA (CENIA, 2011 a 2018) vychází z dat CORINE Land Cover (Copernicus, neuvedeno), která jsou získávána v rámci Evropského programu Copernicus. Ten má za účel získávat kvalitní data o životním prostředí napříč Evropským společenstvím, aby byla data vypovídající a mezi jednotlivými státy porovnatelná. Data o krajinném pokryvu jsou vytvářena interpretací družicových snímků a jejich výsledkem je mapa krajinného pokryvu, rozděleného do jednotlivých tříd (CENIA, 2011).

Pro účely této práce byla zvolena data o krajinném pokryvu z roku 1990, jelikož se jedná o první data CORINE Land Cover pro území ČR a poté data z roku 2018, která jsou zatím poslední dostupná data o krajinném pokryvu pro ČR. Jedná se tedy o dvě od sebe časově nejvzdálenější datové sady o krajinném pokryvu, která jsou pro území ČR dostupná, a je zde tak předpokládána největší změna mezi těmito dvěma sadami. Nicméně nejmenší mapovací jednotka CORINE Land Cover je 25 ha, což je zhruba jedenáctina celé zájmové části povodí Jizerského potoka. Pro tak velké měřítko tak není tato mapová vrstva vhodná a výsledky analýzy jsou spíše orientačního charakteru. Pro přesnější výsledky by bylo zapotřebí podrobnějších vstupních dat, jako je třeba krajinný pokryv od oddělení ÚAP a GIS Liberec (ÚAP a GIS Liberec, 2023). Nicméně oddělení ÚAP a GIS Liberec má k dispozici data o krajinném pokryvu pouze z let 2018 a 2023, takže by nebylo možné analyzovat větší změnu než za období 5 let.

V roce 1990 se na zájmovém území Jizerského potoka nacházely 4 třídy krajinného pokryvu, a to nesouvislá zástavba, zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, jehličnaté lesy a smíšené lesy. Nejrozšířenějším krajinným pokryvem byly jehličnaté lesy, které pokrývaly 70,6 % zájmového území a vyskytovaly se především ve vyšších nadmořských výškách, v pramenných oblastech, ale zasahovaly i do areálu Liberecké zoo. Především ale zabíraly celou severní a západní část zájmové části Jizerského potoka. Zbylé tři třídy, smíšené lesy,

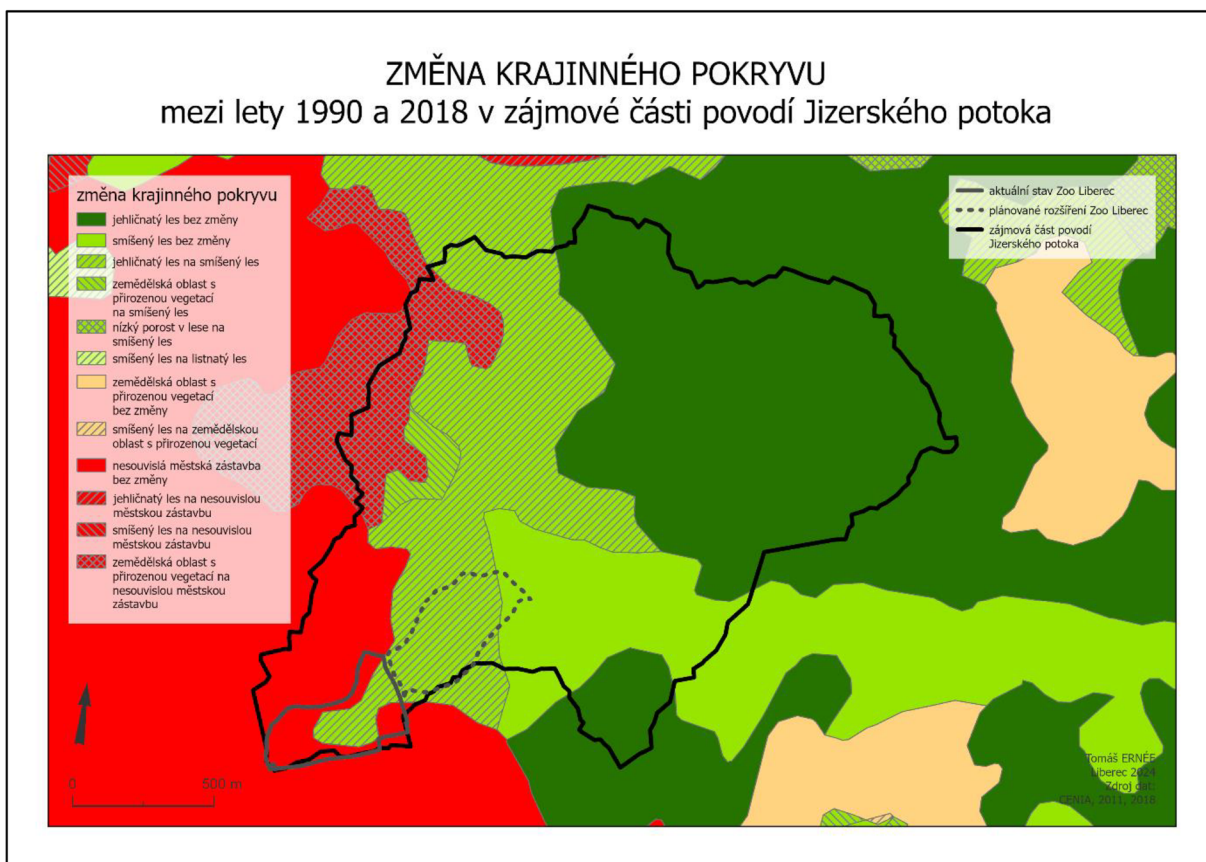
nesouvislá městská zástavba a zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, zabíraly 12,3 %, 9,3 % a 7,9 %. Jejich zastoupení tudíž nebylo tak rozdílné. Smíšené lesy se vyskytovaly v jižní části zájmového území, zatímco nesouvislá městská zástavba i zemědělské oblasti s přirozenou vegetací se nacházely v části západní. Zastavěná plocha spíše v jihozápadní části a zemědělská plocha v části severozápadní.

Naproti tomu v roce 2018 se na zájmovém území vyskytovaly pouze 3 třídy krajinného pokryvu. Rovněž jako v roce 1990 to byla nesouvislá městská zástavba, jehličnaté lesy a smíšené lesy. Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací se zde již nevyskytovali. V roce 2018 byl nejrozšířenějším krajinným pokryvem rovněž jehličnatý les, který ale oproti roku 1990 klesl z 70,6 % z celkové rozlohy zájmového území na 44,0 %, a na rozdíl od roku 1990 se vyskytoval exkluzivně ve vyšších nadmořských výškách, konkrétně v severovýchodní a jižní oblasti zájmového území. Na území Zoo Liberec již nezasahoval. Druhým nejrozšířenějším krajinným pokryvem byl opět les smíšený, který ale oproti roku 1990 stoupl z 12,3 % na 40,5 % a rozšířil se především v centrální oblasti zájmového území, ale také v malé části severní oblasti. Nejméně zastoupeným krajinným pokryvem byla nesouvislá městská zástavba, která v roce 2018 zabírala 15,5 % celkové rozlohy zájmového území, což je ale o zhruba 6 % více, než tomu bylo v roce 1990 a vyskytovala se zásadně na západě zájmového území.

Procentuální zastoupení jednotlivých krajinných pokryvů byly získány nejprve oříznutím vrstev o krajinném pokryvu od CENIA (CENIA, 2011 a 2018) vrstvou zájmového území v programu ArcGIS Pro a následně funkcí „Calculate Geometry“, byly vypočítány rozlohy jednotlivých krajinných pokryvů. Nakonec bylo vypočítáno jejich procentuální zastoupení na zájmovém území.

Pro pochopení samotné změny krajinného pokryvu, která na zájmovém území mezi lety 1990 a 2018 proběhla, byla vytvořena v programu ArcGIS Pro vrstva, která změnu zobrazovala. Tato vrstva byla vytvořena z dat o krajinném pokryvu z let 1990 a 2018 od CENIA (CENIA, 2011 a 2018). V obou vrstvách krajinného pokryvu byly nejprve funkcí „Merge“, spojeny jednotlivé polygony, představující stejnou třídu krajinného pokryvu. Následně pomocí funkce „Intersect“, byly obě vrstvy krajinného pokryvu protnuty a tím vznikla vrstva změny krajinného pokryvu. V atributové tabulce této vrstvy byla poté pomocí „Add Field“, přidána pole, která představovala jednak druh změny mezi lety 1990 a 2018 a také rozlohu této změny. Druh změny byl zjištěn pomocí funkce „Calculate Field“, za použití vzorce [krajinný pokryv v roce 1990] + ” - ” + [krajinný pokryv v roce 2018]. Rozloha dané změny byla poté vypočítána funkcí „Calculate Geometry“,. Výsledkem byl tedy přehled

toho, jaký krajinný pokryv a v jakém rozsahu se za dobu 28 let proměnil v pokryv jiný, a jaký krajinný pokryv a v jakém množství zůstal nezměněn.

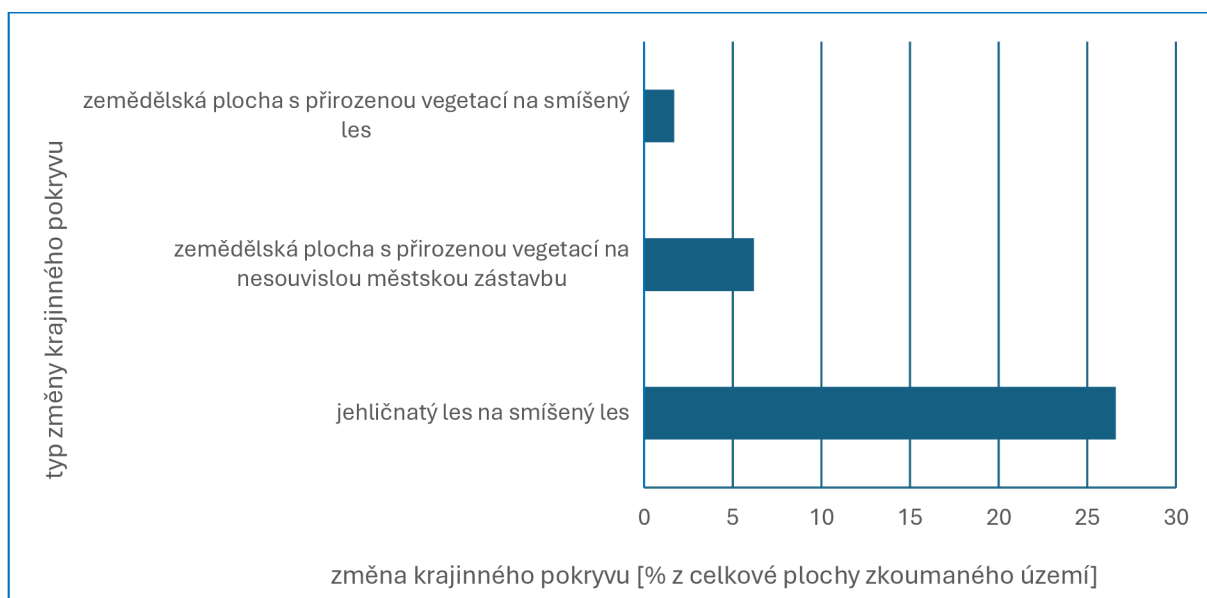


Obr. 5: Změna krajinného pokryvu mezi lety 1990 a 2018 v zájmové části povodí Jizerského potoka (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

Při analýze výsledné vrstvy o změně krajinného pokryvu bylo zjištěno, že mezi lety 1990 a 2018 došlo ke změně krajinného pokryvu na 34,5 % celého zájmového území Jizerského potoka. Největší změnou krajinného pokryvu prošel lesní porost. Mezi lety 1990 a 2018 se 75,2 ha, což je necelých 27 % z celé rozlohy zájmového území, jehličnatých lesů proměnilo na lesy smíšené. Dále ze zájmového území úplně zmizely zemědělské oblasti s přirozenou vegetací, které se během 28 let proměnily z části na nesouvislou městskou zástavbu a z části na smíšené lesy. Na nesouvislou městskou zástavbu se proměnilo zhruba 17,5 ha, což je zhruba 6 % rozlohy zájmového území a na smíšené lesy se proměnilo necelých 5 ha, které tvoří téměř 2 % zájmového území.

Proměna lesního porostu, a nárůst plochy smíšených lesů je zvláště důležitá, jelikož jehličnaté lesy, především smrky, jsou náchylné na škůdce jako je lýkožrout smrkový (kurovcoveinfo.cz, 2024). Jehličnaté lesy, hlavně potom smrky, jsou také velmi náchylné na sucho, které samotné stromy oslabuje, a jejich napadení škůdci je tak pravděpodobnější (MZP, 2021, s. 31). Naopak rozšíření nesouvislé městské zástavby na úkor zemědělské půdy

s přirozenou vegetací by mohl být potenciální problém co se zadržování vody týče, jelikož zástavba má menší schopnost vodu zadržovat a tím tak sucho na zájmovém území umocnit.



Obr. 6: Změna krajinného pokryvu v zájmové části povodí Jizerského potoka mezi lety 1990 a 2018 (vlastní zpracování z dat CENIA 2011 a 2018)

Pro lepší pochopení změny a porovnání přesnosti krajinného pokryvu, ale také pro další charakteristiku zájmové části povodí Jizerského potoka, byly zvoleny dva vegetační indexy, které vznikly při leteckém snímkování Ústavem výzkumu globální změny AV ČR dne 19.6.2022 v rámci kampaně pro adaptační strategii na změnu klimatu pro statutární město Liberec. Konkrétně se jedná o indexy NDVI – Normalized Difference Vegetation Index a WBI4 – Water Band Index (CZECH GLOBE, 2021). Oba indexy vznikly z hyperspektrálních dat, která byla snímána senzorem CASI, který má spektrální rozsah mezi 380 a 1050 nm, což odpovídá viditelné části spektra a blízkému infračervenému záření a prostorové rozlišení 0,8 m. I přes vysoké rozlišení, které je pro rozlohu a charakter zájmové části povodí Jizerského potoka vhodné, je nutno brát v potaz, že oba vegetační indexy reprezentují vlastnosti vegetace v jeden konkrétní den v jednom konkrétním roce. Pro podrobnější a přesnější analýzu by bylo zapotřebí použití dat s delším časovým vývojem. Nicméně pro účely této práce jsou použita data dostatečná.

Index NDVI, který charakterizuje výskyt a zdravotní stav vegetace, byl vytvořen za použití vlnových délek 670 nm (CZECH GLOBE, 2021), což odpovídá červené části viditelného spektra a 800 nm (CZECH GLOBE, 2021), což odpovídá blízkému infračervenému světlu. Samotný index je poté vypočten vzorcem $NDVI = \frac{\text{blízké infračervené světlo} - \text{červené světlo}}{\text{blízké infračervené světlo} + \text{červené světlo}}$ a nabývá hodnot mezi -1 a 1 (Cropin,

2021). Zdravá vegetace je pak taková, která má hodnotu vyšší než 0,6 (CZECH GLOBE, 2021).

Podle dat o krajinném pokryvu z let 1990 a 2018 od CENIA (CENIA, 2011, 2018) došlo mezi těmito dvěma roky v zájmové části povodí Jizerského potoka ke změně tří tříd krajinného pokryvu. První třídou, byl jehličnatý les na smíšený les. Jednalo se rovněž o nejmarkantnější změnu v zájmové části povodí Jizerského potoka. Nicméně při porovnání změny této třídy s vegetačním indexem NDVI od CZECH GLOBE (CZECH GLOBE, 2022) je patrné, že území, kde změna krajinného pokryvu proběhla, není tvořeno pouze lesním porostem. Důvodem je různá míra přesnosti porovnávaných dat, kde nejmenší mapovací jednotka CORINE Land Cover je 25 ha (Copernicus, neuvedeno), zatímco prostorové rozlišení indexu NDVI je 0,8 m (CZECH GLOBE, 2021).

Díky vegetačnímu indexu NDVI lze identifikovat oblasti, kde se vegetace nenachází, nebo není úplně zdravá. V případě oblasti, kde mělo dojít ke změně jehličnatého lesu na les smíšený, je možné identifikovat absenci vegetace v jižní části, konkrétněji v areálu Zoo Liberec, kde je kromě vegetace značné množství budov, nebo vodních ploch. Dále v oblasti bývalého lesního divadla, ke kterému vede příjezdová cesta. Severně od bývalého lesního divadla se nacházejí tenisové kurty, a také holá cesta, která vede k lesnímu koupališti, které lze z indexu NDVI rovněž identifikovat. Další absence vegetace je možné vidět v severní části oblasti, v blízkosti lomu na granit, kde se nacházejí příjezdové cesty, parkoviště, či mýtiny.

