

Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.

Povodí Vltavy, státní podnik

PŘEDPOKLÁDANÉ ŠÍŘENÍ BOBRA EVROPSKÉHO V ZÁVISLOSTI NA SOUČASNÉM VÝSKYTU A ÚŽIVNOSTI PROSTŘEDÍ VYBRANÝCH TOKŮ V POVODÍ BEROUNKY



Specializovaná mapa s odborným obsahem



VÚKOZ



POVODÍ VLTAVY



SPEC Lab



Bobr evropský

**Předpokládané šíření bobra evropského v závislosti na současném výskytu a uživnosti prostředí
vybraných toků v povodí Berounky**

Specializovaná mapa s odborným obsahem

**Presumed spread of European beaver depending on the current occurrence and the usability of
the environment of selected streams in the Berounka river basin**

Specialized map with expert content

Autorský kolektiv

Ing. Vojtěch Barták, Ph. D. ¹, Ing. Aleš Vorel, Ph. D. ¹, Ing. Mgr. Vladimír Zýka ^{2*}, Mgr. Jiří Vait ³,
RNDr. Michal Andreas, Ph. D. ²

¹ Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, Praha

² Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Květnové náměstí 391,
252 43 Průhonice

³ Povodí Vltavy, státní podnik, Holečkova 3178/8, Praha

* autor pro korespondenci: Vladimír Zýka, zyka@vukoz.cz, 296 528 221

Doporučená citace publikace:

BARTÁK, V., VOREL, A., ZÝKA, V., VAIT, J., ANDREAS, M. (2020): *Předpokládané šíření
bobra evropského v závislosti na současném výskytu a uživnosti prostředí vybraných toků v povodí
Berounky*. Mapa s odborným obsahem, VÚKOZ, v. v. i. Certifikováno Ministerstvem zemědělství ČR
dne 15. 12. 2020 osvědčením č. 67714/2020-MZE-16222/MAPA695. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice, 44
s. ISBN: 978-80-87674-39-0.

ISBN: 978-80-87674-39-0

Schváleno k použití Ministerstvem zemědělství ČR osvědčením č. 67714/2020-MZE-
16222/MAPA695.

Mapa je výsledkem řešení výzkumného projektu TAČR TH03030069.

Při zpracování byl použit datový podklad Povodí Vltavy, státní podnik.

Recenzenti:

RNDr. Tomáš Václavík, Ph.D. (PřF UPOL, Olomouc)

Ing. Martin Veselý (MZe ČR, Praha)



Projekt TH03030069 byl spolufinancován se státní podporou Technologické agentury
ČR v rámci Programu Epsilon

Obsah

1. Úvod.....	4
1.1 Bobr, jeho šíření a potrava	4
1.2 Modelování pravděpodobnosti výskytu	5
2. Cíle předložené mapy.....	6
3. Rozsah využití mapy	6
4. Přínos mapy pro uživatele	7
5. Metodika.....	8
5.1 Sběr a příprava dat.....	9
5.1.1 Sběr dat o výskytu bobra	9
5.1.2 Identifikace prezencí/absencí z nálezových dat.....	10
5.1.3 Příprava dat o břehových porostech.....	11
5.1.4 Extrakce hodnot prediktorů	15
5.2 Statistická analýza dat.....	17
5.2.1 Explorační analýza	17
5.2.2 Výběr a naplňování modelu	18
5.2.3 Validace modelu	18
5.2.4 Predikce pravděpodobnosti rozšíření	19
6. Výsledky a diskuze	19
6.1 Explorační analýza	19
6.2 Naplnění, výběr a validace modelů	24
6.3 Predikce pravděpodobnosti rozšíření.....	27
7. Aplikace výsledků v praxi	31
8. Závěr.....	32
Poděkování	33
9. Shrnutí (Summary)	34
10. Literatura.....	38
11. Seznam odborných podkladů	40
12. Přílohy.....	41

1. Úvod

Tato specializovaná mapa s odborným obsahem (dále jen Mapa) přináší pro ČR jedinečný přístup k modelování šíření bobra evropského (*Castor fiber*). Oproti dřívějšímu přístupu (Barták et al., 2013), který sledoval populační růst a expanzi bobrů jen na základě říční sítě, je predikce v této Mapě založena na úživnosti prostředí a charakteru břehů. Složení břehových porostů totiž představuje společně s morfologií břehů klíčový faktor pro současné, ale i budoucí osídlení bobrem. Břehové porosty a břehy vodních toků a nádrží jsou pro bobra totiž přirozeným biotopem, který si bobr dokáže přizpůsobit vlastním požadavkům (Campbell-Palmer et al., 2016). Břehové porosty ovšem také plní řadu dalších funkcí, a to zejména stabilizační, protierozní, estetickou atd., o které se starají správci toků (v případě Berounky je to státní podnik Povodí Vltavy). Bobr však v břehových porostech z hlediska hospodaření způsobuje nemalé škody na dřevinách, jejichž výše v rámci celé ČR dosahuje hodnot vyšších jednotek milionů korun českých ročně (Uhlíková et al., 2015). S rozšiřováním bobří populace budou škody narůstat. Například na několika lokalitách z bobry satureovaných povodí Kateřinského potoka a Radbuzy o celkové délce 4,4 km byla oceněna škoda na břehových porostech ve výši cca 1,8 mil. Kč (Bulíř et al., 2019).

Specializovaná Mapa je výsledkem projektu Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i. a Povodí Vltavy, s. p. s názvem *“Predikční model šíření bobra evropského a souvisejícího poškození břehových porostů. Návrh preventivních opatření”* podpořeného Technologickou agenturou ČR. Mapa je prvním ze sady 3 plánovaných výsledků, které společně pomohou optimalizovat způsob péče o břehové porosty s přítomností bobra.

1.1 Bobr, jeho šíření a potrava

Návrat bobra evropského do středoevropské krajiny je jedním z intenzivních znaků dynamických proměn, kterými současná, nejen evropská, fauna prochází. Na jedné straně sledujeme úbytek značného množství druhů bezobratlých, obojživelníků či ptáků. Na straně druhé některé formy středně velkých savců prosperují (bobr, vydra, vlk atd.). V tomto kontextu je návrat bobra výsledkem spontánního šíření, ovšem za počátečního přispění reintrodukčního úsilí ve velké části evropských zemí (Nolet a Rosell, 1998). K iniciaci přirozeného šíření bobrů reintrodukce došlo také ve střední Evropě (Vorel a Kostkan, 2005), kdy jedna z nejsilnějších vln návratu bobrů probíhala od 60. do 90. let 20. století v sousedním Bavorsku (Zahner, 1997). Právě tato spolková země je jedním z nejintenzivnějších zdrojů šíření bobrů do České republiky; de facto jde o proces rozsáhlého šíření, které má podobu kolonizační fronty. Tato fronta zahrnuje prakticky celé pohraničí ČR a Bavorska (Vorel et al., 2012) a zasahuje separátně do oddělených povodí několika významných vodních toků - Ohře, všechny pohraniční přítoky Berounky, Otavy i Vltavy. První zmínky o průniku bobrů jsou datovány do 80. let 20. století, jedná se o první výskyty na Radbuze. Další doklady pak následují: na počátku 90. let dochází k osidlování povodí Kateřinského potoka, dále povodí Ohře, Mže, Úslavy, do přelomu století se objevují zmínky o výskytech bobrů také ve vodních tocích Šumavy (podrobněji viz Šafář, 2002 a Vorel et al., 2012). Po více než 40 letech šíření bobrů do západních a jihozápadních Čech je možné v tomto regionu bobří osídlení nalézt prakticky na každém vodním toku.

Kolonizovány jsou všechny pohraniční zdrojové toky řek Ohře, Mže, Radbuzy, Úhlavy, Úslavy, Otavy a Vltavy. Významnému rozšíření bobra nejen v povodí Berounky výrazně napomohla jeho silná legislativní ochrana (zvláště chráněný druh) a také zpracování a vyhlášení programu péče (Vorel et al., 2013).

Po zaplnění téměř všech zdrojových pohraničních vodních toků se bobři v posledních pěti letech rozšířili po celém toku Berounky až do Prahy. Poslední průzkumy naznačují, že bobři z Berounky osídlili nejen soutok s Vltavou, ale i samotné centrum metropole a pronikají dále po proudu Vltavy až k Mělníku. V povodí Berounky jsou významné vodní toky dosud osídleny sporadicky, ale je jen otázkou času, kdy zde populační hustota dosáhne hodnot typických pro saturované populace.

Podstatným faktorem pro existenci osídlení území daným druhem je dostatek potravních zdrojů, v případě bobrů lze jako zásadní a kritický zdroj považovat distribuci dřevin břehových porostů - typickými bobry preferovanými dřevinami ve střední Evropě jsou vrby (*Salix* spp.), topoly (*Populus* spp.), jasanů (*Fraxinus* spp.), javorů (*Acer* spp.), břízů (*Betula* spp.), dubů (*Quercus* spp.) atp. (Vorel et al., 2015). Hlavním předpokladem rychlé a masivní kolonizace západočeského regionu je dostatečná úživnost biotopu, a to i přesto, že se na lokální škále mohou vodní toky ve vertikálním profilu lišit distribucí biotopů s odlišnou skladbou dřevin. Nabídka potravních zdrojů v celém povodí Berounky stále zahrnuje pro bobry dobře stravitelné a výživné druhy. V převážné většině je zde značná zásoba vrb a topolů, které doplňují další dřeviny z rodů jasanu, javoru, dubu, břízy a olše. Poslední zmíněná dřevina však není bobry preferována. Bobr olši jako potravu využívá jen sporadicky. Dominance tohoto rodu dřevin vystupuje jako jedno ze dvou zásadních omezení stávajícího osídlení bobrů v regionu. Terénním průzkumem bylo prokázáno, že v místech monotypických úseků toků s homogenními porosty olší nedochází k rozvoji bobřího osídlení, a to ani v případě lokálně vysoké populační hustoty bobrů (viz povodí Kateřinského potoka). Zdá se, že druhým zásadním omezením v dlouhodobém osídlení bobry jsou vysokohorské biotopy - v našich podmínkách nad 1000 m. n. m. - kde dostupnost, nabídka a regenerace dřevin neposkytuje bobrům dlouhodobě dostatek potravních zdrojů (viz vysokohorské partie Šumavy).