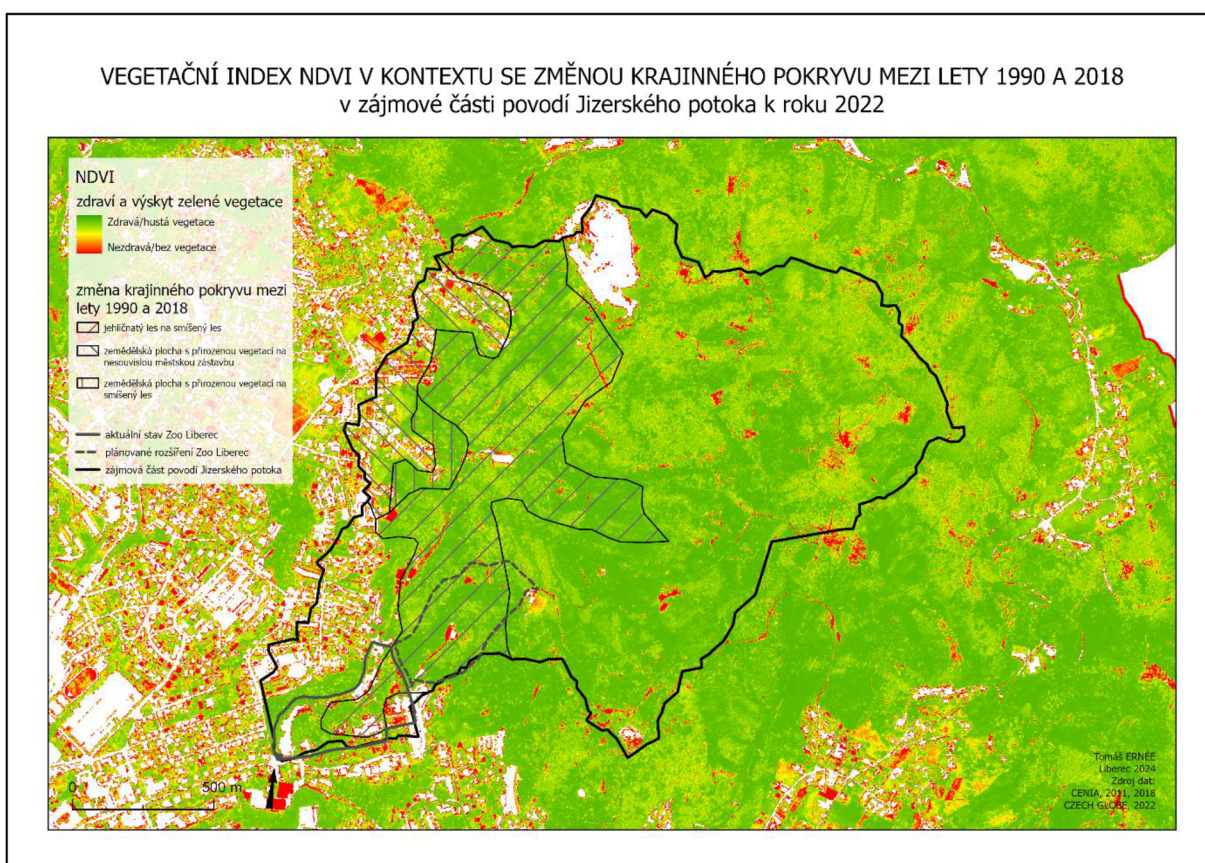
Oblasti, kde se mezi lety 1990 a 2018 měla přeměnit zemědělská plocha s přirozenou vegetací na smíšený les vykazuje minimální známky absence vegetace. Jedná se o část zástavby a příjezdové cesty.

Naopak oblast, která se ze zemědělské plochy s přirozenou vegetací měla proměnit na nesouvislou městskou zástavbu vykazuje poměrně znatelný výskyt vegetace. Většina této oblasti sice je tvořena zástavbou a pozemní komunikací, ale téměř ve všech částech této oblasti je vegetace přítomná. Nejvíce poté v severní, centrální a jižní části. Kromě polí a nízké vegetace sem zasahují i části lesů.

Výsledky změny krajinného pokryvu mezi lety 1990 a 2018, které byly vytvořeny na základě dat o krajinném pokryvu od CENIA (CENIA, 2011, 2018), nejsou dostatečně přesné pro tak malé území, jakým je zájmová část povodí Jizerského potoka. Lze je tak brát spíše orientačně, ale pro podrobnější analýzy je zapotřebí dat, jejichž přesnost odpovídá měřítku zájmového území.

V kontextu celého zájmového území lze poté jasně identifikovat části, kde vegetace přítomná není, nebo není zcela zdravá. Největší absence vegetace je především v západní části zájmového území, kde se nachází městská zástavba a pozemní komunikace, což již bylo avizováno dříve. Kromě dříve zmíněných charakteristik vegetace v místech změny krajinného pokryvu, je absence vegetace v severní části území, kde se nachází lom granitu a jeho přilehlých částech, ale také v části východní a severovýchodní, kde se nachází velký počet mýtin a holých ploch, které vznikly především kácením lesa. Posledním výrazným místem bez vegetace je v jižní části Liberecká Výšina, kde se na sever od rozhledny vyskytují rovněž výrazné mýtiny.

Nejzdravější a nej hustší vegetace se nachází především v centrální části zájmového území, ale poté i na severovýchodě, severu, či jihu. Nicméně díky indexu NDVI, je patrné, že zdravotní stav i výskyt zelené vegetace je výrazně nižší v blízkosti již zmíněných mýtin a naopak místa, která jsou od mýtin vzdálená, mají tendenci být pokryta hustší a zdravější vegetací.



Obr. 7: Vegetační index NDVI v kontextu se změnou krajinného pokryvu mezi lety 1990 a 2018 v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2022 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

Druhým, již zmíněným vegetačním indexem, který byl v rámci této kapitoly analyzován, byl index WBI4. Tento index reprezentuje obsah vody ve vegetaci a pro jeho výpočet byly

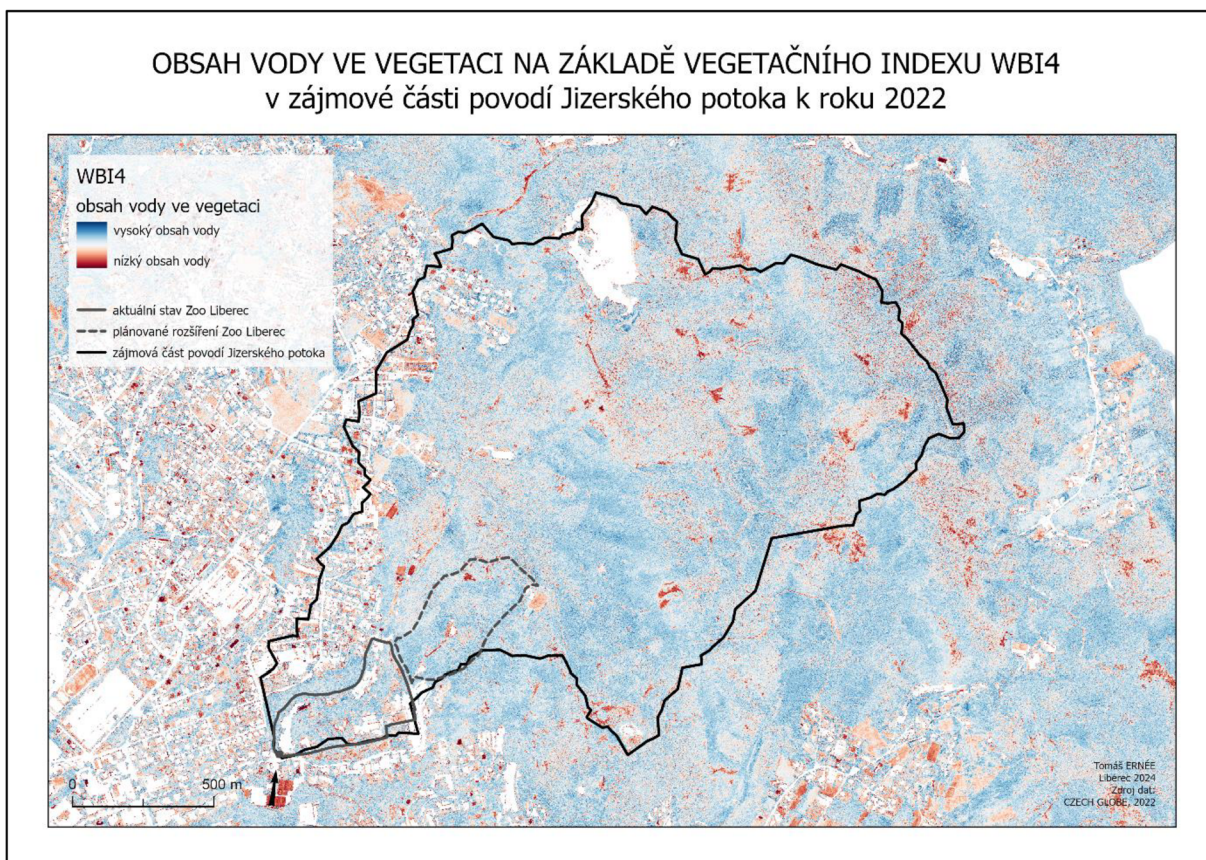
použity vlnové délky 895 nm a 972 nm (CZECH GLOBE, 2021), které obě odpovídají blízkému infračervenému záření. Samotný index je vypočítán pomocí vzorce $WBI4 = 972 \text{ nm} / 895 \text{ nm}$ (NV5, 2024). Vyšší hodnota indexu pak znamená vyšší obsah vody ve vegetaci a potenciální vyšší vitalitu zeleně (CZECH GLOBE, 2021).

Díky vegetačnímu indexu WBI4 lze jasně identifikovat místa, která jsou ohrožena nedostatkem vody, a mohou tak být náchylnější na sucho, popřípadě na napadení škůdci. Podle indexu WBI4 je takových oblastí v zájmové části povodí Jizerského potoka hned několik. Do jisté míry pak index WBI4 koreluje s indexem NDVI a je tak patrné, že obsah vody ve vegetaci úzce souvisí s jejím zdravotním stavem.

Na zájmovém území se nacházejí zhruba 3 souvislé oblasti, kde je podle indexu WBI4 vody ve vegetaci dostatek. Konkrétně se jedná o severní část zájmového území, která se nachází zhruba mezi lomem na granit a zástavbou na západě území. Další oblastí je poté oblast nacházející se na severu až severovýchodě. Touto oblastí neprotéká žádný vodní tok, a až na drobná území, která vykazují nedostatek vody, se jedná o sourodou, hydratovanou plochu. Tato část území je dále obklopena mýtinami a plochami bez vegetace, které vykazují silný nedostatek vody. Poslední výraznou hydratovanou plochou je část území, která se nachází zhruba v centrální části, východně od Lesního koupaliště, a pokračuje až na jih zájmového území, kde končí severně od Liberecké Výšiny. Všechny tři tyto části se rovněž nacházejí v místech, kde je hustá a zdravá vegetace, což potvrzuje korelaci mezi dvěma vegetačními indexy.

Naopak oblasti, které vykazují buď silný, či mírný nedostatek vody ve vegetaci, zabírají většinu zájmové části povodí Jizerského potoka. Místa, která vykazují velmi nízký obsah vody ve vegetaci odpovídají místům, se špatným zdravotním stavem vegetace, nebo její absencí. Jedná se především o mýtiny v lesních porostech, kde je buď velmi nízká vegetace, nebo holá půda. Nejvíce těchto mýtin se nachází v severní, severovýchodní a východní části zájmového území. Místa podobného charakteru, avšak v menší míře se nachází i v jižní části zájmového území, i v místech, kde je plánované rozšíření Zoo Liberec. Místa, která podle indexu WBI4 vykazují mírný nedostatek vody do jisté míry korelují s místy, která byly pomocí indexu NDVI charakterizována jako zdravá, ale ne bez problémová. Pomocí indexu WBI4 jsou tato místa ale lépe viditelná, a snáze identifikovatelná. Nejrozšířenější oblast, která vykazuje mírný nedostatek vody, se rozkládá mezi centrální částí a severovýchodní částí zájmového území. Přes toto území rovněž protékají tři vodní toky, z čehož jeden je Jizerský potok. Další částí, která vykazuje nedostatek vody vyšší než část předchozí, je přímo pramenná oblast Jizerského potoka, která se nachází na severovýchodě zájmového

území, a severozápadně od Žulového vrchu. Vzhledem k tomu, že je Jizerský potok hlavním vodním tokem povodí, a výrazně dotuje vodou celé zájmové území, může být nedostatek vody v této části území problémový. A poslední nejvýraznější oblast, kde je nedostatek vody ve vegetaci, se rozkládá severně od plánovaného rozšíření Zoo Liberec, jihovýchodně od zastavěné části zájmového území, a západně od centrální části zájmového území. V této oblasti se nenachází tak hustá vegetace, a zároveň se území nachází blízko zástavby.



Obr. 8: Obsah vody ve vegetaci na základě vegetačního indexu WBI4 v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2022 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

Dalším faktorem, který byl v rámci zájmové části povodí Jizerského potoka analyzován, je propustnost povrchu neboli jeho schopnost zadržovat vodu. Tento faktor je zvláště důležitý v kontextu změny klimatu, která ovlivňuje i zájmové území této práce. S vyšší pravděpodobností výskytu přívalových dešťů je dostatek propustného povrchu nezbytný, aby se snížila pravděpodobnost povodní. Na ty jsou vzhledem k charakteru zájmového území náchylnější místa s nižší nadmořskou výškou, kde se kumuluje nejvíce srážek. Zároveň propustné materiály zadržují vodu, a snižují tak náchylnost k suchu a teplu, které se stále zvětšuje.

K vytvoření samotné vrstvy, která reprezentovala propustnost povrchu, byla použita data o krajinném pokryvu z roku 2023 od oddělení ÚAP a GIS Liberec (ÚAP a GIS Liberec, 2023),

kteřá jsou svým detailem a aktuálností pro účely této práce vhodná. Podle těchto dat a jejich nejobecnějšího členění se v zájmové části povodí Jizerského potoka vyskytovalo celkem 13 druhů krajinného pokryvu. Jednalo se o lesy, nelesní stromovou a křovištní vegetaci, sídelní vegetaci, vodní toky a plochy, prvky odkrytého substrátu, louky a pastviny, trvalé zemědělské kultury, rekreační areály, obytné areály, areály služeb, dopravní linie, plochy a areály, zemědělské areály, a nakonec vodohospodářské stavby.

Propustnost jednotlivého krajinného pokryvu byla určena, a samotná data reklasifikována, částečně na základě Adaptační strategie na změnu klimatu města Liberec z roku 2022 (Liberec, 2022, s. 41 a 42) a částečně podle charakteru prvků v zájmovém území do 4 kategorií. Do kategorie propustný povrch byly zařazeny lesy, trvalé zemědělské kultury (Liberec, 2022, s. 41), nelesní stromová a křovištní vegetace a vodní plochy a toky. Do kategorie převážně propustný povrch byla zařazena sídelní vegetace, louky a pastviny (Liberec, 2022, s. 41) a prvky odkrytého substrátu. Kategorie převážně nepropustný povrch byla tvořena z rekreačních areálů, zemědělských areálů, vodohospodářských staveb a dopravních linií, ploch a areálů. A nepropustný povrch sdružoval obytné areály a areály služeb.