1.2 Modelování pravděpodobnosti výskytu

K modelování distribuce druhů tzv. species distribution modeling (Guisan et al., 2002, Franklin, 2010) se v současné době nabízí celá řada přístupů, které bývají založeny na nejrůznějších principech a datech (např. Phillips et al., 2006; Thuiller et al., 2009). Základní kámen pro modelování distribuce druhů tvoří koncept ekologické niky (Hutchinson, 1957; Hirzel a Arlettaz, 2003). Podle Hutchinson (1957) se model niky definuje jako souhrn ekologických faktorů, kde každý faktor představuje jednu dimenzi vícerozměrného prostoru. Ekologickou niku určité populace pak charakterizuje část tohoto prostoru, ve kterém ekologické faktory poskytují nejlepší podmínky pro život a rozmnožování dané populace.

Hlavní cíl modelování distribuce druhů představuje popis empiricky zjištěné korelace mezi jejich distribucí a environmentálními proměnnými (Franklin, 2010). Základ každého modelu tvoří teoretický koncept abiotických a biotických faktorů, které určují distribuci druhů v prostoru a čase.

Důležitou součástí jsou data o výskytu druhů a povědomí o jejich habitatových nárocích a preferencích (Franklin, 2010). Modely (statistické, deskriptivní, logické atd.) spojují nároky na kvalitu habitatu s proměnnými prostředí (neboli prediktory). Modelovací rámec umožňuje aplikaci nejrůznějších nástrojů (definovaná pravidla, prahové hodnoty, koeficienty atd.) na hodnoty mapovaných prediktorů. Výsledkem modelu bývá většinou mapa rozšíření určitého druhu, ať už vhodnosti habitatu či potenciálního rozšíření.

Dosud bylo provedeno mnoho studií využívajících nejrůznější přístupy k modelování distribuce bobra evropského (kanadského) na úrovni států či regionů Severní Ameriky nebo Evropy (např. Maringer a Slotta-Bachmayr, 2006; Francis et al., 2017; Smeraldo et al., 2017). Pro modelování pravděpodobnosti výskytu bobra v povodí Berounky jsme vybrali binomický zobecněný lineární model (tzv. logistickou regresi), což je jeden z nejčastěji používaných přístupů k modelování druhové distribuce (Guisan et al., 2002).

2. Cíle předložené mapy

Mapa s odborným obsahem si klade za cíl predikovat pravděpodobnost výskytu bobra na vybraných vodních tocích povodí Berounky, kde se bobr doposud vyskytoval jen sporadicky. Kromě Berounky, která je prakticky celá osídlena a bude sloužit jako zdroj pro další šíření bobra, se jedná o vodní toky Loděnice, Litavku, Rakovnický a Lišanský potok, Střelu a Úslavu. Mapa sleduje tyto tři cíle:

1. Příprava databáze břehových porostů a nálezových dat pro zvolené území
2. Tvorba statistického modelu a jeho validace
3. Predikce pravděpodobnosti rozšíření bobra

Během přípravy modelu se ukázalo, že aktuální databáze bobřích nálezů (spravuje A. Vorel, ČZU v Praze) je pro statistické modelování na zvoleném území nedostatečná, a proto se přistoupilo k jejímu doplnění, které proběhlo na celém toku Berounky a větší části Střely. Paralelně se sběrem nálezových dat probíhala příprava dat břehových porostů, kterou bylo nutné pro Střelu a Úslavu doplnit řízenou klasifikací družicových snímků. Stěžejní částí přípravy Mapy byla tvorba statistického lineárního modelu včetně identifikací presencí/absencí, extrakce a testování vhodných environmentálních proměnných (neboli prediktorů) a samotné predikce. Hlavním cílem předložené Mapy pro praktické využití bylo predikování pravděpodobnosti rozšíření bobra na vybraných vodních tocích v povodí Berounky (kap. 6) a doporučení pro aplikaci výsledků v praxi (kap. 7).

3. Rozsah využití mapy

Plánovaným uživatelem mapy bude zejména Povodí Vltavy, státní podnik a jeho závod Berounka, případně další správci vodních toků resp. správci povodí, kteří dle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů a souvisejících vyhlášek vykonávají péči o břehové porosty. Výsledky predikce pravděpodobnosti šíření bobra mohou dále využít pracovníci příslušných orgánů státní správy, zejména odbory životního prostředí, zemědělství a lesnictví krajských úřadů Karlovarského, Plzeňského a Středočeského kraje. Náhradu škody, která

v břehových porostech působením bobra vzniká, si mohou vlastníci pozemků nárokovat právě na příslušném krajském úřadu (Uhlíková et al., 2015). Výsledky predikce mohou využít také pracovníci z řad ochrany přírody (AOPK ČR), kteří zajišťují druhovou ochranu zvláště chráněného bobra evropského. V zájmovém území se nachází několik chráněných krajinných oblastí a evropsky významných lokalit soustavy Natura 2000, kde bude bobr působit jako přirozený (d)obyvatel a uživatel biotopu břehových porostů. V neposlední řadě mohou výsledky predikce využít soukromí vlastníci pozemků s břehovými porosty. Skutečný potenciál Mapy se však ukáže až ve spojení s dalšími plánovanými výstupy projektu, především s metodikou *Péče o břehové porosty v prostředí s přítomností bobra evropského* (rok dokončení 2021).

4. Přínos mapy pro uživatele

Na základě Mapy a souvisejících výstupů projektu bude možné lépe predikovat šíření bobra, který se postupně stává významným činitelem ovlivňujícím skladbu břehových porostů. V důsledku šíření bobra a jeho působení lze očekávat významné změny v druhové, věkové i velikostní skladbě dřevin. S tím bude souviset i ohrožení a změna funkcí břehových porostů, která bude zvyšovat nároky na jejich údržbu. Mapu lze využít jako podklad pro střednědobé až dlouhodobé plánování alokace finančních prostředků směřovaných do péče o břehové porosty a související činnosti i v přípravě jednotlivých konkrétních akcí zaměřených na péči o břehové porosty. Využívání mapy v praxi očekáváme nejpozději k 1. 1. 2024.

Hlavní přínosy Mapy lze očekávat při jejím využití v rámci péče o břehové porosty. Správce vodního toku může na jejím základě vytipovat místa, kde je osídlení bobry v budoucnu velmi pravděpodobné a přitom by mohlo zásadním způsobem ovlivnit odtokové poměry, stabilitu vodních děl, způsobit majetkovou újmu apod. Na takových místech lze preventivně změnit druhovou skladbu dřevin ve prospěch dřevin bobrem nevyhledávaných, či opatřit vytipované druhy dřevin ochrannými opatřeními. V rámci projektu, jehož výsledkem je i tato Mapa, probíhá testování ochranných opatření na břehové vegetaci, které bude podrobněji představeno v rámci plánované metodiky (rok dokončení 2021). Další opatření, jako je například drénování bobřích hrází a ochrana břehů, popisuje *Průvodce v soužití s bobrem* (Vorel a Korbelová, 2016).

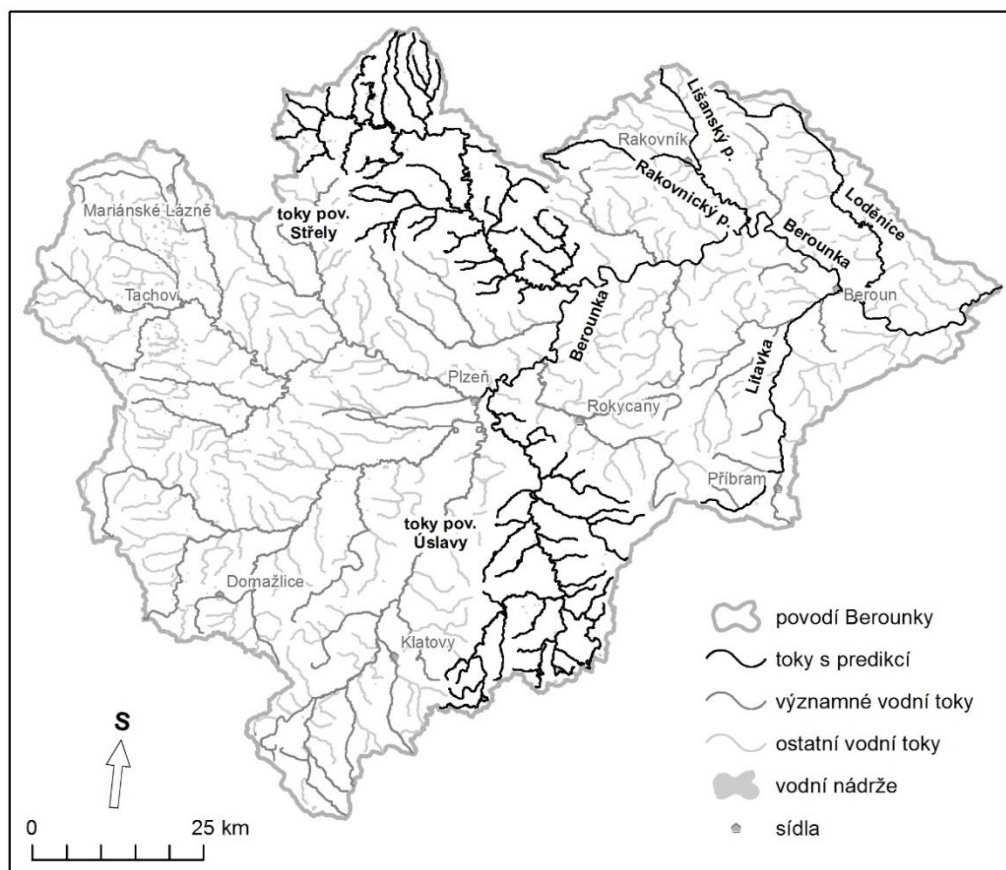
Výsledky predikce pravděpodobného šíření bobra se mohou stát také podkladem (na státní úrovni) pro plánování podpůrných opatření k předcházení vzniku škod na břehových porostech, březích vodních toků a nádrží a na zdraví a majetku obyvatel. Při pokračování dosavadního vývoje, absence přirozeného predátora a současně vysokého stupně ochrany, se bobr pozvolna rozšíří do neobsazených částí povodí (nejen Berounky) a bude se usazovat na místech s dostatkem potravy, čili s vhodným složením břehových porostů. Stavbu obydlí a úkrytů navíc bobr dokáže přizpůsobit terénním podmínkám, tudíž může obsadit všechny alespoň trochu přijatelné úseky vodních toků.

Mapa může být přínosem také pro Ministerstvo zemědělství ČR, které je zakladatelem státních podniků (zde konkrétně Povodí Vltavy a Lesy ČR) zajišťujících správu vodních toků a vodních děl ve vlastnictví státu. Podle výsledků se celková průměrná pravděpodobnost výskytu bobra na vybraných tocích pohybuje nad 50 %. Na Berounce, která je paradoxně velmi hustě osídlená, dosahuje průměrná pravděpodobnost výskytu pouze 51 %. Na Loděnici (Kačáku), kterou bobr začíná

aktuálně kolonizovat, dosahuje spočtená pravděpodobnost 74 %. V zájmu udržitelného hospodaření v břehových porostech bude proto potřeba počítat s přítomností bobra a předcházet tak škodám na dřevinách, které dosahují milionů korun ročně (Uhlíková et al., 2015, Bulíř et al., 2019).

5. Metodika

Predikce pravděpodobnosti rozšíření bobra evropského byla provedena v povodí Berounky, a to pro dvě skupiny vodních toků rozdělených na základě odlišného zpracování vstupních dat o břehové vegetaci (obr. 1). První skupina toků (dále označovaná jako Berounka) se skládá z Berounky (pravý a levý břeh zvláště), Loděnice, Litavky, Rakovnického a Lišanského potoka. Tyto vodní toky byly již dříve rozděleny pro hodnocení managementu břehových porostů do několika desítek úseků. Druhou skupinu (označovanou jako Střela) tvoří všechny vodní toky povodí Střely a Úslavy dle hrubého členění databáze DIBAVOD (VÚV TGM). V případě těchto vodních toků byla predikce provedena na úsecích dlouhých cca 1 km, jejichž vymezení bylo upraveno v místech vodních nádrží. Vodní nádrže (nejčastěji rybníky) jsou většinou soukromé, přesto byla pro úplnost predikce provedena také pro jejich břehové porosty, neboť vodní nádrže jsou bobrem často vyhledávány a bobr zde může způsobit značné škody. K manipulaci s prostorovými daty byl použit program ArcGIS Desktop a pro statistické modelování program R Studio.



Obr. 1: Povodí Berounky s vodními toky, pro které byla provedena predikce pravděpodobnosti rozšíření bobra

Pozn.: Podkladová data pochází z databáze DIBAVOD (VÚV TGM).

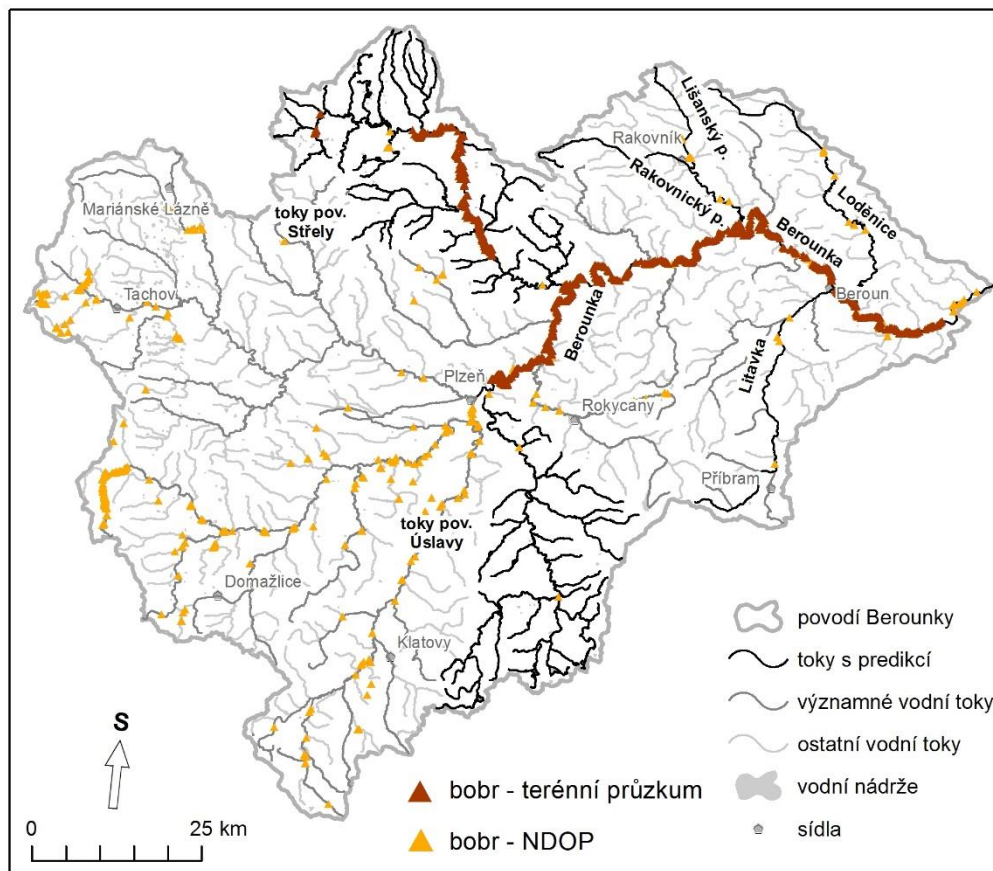
5.1 Sběr a příprava dat

5.1.1 Sběr dat o výskytu bobra

Data pro modelování byla získána terénním průzkumem v zimních a jarních měsících roku 2020. Cílem byl popis stávajícího osídlení bobrů na několika vybraných úsecích vodních toků. Výběr vodních toků respektoval účely a zadání projektu a požadavky pro vylepšení výpovědní úrovně statistických modelů. Konkrétně proběhl podrobný průzkum obou břehů vodního toku řeky Berounky v úseku Plzeň–Řevnice a části vodního toku Střely v úseku Toužim-Plasy. Zaznamenávána byla potravní a stavební aktivita bobrů. Evidována byla pouze aktivita příslušející aktivnímu osídlení, tedy šlo o aktivitu reflektující stávající osídlení místa v dané zimní sezóně, jakákoliv aktivita starší 6 měsíců nebyla hodnocena.

Na toku Střely byla potravní aktivita lokalizována pomocí ruční GPS do klastrů, kdy jedna lokace reprezentovala aktivitu v kruhu o poloměru 5 metrů. Každá lokace obdržela hodnotu dle zjednodušené kvantitativní škály od 1 (nízká aktivita do 10 menších okusů o průměru méně než 10 cm) do 10 (intenzivní potravní činnost, vícečetné okusy o průměru větším než 30 cm). Břehy řeky Berounky byly zkoumány s použitím mořského kajaku, data byla registrována během projíždění lodě po proudu, sledovány byly oba břehy zároveň. Aktivita byla zaznamenána s využitím dvou ručních GPS, kdy každý přístroj registroval intenzitu aktivity množstvím přidělených lokací a to pouze na jednom břehu.

Následně byla data ze všech úseků řek sjednocena tak, aby každý bod reprezentoval stejnou míru aktivity bobrů (viz kap. 5.1.2). Registrovány a lokalizovány byly též současné projevy stavební aktivity bobrů. Veškerá terénní data byla následně přenesena do prostředí geografického informačního systému (obr. 2).



Obr. 2: Nálezová data z provedeného terénního průzkumu v roce 2020. Pro dokreslení situace jsou zobrazena také data z Národní databáze ochrany přírody (NDOP, AOPK ČR), která však nejsou aktuální a bobra se již pravděpodobně vyskytuje i na dalších úsecích toků. Pozn.: Podkladová data pochází z databáze DIBA VOD (VÚV TGM).

5.1.2 Identifikace prezencí/absencí z nálezových dat

Pro účely modelování bylo nezbytné převést nálezová data do formátu binární informace prezence/absence, vztažené k odpovídajícím úsekům vodních toků. Toho bylo dosaženo následujícím způsobem:

1. **Sjednocení vah nálezů.** Všem záznamům na Berounce byla přiřazena stejná váha (1), což odpovídalo způsobu sběru dat (viz výše). V případě dat na Střele byla pro stanovení vah jednotlivých bodů použita stupnice 1 až 10, odpovídající stupnici použité při terénním šetření (viz výše). Vzhledem k tomu, že modelování výskytu bobra je primárně založené na potravní nabídce (drtivou většinu prediktorů tvoří složení břehových porostů), byly použity pouze nálezy s bezprostředním vztahem k potravní aktivitě bobra (tj. především okusy). Zahrnutí např. hradů či nor by mohlo vést ke zkreslení, neboť poloha obydlí nemusí být u bobra nutně lokálně vázána na typ porostu, ale na jiné, v našich datech nezachycené parametry, jako je stabilita břehu apod.
2. **Jádrový odhad populační hustoty na síti.** Dalším krokem byl odhad populační hustoty na daném úseku toku (pro Berounku a Střelu), a to na základě vážených záznamů metodou jádrového odhadu hustoty. Bylo využito gaussovského jádra. Šířka jádra byla stanovena jako

300 m. Tento odhad je založen na nepublikované studii odhadu počtu domovských okrsků metodou jádrového odhadu populační hustoty na říční síti (Vorel, Barták, Korbelová, Horníček, 2020. *In Prep.*). Šířka jádra 300 m byla v této studii vyhodnocena jako optimální pro typ převládajícího habitatu (regulované toky údolních niv). Jádrový odhad byl realizován pomocí vlastního kódu v jazyce R, který implementuje jádrový odhad na lineární síti. Jeho výstupem je vrstva bodů rozmístěných v 50 m intervalech podél daného toku, přičemž každý bod obsahuje v attributech informaci o populační hustotě v daném místě.

3. **Výběr prezencí a absencí na základě odhadu populační hustoty.** Z bodových odhadů populační hustoty podél vodního toku byla vybrána nejmenší množina bodů, pro kterou byl součet hustot větší nebo roven 70 % resp. 95 % z celkové hustoty (obdoba standardního způsobu extrakce domovských okrsků z hustoty výskytu jedince v ekologii). Vzájemně sousedící body v této množině byly následně spojeny do linií, čímž vznikly úseky reprezentující 70% resp. 95% rozsah populace (z angl. “population range”). Prezence byly definovány jako úseky 70% rozsahu populace dlouhé alespoň 500 m, tj. takové, o nichž se lze domnívat, že mohou odpovídat jednomu bobřímu teritoriu. Volba 70 % byla založena na vizuálním posouzení konzistence výsledných úseků pro jednotlivé volby procent s nálezovými daty. Absence byly definovány jako úseky, vzniklé vyříznutím 95% rozsahu populace z vektorové linie daného vodního toku (tedy území mimo 95% rozsah populace). Takové území je možné téměř s jistotou považovat za bobrem neosídlené. Opět byly brány pouze úseky delší než 500 m. V případě velmi dlouhých souvislých úseků byly tyto úseky dále rozděleny na samostatné 600 m dlouhé dílčí úseky (tj. samostatné absence) tak, aby mezi dvěma úseky byla vždy vzdálenost alespoň 300 m (tj. dané úseky lze považovat za relativně nezávislá pozorování).