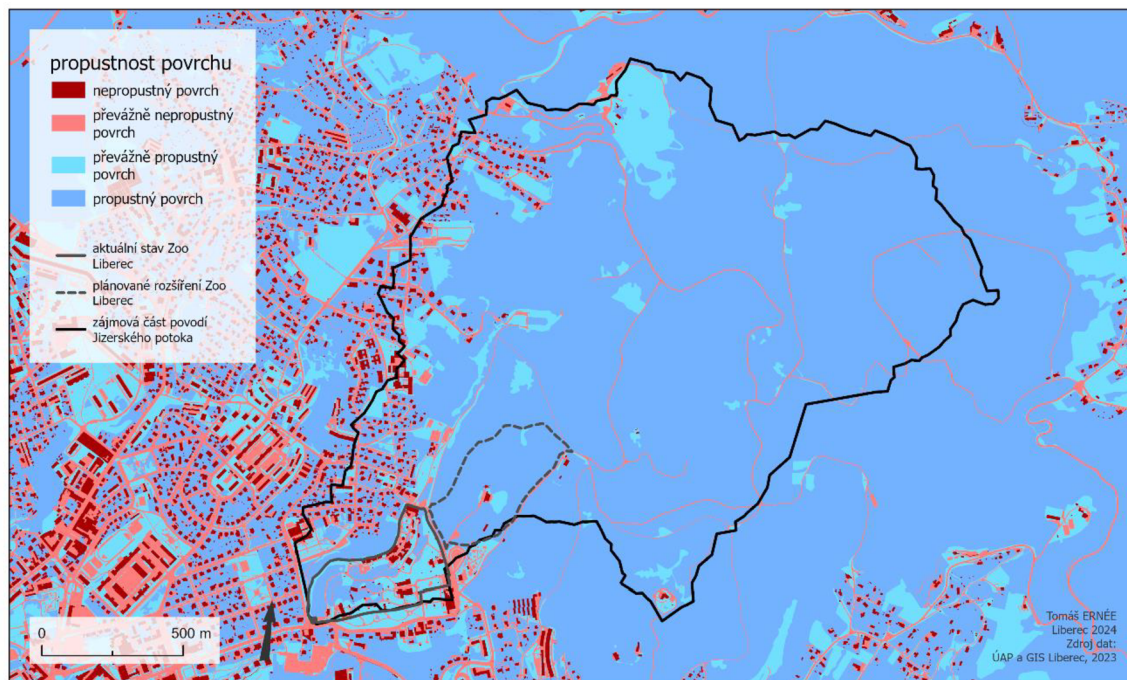
V programu ArcGIS Pro byly nejprve funkcí „Merge,“ sloučeny všechny prvky stejného krajinného pokryvu v jeden prvek, kterému následně bylo vytvořeno nové pole v atributové tabulce, které reprezentovalo jeho propustnost. Tento atribut byl následně přiřazen každému druhu krajinného pokryvu na základě dříve zmíněné klasifikace. Dalším krokem bylo opět funkcí „Merge,“ sloučení krajinných pokryvů na základě jejich atributu o propustnosti, kde ve výsledku vznikly 4 prvky, které reprezentovaly propustný povrch, převážně propustný povrch, převážně nepropustný povrch a nepropustný povrch. Vrstvě o propustnosti povrchu bylo nakonec přidáno pole v atributové tabulce, které reprezentovalo plochu daného prvku, která byla vypočítána funkcí „Calculate Geometry,“. Z této hodnoty bylo následně vypočteno procentuální zastoupení jednotlivých typů povrchu z celkové plochy zájmové části povodí Jizerského potoka.

Nejvýrazněji zastoupeným povrchem v zájmové části povodí Jizerského potoka je povrch propustný, který se nachází na 82 % území. Vzhledem k charakteru území je tento výsledek očekávaný, jelikož je jeho většina pokryta lesní, či jinou vegetací. Propustný povrch se nachází téměř ve všech částech zájmového území, nicméně nejméně je zastoupen v jeho západní části, kde se nachází nesouvislá městská zástavba a poté v areálu Zoo Liberec, kde jsou kromě vyskytující se zástavby například cesty a jiné objekty. Druhým nejčastěji vyskytujícím se povrchem je převážně propustný povrch. Ten zabírá 10,6 % zájmového

území a vyskytuje se především v západní a severní části území. Na západě je tento povrch rozšířen z důvodu výskytu městské zeleně, která do této kategorie spadá. Naopak v části severní se vyskytuje například lom na granit nebo lesní mýtiny, které do této kategorie spadají také. Mimo tyto dvě části zájmového území, kde je převážně propustný povrch nejrozšířenější, se vyskytuje rovněž v areálu Zoo Liberec, nebo také v blízkosti Liberecké Výšiny, či kolem úseku Jizerského potoka mezi Lesním koupalištěm a Zoo Liberec. Převážně nepropustný povrch je třetím nejrozšířenějším typem povrchu a rozkládá se na 5,4 % zájmového území. Tento typ povrchu se vyskytuje téměř ve všech částech zájmového území a jedná se především o cesty a silnice. Pozemní komunikace by byly běžně klasifikovány jako povrch nepropustný, nicméně v zájmové části povodí Jizerského potoka se vyskytuje vysoké množství lesních cest, které jsou schopny nějakou vodu zadržet. Asfaltové cesty a silnice jsou téměř výhradně v blízkosti zástavby, která již je klasifikována jako nepropustná. Nejméně rozšířeným typem povrchu, který je vzhledem k charakteru zájmového území rovněž očekávatelný, je povrch nepropustný, který pokrývá jenom 2 % zájmového území. Jedná se především o zástavbu a z toho důvodu se až na výjimky vyskytuje v západní části území. Dále sem spadá například rozhledna na Liberecké výšině, či budovy u bývalého lesního divadla.

Po posouzení propustnosti povrchu v zájmové části povodí Jizerského potoka se jako nejohroženějším místem zdá areál Zoo Liberec. Nachází se totiž v nejnižších nadmořských výškách z celého území, a je zde tak očekávána největší akumulace vody. Rovněž samotný areál disponuje všemi typy propustnosti povrchu, takže lze očekávat zvýšenou akumulaci vody i z tohoto důvodu. V blízkosti areálu Zoo Liberec, konkrétně severně i západně od něho, se navíc vyskytuje nesouvislá městská zástavba. Ta část nesouvislé městské zástavby, která se nachází severně od areálu Zoo Liberec poté spadá do zájmové části povodí Jizerského potoka, a pro její neschopnost zadržovat vodu lze očekávat její odtok přímo do zoo. Na toku Jizerského potoka se také dále nachází Lesní koupaliště, které má rozlohu 1625 m² (Lesní koupaliště, 2024) a objem 4125 m³ (Lesní koupaliště, 2024), ze kterého Jizerský potok pokračuje dále, až do areálu Zoo Liberec. Při silných přívalových deštích zde může hrozit protržení hráze Lesního koupaliště a potenciální přívalová povodeň, která by mohla Zoo Liberec zasáhnout.

PROPUSTNOST POVRCHU zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024



Obr. 9: Propustnost povrchu zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2024 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

3 Hydro-klimatické poměry zájmového území

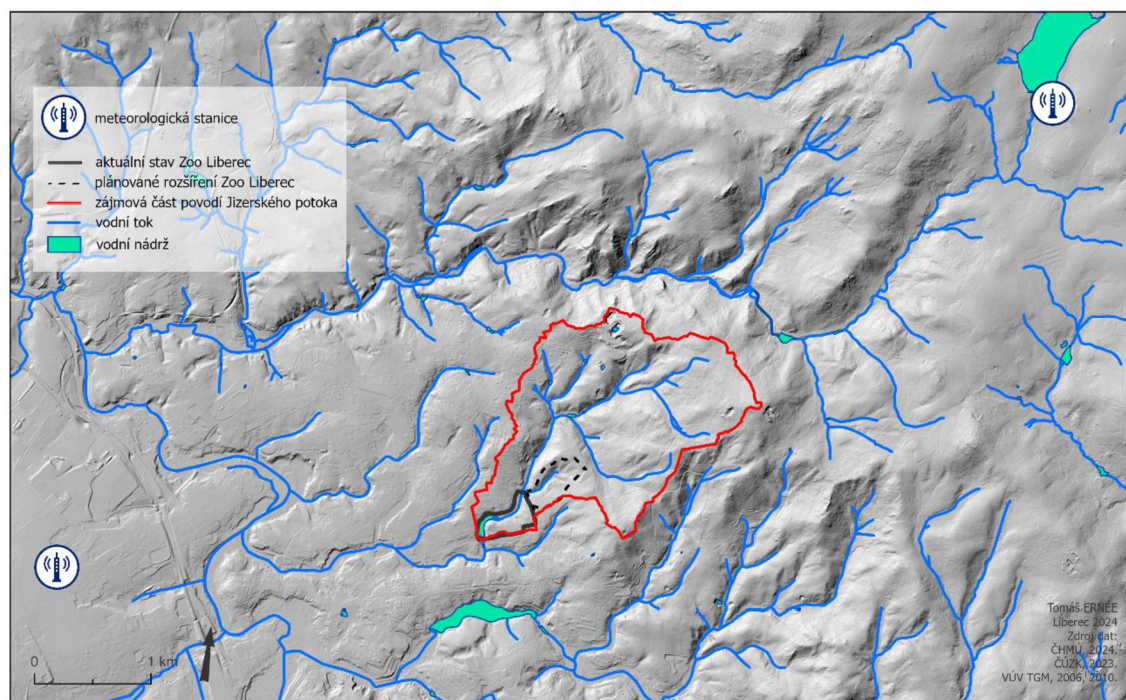
3.1 Klimatické poměry

Klimatické podmínky zájmového území jsou silně ovlivněny okolním reliéfem. Oblast Jizerských hor má průměrnou roční teplotu okolo 5°C a roční úhrn srážek až 1600 mm (ČSÚ, 2009). Vlivem nižších teplot se zde i déle vyskytuje sněhová pokrývka. Nejnižší průměrné teploty bývají naměřeny v lednu, nejvyšší naopak v červenci. Průměrná teplota je pak ovlivněna polohou, nadmořskou výškou, či zeměpisnou šířkou. Co se srážek týče, Jizerské hory patří mezi místa s nejvyšším ročním úhrnem srážek v ČR, a nejvíce jich spadne v letním a poté v jarním období (UPOL, 2014). V obdobím letním jsou navíc často v podobě přívalových dešťů, které mohou zapříčinit povodně.

Pro přesnější charakteristiku klimatických podmínek a jejich vývoj v čase byly vybrány dvě meteorologické stanice ze sítě stanic ČHMÚ. Konkrétně se jedná o stanici U2LIBC01, která se nachází v Liberci v nadmořské výšce 397,7 m n. m. (ČHMÚ, 2011) a stanici U2BEDR01 nacházející se v Bedřichově v nadmořské výšce 777 m n. m. (ČHMÚ, 2011). Ačkoliv se žádná z meteorologických stanic nenachází přímo v zájmové části povodí Jizerského potoka, je území rozloženo mezi odpovídajícími nadmořskými výškami a jedná se o dvě k zájmovému území nejbližší meteorologické stanice. Nejvýše položeným bodem zájmového území je Žulový vrch s nadmořskou výškou 743 m n. m. (Mapy.cz, 2024) a nejnižše položeným bodem je odtok z Labutího jezírka na území Zoo Liberec, s nadmořskou výškou přibližně 385 m n. m. (Mapy.cz, 2024). Z tohoto důvodu se dá považovat poloha dvou použitých meteorologických stanic za dostatečnou.

Všechny stanice z meteorologické sítě ČHMÚ pořizují data o průměrné teplotě vzduchu, maximální teplotě vzduchu, minimální teplotě vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu, úhrnu srážek, výšce nově napadlého sněhu, celkové výšce sněhové pokrývky, době trvání slunečního svitu, průměrném tlaku vzduchu, průměrné rychlosti větru, maximální rychlosti větru a globálním záření. Všechna dostupná data jsou přístupná od roku 1961 po rok 2023 (ČHMÚ, 2023).

UMÍSTĚNÍ METEOROLOGICKÝCH STANIC ČHMÚ v polohovém kontextu k zájmové části povodí Jizerského potoka v roce 2024

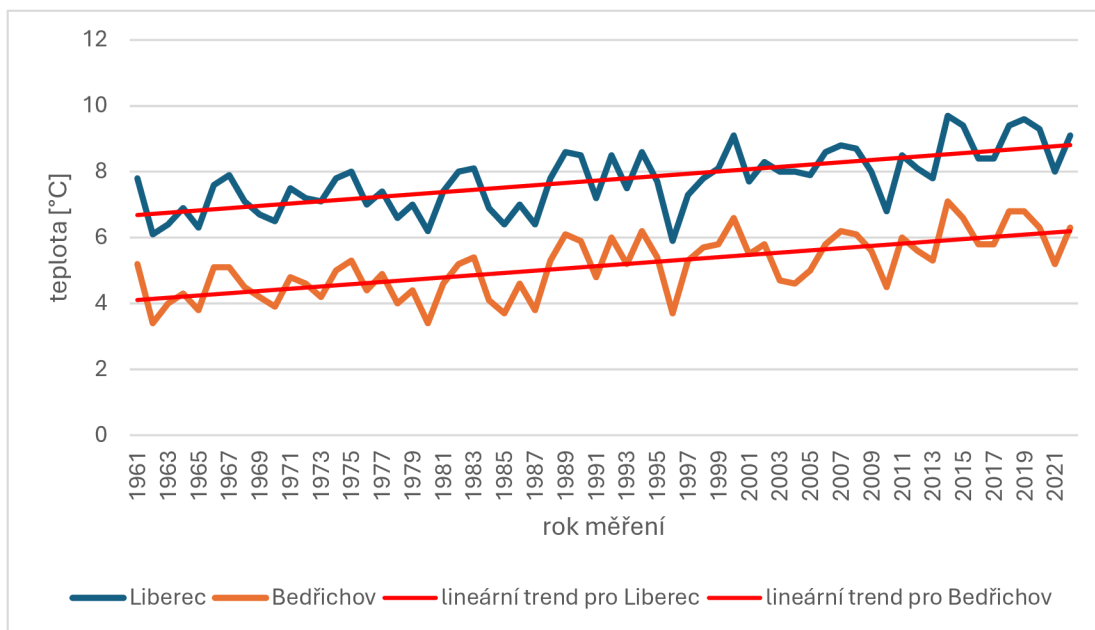


Obr. 10: Umístění meteorologických stanic ČHMÚ v polohovém kontextu k zájmové části povodí Jizerského potoka v roce 2024 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

Pro tuto práci byly vybrány tři parametry, které byly dále zkoumány. Konkrétně se jednalo o průměrnou teplotu vzduchu, úhrn srážek a celkovou výšku sněhové pokrývky. U dat byl zkoumán jejich vývoj od roku 1961 po rok 2022, jejich trend a porovnání mezi stanicemi.

Vývoj průměrné teploty vzduchu byl mezi lety 1961–2022 na obou stanicích (U2LIBC01 a U2BEDR01) téměř stejný. Lišil se akorát v období let 2002–2007. Na stanici U2LIBC01 byla každoroční průměrná teplota vyšší o zhruba 2,5°C než na stanici U2BEDR01. Tento jev je dán především rozdílem nadmořských výšek, který je mezi dvěma stanicemi bezmála 380 výškových metrů. Stanice U2LIBC01 se navíc nachází v městském prostředí, které teplotu rovněž ovlivňuje. Nejnižší průměrná teplota byla na stanici U2LIBC01 naměřena v roce 1995, kdy byla hodnota 5,4°C. Naopak teplota nejvyšší byla naměřena v roce 2014, kdy teplota dosáhla 9,7°C. Stanice U2BEDR01 zaznamenala minimální hodnoty ve dvou letech, konkrétně v roce 1962 a 1980, kdy byla průměrná teplota 3,4°C. Nejvyšší teplota byla stejně jako u stanice U2LIBC01 zaznamenána v roce 2014, kdy teplota dosahovala 7,1°C.

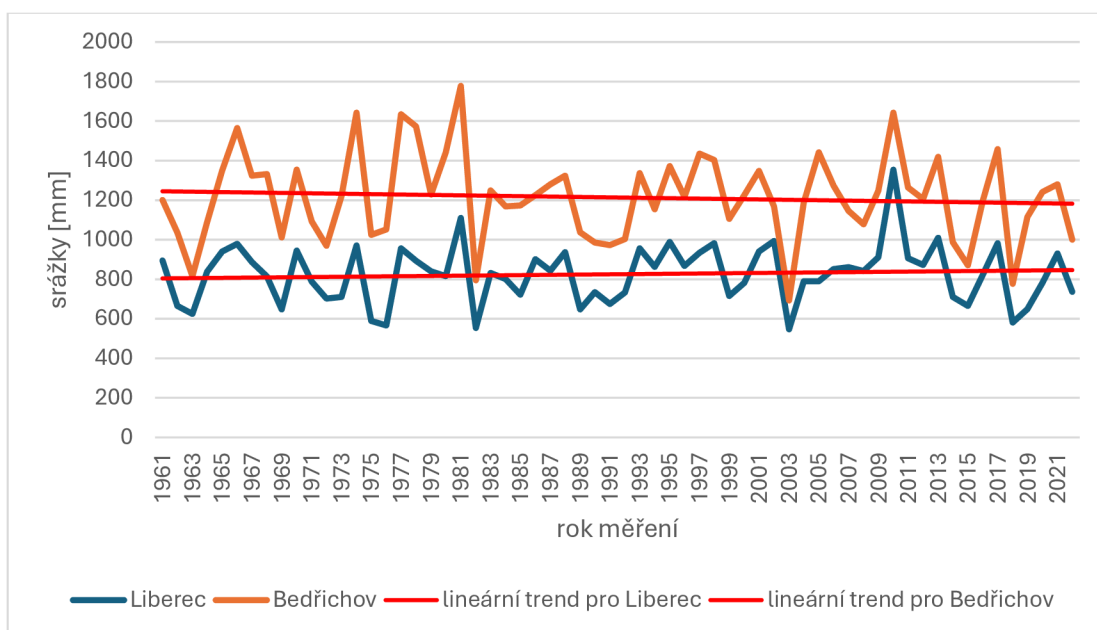
V průběhu posledních 60 let byl na obou meteorologických stanicích zaznamenán vzestupný trend, co se průměrné roční teploty týče. Na obou stanicích vzrostla průměrná roční teplota vzduchu o celé 2°C. Takovýto růst může mít neblahé dopady na celé zájmové území. Může například zapříčinit chřadnutí citlivějších částí lesů, či zvýšit riziko lesních požárů. Dále může podpořit nepůvodní živočišné i rostlinné druhy na úkor druhů původních, či může mít negativní vliv na vodní ekosystémy (MZP, 2021, s. 54). Zvláště pak na vodní toky s menšími průtoky, jako jsou ty v zájmové části povodí Jizerského potoka.



Obr. 11: Porovnání vývoje průměrné teploty vzduchu mezi lety 1961 a 2022 meteorologických stanic Liberec a Bedřichov (vlastní zpracování z dat ČHMÚ 2023)

Vývoj ročních srážkových úhrnů byl mezi oběma stanicemi mezi lety 1961–2022 rozdílnější, než tomu bylo u teploty vzduchu. I tak ale byly křivky vývoje podobné. Celkový úhrn srážek byl každoročně vyšší na stanici U2BEDR01. V roce 1981 až o 669 mm. Tento jev je opět zapříčiněn polohou a nadmořskou výškou stanice U2BEDR01, která se nachází na návětrné ploše, kde zpravidla padá více srážek (meteocentrum.cz, 2023). Ve stejném roce zaznamenala stanice U2BEDR01 rovněž nejvyšší roční úhrn srážek za posledních 60 let, konkrétně se jednalo o 1778 mm. Naopak nejméně srážek spadlo v Bedřichově v roce 2003, kdy byl srážkový úhrn pouze 692,7 mm. Stanice U2LIBC01 zaznamenala své roční maximum v roce 2011, kdy zde bylo naměřeno 1264 mm srážek. Roční minimum stanice U2LIBC01 zaznamenala stejně jako stanice U2BEDR01 v roce 2003 a jednalo se o 546,8 mm. V tomto roce byl tedy rozdíl mezi ročním srážkovým úhrnem těchto dvou stanic pouhých 145,9 mm.

Mezi lety 1961 a 2022 je trend na stanici U2LIBC01 velmi mírně rostoucí a u stanice U2BEDR01 naopak velmi mírně klesající. Obecně by se ale dalo říct, že srážek nijak výrazně neubývá, ani nepřibývá. Do konce století by ale roční úhrn měl stoupnout o 6–16 % (MZP, 2021, s. 23). Především by se mělo jednat o srážky zimní, které by měly stoupnout až o 35 mm (MZP, 2021, s. 23). Naopak srážky letní by měly projít nejmenší změnou. Vzhledem k tomu, že za posledních 60 let stoupla průměrná teplota vzduchu zájmového území o 2 °C a průměrné srážkové úhrny zůstaly stále stejné, lze odvodit, že dochází k výrazně větší evapotranspiraci, a zájmové území tak ztrácí zásoby vody. Nedostatek vody v území má pak negativní vlivy na faunu, floru, či území Zoologické zahrady v Liberci.

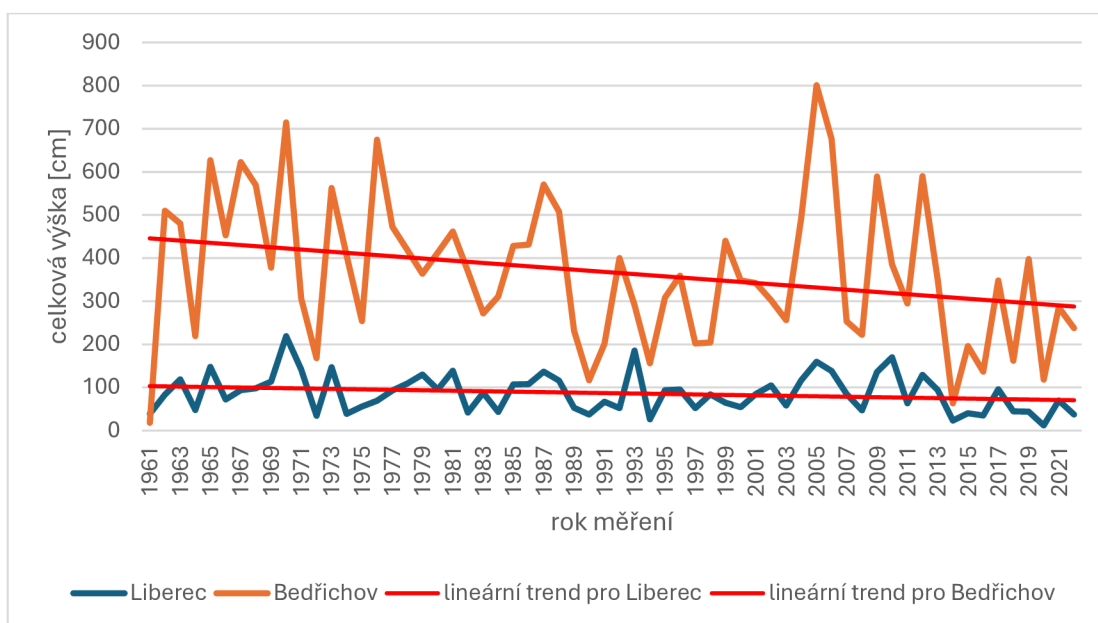


Obr. 12: Porovnání vývoje úhrnu srážek mezi lety 1961 a 2022 meteorologických stanic Liberec a Bedřichov (vlastní zpracování z dat ČHMÚ 2023)

Vývoj celkové výšky sněhové pokrývky je mezi stanicemi U2LIBC01 a U2BEDR01 v letech 1961–2022 značně odlišný. Každoročně je výška sněhové pokrývky vyšší na stanici U2BEDR01, což je zapříčiněno především rozdílem v nadmořské výšce, a také rozdílem v charakteru okolí stanice. Stanice U2LIBC01 leží v městském prostředí Liberce, kde bývají zpravidla vyšší teploty a sněhová pokrývky zde nevydrží tak dlouho. Naproti tomu stanice U2BEDR01 se nachází v Jizerských horách, kde jsou teploty nižší než ve městech, a sněhová pokrývky zde vydrží déle. Největší rozdíl mezi stanicemi byl v roce 2005, kdy stanice U2LIBC01 zaznamenala sněhovou pokrývku ve výšce 160 cm, zatímco stanice U2BEDR01 naměřila hodnotu 801 cm. Celkový roční rozdíl byl tak mezi těmito stanicemi 641 cm. V roce 2005 naměřila stanice U2BEDR01 rovněž své maximum za posledních 60 let. Naopak nejnižší hodnoty byly pod 100 cm v letech 1961 či 2014. Stanice U2LIBC01

dosáhla svého maxima v roce 1970, kdy byla roční výška sněhové pokrývky 219 cm. Naopak minimum stanice zaznamenala v roce 2020, kdy byla výška sněhové pokrývky pouze 12 cm.

Mezi lety 1961–2022 zaznamenaly obě meteorologické stanice klesající trend ve vývoji celkové výšky sněhové pokrývky. Stanice U2LIBC01 zaznamenala za posledních 60 let pokles ve výšce sněhové pokrývky o zhruba 20 cm. Naproti tomu u stanice U2BEDR01 byl klesající trend výraznější a za posledních 60 let ubylo sněhové pokrývky zhruba o 130 cm. Úbytek sněhové pokrývky je zapříčiněn mimo jiné rostoucí průměrnou teplotou vzduchu (Trnka, neuvedeno, s. 2), která za posledních 60 let vzrostla o celé 2°C, či rozložením srážek (Trnka, neuvedeno, s. 2). Úbytek sněhové pokrývky také podporuje sucho a celkový úbytek vody ze zájmového území, což může v budoucnu ohrozit území Zoo Liberec.



Obr. 13: Porovnání vývoje celkové výšky sněhové pokrývky mezi lety 1961 a 2022 meteorologických stanic Liberec a Bedřichov (vlastní zpracování z dat ČHMÚ 2023)

3.2 Hydrologické poměry

Zájmové území je částí povodí Jizerského potoka, vymezená dle potřeb této práce viz podkapitola Vymezení zájmového území. Tato část povodí má rozlohu 283 ha a rozkládá se mezi 385 m n. m. a 743 m n. m.

Na zájmovém území se podle dat o vodních tocích (VÚV TGM, 2006) nachází celkem 14 vodních toků v celkové délce 7702,2 metrů, přičemž nejdelším vodním tokem je Jizerský potok, který měří 3014,4 metrů. Dále se na území nachází dalších 6 jeho přítoků. Tyto hodnoty byly získány nejdříve oříznutím vrstvy vodních toků (VÚV TGM, 2006) vrstvou zájmového území, které bylo vymezeno viz podkapitola Vymezení zájmového území, a následně vypočtením délky jednotlivých vodních toků funkcí „Calculate Geometry,“. Tyto úkony byly provedeny v programu ArcGIS Pro.

Na zájmovém území se rovněž dle dat o vodních nádržích (VÚV TGM, 2010) nachází celkem 8 vodních ploch s celkovou rozlohou 1,49 ha. Jednoznačně největší vodní plochou na zájmovém území je Labutí jezírko, které se nachází přímo v areálu Zoo Liberec a má rozlohu 0,93 ha. Druhá největší vodní plocha je poté Lesní koupaliště, sloužící převážně jako sportovní a volnočasový objekt (Liberec, 2024), které má podle dat o vodních nádržích (VÚV TGM, 2010) rozlohu 0,18 ha, nicméně podle správy Lesního koupaliště má rozlohu 0,16 ha (Lesní koupaliště, 2024). Obě tyto vodní plochy leží přímo na toku Jizerského potoka. Tyto hodnoty byly rovněž získány prvotním oříznutím vrstvy vodních nádrží (VÚV TGM, 2010) vrstvou zájmového území a následným vypočtením plochy jednotlivých vodních ploch funkcí „Calculate Geometry,“. Tyto kroky byly také provedeny v programu ArcGIS Pro.

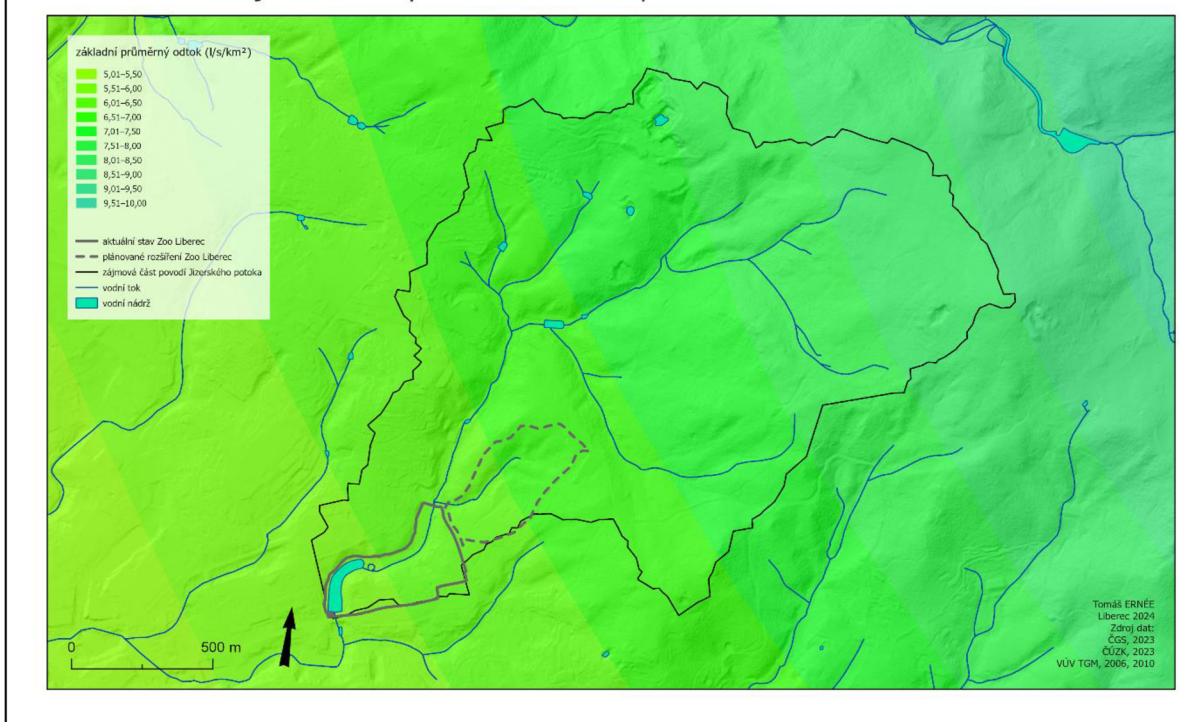
Vzhledem k absenci hydrologické stanice na Jizerském potoce, nebylo možné použít a vycházet z přesných, či dlouhodobě měřených dat pro zájmové území. Hydrologický charakter zájmové části povodí Jizerského potoka tak bude odvozen z webové mapové služby Základní odtok od ČGS (ČGS, 2023) a poté z digitálního modelu reliéfu od společnosti CZECH GLOBE (CZECH GLOBE, 2022), který byl použit pro zjištění akumulace vody, respektive míst s očekávaným nejvyšším průtokem, v programu ArcGIS Pro.

Základní odtok, což je část celkového odtoku tvořená podzemní vodou (ČHMÚ, neuvedeno), byl v této práci použit a zkoumán ve formě 2 vrstev, a to dlouhodobého průměrného základního odtoku za období 1991-2020 a základního odtoku za sucha. Obě tyto vrstvy jsou součástí webové mapové služby Základní odtok (ČGS, 2023). Obě vrstvy této

služby jsou generovány pro celou Českou republiku, a jejich prostorové rozlišení je 1 km^2 (ČGS, 2023), což je pro tak malé území, jakým je zájmová část povodí Jizerského potoka, nedostatečné. Přestože služba poskytuje konkrétní hodnoty odtoku, nerespektuje vliv například reliéfu, a z toho důvodu mají informace, které jsou ze služby odvozeny, pouze orientační charakter.

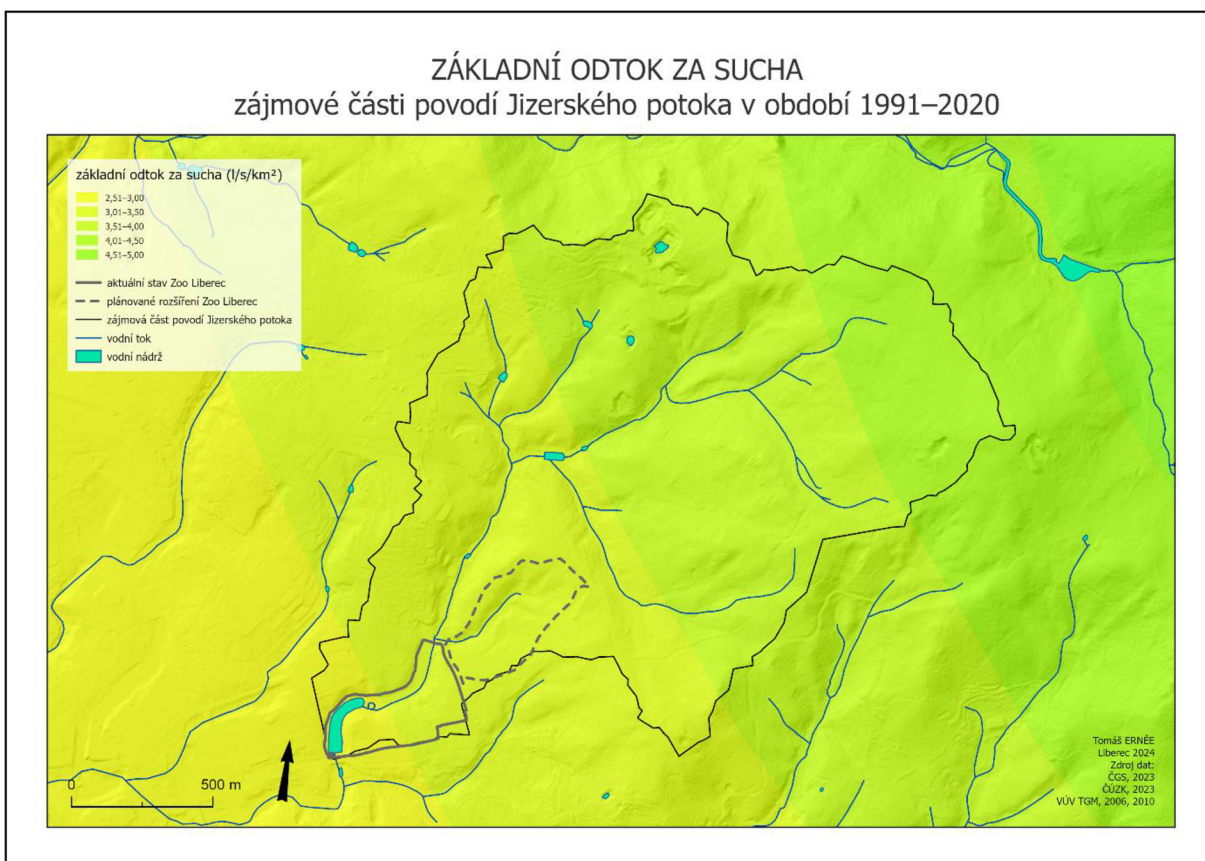
Dlouhodobý průměrný základní odtok za období 1991-2020 byl generován z průměrného ročního úhrnu srážek mezi lety 1991-2020 a celkového odtoku. Skutečná hodnota základního odtoku se může o plus mínus 40 % lišit, protože se základní odtok mění (ČGS, 2023). Základní odtok zájmového území je v rozpětí $5,51-9,00 \text{ l/s/km}^2$ (ČGS, 2023) a mění se především v závislosti na nadmořské výšce. Nejvyšší základní odtok, který se pohybuje mezi $8 \text{ a } 9 \text{ l/s/km}^2$, se na zájmovém území nachází v okolí Žulového vrchu, nejvyšším bodě zájmového území. V této oblasti rovněž pramení Jizerský potok. Naopak nejnižší základní odtok je na území Zoo Liberec, kde dosahuje hodnot $5,51-6,50 \text{ l/s/km}^2$ (ČGS, 2023). Průměrný základní odtok zájmového území s hodnotami $7,01-7,50 \text{ l/s/km}^2$ zabírá zhruba třetinu z celkové rozlohy území a zabírá tak jeho největší část. Vrstva základního průměrného odtoku byla nejprve oříznuta vrstvou zájmového území v programu ArcGIS Pro a poté byly pomocí funkce „Calculate Geometry“, vypočítány plochy jednotlivých hodnot základních odtoků k výpočtu jejich zastoupení z celé rozlohy zájmového území.