5.1.3 Příprava dat o břehových porostech

Data o břehových porostech tvoří dvě skupiny rozdělené na základě odlišného zpracování vstupních dat. Pro první skupinu toků: Berounka, Loděnice, Litavka a Rakovnický a Lišanský potok posloužilo složení břehových porostů získané z podrobného terénního průzkumu v předchozích letech (databáze Povodí Vltavy, státní podnik). Tyto vodní toky byly již dříve rozděleny do několika desítek různě dlouhých úseků, pro které bylo mimo jiného odhadnuto procentuální zastoupení jednotlivých druhů dřevin a křovin.

V případě druhé skupiny významných vodních toků, Střely a Úslavy, byla v rámci projektu zpracována řízená klasifikace družicových dat (viz dále) pro celé jejich povodí. Pracovalo se se všemi vodními toky v povodí (hrubé členění) a se všemi vodními plochami v jejich blízkosti (data z DIBAVOD, VÚV TGM). Kolem vodních toků a ploch byla vytvořena obalová zóna s průměrem 200 m, která tvořila základní masku území pro přípravu dat ke klasifikaci vegetačního krytu.

Data z dálkového průzkumu Země byla pořízena a předzpracována firmou GISAT, s. r. o. Družicové snímky pro povodí Střely (rozloha 922 km², družice SPOT 7, datum pořízení 19. 7. 2018) a povodí Úslavy (756 km², SPOT 6, 8. 7. 2018) obsahují 4 spektrální pásma s vlnovou délkou pro modrou (B) 455–525 nm, žlutou (G) 530–590 nm, červenou (R) 625–695 nm a blízkou infračervenou

(NIR) 760–890 nm část světelného spektra. Snímky byly po nasnímání ortorektifikovány a atmosféricky korigovány. Družice SPOT 6/7 snímá spektrální pásma v prostorovém rozlišení 6 m a panchromatický obraz v rozlišení 1,5m. Metodou tzv. pansharpeningu bylo možné spektrální informace převést na prostorové rozlišení 1,5 m. Výsledné snímky mají hloubku 16 bitů a jsou v souřadnicovém systému UTM/WGS84.

Všechna vstupní data byla připravena v 16 bitové verzi s prostorovým rozlišením 1,5 m. Nejprve byly zpracovány družicové snímky a připravena data ze 4 výše zmíněných spektrálních pásem (B, G, R, NIR). Klasifikace vegetace nebyla však uspokojivá, a proto se přistoupilo k přípravě dalších 4 pásem (vstupů) pro klasifikaci (např. podle Hayes et al., 2014). Pro lepší zachycení rozdílu a rozhraní mezi jednotlivými druhy vegetace byl spočten normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI, Jordan, 1969) a hodnocena textura NIR pomocí filtru 3x3 pixelu s výpočtem směrodatné odchylky. Z digitálního modelu reliéfu 5. generace (ČÚZK) byl odvozen průměrný sklon svahů a topografický index vlhkosti (Topography Wetness index, TWI), který odhaluje reliéfové odtokové dráhy a místa s potenciální kumulací vlhkosti. Poloha v rámci reliéfu a odhad míry vlhkosti slouží k rozlišení preferencí prostředí různých druhů dřevin (vrby a olše ve vlhkých partiích u toku, ostatní listnaté a jehličnaté dřeviny spíše na svazích apod.).

Všech 8 pásem (vždy pro Střelu a Úslavu zvlášť) bylo podrobeno korelační analýze. V obou povodích vykazují vzájemnou závislost logicky pásma viditelného spektra (B, G, R). V povodí Střely se také projevila vazba mezi indexem NDVI a texturou NIR, resp. sklonem a indexem TWI. S vědomím, že částečně korelující data zbytečně zpomalují výpočty, nepřistoupilo se k nabízené analýze hlavních komponent (PCA), neboť pro úspěšnou a přesnou klasifikaci vegetace bylo zapotřebí každého pásma.

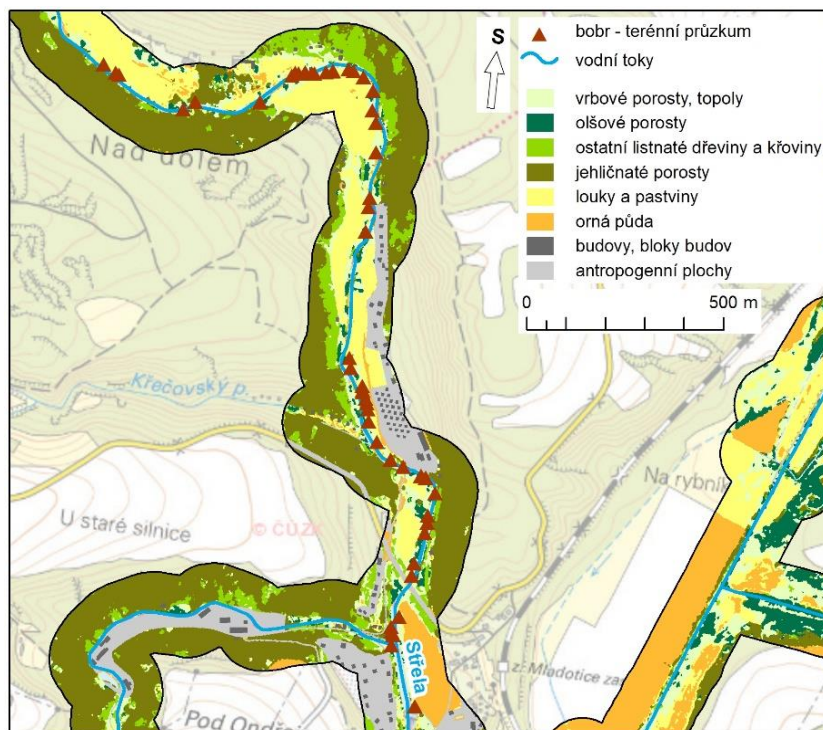
Po přípravě dat následovalo sestavení klasifikačního schématu neboli legendy, samotná řízená klasifikace obrazu a následně její hodnocení. Legenda byla připravena v kontextu potravních nároků bobra evropského (např. Vorel et al., 2015), jeho pomyslné poptávce po typických druzích vegetace a možnostech rozlišení krajinného pokryvu z družicových dat. Velmi důležitým druhem vegetace jsou pro bobra vrby, vrbové křoviny a topoly, neboť tvoří podstatnou část jeho potravy (tab. 1, Vorel et al., 2015). Bobr ovšem požírá a okusuje také ostatní listnaté dřeviny (hlavně břízu, javor, jasan, dub atd.), nepohrdne ani olší, která tvoří základní stavební prvek bobřích hrází a hradů. V jarních a letních měsících bobr požírá byliny, traviny a polní plodiny. Jehličnaté dřeviny bobr okusuje jen sporadicky. Klíčové jsou pro bobra samozřejmě vodní toky a plochy, které představují jeho základní životní prostor. Antropogenní plochy jej naopak omezují a tvoří migrační bariéry, které bobr ovšem většinou snadno překonává. Vodní toky (plochy) a antropogenní plochy byly z důvodu zjednodušení klasifikace převzaty ze Základní databáze geografických dat (ČÚZK, 2017) a do klasifikace obrazu nevstupovaly.

Tab. 1: Klasifikační schéma neboli legendu tvoří seskupené druhy vegetace a generalizované třídy krajinného pokryvu v kontextu vlivu bobra v břehových porostech

Číslo	Skupiny druhů vegetace a kraj. pokryvu	Popis třídy a poznámky ve vztahu k bobrovi
01	stromovité vrby, keřové vrby a topoly	vhodné druhy dřevin pro bobra z potravního hlediska
02	olše	olšové porosty – stavba hrází a hradů
03	ostatní listnaté dřeviny a keře	potravně méně vhodné listnaté druhy dřevin
04	jehličnaté porosty a paseky	jehličnaté dřeviny bobrem méně využívané
05	louky a pastviny, traviny podél toku	traviny, potrava v letních měsících
06	orná půda	obhospodařovaná pole, potrava v letních měsících
07	vodní toky a vodní plochy	úkryt a životní prostor (převzato ze ZABAGED)
08	antropogenní plochy	budovy, silnice, železnice, plochy sídel a dalších antropogenních prvků (ZABAGED)

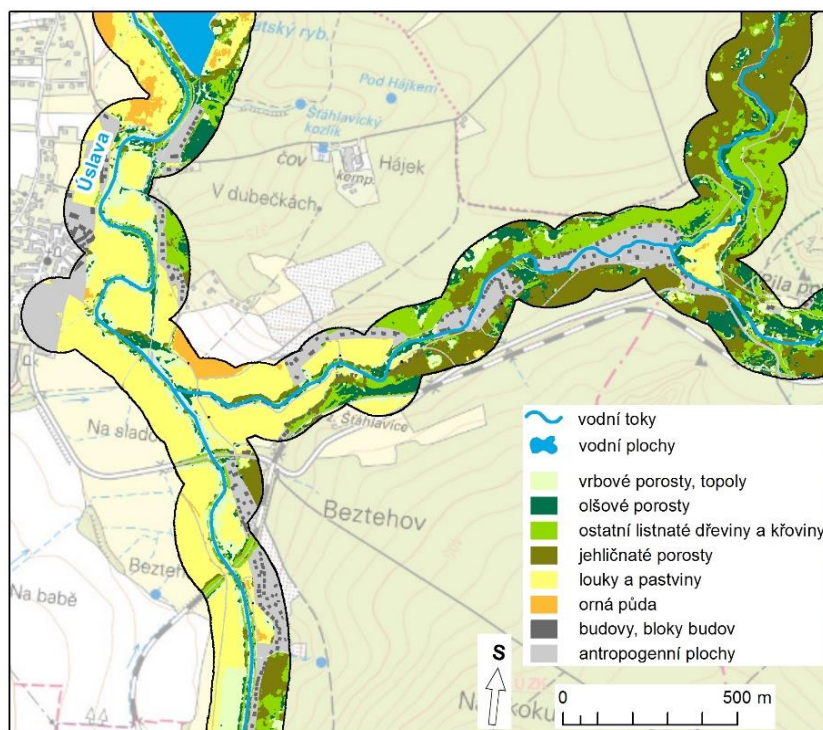
Metoda řízené klasifikace obrazu je založena na předem definovaných trénovacích plochách, které mají předem určenou příslušnost k dané třídě legendy. Trénovací plochy byly vymezeny pomocí terénního průzkumu, který rovnoměrně pokrýval obě povodí, a následně editovány v prostředí geografických informačních systémů. Celkem bylo vymezeno 1047 ploch pro Střelu a 1357 pro Úslavu, z nichž 20 %, vždy pro každou třídu legendy, bylo náhodným výběrem určeno jako testovací za účelem ověření úspěšnosti klasifikace. Vymezení ploch probíhalo tak, aby jednotlivé plochy byly co nejvíce homogenní (vybírány byly koruny stromů, či souvislý porost). Příprava probíhala v programu Geomatica 2017 (PCI), kde byly trénovací plochy (tedy 80 % z celkového počtu ploch) analyzovány v kontextu tzv. separability jednotlivých pásem obrazu pro klasifikované prvky legendy. Pro lepší výsledky klasifikace a zvýšení separability jednotlivých pásem byly pomocí nástroje „Scatter plot“ upraveny tzv. „threshold“ hodnoty, které umožňují redukovat množství pixelů, jež mají klasifikované třídy společné. Hodnota „threshold“ byla upravována na základě zobrazení pásem R a NIR, kde je možné zachytit největší rozdíl mezi jednotlivými druhy vegetace (Kolář et al., 1997).

Řízená klasifikace proběhla pro obě povodí nad osmi pásmy: 4 spektrální pásma – B, G, R, NIR, 2 odvozené indexy – NDVI a textura NIR a 2 pásma odvozená z reliéfu – průměrný sklon svahů a index TWI. Výsledek klasifikace byl filtrován maticí 3x3 pixelů (funkce „majority“) a sloučen s rastrem vodních toků a antropogenních ploch, jelikož tyto třídy do klasifikace nevstupovaly (obr. 3 a obr. 4). Hodnocení výsledků klasifikace proběhlo dvěma způsoby. Kappa koeficientem zabudovaným přímo v programu se hodnotil vztah mezi trénovacími plochami a výslednou klasifikací. Pro obě povodí (Střela 0,77, Úslava 0,69) vychází koeficient Kappa velmi dobře. Samotná přesnost klasifikace je na základě testovacích ploch pro Střelu 80 % a Úslavu 69 %. Přesnost ukazuje celkovou rozlohu testovacích ploch, které klasifikace správně přiřadila k jednotlivým prvkům legendy. Míru přesnosti klasifikace je třeba zohlednit při následné interpretaci výsledků predikce rozšíření bobra.



Obr. 3: Ukázka klasifikace břehových porostů v povodí Střely v obalové zóně s průměrem 200 m

Pozn.: Data pochází z databáze DIBAVOD (VÚV TGM) a z databáze ZABAGED (ČÚZK, 2017). Podkladem je Základní mapa ČR (ČÚZK).



Obr. 4: Ukázka klasifikace břehových porostů v povodí Úslavy v obalové zóně s průměrem 200 m

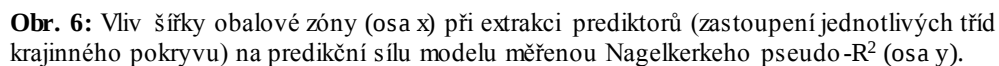
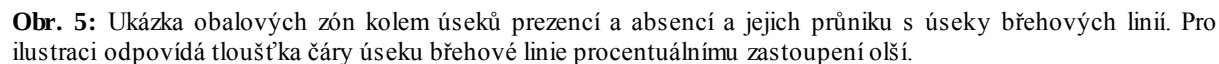
Pozn.: Data pochází z databáze DIBAVOD (VÚV TGM) a z databáze ZABAGED (ČÚZK, 2017). Podkladem je Základní mapa ČR (ČÚZK).

5.1.4 Extrakce hodnot prediktorů

V případě Berounky byly údaje o břehových porostech a vlastnostech břehů uloženy v atributové tabulce jednotlivých úseků břehových linií. Z těchto úseků byly extrahovány hodnoty modelových prediktorů (tab. 2) k jednotlivým úsekům prezence a absence bobra, a to následujícím postupem. Kolem úseků prezencí/absencí byly vytvořeny obalové zóny s dostatečnou šířkou a s plochými konci tak, aby zahrnuly obě břehové linie. Následně se obalové zóny protnuly s břehovými liniemi obsahujícími údaje o břehových porostech (obr. 5). Z atributové tabulky výsledné vrstvy průniku byl pro každý úsek a atribut břehových porostů vypočten vážený průměr, kde váhy odpovídaly délkám úseků. Tím byly každé prezenci/absenci přiřazeny hodnoty jednotlivých atributů.

Popsaným způsobem byly získány průměrné hodnoty většiny prediktorů. Dále byl ještě vytvořen prediktor “Vrba_ker” popisující přítomnost vrby v keřovém patře (1 - přítomnost, 0 - nepřítomnost). U jednotlivých druhů keřového patra bohužel chyběl údaj o jejich procentuálním zastoupení, k dispozici byl pouze údaj o celkové pokryvnosti keřového patra, a to navíc pouze pro Berounku a nikoli pro její přítoky, na kterých měla být provedena predikce.

V případě Střely a Úslavy byly údaje o břehových porostech a ostatních kategoriích krajinného pokryvu k dispozici v podobě tematického rastru (GeoTIFF) vzniklého řízenou klasifikací družicových snímků (tab. 3). Opět bylo nutné pomocí obalové zóny tyto hodnoty extrahovat k jednotlivým úsekům prezencí a absencí. Velikost obalové zóny byla zvolena na základě posouzení jejího vlivu na predikční schopnost modelu. Hodnoty prediktorů byly postupně extrahovány pro poloměr obalové zóny 10, 20, ..., 100 m a pro každou velikost byl naplněn binomický zobecněný lineární model se všemi prediktory (pro podrobnosti ke zvolenému modelu viz dále) a vypočtena hodnota pseudo- R^2 (dle Nagelkerkeho), což je standardně používaná míra predikční síly modelu na škále 0-1. Jelikož hodnota pseudo- R^2 s rostoucím poloměrem obalové zóny výrazně stoupala (obr. 6), byla pro další analýzu zvolena hodnota 100 m. Za účelem usnadnění celého procesu byl vytvořen skript v jazyce Python, který celý proces extrakce automatizuje a jehož výstupem je tabulka (CSV) s hodnotami prediktorů (tj. zastoupení jednotlivých kategorií krajinného pokryvu) pro jednotlivé prezence/absence.



Tab. 2: Seznam prediktorů pro Berounku, Loděnici, Litavku, Rakovnický p. a Lišanský p.

Prediktor	Popis
SIR_BR	šířka břehového porostu (m)
VYS_BR	výška břehu (m)
Dub	zastoupení dubu ve stromovém patře (%)
Javor	zastoupení javoru ve stromovém patře (%)
Jasan	zastoupení jasanu ve stromovém patře (%)
Jilm	zastoupení jilmu ve stromovém patře (%)
Briza	zastoupení břízy ve stromovém patře (%)
Ovo	zastoupení ovocných stromů ve stromovém patře (%)
Olse	zastoupení olše ve stromovém patře (%)
Topol	zastoupení topolu ve stromovém patře (%)
Vrba	zastoupení vrby ve stromovém patře (%)
Vrba_ker	výskyt vrby v keřovém patře (0/1)

Tab. 3: Seznam prediktorů pro vodní toky z povodí Střely a Úslavy.

Prediktor	Popis
vrba	Zastoupení vrbových porostů (%)
olse	Zastoupení olšových porostů (%)
list	Zastoupení ostatních listnatých porostů (%)
jehl	Zastoupení jehličnatých porostů (%)
trav	Zastoupení travních porostů (%)
pole	Zastoupení zemědělských ploch (%)
voda	Zastoupení vodních ploch (%)
antr	Zastoupení antropomorfních ploch (%)

5.2 Statistická analýza dat

Veškerá analýza byla provedena v programu R Studio, s využitím statistického jazyka R (verze 3.6.1) a jeho specializovaných balíčků dplyr, ggplot2, reshape2, corrplot, car, fmsb, raster, ggbiplot, tidyr a leaflet. Na začátku statistické analýzy byl analyzován vztah mezi prezencí/absencí bobra a hodnotami prediktorů tzv. explorační analýzou. Následovala příprava a výběr vhodného modelu a jeho validace. Výsledkem statistické analýzy dat je predikce pravděpodobnosti rozšíření bobra na vybraných tocích povodí Berounky.

5.2.1 Explorační analýza

V rámci předběžné explorační analýzy byl graficky analyzován vztah mezi prezencí/absencí bobra a hodnotami jednotlivých prediktorů, a to (v případě numerických prediktorů) v podobě krabicových grafů. Před samotnou tvorbou predikčního modelu byla také posouzena korelace mezi jednotlivými prediktory. V případě silné vzájemné provázanosti prediktorů (případ Střely) byla provedena analýza

hlavních komponent a zkonstruován biplot, jehož vizuální analýza přispěla k lepšímu pochopení vztahů mezi prediktory a jejich vztahu k výskytu bobra.

5.2.2 Výběr a naplňování modelu

Vztah mezi výskytem bobra na Berounce resp. Střele byl posouzen pomocí binomického zobecněného lineárního modelu (GLM) s logitovou *link*-funkcí, v němž vysvětlovanou proměnnou byla prezence/absence bobra a potenciálními prediktory byly prediktory uvedené v kapitole 5.1.4. Tento model odhaduje pravděpodobnost výskytu bobra jako funkci hodnot jednotlivých prediktorů. Vzhledem k velikosti datového vzorku a množství prediktorů nebyly uvažovány žádné interakce mezi prediktory.