ZÁKLADNÍ PRŮMĚRNÝ ODTOK zájmové části povodí Jizerského potoka v období 1991–2020



Obr. 14: Základní průměrný odtok zájmové části povodí Jizerského potoka v období 1991-2020 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

Základní odtok v období sucha byl vytvořen ze základního průměrného odtoku za období 1991-2020 a indexu průtoku v suchém roce (ČGS, 2023). Hodnoty základního odtoku během suchého období jsou na zájmovém území mezi 2,51-4,50 l/s/km². Nejnižší hodnoty odtoku se opět vyskytují mimo jiné v areálu zoo, kde zhruba třetina jejího území má základní průtok v suchých obdobích pouze 2,50-3,01 l/s/km². V této části zoo se rovněž nachází největší vodní plocha zájmového území – Labutí jezírko. Naopak největší základní odtok je v suchých obdobích ve vyšších nadmořských výškách, konkrétně opět v okolí Žulového vrchu a rozkládá se na zhruba osmině celého zájmového území. V oblasti s největším základním odtokem rovněž pramení Jizerský potok. Většina zájmového území má poté během období sucha základní odtok 3,01-4,00 l/s/km² (ČGS, 2023). Na této ploše se rovněž rozkládá zbylých 7 vodních ploch. Vrstva základního odtoku za sucha byla rovněž nejprve oříznuta vrstvou zájmového území v programu ArcGIS Pro a poté byly pomocí funkce „Calculate Geometry“, vypočítány plochy jednotlivých hodnot základních odtoků k výpočtu jejich zastoupení z celé rozlohy zájmového území.



Obr. 15: Základní odtok za sucha zájmové části povodí Jizerského potoka v období 1991–2020 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

Pro identifikaci akumulace a průtoku vody v zájmové části povodí Jizerského potoka byla použita jako vstupní data digitální model reliéfu od společnosti CZECH GLOBE (CZECH GLOBE, 2022). Ačkoliv výsledná data neposkytují konkrétní hodnoty průtoku například v l/s, jsou s přesností 10 m na pixel mnohem vhodnější variantou pro zájmovou část povodí Jizerského potoka.

Prvním krokem bylo stejně jako při vymezení zájmového území převod digitálního modelu reliéfu z formátu las do formátu rastrového. K tomu byla opět použita funkce „LAS Dataset To Raster“, jejímž výsledkem byl digitální model reliéfu v rastrovém formátu, kde každý pixel, s rozlišením 10x10 m obsahuje informaci o nadmořské výšce dané buňky.

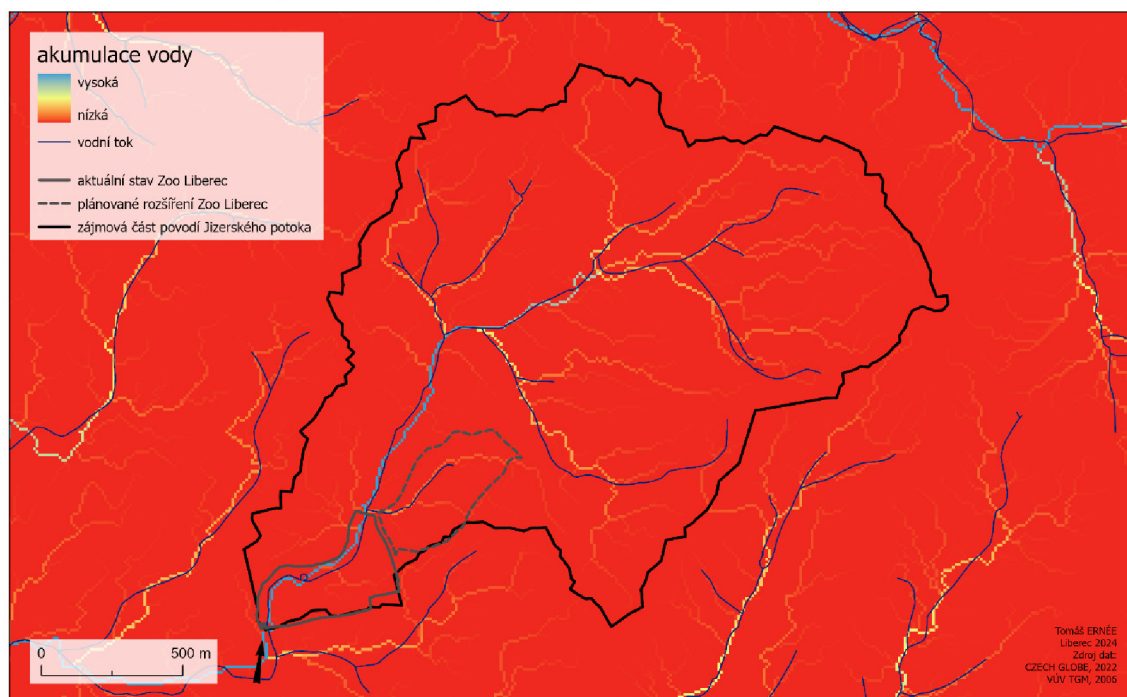
Na digitální model reliéfu v rastrové podobě byla následně použita funkce „Flow Direction“, pomocí které byl určen směr odtoku jednotlivých buněk. Tato funkce přiřadí každé buňce jednu z 8 hodnot, které reprezentují světové strany na základě nadmořské výšky dané buňky a buněk sousedních. Hodnota pak vyjadřuje směr odtoku buňky k sousední buňce, která má nižší nadmořskou výšku (Esri, 2024).

A pro finální zjištění akumulace vody v území byla použita funkce „Flow Accumation“, která jako vstupní data vyžaduje právě Flow Direction rastr, který byl vytvořen v předešlém kroku. Tato funkce na základě informace o směru odtoku jednotlivých buněk identifikuje ty buňky, do kterých nejvíce směřuje odtok buněk okolních (Esri, 2024). Buňky v relativně vyšších nadmořských výškách, hřebenech či svazích vykazují minimální hodnoty akumulace vody, zatímco buňky v korytech, údolích, či jiných relativně níže položených místech vykazují hodnoty akumulace větší. Pomocí této funkce lze identifikovat nejen místa, kde se nachází vodní toky a určit, od kterých vodních toků je očekáván větší průtok, ale také určit místa, kterými může voda odtékat při přívalových deštích.

Pro posouzení výsledného Flow Accumation rastru byla použita vrstva o vodních tocích (VÚV TGM, 2006), pomocí kterých lze porovnat přesnost, či důvěryhodnost výsledného rastru.

Při porovnání výsledné akumulace vody s vodními toky je patrné, že se skutečně vodní toky nachází v místech, kde lze očekávat výraznější odtok, a akumulaci vody. Míra odtoku a akumulace vody lze také závisí na nadmořské výšce, a je zde patrné, že ve vyšších nadmořských výškách, a pramenných oblastech je očekávaný odtok nižší než v dolních úsecích vodních toků. Zřetelněji je to vidět na soutocích jednotlivých vodních toků, kde vodní tok, který soutokem vznikne, vykazuje výraznější odtok. Z výsledného Flow Accumation rastru lze ale také odvodit, že povrchový odtok lze očekávat ve více místech po celém zájmovém území než pouze v místech, kde se nacházejí vodní toky. Jedná se především o pramenné oblasti na severovýchodě zájmového území, kde se mimo jiné nachází pramen Jizerského potoka, ale i o oblast v centrální a jižní části území, či v blízkosti areálu Zoo Liberec. Pomocí výsledného Flow Accumation rastru lze rovněž identifikovat potenciálně nejvydatnější vodní tok, kterým je v případě zájmového území právě Jizerský potok. Ten pramení v porovnání s ostatními vodními toky v nejvyšší nadmořské výšce, a vzhledem k tomu, že se rovněž jedná o nejdelsí vodní tok zájmového území, má ideální předpoklady, aby nejvyšší průtok a akumulace vody patřila právě jemu. Nejvyšší průtok v celém zájmovém území se dá očekávat mezi soutokem Jizerského potoka a jeho pravostranným přítokem ve směru toku za Lesním koupalištěm a výpustí z Labutího jezírka v areálu Zoo Liberec. Areál Zoo Liberec je zde tak v potenciálním ohrožení v případě přívalových dešťů a povodní, jelikož se nachází v místě s nejvyšší akumulací vody, a v případě, že by povodně nastaly, níže položená místa v areálu by byla snáze a rychleji zaplavena.

AKUMULACE VODY V POROVNÁNÍ S VODNÍMI TOKY v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2022



Obr. 16: Akumulace vody v porovnání s vodními toky v zájmové části povodí Jizerského potoka k roku 2022 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

3.3 Aktuální hydrografická síť Jizerského potoka

V rámci této podkapitoly byly pomocí GNSS mapovány pramenné oblasti a nezmapované vodní nádrže zájmové části povodí Jizerského potoka a také odhadován průtok jednotlivých vodních toků v rámci zájmového území. Zaměřené vodní toky a nádrže byly následně porovnány s daty o vodních tocích (VÚV TGM, 2006) a nádržích (VÚV TGM, 2010) z DIBAVOD.

Terénní mapování zájmového území, respektive mapování pramenných oblastí a odhadování průtoků vodních toků bylo z důvodu časové náročnosti a klimatických podmínek rozděleno do dvou dnů. Odhadování průtoků bylo uskutečněno dne 20. 3. 2024 a mapování pramenných oblastí dne 9. 4. 2024. Primárním cílem odhadování průtoků vodních toků bylo identifikovat silnější a slabší vodní zdroje a zjistit, odkud se v zájmové části území generuje nejvíce vody. Hlavním cílem mapování pramenných oblastí metodou GNSS bylo poté získat přesnější prostorová data o vodních tocích a nádržích, jelikož při rekognoskaci terénu bylo zjištěno, že některé vodní toky a nádrže, především právě v pramenných oblastech, nejsou zmapovány přesně, a například ne všechna data o vodních tocích (VÚV TGM, 2006) odpovídají skutečnosti.

Odhadování průtoků vodních toků zájmového území bylo provedeno za přítomnosti a odborného dohledu vedoucího této práce RNDr. Jana Kocuma, Ph.D. V den mapování bylo 8°C, slunečno, jasno a bezvětrí. Nejednalo se o suché ani dešťové období, takže těmito faktory by samotné průtoky neměly být výrazněji ovlivněny a bylo předpokládáno, že jsou v normálu. Nicméně v den mapování probíhala úprava Lesního koupaliště, které se v zájmové části povodí Jizerského potoka nachází. To bylo nejdříve vypuštěno, vyčištěno a následně opět během dne napouštěno. Tímto faktorem již průtoky mohly být ovlivněny, nicméně předmětem samotného odhadování nebylo určit přesnou hodnotu průtoku, jako spíše identifikovat poměr průtoku mezi jednotlivými vodními toky na soutocích a určit silnější a slabší vodní zdroje.

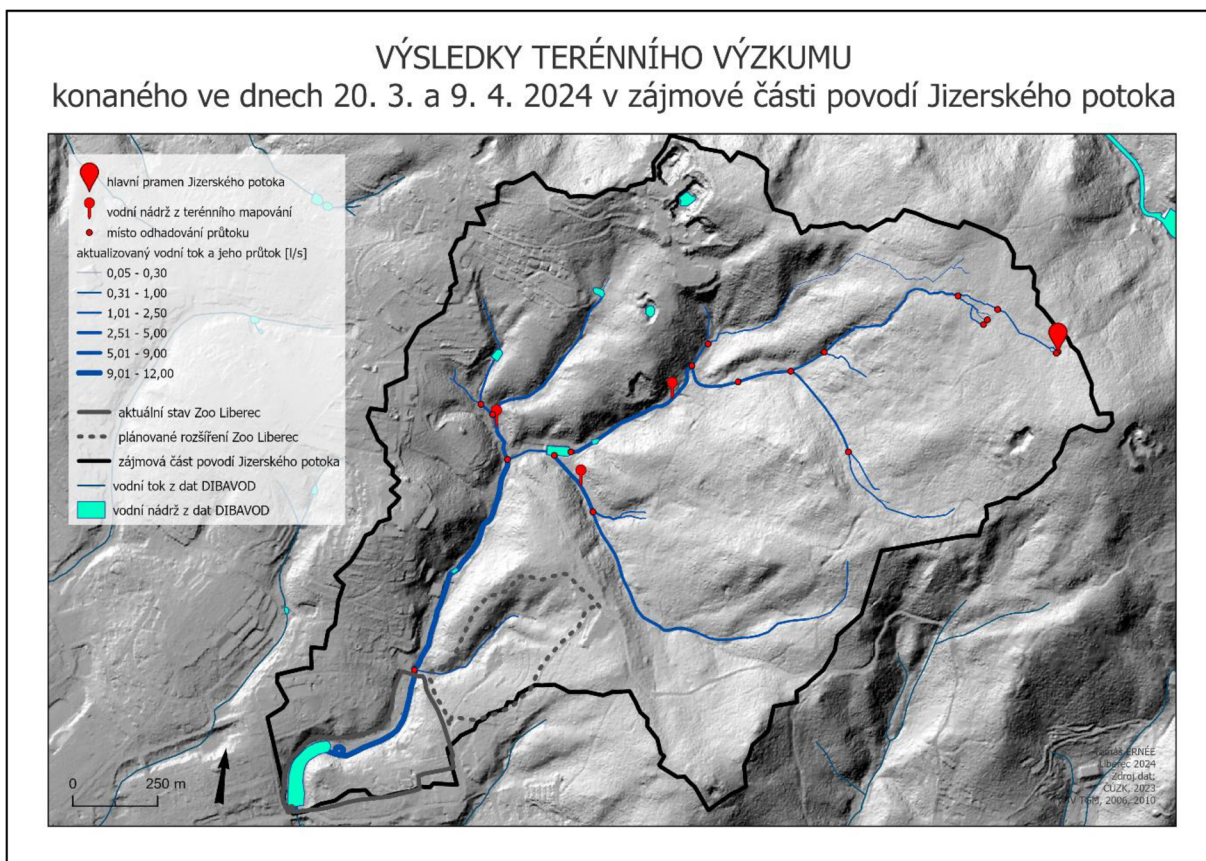
Vzhledem k absenci hydrologické stanice na jakémkoliv toku zájmové části povodí, nebyla data o průtocích dostupná, a pro relevantní informaci o nich by bylo nutné průtoky měřit pravidelně a dlouhodobě, což vzhledem k časové náročnosti a zároveň cílům této práce nebylo splněno. Samotné odhadování průtoků bylo provedeno metodou měrné nádoby, při které je odhadováno, za jaký čas se naplní určitá část měrné nádoby. Odhadování průtoků probíhalo na všech soutocích vodních toků, popřípadě v úsekových částech delších vodních toků. Pomocí tohoto postupu byly identifikovány silnější a slabší vodní zdroje zájmového

území. Během terénního výzkumu byl také identifikován pramen Jizerského potoka, který je jak v datech o vodních tocích (VÚV TGM, 2006), tak i v ostatních dostupných mapových vrstvách špatně a nepřesně vyznačen. V pramenné oblasti Jizerského potoka se nachází hned několik vodních toků, nicméně za přítomnosti RNDr. Jana Kocuma, Ph.D. byl jeden z nich identifikován jako hlavní a jeho počátek byl označen jako pramen Jizerského potoka, vzhledem k jeho výrazně největšímu průtoku a nejvyšší nadmořské výšce.