Po naplnění modelu se všemi prediktory (“full model”) byla vždy spočtena hodnota Nagelkerkeho pseudo- R^2 a zhodnocena multikolinearita pomocí variančního inflečního faktoru (VIF). V případě vysokých hodnot VIF (> 5) u některého z prediktorů byl příslušný prediktor z modelu odebrán a model naplněn znovu.

Výběr modelu probíhal v případě Berounky metodou zpětného výběru na základě hodnot Akaikého informačního kritéria (AIC; funkce *step*). V případě Střeley byly po odebrání prediktorů z důvodu multikolinearity všechny ostatní prediktory v modelu ponechány.

Pro výsledný model byla spočítána významnost jednotlivých prediktorů porovnáním plného modelu s modelem bez daného prediktoru testem maximální věrohodnosti. Nicméně vzhledem k tomu, že hlavním účelem modelu byla predikce, nebyla statistická významnost či nevýznamnost prediktorů nijak zásadním kritériem pro vyloučení či ponechání prediktoru v modelu. Pro jednotlivé prediktory byly také vytvořeny grafy podmíněných efektů, popisující vliv daného prediktoru na výskyt bobra při průměrných hodnotách ostatních prediktorů.

5.2.3 Validace modelu

Jelikož nebyla k dispozici nezávislá sada dat pro externí validaci modelu, model byl validován interně, pomocí tzv. křížové validace s vynecháním páru prezence-absence (*LPOCV*, Leave-Pair-Out Cross-Validation; Airola et al., 2010). Metoda spočívá v tom, že se vždy vybere jeden pár prezence-absence, model se nafituje na všech ostatních datech a následně se ohodnotí, jak dobře predikuje tato vynechaná pozorování. Zvoleným kritériem pro křížovou validaci byla hodnota AUC (Area Under the receiver-operating-characteristic Curve), která komplexně shrnuje, nakolik model správně predikuje jak absence, tak prezence. Hodnotu AUC lze definovat jako:

$$AUC = \frac{\sum_{(i,j)} I(obs_i > obs_j \& pred_i > pred_j)}{\sum_{(i,j)} I(obs_i > obs_j)},$$

kde (i, j) je pár pozorování výskytu bobra, obs_i je hodnota i -tého pozorování výskytu (0 - absence, 1 - prezence), $pred_i$ je modelem predikovaná pravděpodobnost výskytu pro i -té pozorování a $I()$ je indikátorová funkce, nabývající hodnoty 1, je-li její argument pravdivý a 0, je-li nepravdivý. Jinými slovy, jde o relativní podíl těch párů prezence-absence, u nichž je predikovaná pravděpodobnost

výskytu vyšší pro prezenci než pro absenci. Kvalita predikce (diskriminace) se hodnotí podle rozmezí hodnoty AUC, a to jako špatná (0,5–0,7), přijatelná (0,7–0,8), výborná (0,8–0,9) a vynikající (1,0–0,9; převzato z Hosmer a Lemeshow, 2000).

5.2.4 Predikce pravděpodobnosti rozšíření

Predikce pravděpodobnosti rozšíření byla provedena jak na vodních tocích, na nichž byly modely připraveny (Berounka a Střela), tak i na dalších vybraných tocích, kde data o výskytu bobra chybí, ale byly k dispozici data prediktorů. Pravděpodobnost je třeba chápat jako hodnocení vhodnosti daného habitatu pro bobra a tím i jako odhad budoucího či “cílového” rozšíření, nikoli jako odhad současného stavu.

V případě Berounky a jejích přítoků byla predikce provedena přímo na úsecích břehových linií. V případě povodí Střely a Úslavy byla predikce provedena na úsecích toků dlouhých 1 km a upravených kolem vodních nádrží. Pro úseky, na nichž měla být provedena predikce, byly nejprve extrahovány hodnoty prediktorů, a to stejným způsobem, jako je uvedeno v kap. 5.1.4. Následně byla predikce provedena v programu R (funkce *predict*) a výsledek připojen k atributové tabulce příslušné vektorové vrstvy.

6. Výsledky a diskuze

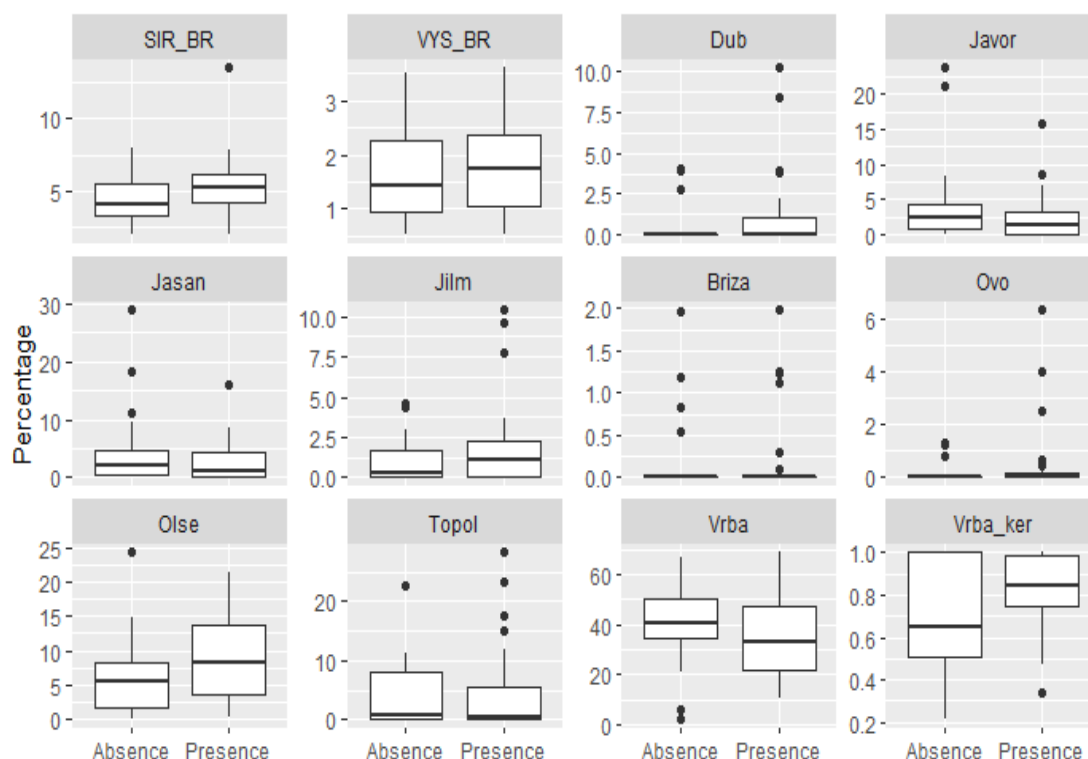
Tato kapitola přináší souhrnné výsledky a komentáře k jednotlivým krokům postupu popsaným v metodice. Systematicky je metodický postup zobrazen v podobě dvou komentovaných skriptů v jazyce R (příloha 1). Finálním výsledkem je predikce pravděpodobnosti výskytu bobra na Berounce, Loděnici, Litavce, Rakovnickém p. a Lišanském p. a pro toky povodí Střely a Úslavy. V případě modelu pro Berounku bylo použito 51 pozorování (úseků), z toho 31 prezencí a 20 absencí. V případě modelu pro Střelu bylo použito 40 pozorování (úseků), z toho 13 prezencí a 27 absencí.

6.1 Explorační analýza

Z grafů vztahu mezi jednotlivými prediktory a výskytem bobra na Berounce (obr. 7) je zřejmé, že pro daná data není mezi výskytem bobra a hodnotami prediktorů žádný velmi těsný vztah. Lze proto očekávat, že model nebude mít příliš velkou predikční sílu. Nejmarkantnější je preference širších břehových porostů, keřových vrb a olší. Poněkud zarážející se jeví negativní vztah bobra ke stromovým vrbám a současně preference stromových olší. Vrby spolu s topoly pro bobra představují primární potravní zdroj (Vorel et al., 2015). Možné vysvětlení je, že se bobr v tomto území váže převážně na výskyt keřové vrby, neboť je jí v území dostatek a pro bobra představuje energeticky méně náročný zdroj (není třeba kácet silné kmeny, aby se dostal k menším větvíčkám). Rozložení keřových vrb také ukazuje, že bobr na Berounce pravděpodobně dosud neosídlil všechna vhodná území, neboť relativně silné zastoupení keřových vrb se vyskytuje i u absencí. Tento fakt je třeba zohlednit při interpretaci modelových predikcí.

Vztah mezi jednotlivými prediktory a výskytem bobra na Střele (obr. 8) ukazuje zejména preference vrbových porostů a vody, dále slabší preferenci listnatých a travních porostů a překvapivou

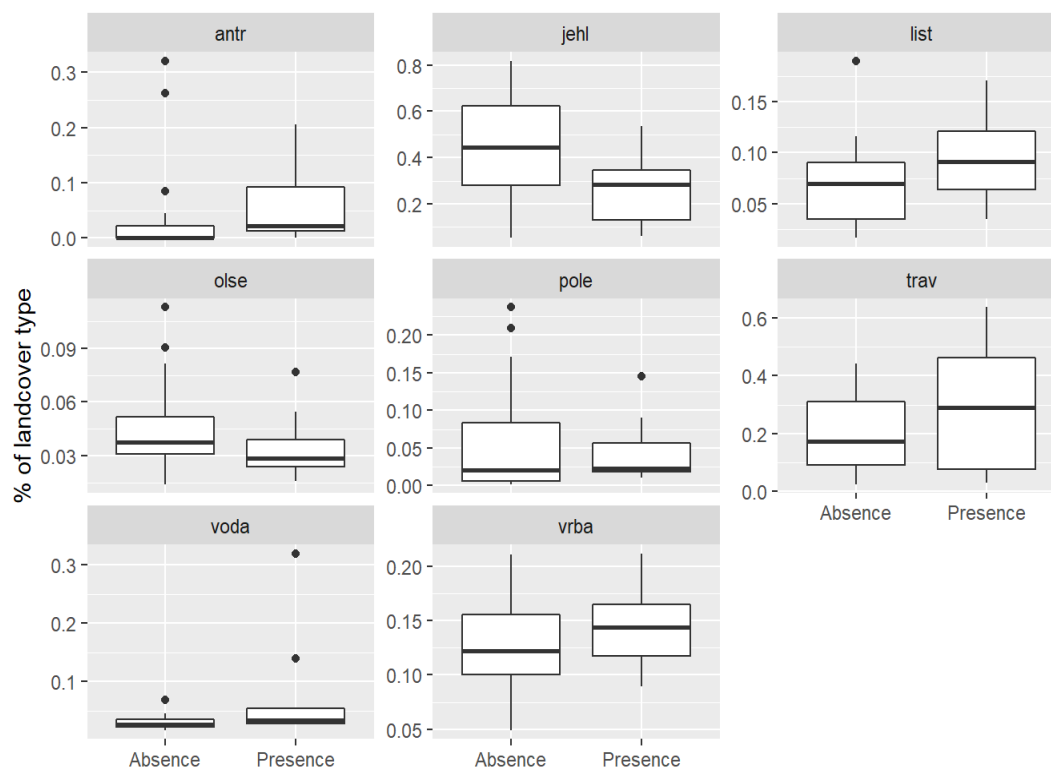
preferenci antropogenních ploch. Výskyt bobra je naopak svázán s menším zastoupením jehličnatých porostů a olší.