Jednotlivé průtoky byly odhadovány celkem na 19 místech. Většinou se jednalo o soutok dvou vodních toků, ale také o jejich dílčí úseky, či ústí do Lesního koupaliště. Největší průtok byl v zájmové části povodí Jizerského potoka evidován mezi soutokem Jizerského potoka s jeho pravostranným přítokem za výpustí z Lesního koupaliště a výpustí z Labutího jezírka, které se nachází v areálu Zoo Liberec. Ze zjištěných hodnot je dále patrné, že nejvydatnějším vodním tokem zájmového území je Jizerský potok, který se ze všech vodních toků nachází v nejvyšší nadmořské výšce, a zároveň se jedná o tok nejdelší, co se zájmového území týče. Tyto výsledky výrazně korelují s Flow Accumulation rastrem, který vznikl v rámci podkapitoly Hydrologické poměry, podle kterého je rovněž Jizerský potok potenciálně nejvydatnějším vodním tokem, a z celého území lze na jeho toku očekávat nejvyšší akumulaci vody.

Mapování vodních toků, a především jejich pramenných oblastí proběhlo dne 9. 4. 2024, kdy bylo počasí jasno, zhruba 20 °C a bezvětrí. Pro zaměření vodních toků byl použit systém GNSS neboli globální navigační satelitní systém, který umožňuje na základě signálu ze satelitních družic určit polohu daného přijímače (Tajovská, 2014). Měření vodních toků bylo uskutečněno pomocí GNSS přijímače GARMIN OREGON 550 s polohovou přesností mezi 5–15 metry (GARMIN, 2024), který byl pro účely této práce zapůjčen Katedrou geografie FP TUL. Téměř všechny vodní toky v zájmové části povodí Jizerského potoka byly měřeny primárně v pramenných oblastech, popřípadě v jejich horních tocích, jelikož zde byla předpokládána největší odchylka od dat o vodních tocích DIBAVOD (VÚV TGM, 2006). U dvou posledních levostranných přítoků nebyla naměřená data uložena, z důvodu nedostatečného signálu mezi přijímačem a družicemi, a tyto dva vodní toky tak zůstávají v závěrečném srovnání bez změny. Během měření bylo celkem zaznamenáno 279 bodů, kdy 13 z toho reprezentuje hranice nově zaznamenaných retenčních nádrží, a body zbylé tvoří lomové body vodních toků. Zaměřeny byly 3 retenční nádrže, které se všechny vyskytují v blízkosti Lesního koupaliště, a mají rozlohy 49, 88 a 108 m² a jejich celková rozloha činí 245 m². Délka zaměřených vodních toků poté činí 3011 m. Polohově byl rovněž zaměřen hlavní pramen Jizerského potoka, který byl dříve definován na základě výraznějšího průtoku.

Pro vizualizaci výsledného měření byly na základě naměřených bodů vytvořeny úseky vodních toků. Část dat o vodních tocích DIBAVOD (VÚV TGM, 2006) poté byla spojena s daty nově naměřenými a vznikla tak výsledná vrstva aktualizovaných vodních toků pro zájmovou část povodí Jizerského potoka.



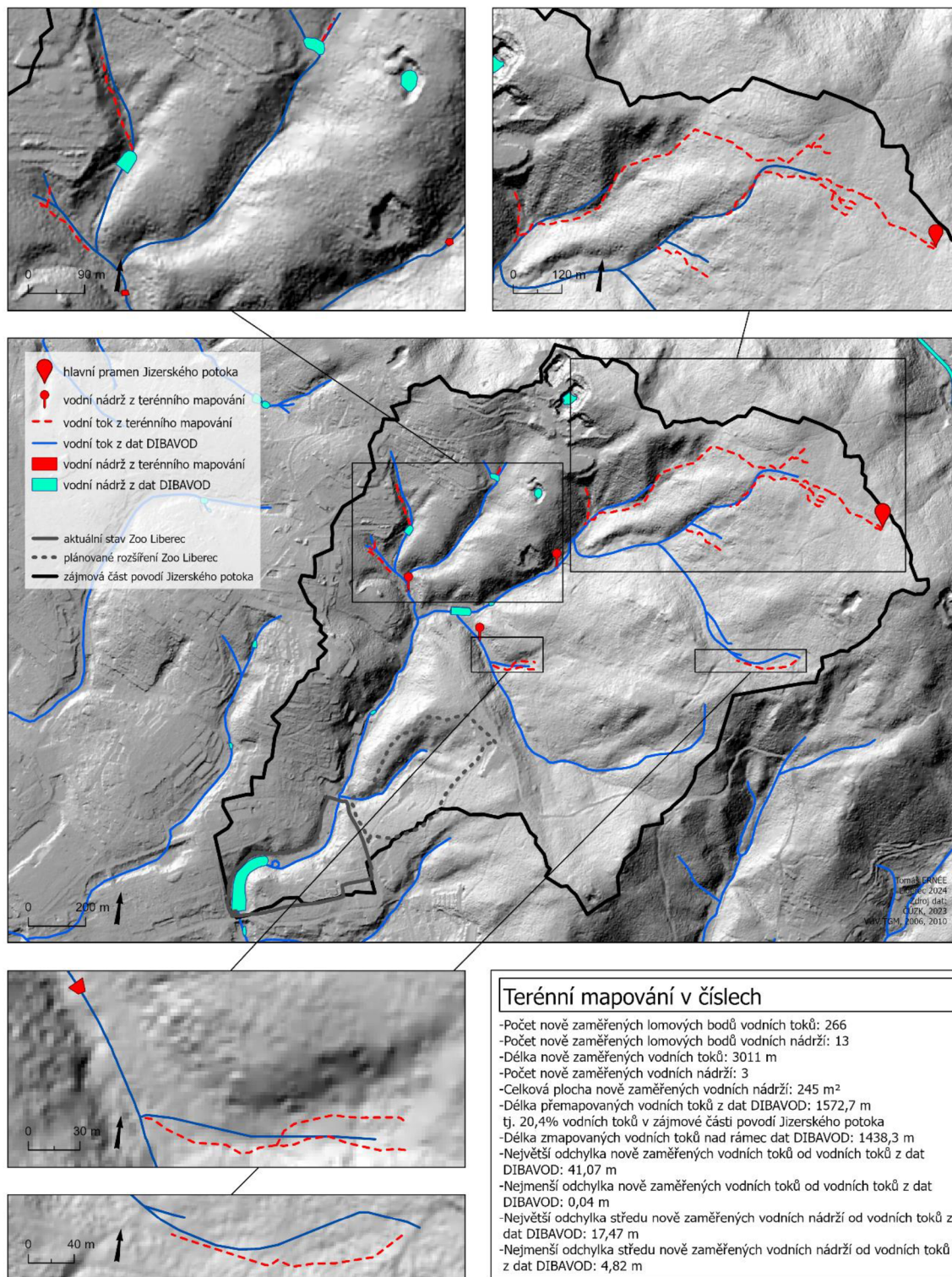
Obr. 17: Výsledky terénního výzkumu konaného ve dnech 20. 3. a 9. 4. 2024 v zájmové části povodí Jizerského potoka (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

Aktuální data o vodních tocích a nádržích od VÚV TGM (VÚV TGM, 2006 a 2010) pochází z digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD), která slouží jako tematická nástavba ZABAGED (VÚV TGM, 2020), neboli základní báze geografických dat. Data o vodních tocích, konkrétně jejich jemných úsecích, reprezentují část přírodního, či antropogenního vodního toku, který je orientován od pramene po ústí a odvádí vodu z přilehlého povodí (VÚV TGM, 2020). Data o vodních nádržích zobrazují uměle vytvořené prostory, či přírodní prohlubně, ve kterých se akumuluje voda, a tím zpomaluje odtok vody z povodí. Patří sem vodní nádrže antropogenní, jako jsou přehradní nádrže, či rybníky, a také přírodní nádrže, jako jsou jezera (VÚV TGM, 2020). Obě tyto datové vrstvy jsou poskytovány v měřítku 1:10 000. Naproti tomu vodní toky a nádrže, které byly mapovány pomocí GNSS přímo v terénu, jsou v největším možném měřítku, a je tak očekávána jejich větší polohová přesnost.

Během terénního mapování byly zaměřeny celkem 3 vodní nádrže, které nebyly v datech o vodních nádržích od DIBAVOD (VÚV TGM, 2010) zaznamenané. Jedná se o retenční nádrže s rozlohou 49, 88 a 108 m² a jde tak o tři nejmenší vodní nádrže v zájmové části povodí Jizerského potoka. Během mapování, které probíhalo 20. 3. a 9. 4. 2024, zadržovaly tyto nádrže pouze minimální množství vody. Všechny tři retenční nádrže se nachází v centrální až západní části zájmového území, a rovněž jsou všechny vzdáleny mezi 120 a 350 metry od Lesního koupaliště. Všechny tři nádrže pak také leží na třech hlavních tocích zájmové části Jizerského potoka, ze kterých dva protékají přes Lesní koupaliště. Odchylna všech tří zaměřených vodních nádrží od jejich středu k vodnímu toku z dat DIBAVOD (VÚV TGM, 2006) se pohybovala mezi 4,82–17,47 metry. Pro smysluplnou vizualizaci tak byly nově zaměřené vodní nádrže umístěny jejich středem nejkratší vzdáleností na vodní tok z dat DIBAVOD (VÚV TGM, 2006).

Části vodních toků, které byly během mapování zaměřeny, měří celkem 3011 metrů. Z toho 1572,7 metrů tvoří přemapované vodní toky z dat DIBAVOD (VÚV TGM, 2006), což je 20,4 % z celkové délky vodních toků v zájmovém území. Zbylých 1438,3 metrů vodních toků bylo zmapováno nově, nad rámec dat o vodních tocích z DIBAVOD (VÚV TGM, 2006). Odchylna zaměřených vodních toků od vodních toků z dat DIBAVOD (VÚV TGM, 2006) se pohybovala mezi 0,04–41,07 metry, což je dáno jednak přesností použitého GNSS přijímače GARMIN OREGON 550 s polohovou přesností mezi 5–15 metry (GARMIN, 2024), a poté přesností dat o vodních tocích od DIBAVOD (VÚV TGM, 2006), které jsou mapovány v měřítku 1:10 000. Největšími rozdíly mezi nově naměřenými daty a daty DIBAVOD (VÚV TGM, 2006) byly v pramenné oblasti Jizerského potoka, včetně polohy pramene Jizerského potoka, a poté u prvního pravostranného přítoku Jizerského potoka, který je v datech o vodních tocích DIBAVOD (VÚV TGM, 2006) zmapován zhruba do třetiny jeho délky. To může být způsobeno faktem, že se část tohoto vodního toku nachází pod zemí, nicméně jeho prameniště a horní část toku je zřetelně identifikovatelné. Pramenná oblast Jizerského potoka se pak v místě, kde Jizerský potok podle dat DIBAVOD (VÚV TGM, 2006) končí, rozděluje na 2 vodní toky, z čehož začátek vodního toku s největším průtokem, a nejvyšší nadmořskou výškou byl identifikován jako hlavní pramen Jizerského potoka. Ten se nachází necelých 350 metrů od místa, kde Jizerský potok pramenní podle dat DIBAVOD (VÚV TGM, 2006).

POROVNÁNÍ VODNÍCH TOKŮ A NÁDRŽÍ ZAMĚŘENÝCH POMOCÍ GNSS S DATY Z DIBAVOD v zájmové části povodí Jizerského potoka v roce 2024



Obr. 18: Porovnání vodních toků a nádrží zaměřených pomocí GNSS s daty z DIBAVOD v zájmové části povodí Jizerského potoka v roce 2024 (vlastní zpracování v programu ArcGIS Pro)

3.4 Role Lesního koupaliště v hydrologii zájmového území

Lesní koupaliště, které vzniklo v první polovině 30. let dvacátého století (Lesní koupaliště, 2024), je druhá největší vodní nádrž v zájmové části povodí Jizerského potoka. Rozloha Lesního koupaliště je 1625 m² a jeho objem je 4125 m³ (Lesní koupaliště, 2024). Nachází se západně od centrální části zájmového území, a zdrojem vody pro něho jsou dva vodní toky. Tím hlavním zdrojem vody je Jizerský potok, který se do Lesního koupaliště jednak vlévá z východu, a poté ho také obtéká v jeho těsné blízkosti. Tím vedlejším zdrojem je poté vodní tok, který se do Lesního koupaliště vlévá z jihu. Míra dotace vody z jednotlivých vodních toků do Lesního koupaliště je patrná i z dříve vypracovaného Flow Accumulation rastru, a také z terénního odhadování průtoků. Podle obou těchto výstupů lze identifikovat hlavní zdroj vody nejen pro Lesní koupaliště, ale i pro celé zájmové území, kterým je v tomto případě Jizerský potok.

Vzhledem k tomu, že je Jizerský potok hlavním zdrojem vody pro areál Zoo Liberec, je množství i kvalita vody ovlivněna právě Lesním koupalištěm, které se na Jizerském potoce nachází, a které slouží jako rekreační zařízení (Liberec, 2024). Se svým objemem 4125 m³ tak Lesní koupaliště zadržuje velké množství vody, na které je Zoo Liberec závislá. Do Lesního koupaliště proudí jak již bylo zmíněno dva vodní toky, které mají největší průtoky v zájmové části povodí Jizerského potoka. Kvalita vody je rovněž ovlivněna způsobem jejího užívání. Z odběrů krajské hygienické stanice Libereckého kraje vyplývá, že v letech 2020 a 2021 byla voda vhodná ke koupání po celou sezonu, nicméně v částech koupacích sezon v letech 2022 a 2023 voda kvůli překročení limitů ukazatelů fekálního znečištění vhodná ke koupání nebyla (KHS Libereckého kraje, 2023). Kvalita vody v Lesním koupališti, a poté vody, která z něho odtéká dále až do areálu Zoo Liberec v čase kolísá, a její kvalita není vždy ideální.

Jisté obavy ohledně Lesního koupaliště, a jeho současného i budoucího vlivu na zájmové území, vyjádřila i Zoo Liberec, konkrétně její ředitel MVDr. David Nejedlo. Tyto obavy jsou spojené především se změnou klimatu, která postihuje i zájmovou část povodí Jizerského potoka, kterou je areál Zoo Liberec součástí.

Jednou z obav je bezpochyby nedostatek a dlouhodobý úbytek vody, kterou do zoo přináší Jizerský potok. Od roku 1961 po rok 2022 stoupla průměrná roční teplota vzduchu na zájmovém území o celé 2 °C (ČHMÚ, 2023). Naproti tomu průměrný roční úhrn srážek za stejné období v zájmové části povodí Jizerského potoka stagnuje (ČHMÚ, 2023). Nárůst teploty, který bude do budoucích let pokračovat a průměrná roční teplota by měla do konce

21. století stoupnout o 2–4,1 °C (MZP, 2021, s. 21), a zároveň stagnace celkového ročního úhrnu srážek, má za následek, že se dlouhodobě vypařuje více vody a zájmové území trpí dlouhodobě větším suchem. Tento fakt je rovněž podpořen úbytkem celkové výšky sněhové pokrývky na zájmovém území. Ta klesla mezi lety 1961–2022 o 20–130 cm (ČHMÚ, 2023) v závislosti na nadmořské výšce. Jelikož Lesní koupaliště zadržuje nemalé množství vody, Zoo Liberec se obává, že při jeho případném napouštění především v obdobích sucha bude omezen odtok vody do zoo (Nejedlo, 2024), která je na vodě, která z Lesního koupaliště odtéká, závislá.

Druhá obava je poté spojena s nerovnoměrným rozložením srážek, které ačkoliv v celkovém ročním úhrnu stagnují, mění se jejich rozložení v čase, a tím tak dochází k dlouhým etapám sucha a zároveň k silným přívalovým dešťům (MZP, 2021, s. 22), které mohou zapříčinit přívalové povodně. Ty lze očekávat především v letních měsících, kdy bývají srážkové úhrny největší a výskyt přívalových dešťů nejpravděpodobnější. Zoo Liberec se tak obává, že by v případě silných přívalových dešťů mohlo dojít k poškození hráze Lesního koupaliště, a tím by z něj došlo k úniku nashromážděné vody, která by nepochybně způsobila povodně nejen v areálu Zoo Liberec (Nejedlo, 2024).

Přívalové povodně většinou zasahují malá území (MZP, 2024), kterým je i zájmová část povodí Jizerského potoka, a mohou se vyskytovat kdekoliv na malých vodních tocích, ale i mimo trvalou říční síť (MZP, 2024). Místa, kterými by tak mohla voda odtékat během přívalových dešťů, lze identifikovat z dříve vytvořeného Flow Accumulation rastru, který znázorňuje i místa odtoku mimo vodní toky. Výskyt přívalových povodní je kromě přívalových dešťů ovlivněn také schopností povrchu v daném území zadržovat vodu (MZP, 2024). Většina zájmové části povodí Jizerského potoka je pokryta povrchem propustným, který by byl v případě přívalových dešťů schopen část vody zadržet, nicméně v areálu Zoo Liberec, či v oblasti zástavby, která se nachází severně o něj, se vyskytují i povrchy nepropustné, které by odtok vody při přívalových deštích urychlily.