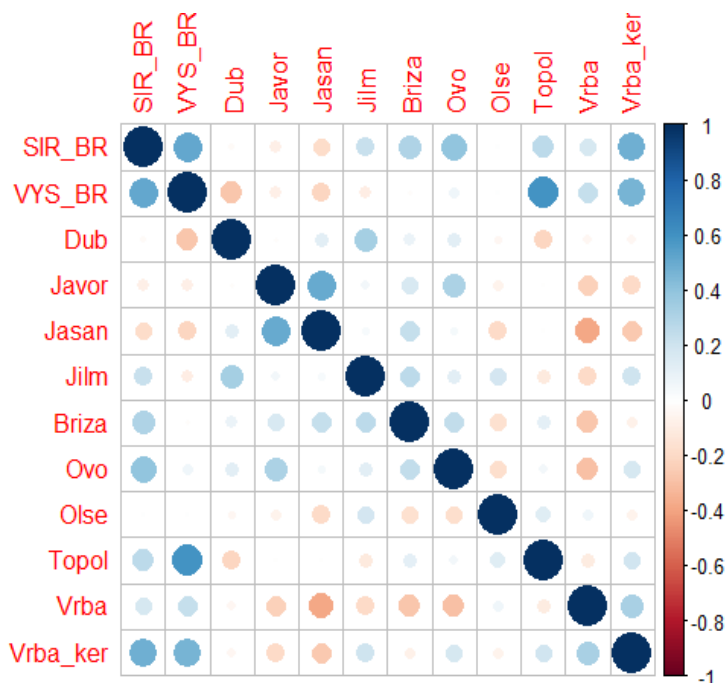
Obr. 7: Vztah mezi jednotlivými prediktory a výskytem bobra na Berounce. Na svislé ose jsou hodnoty prediktoru, tj. většinou procentuální zastoupení dané dřeviny ve stromovém patře, resp. vážený průměr výskytu vrby v keřovém patře v případě prediktoru Vrba_ker.

Mezi jednotlivými prediktory pro Berounku nebyly zjištěny téměř žádné výrazné vzájemné korelace (viz obr. 9). Výjimku tvoří moderátní kladná korelace (korelační koeficient 0,60) mezi výškou břehu a zastoupením topolu, dále slabší korelace mezi výškou břehu a šířkou břehového porostu (0,52), mezi zastoupením jasanu a javoru (0,50) a mezi šířkou břehového porostu, výškou břehu a keřovou vrbou (0,49 resp. 0,47). Vzhledem k obecně nízkým hodnotám korelačního koeficientu (průměr $\pm$ směrodatná odchylka $0,13 \pm 0,34$) nepředstavuje korelovanost prediktorů pro modelování na Berounce problém.

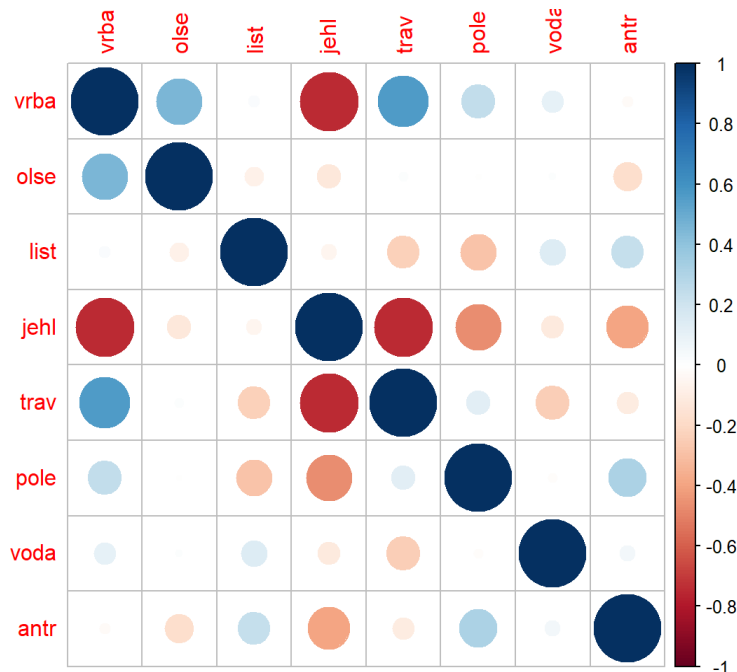
V grafu korelací pro Střelu (obr. 10) je vidět silná negativní korelace mezi jehličnany a vrbou a mezi jehličnany a travními porosty. Dále moderátní kladná korelace mezi travními porosty a vrbou. Za zmínku stojí také slabší negativní korelace mezi jehličnany a poli a mezi jehličnany a antropogenními plochami. Vzhledem k těmto korelacím se dají očekávat problémy s multikolinearitou. Navíc při ponechání všech prediktorů bude multikolinearita perfektní, protože hodnoty prediktorů mají vždy součet 1. Bylo tedy nutné jeden z prediktorů předem odstranit.



Obr. 8: Vztah mezi jednotlivými prediktory a výskytem bobra na Střele. Na svislé ose jsou hodnoty prediktoru, tj. většinou procentuální zastoupení dané dřeviny ve stromovém patře, resp. vážený průměr výskytu vrby v keřovém patře v případě prediktoru Vrba_ker.



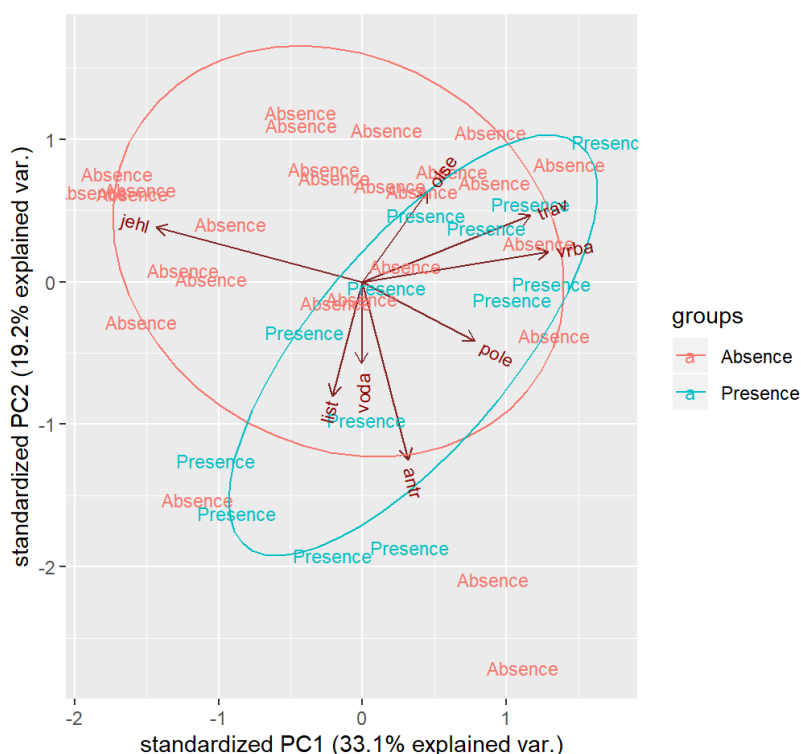
Obr. 9: Korelace mezi jednotlivými prediktory (Berounka). Velikost a tmavost kruhu odpovídá absolutní velikosti korelačního koeficientu pro daný pár prediktorů, pozitivní korelace je znázorněna modře, negativní červeně.



Obr. 10: Korelace mezi jednotlivými prediktory na Střele. Velikost a tmavost kruhu odpovídá absolutní velikosti korelačního koeficientu pro daný pár prediktorů, pozitivní korelace je znázorněna modře, negativní červeně.

Hlubší vhled do korelační struktury prediktorů na Střele poskytuje analýza hlavních komponent (obr. 11). První dvě komponenty popisují zhruba 52 % variability prediktorů. Jejich použití pro predikční model místo původních prediktorů se tedy nezdá výhodné (přidávání dalších komponent je problematické, neboť tyto komponenty mají jen velmi obtížnou interpretaci). Graf prvních dvou komponent však poskytuje cenný vhled do struktury dat:

- První komponenta popisuje gradient prostředí od jehličnanů na jedné straně, k travním porostům, vrbám a polím na straně druhé. Přitom rozložení výskytu bobra ukazuje, že druhé zmíněné prostředí je jednoznačně preferováno.
- Druhá komponenta má již obtížnější interpretaci. Na jedné straně dominuje vliv listnatých lesů, vody a překvapivě i antropogenních ploch. Na druhé straně jsou dominantní olše. Prezenze bobra převládají na negativní straně komponenty, v prostředí listnatých porostů, vody a antropogenních ploch.



Obr. 11: Biplot zobrazující první dvě hlavní komponenty prediktorů na Sřele. Modře jsou v grafu vyznačeny prezence, červeně absence. Jejich rozložení je zvýrazněno elipsami.

Při pohledu na rozložení prezencí a absencí na obr. 11 je zřejmé, že zatímco absence jsou vzhledem k prediktorům rozmístěné víceméně všude, prezence tvoří shluk v pravém dolním rohu. To naznačuje, že území není dosud plně kolonizované bobrem, neboť absence zasahují i do míst s relativně optimálními podmínkami. U prezencí lze navíc vysledovat dvě podskupiny:

1. prezence soustředěné ve vysokých hodnotách travních porostů a vrby (vliv první komponenty),
2. prezence kolem vysokých hodnot listnatých lesů, vody a antropogenních ploch (vliv druhé komponenty).