Ačkoliv je Lesní koupaliště ceněným místem jak v letních, tak zimních měsících, kdy je využíváno jako rekreační zařízení, a využívá ho široká veřejnost, nese s sebou jeho existence i určitá rizika. Výrazně ovlivňuje zájmovou část povodí Jizerského potoka, a především poté areál Zoo Liberec. Vlivem klimatické změny tak může dojít například k přívalovým povodním, které by mohli poškodit hráz koupaliště, a potenciálně areál zoo ohrozit. Těmto výzvám a hrozbám se bude muset Zoo Liberec v budoucnu přizpůsobit.

4 Zranitelnost a potenciál zájmového území z hlediska budoucího udržitelného hospodaření s vodou

4.1 Zranitelnost povodí Jizerského potoka v souvislosti s probíhajícími změnami klimatu

V důsledku probíhajících změn klimatu jsou na území statutárního města Liberec, ve kterém se nachází i zájmová část povodí Jizerského potoka, očekávány významné změny v průměrné roční teplotě vzduchu a množství srážek (Liberec, 2022, s. 15). Tyto změny mají a mít budou rozsáhlé dopady nejen v zájmové části povodí Jizerského potoka. Do roku 2030 by zde mělo dojít ke zvýšení průměrné teploty vzduchu o 0,3 °C a do roku 2050 pak o více než 1 °C (Liberec, 2022, s. 15). Do konce 21. století by pak teplota vzduchu mohla vzrůst až o 3,7 °C, kdy největší nárůsty se očekávají v jarních a zimních měsících (Liberec, 2022, s. 15). Důsledkem růstu průměrné roční teploty bude rovněž přibývat tropických dní, a tím i vln horka. Naopak dní ledových bude v čase ubývat (Liberec, 2022, s. 16). Ačkoliv v zájmové části povodí Jizerského potoka celkový úhrn srážek mezi lety 1961–2022 stagnoval, a nevykazoval nijak významný trend (ČHMÚ, 2023), počítá se do konce 21. století s jeho nárůstem a změnou jeho rozložení v roce (Liberec, 2022, s. 17). Úhrn srážek vzroste zejména v jarních, podzimních a zimních měsících, zatímco v měsících letních bude růst pouze do roku 2060, po které srážkový úhrn začne klesat (Liberec, 2022, s. 17). I přes budoucí růst celkového srážkového úhrnu bude růst průměrné roční teploty vzduchu výraznější, a bude tak dále docházet k většímu výparu, což bude mít za následek delší etapy sucha, ale také častější přívalové deště (Liberec, 2022, s. 17).

Podle Adaptační strategie na změnu klimatu statutárního města Liberec (Liberec, 2022) byly na základě pravděpodobnosti výskytu rizika a jejich potenciálních dopadů na společnost, ekonomiku a přírodu vybrány 3 hlavní rizika, se kterými se bude statutární město Liberec potýkat (Liberec, 2022, s. 21). Těmito třemi hlavními riziky jsou vlny horka, sucho a přívalové povodně (Liberec, 2022, s. 21).

Vlny horka, které jsou způsobeny růstem průměrné teploty vzduchu s sebou přináší vyšší počty tropických dní a nejvíce se projevují v zastavěných částech města, především poté v centrech měst a v místech s nedostatkem vegetace (Liberec, 2022, s. 21). Hlavními dopady jsou ohrožení lidského zdraví, snížený komfort v zastavěných částech města, v městské hromadné dopravě, či na ulicích, a poté také postupné usychání vegetace (Liberec, 2022, s.

21). V kontextu zájmové části povodí Jizerského potoka se největší dopady způsobené vlnami horka dají očekávat v západní části území, včetně areálu Zoo Liberec, kde se vyskytuje nesouvislá městská zástavba, a ačkoliv se nejedná o centrum města, a míra zastavěnosti zde není tak znatelná, stále se zde dají očekávat vyšší teploty než ve zbytku zájmového území. Lze zde tak očekávat zvýšené ohrožení lidského zdraví, či snížený komfort, a to i v městské hromadné dopravě, která v zájmovém území představuje tramvajovou linku, která končí v zastávce Lidové sady-ZOO. Vlny horka budou mít také negativní vliv na vegetaci, která tvoří většinu zájmové části povodí Jizerského potoka. Jedná se především o lesní porost, který je tvořen převážně jehličnatými stromy, které jsou náchylnější na sucho, a je zde tak vyšší riziko jejich napadení škůdci (MZP, 2021, s. 31).

Dlouhodobý růst teploty vzduchu bude mít za následek etapy sucha, během kterých bude docházet k výparu vody jak z půdy, tak z vegetace, a jelikož bude v letních měsících od 60. let 21. století srážek ubývat, bude nedostatek vody jak v rostlinách, tak v zemědělské půdě, či vodních plochách a tocích výrazný (Liberec, 2022, s. 21). Nedostatek vody postihne do jisté míry celou zájmovou část povodí Jizerského potoka. Nedostatek vody bude patrný například v severozápadní, západní a jihozápadní části, kde je největší zastoupení nepropustného povrchu z celého zájmového území viz Obr. 9. V těchto místech se voda nebude schopna vsakovat do půdy, a buď se vypaří, anebo odteče do níže položených míst. Nedostatkem vody bude rovněž trpět vegetace, která tvoří většinu zájmové části povodí Jizerského potoka. Už z Obr. 8 je patrné, že v letních měsících má značná část vegetace vody nedostatek. Jedná se především o vegetaci, která se nachází severovýchodně od centrální části území, kterou rovněž protéká Jizerský potok, který je největším vodním zdrojem zájmového území. Vysoký výpar a nedostatek vody ve vegetaci má také vliv na její zdravotní stav. Z Obr. 7 jsou patrná místa se zhoršeným zdravotním stavem vegetace, která do jisté míry koreluje s Obr. 8. Místa, na kterých má vegetace zhoršený zdravotní stav a trpí nedostatkem vody, které se nachází po celém zájmovém území, především ale v severovýchodní, západní a jižní části, mají větší náchylnost k suchu a potenciálním napadením škůdci. Úbytek vody bude také znatelný ve všech vodních tocích, které v zájmové části povodí Jizerského potoka leží, což negativně ovlivní jednak Zoo Liberec, která je na vodě z Jizerského potoka závislá, ale třeba také Lesní koupaliště, které je využíváno pro rekreační účely. V obdobích sucha možná nebude Lesní koupaliště možné napouštět, a pokud ano, bylo by to na úkor právě Zoo Liberec, která vodu z Jizerského potoka čerpá. Celkový úbytek vody je také podpořen dlouhodobým úbytkem celkové výšky sněhové pokrývky, která v zájmovém území klesla mezi lety 1961–2022 o 20–130 cm

(ČHMÚ, 2023). Více sněhové pokrývky se drží ve vyšších nadmořských výškách, z důvodu nižších teplot. Ve vyšších nadmořských výškách je nicméně rovněž patrný vyšší úbytek sněhové pokrývky. Úbytek sněhové pokrývky, která je významným vodním zdrojem především v jarních měsících, kdy pokrývka roztává, je velkým problémem pro zájmové území, jelikož v něm umocňuje úbytek vody.

Přivalové povodně, které jsou potenciálním nebezpečím pro zájmovou část povodí Jizerského potoka, jsou důsledkem častějšího výskytu extrémního množství srážek v krátký čas na malé ploše (Liberec, 2022, s. 21). Přivalové povodně zpravidla vznikají, když velké množství spadných srážek není schopný daný povrch absorbovat. Je tedy velice důležitá jeho propustnost a schopnost vodu zadržovat. Z tohoto důvodu bývá zpravidla k přivalovým povodním nejnáchylnější zástavba, která není schopna vodu zadržet. Vzhledem k charakteru zájmového území, které je pokryto z největší části vegetací, a tím pádem povrchem propustným viz Obr. 9, by se mohlo zdát, že zde přivalové povodně nehrozí. Nicméně části zájmového území, které se nacházejí na severozápadě, západě a jihozápadě jsou pokryty nepropustnými, či převážně nepropustnými povrchy a vodu by tak zadržet nedokázaly. Vůbec nejohroženějším místem zájmového území je areál Zoo Liberec. Ten se totiž nachází v nejnižších nadmořských výškách zájmového území, a veškerý odtok ze zájmové části povodí Jizerského potoka tak směřuje právě sem. To je patrné i z Obr. 16, ze kterého vyplývá, že nejvíce vody se akumuluje právě v areálu Zoo Liberec. Dalším potenciálním ohrožením, které by mohlo způsobit přivalové povodně v Zoo Liberec je případné protržení hráze na Lesním koupališti, které se svým objemem 4125 m³ (Lesní koupaliště, 2024) zadržuje výrazné množství vody, které by v případě protržené hráze nekontrolovatelně pokračovalo až do samotného areálu Zoo Liberec, ve kterém by napáchalo značné škody.

Ačkoliv postihne změna klimatu bezpochyby celou zájmovou část povodí Jizerského potoka, jako nejohroženějším místem se jeví Zoo Liberec. Jednak z důvodu své závislosti na vodě z Jizerského potoka, které bude v čase ubývat, tak kvůli ohrožení přivalovými povodněmi a neschopnosti vodu zadržet a vstřebat, anebo početným výskytem návštěvníků v letních měsících, kdy bude Zoo Liberec čelit vlnám vedra a sucha.

4.2 Adaptace Zoologické zahrady v Liberci na nedostatek vody v zájmovém území

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách této práce, Zoo Liberec je závislá na vodě, která do areálu proudí v podobě Jizerského potoka. Nicméně vzhledem k tomu, že voda v Jizerském potoce z důvodu stagnace srážkového úhrnu, růstu průměrné teploty vzduchu, či úbytku sněhové pokrývky dlouhodobě ubývá, musí se Zoo Liberec této situaci adaptovat, a zmírnit tak svoji závislost na nespolehlivém vodním zdroji. Tato adaptace by měla být v areálu Zoo provedena díky projektu LIFE4ZOO, který má za cíl aplikovat v zoo cirkulární hospodaření s vodou.

Cirkulární hospodaření s vodou spadá pod koncept cirkulární ekonomiky. Cirkulární ekonomika jako taková má za cíl udržet hodnotu výrobků, materiálů a přírodních zdrojů v ekonomickém cyklu co nejdéle, jak je to jen možné (MZP, 2024). Na konci životnosti těchto surovin se počítá s jejich opětovným zařazením do výrobního oběhu, a tím tak minimalizovat odpad a plýtvání se zdroji (MZP, 2024). Opačným konceptem je ekonomika lineární, využívaná po celém světě, jejíž proces počíná těžbou, pokračuje výrobou, spotřebou a končí likvidací. Tento koncept je ale z dlouhodobého hlediska neudržitelný, jelikož zdroje většinou využívá jednorázově, a po jejich použití vzniká velké množství odpadu (Elektro udržitelně, 2023).

Cirkulární hospodaření s vodou má poté za cíl efektivní využití vody, čištění a znovupoužití odpadních vod, nebo sběr a využití vody dešťové (FCE VUT Brno, 2023). Výsledkem by měl být cirkulární systém, kde je voda vnímána jako cenná surovina, je udržitelně využívána a je minimalizováno její plýtvání (FCE VUT Brno, 2023). Ačkoliv cíle tohoto konceptu jsou z hlediska udržitelnosti a šetrného přístupu nejen k přírodě pozitivní, jeho implementace vyžaduje rozsáhlé investice do infrastruktury, technologií nebo personálu (FCE VUT Brno, 2023).

Projekt LIFE4ZOO, který započal v říjnu roku 2023, a na kterém se podílí se Zoo Liberec také Technická univerzita v Liberci a společnost Photon Water, je cílen především na úsporu vody, kterou má Zoo Liberec nedostatek a nezávislost na vnějších zdrojích vody (Zoo Liberec, 2023). Nové řešení by mělo pomoci zoo snížit dosavadní spotřebu na polovinu, a během dvou a půl roku ušetřit až 70 000 m³ vody ročně (Zoo Liberec, 2023), což je pro představu bezmála sedmnáctkrát více, než je objem Lesního koupaliště, který činí 4125 m³ (Lesní koupaliště, 2024). Vlivem recyklace vody v zoo dojde rovněž ke snížení provozních nákladů, stabilizaci okolních vodních zdrojů a nezávislosti na zdrojích vnějších (Zoo

Liberec, 2023). K mytí a napájení zvířat používala zoo doposud vodu z Labutího jezírka, které se v areálu nachází, Jizerského potoka, či vlastních vrtů. Většina této vody následovala koncept lineární ekonomiky, a tak po použití končila v kanalizaci bez dalšího využití (Zoo Liberec, 2023). V letních měsících během období sucha navíc v Labutím jezírku vody výrazně ubývá, klesá v něm kvalita vody a nelze ji dále čerpat a využívat (Liberec, 2023). Vzhledem k tomu, že v tomto období ubývá i vody v Jizerském potoce, zdroje k čerpání vody pro zoo tak výrazně ubývají. Základem pro nově zavedené cirkulární hospodaření s vodou je nově vybudovaný umělý mokřad, který je umístěn do severní části zoo, v rokline vedle výběhu levhartů (Zoo Liberec, 2023). Do něho má být odváděna použitá a znečištěná voda z jižní části zahrady, která je výše položena, konkrétně z výběhů žiraf, tapírů, zeber, nebo slonů (Zoo Liberec, 2023). Umělý mokřad pak díky kombinaci čistících procesů dokáže z vody účinně odstraňovat jak organické, tak dusíkaté znečištění (Zoo Liberec, 2023).

V budoucnu je v plánu například zapojení dalších výběhů do cirkulárního systému (Zoo Liberec, 2023), nebo odvádět srážkovou vodu do Labutího jezírka, které bude předtím nutné rekonstruovat, vzhledem k neodpovídajícímu technickému stavu, při kterém prasklinami uniká voda z jezírka pryč (Nejedlo, 2024). Voda získaná ze srážek by poté mohla být čerpána pouze v množství, které by bylo spotřebováno, aby se zamezilo plýtvání, například k hydrataci vegetace, či k obsluze toalet (Nejedlo, 2024).

5 Diskuse a závěr

Na začátku této práce byly stanoveny 4 dílčí cíle, které byly v průběhu práce buď částečně, či kompletně splněny. Částečně byl splněn cíl analyzovat dostupné historické a současné mapové vrstvy a fotografie povodí Jizerského potoka a území Zoo v Liberci, jelikož při analýze nakonec nebyly žádné fotografie použity, a poté cíl analyzovat dostupné časové řady klimatických a hydrologických dat, kde na Jizerském potoce není instalována žádná hydrologická stanice, a potřebná data k analýze tak nebyla dostupná.

V rámci analýzy dostupných mapových vrstev byla zkoumána změna krajinného pokryvu z dat CORINE Land Cover mezi lety 1990–2018, vegetační indexy NDVI a WBI4 z dat CZECH GLOBE a propustnost povrchu, která byla vytvořena na základě dat o krajinném pokryvu z dat ÚAP a GIS Liberec. Během analýzy změny krajinného pokryvu bylo zjištěno, že se třetina zájmového území mezi lety 1990–2018 proměnila. Většina změny se odehrála v západní polovině zájmového území a největší proměnou prošel lesní porost, kdy se zhruba čtvrtina zájmového území přeměnila z lesu jehličnatého na les smíšený. Vegetační indexy NDVI a WBI4 poté odhalily místa, kde se nachází vegetace, a jaký je její zdravotní stav, popřípadě jestli trpí nedostatkem vody, či nikoliv. Vegetace pokrývá většinu zájmového území, až na její západní část, kde se nachází zástavba. Po celém území, nejvíce ale v jeho severovýchodní části, se pak nachází mýtiny, či místa s minimem vegetace se špatným zdravotním stavem. Oba vegetační indexy spolu do jisté míry korelují, a nedostatek vody ve vegetaci je především na místech, kde je vegetace minimum, či má zhoršený zdravotní stav. Největší nedostatek vody ve vegetaci je tak rovněž v severovýchodní části zájmového území. Propustnost povrchu, která byla vytvořena reklasifikací krajinného pokryvu, zobrazuje schopnost jednotlivých oblastí zadržovat vodu, a jejich případnou náchylnost k přívalovým povodním. Většina zájmového území je pokryta vegetací, která má velmi dobrou retenční schopnost, nicméně při silných přívalových deštích nebude schopna všechnu vodu zadržet, a ta bude proudit do níže položených míst. Nejohroženější oblastí se jeví být západní část zájmového území, ve které se nachází převážně zástavba, která retenční schopnost postrádá. Úplně nejohroženější je poté areál Zoo Liberec, který se v zájmovém území nachází v nejnižších nadmořských výškách, a rovněž obsahuje nepropustné povrchy, a voda z celého zájmového území se tak bude akumulovat zde.

Zmapování aktuálních hydrografických poměrů povodí Jizerského potoka proběhlo ve dvou částech, při kterých byly monitorovány průtoky jednotlivých vodních toků a poté polohově

zaměřovány jejich pramenné oblasti, ve kterých se předpokládala jejich největší odchylka od dat DIBAVOD. Průtoky byly metodou měrné nádoby odhadovány na 19 místech, přičemž většina tvořila soutoky mezi jednotlivými vodními toky. Z výsledných hodnot lze odvodit, že hlavním vodním zdrojem zájmového území je Jizerský potok, jehož průtok byl nejvýraznější. Během mapování byl rovněž identifikován hlavní pramen Jizerského potoka, který vykazoval nejvyšší průtok a nacházel se v největší nadmořské výšce. Během polohového zaměření pramenných oblastí poté byly zaměřeny 3 retenční nádrže a 1438,3 metrů vodních toků, které v datech DIBAVOD chybí. Největší rozdíly mezi daty DIBAVOD a daty naměřenými byly v pramenné oblasti Jizerského potoka, kdy jeho samotný pramen byl zaměřen 350 metrů od místa, kde je zaznamenán v datech DIBAVOD. Tímto se tak potvrzuje jedna z hypotéz, že hydrografická síť zájmového území vycházející z dat DIBAVOD není v pramenných oblastech přesně zmapována.

Jako předmět analýzy dostupných časových řad klimatických dat byly vybrány 3 prvky z dat ČHMÚ měřené v období 1961–2022. Konkrétně se jednalo o průměrnou teplotu vzduchu, úhrn srážek a celkovou výšku sněhové pokrývky. Jelikož se žádná ze stanic ČHMÚ nenachází v zájmové části Jizerského potoka, byly pro účely této práce vybrány dvě stanice nejbližší, U2LIBC01 (397,7 m n. m.) a U2BEDR01 (777 m n. m.), které svými nadmořskými výškami i okolním prostředím odpovídají charakteru zájmového území. Výsledek analýzy byl takový, že na obou vybraných stanicích během let 1961–2022 vzrostla průměrná teplota vzduchu o 2 °C, úhrn srážek stagnoval a celková výška sněhové pokrývky klesla o 20–130 cm. Tyto výsledky jednak dokazují úbytek vody v zájmovém území, a také potvrzují jednu z hypotéz, že zde průměrná teplota vzduchu vzrostla méně (o 2 °C), než je průměr za stejné období v ČR (o 2,2 °C).

Posouzení zranitelnosti a potenciálu zájmového území následně proběhlo jednak na základě informací získaných z analyzovaných dat v této práci, tak i z informací od Zoo Liberec. Jako nejzranitelnější část zájmového území byla určena Zoo Liberec. Ta, jelikož je závislá na vodě z Jizerského potoka, která vlivem rostoucí teploty a úbytku sněhové pokrývky dlouhodobě ubývá, je nucena v obdobích sucha sahat po alternativních zdrojích vody, což není z dlouhodobého hlediska udržitelné řešení. Z toho důvodu je v zoo realizován projekt zaměřený na cirkulární hospodaření s vodou, který má učinit zoo o něco soběstačnější, a méně závislou na vnějších vodních zdrojích. Areál zoo se rovněž nachází v nejnižších nadmořských výškách zájmového území, jeho pokryv není zcela schopen zadržovat vodu, a je tak ohrožen přívalovými povodněmi, které budou v nadcházejících letech stále větší hrozbou. Na toku Jizerského potoka se rovněž nachází Lesní koupaliště, které ačkoliv je

hojně používáno jako rekreační areál, zadržuje velké množství vody, které by jinak proudilo do zoo. Během přívalových dešťů rovněž hrozí, že se hráz koupaliště protrhne, a vylitá voda by mohla zaplavit níže položené části zoo. V areálu zoo a jeho blízkosti se dají rovněž očekávat vyšší teploty než ve zbytku území, jelikož se nachází v oblasti zástavby a nižší nadmořské výšky. Je zde tak nutno počítat s riziky s tím spojenými, jako je vyšší riziko zdravotních problémů, nižšího komfortu, či usychání vegetace.

Změna klimatu, která probíhá po celém světě, má velký vliv i na tak malé území, jako je zájmová část povodí Jizerského potoka, nebo na ještě menší území areálu Zoo Liberec. S dlouhodobě rostoucí teplotou, která má mimo jiné za následek úbytek vody, se bude muset celé území, a především Zoo Liberec, novým podmínkám adaptovat. Jedním z možných řešeních se jeví být již probíhající cirkulární systém na hospodaření s vodou, který by mohl umožnit zoo vodu využívat efektivně, bez zbytečného plýtvání a osamostatnit se od vnějších zdrojů vody. I přes to bude ale čelit mnoha jiným hrozbám, které budou v dlouhodobém horizontu stále častější. Práce má svým charakterem vysoký aplikační rozměr a její výsledky budou použity jednak pro účely spolupracujících institucí jako je Zoo Liberec, Photon Water, či Magistrát města Liberec, tak jako základ pro navazující práci diplomovou.

6 Zdroje informací a dat

6.1 Internetové zdroje

Copernicus, CORINE Land Cover, neuvvedeno. Dostupné 8. 1. 2024 z: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>

Cropin, NDVI and its Practical Applications in Agriculture, 2021. Dostupné 20. 5. 2024 z: <https://www.cropin.com/blogs/ndvi-normalized-difference-vegetation-index>

CZECH GLOBE, Souhrnná výzkumná zpráva, 2021. Dostupné 30. 4. 2024 na vyžádání od oddělení ÚAP a GIS Liberec

ČGS, lugikum, 2007. Dostupné 17. 3. 2024 z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?lugikum#>

ČGS, pluton, 2007. Dostupné 19. 3. 2024 z: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl/term.pl?pluton#>

ČGS, variské vrásnění, 2007. Dostupné 19. 3. 2024 z: http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?variske_vrasneni#

ČHMÚ, Dlouhodobý průměr základního odtoku (1971-1990), neuvvedeno. Dostupné 10. 1. 2024 z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/opzv/voda/zakl_odt/zakl_odt.html

ČHMÚ, Meteorologické stanice ČHMÚ, 2011. Dostupné 5. 12. 2023 z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html

ČHMÚ, Průměrná teplota vzduchu v Libereckém kraji, 2023. Dostupné 14. 12. 2023 z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>

ČHMÚ, Úhrn srážek v Libereckém kraji, 2023. Dostupné 14. 12. 2023 z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>

ČHMÚ, Výška sněhové pokrývky v Libereckém kraji, 2023. Dostupné 14. 12. 2023 z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb>

ČPS, ANTROZEM, 1999. Dostupné 20. 2. 2024 z: https://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showPudniTyp&id_categoryNode=154

ČPS, KAMBIZEM KA, 1999. Dostupné 20. 2. 2024 z: https://klasifikace.pedologie.czu.cz/index.php?action=showPudniTyp&id_categoryNode=1

ČPS, KRYPTOPODZOL KP, 1999. Dostupné 20. 2. 2024 z: https://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showPudniTyp&id_categoryNode=170

ČPS, PODZOL PZ, 1999. Dostupné 20. 2. 2024 z: https://klasifikace.pedologie.cz/index.php?action=showPudniTyp&id_categoryNode=171

ČSÚ, Přírodní podmínky, 2009. Dostupné 11. 3. 2024 z: <https://www.czso.cz/csu/xl/0207004002>

Elektro udržitelně, Rozdíly mezi lineární ekonomikou, recyklační ekonomikou a cirkulární ekonomikou, 2023. Dostupné 10. 6. 2024 z: <https://elektroudrzitelne.cz/rozdily-mezi-linearni-ekonomikou-recyklacni-ekonomikou-a-cirkularni-ekonomikou/>

ENVIROMETR, Jak se mění teploty v Česku, 2020. Dostupné 12. 2. 2024 z: <https://www.envirometr.cz/souvislosti/jak-se-meni-teploty-v-cesku>

Esri, Flow Direction (Spatial Analyst), 2024. Dostupné 28. 4. 2024 z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/flow-direction.htm>

Esri, How Flow Accumulation Works, 2024. Dostupné 20. 5. 2024 z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>

Esri, Watershed (Spatial Analyst), 2024. Dostupné 28. 4. 2024 z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/watershed.htm>

Evropský parlament, Jak klimatická změna ovlivňuje Evropu (infografika), 2023. Dostupné 10. 3. 2024 z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20180905STO11945/jak-klimaticka-zmena-ovlivnuje-evropu-infografika>

Evropský parlament, Změny klimatu v Evropě: fakta a čísla, 2023. Dostupné 7. 3. 2024 z: <https://www.europarl.europa.eu/topics/cs/article/20180703STO07123/zmeny-klimatu-v-evrope-fakta-a-cisla>

Fakta o klimatu, Klimatická změna, 2024. Dostupné 9. 3. 2024 z: <https://faktaoklimatu.cz/temata/klimaticka-zmena>

Fakta o klimatu, Průměrná roční teplota v ČR, 2024. Dostupné 16. 2. 2024 z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/teplota-cr>

FCE VUT Brno, CIRCULAR ECONOMY IN WATER MANAGEMENT, 2023. Dostupné 7. 6. 2024 z: https://admas.eu/wp-content/uploads/sites/14/2023/02/Brozura_Circular-economy-in-water-management_web.pdf

GARMIN, GPS Accuracy, 2024. Dostupné 25. 5. 2024 z: <https://support.garmin.com/en-US/?faq=aZc8RezeAb9LjCDpJplTY7>

Kateřina TAJOVSKÁ, GNSS – věda, praxe i zábava, 2014. Dostupné 25. 5. 2024 z: https://is.muni.cz/el/sci/jaro2014/Z8109/um/GNSS-veda_praxe_zabava.pdf

KHS Libereckého kraje, Koupaliště Lesní koupaliště Liberec, 2023. Dostupné 24. 5. 2024 z: <https://www.khslbc.cz/content/files/obecna/koupani/liberec/Koupali%C5%A1t%C4%9B%20Lesn%C3%AD%20koupali%C5%A1t%C4%9B%20Liberec.pdf>

Kurovcoveinfo.cz, Lýkožrout smrkový, 2024. Dostupné 20. 3. 2024 z: <https://www.kurovcoveinfo.cz/lykozrout>

Lesní koupaliště, HISTORIE KOUPALIŠTĚ, 2024. Dostupné 24. 5. 2024 z: <https://lesnikoupaliste.cz/historie-koupaliste>

Liberec, Adaptační strategie na změnu klimatu statutárního města Liberec, 2022. Dostupné 1. 5. 2024 z: https://www.liberec.cz/files/dokumenty/odbory/odbor-strategickeho-rozvoje-dotaci/iti/fin_adaptacni-strategie-liberec.pdf

Liberec, Lesní koupaliště – volnočasové a sportovní zázemí, 2024. Dostupné 12. 2. 2024 z: <https://www.liberec.cz/cz/radnice/strategie-projekty/rozpocet-mesta/participativni-rozpocet/projekty-1-rocniku/lesni-koupaliste-volnocasove-sportovni-zazemi.html>

Mapy.cz, Turistická mapa, 2024. Dostupná 13. 1. 2024 z: <https://mapy.cz/turisticka?x=15.0746881&y=50.7763856&z=18>

Meteocentrum.cz, Atmosférické srážky, 2023. Dostupné 10. 1. 2024 z: <https://www.meteocentrum.cz/meteorologie/srazky>

Multimediální mineralogicko, Krkonošsko-jizerský pluton, 2011. Dostupné 10. 3. 2024 z: https://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/regionalni_geol/krkon_jizer_pluton.htm

MZP, Cirkulární Česko, 2024. Dostupné 24. 5. 2024 z: https://www.mzp.cz/cz/cirkularni_cesko

- MZP, GEOGRAFICKÉ ÚDAJE, 2006. Dostupné 5. 3. 2024 z: https://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/a0.htm
- MZP, Přívalové povodně, 2024. Dostupné 28. 5. 2024 z: https://www.mzp.cz/cz/privalove_povodne
- MZP, Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, 2021. Dostupné 19. 1. 2024 z: https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie
- NV5, Canopy Water Content, 2024. Dostupné 20. 5. 2024 z: https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/CanopyWaterContent.html#water_band_index
- Riegl, RIEGL LMS-Q780, 2015. Dostupné 3. 5. 2024 z: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/DataSheet_LMS-Q780_2015-03-24.pdf
- SCI MUNI, Svahové pohyby, nevedeno. Dostupné 13. 2. 2024 z: <https://www.sci.muni.cz/~herber/slide.htm>
- Trnka Miroslav, Očekávané dopady změn klimatu, nevedeno. Dostupné 3. 1. 2024 z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/>
- UPOL, KLIMATICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2014. Dostupné 13. 1. 2024 z: https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCZ/GCZ_Klima.pdf
- VÚV TGM, Katalogový list DIBAVOD, 2020. Dostupné 13. 3. 2024 z: https://www.dibavod.cz/index.php?id=27&id_dib=2
- VÚV TGM, Katalogový list DIBAVOD, 2020. Dostupné 13. 3. 2024 z: https://www.dibavod.cz/index.php?id=27&id_dib=5
- VÚV TGM, O nás, 2020. Dostupné 13. 3. 2024 z: <https://www.dibavod.cz/1/o-nas.html>
- ZOO Liberec, LIFE4ZOO, 2023. Dostupné 10. 6. 2024 z: <https://zooliberec.cz/life/>
- ZOO Liberec, O nás, 2024. Dostupné 13. 3. 2024 z: <https://www.zooliberec.cz/o-nas>
- ZOO Liberec, Vize 2025, 2023. Dostupné 13. 3. 2024 z: <https://www.zooliberec.cz/vize-2025/>

6.2 Ostatní zdroje

Nejedlo David, ústní vyjádření ze dne 14. 4. 2024

6.3 Zdroje dat GIS

CENIA, CORINE Land Cover 1990 databáze České republiky, 2011. Dostupné 10. 10. 2023 z: <https://micka.cenia.cz/record/basic/80c05a80-5a80-10c0-8c1b-c88088beb3f3>

CENIA, CORINE Land Cover 2018 databáze České republiky, 2018. Dostupné 10. 10. 2023 z: <https://micka.cenia.cz/record/basic/5b7a9ba5-1f34-4aca-a6ec-5c87c0a80138>

CENIA, Typy půd, neuvedeno. Dostupné 6. 1. 2024 z: <https://shorturl.at/iBGKO>

CZECH GLOBE, Digitální model reliéfu, 2022. Dostupné 7. 5. 2024 na vyžádání od oddělení ÚAP a GIS Liberec

CZECH GLOBE, NDVI, 2022. Dostupné 7. 5. 2024 na vyžádání od oddělení ÚAP a GIS Liberec

CZECH GLOBE, WBI4, 2022. Dostupné 7. 5. 2024 na vyžádání od oddělení ÚAP a GIS Liberec

ČGS, Geologická mapa 1 : 25 000 (GEOČR25) – zakrytá, 2019. Dostupné 12. 2. 2024 z: <https://shorturl.at/qrvF8>

ČGS, Náchylnost svahu k sesouvání, 2017. Dostupné 12. 2. 2024 z: <https://shorturl.at/hGLO5>

ČGS, Základní odtok, 2023. Dostupné 20. 1. 2024 z: <https://micka.geology.cz/record/basic/65001376-1148-4457-93b5-3d4d0a010852#>

ČHMÚ, III_14_CHMU_meteo_stanice, 2024. Dostupné 22. 11. 2023 z: <https://shorturl.at/jJM37>

ČÚZK, Digitální model reliéfu České republiky 5. generace v S-JTSK, Bpv, 2023. Dostupné 14. 1. 2024 z: <https://shorturl.at/mnqJ2>

ČÚZK, Katastrální mapy, 2021. Dostupné 20. 1. 2024 z: <https://shorturl.at/lAMPY>

ČÚZK, Základní topografická mapa ČR 1 : 25 000 v S-JTSK, 2023. Dostupné 23. 3. 2024 z:

[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(afgjhk3brqtkdinx03rzni\)\)/Default.aspx?menu=2241&mode=TextMeta&side=mapy_ZTM25_sjtsk&metadataID=CZ-CUZK-ZTM25-SJTSK](https://geoportal.cuzk.cz/(S(afgjhk3brqtkdinx03rzni))/Default.aspx?menu=2241&mode=TextMeta&side=mapy_ZTM25_sjtsk&metadataID=CZ-CUZK-ZTM25-SJTSK)

ÚAP a GIS Liberec, Landuse, 2023. Dostupné 7. 5. 2024 na vyžádání.

VÚV TGM, vodní nádrže, 2010. Dostupné 12. 12. 2023 z:
<https://www.dibavod.cz/index.php?id=27>

VÚV TGM, vodní tok (jemné úseky), 2006. Dostupné 12. 12. 2023 z:
<https://www.dibavod.cz/index.php?id=27>