Zdánlivá preference antropogenních ploch je překvapivá a zasluhuje pozornost. Podrobné prozkoumání lokalit s výskytem bobra na ortofotomapě a v terénu ukazuje, že se jedná o artefakt, nikoli o skutečný vliv antropogenních ploch na výskyt bobra. Jedná se totiž v drtivé většině o silnice podél toků a drobnou chatovou zástavbu. Ta zcela jistě nemá sama o sobě pozitivní vliv na přítomnost bobra, je však negativně korelovaná s jehličnatými porosty, které jsou pro bobra nepříznivé. Zahrnutí prediktoru antropogenní plochy do modelu by vedlo k vychýlené predikci, neboť by docházelo k predikci výskytu bobra v intravilánech měst, ačkoli toto prostředí je v datech minimálně zastoupeno. Kategorie antropogenní plochy se tak ukazuje jako příliš široká. Popsané úvahy vedly k vyloučení antropogenních ploch z predikčního modelu.

6.2 Naplnění, výběr a validace modelů

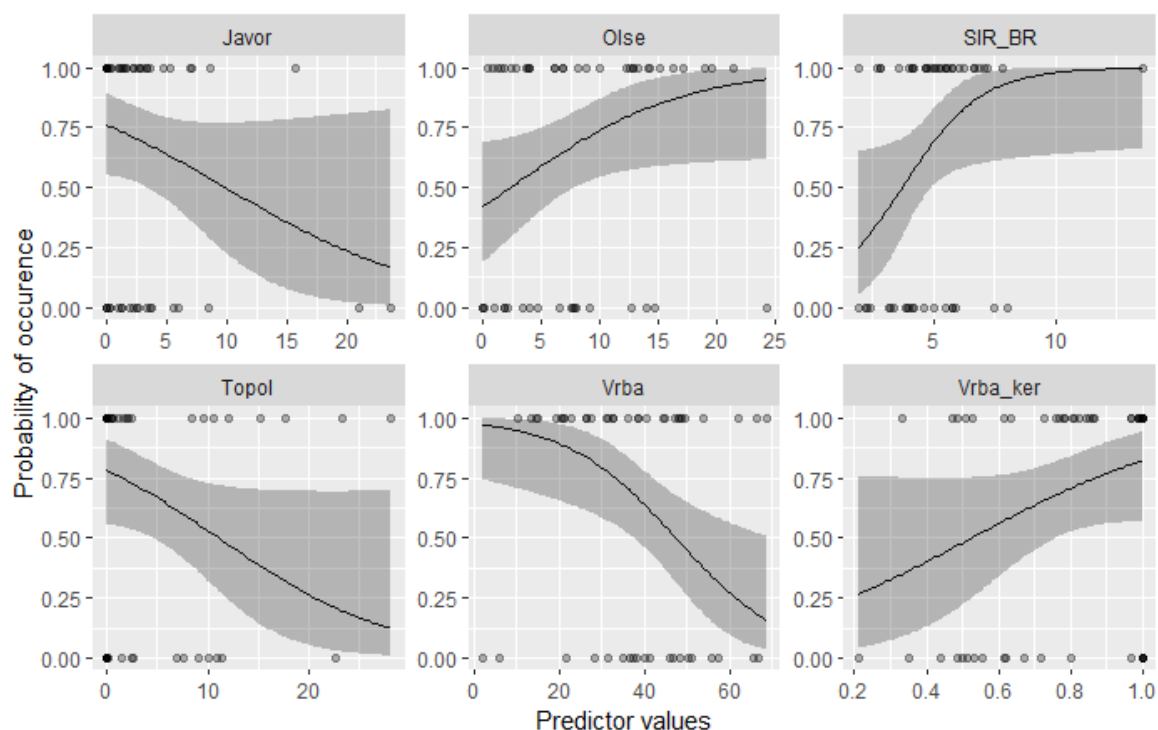
Model pro Berounku se všemi parametry měl predikční sílu (Nagelkerkeho pseudo- R^2) 0,44 a netrpěl výraznější multikolinearitou (nejvyšší hodnoty variančního inflekčního faktoru byly 3,8 pro výšku břehu a 3,4 pro šířku břehového porostu, ostatní hodnoty nepřesáhly hraniční hodnotu 2). Zpětný výběr pomocí AUC vedl k finálnímu modelu, v němž zůstaly následující prediktory: šířka břehového porostu (v tab. 4 označeno SIR_BR) a druhová skladba porostu (javor, olše, topol, vrba a keřová vrba). Tento model měl predikční sílu 0,39. Model netrpěl overdispzí (odhad disperzního parametru byl 1,2) a hodnoty variančního inflekčního faktoru byly pro všechny prediktory pod 2.

Tab. 4: Významnost jednotlivých prediktorů na Berounce hodnocená testem maximální věrohodnosti. Významné prediktory označeny tučně.

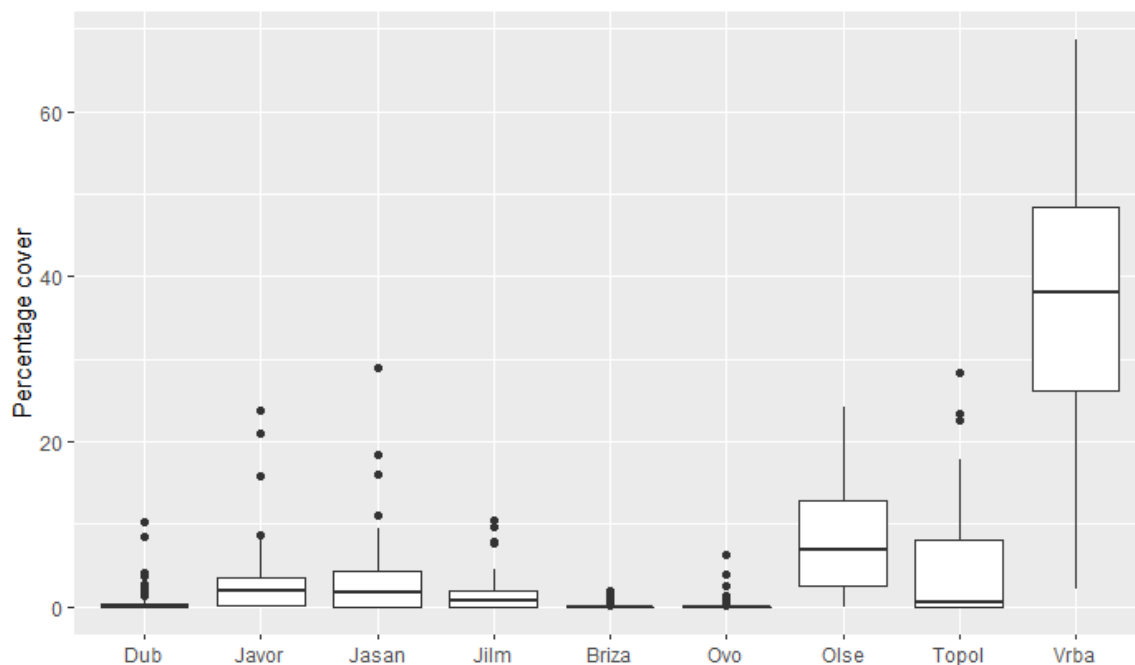
Prediktor	Stupně volnosti	Deviance	LRT statistika	P hodnota
SIR_BR	1	55,6	4,72	0,030
Javor	1	53,2	2,40	0,121
Olše	1	55,7	4,83	0,028
Topol	1	54,4	3,52	0,061
Vrba	1	59,6	8,79	0,003
Vrba_ker	1	53,8	2,99	0,084

Nejvýznamnějším prediktorem pro Berounku je vrba, významné jsou také olše a šířka břehového porostu. Ani P hodnota ostatních prediktorů však není příliš velká (max 0,12), což potvrzuje legitimitu těchto prediktorů v modelu. Jelikož primárním účelem modelu je predikce, nikoli závěry ohledně významnosti jednotlivých prediktorů, má jejich významnost pouze podružný význam. Grafy efektů (obr. 12) ukazují očekávaný pozitivní efekt keřové vrby a šířky břehového porostu. Ostatní efekty se mohou zdát poněkud překvapivé, např. pozitivní efekt olše a negativní efekty topolu a stromové vrby, jsou nicméně v souladu s předběžnými krabicovými grafy (obr. 7). Bobr totiž ještě na Berounce neosídlil všechny vhodné biotopy a navíc se jedná o oportunistický druh živočicha, který dokáže obývat i biotop se zdánlivě nevhodným složením břehového porostu.

Při interpretaci efektů jednotlivých prediktorů na Berounce je užitečné podívat se na zastoupení jednotlivých dřevin (obr. 13). Zde je jasné vidět, že v břehových porostech silně dominuje vrba převážně zastoupena formacemi keřových vrb. Jak stromová, tak keřová vrba je přítomna ve všech úsecích absencí i prezencí. Přitom míra přítomnosti keřové vrby (vypočtená pro daný úsek váženým průměrem hodnot 0/1 (nepřítomnost/přítomnost) z původních úseků břehových linií - viz kap. 5.1.4) je $0,77 \pm 0,22$ (průměr $\pm$ směrodatná odchylka). Jelikož keřová vrba je jedním z hlavních potravních zdrojů bobra, je možné, že bobra se primárně váže na výskyt keřové vrby (a šířku břehového porostu), zatímco zvýšený výskyt stromových forem dřevin může být prozatím považován za méně vhodný zdroj potravy a tím mít nepřímo negativní efekt na výskyt bobra. Pozitivní efekt olše by mohl být vysvětlen zvýšenou stabilitou břehů, která je pro olši charakteristická a pro bobra důležitá, nebo čistě zpracováním dat (zastoupení porostů olše v úsecích prezence).



Obr. 12: Grafy efektů jednotlivých prediktorů (osa x) na pravděpodobnost výskytu bobra na Berounce (osa y). Efekty jsou podmíněné konstantní hodnotou ostatních prediktorů, stanovenou jako průměr z naměřených hodnot. Pásky spolehlivosti jsou vypočteny jako Waldovy 95% intervaly spolehlivosti.



Obr. 13: Procentuální zastoupení jednotlivých dřevin stromového patra ve všech úsecích prezencí a absencí na Berounce.

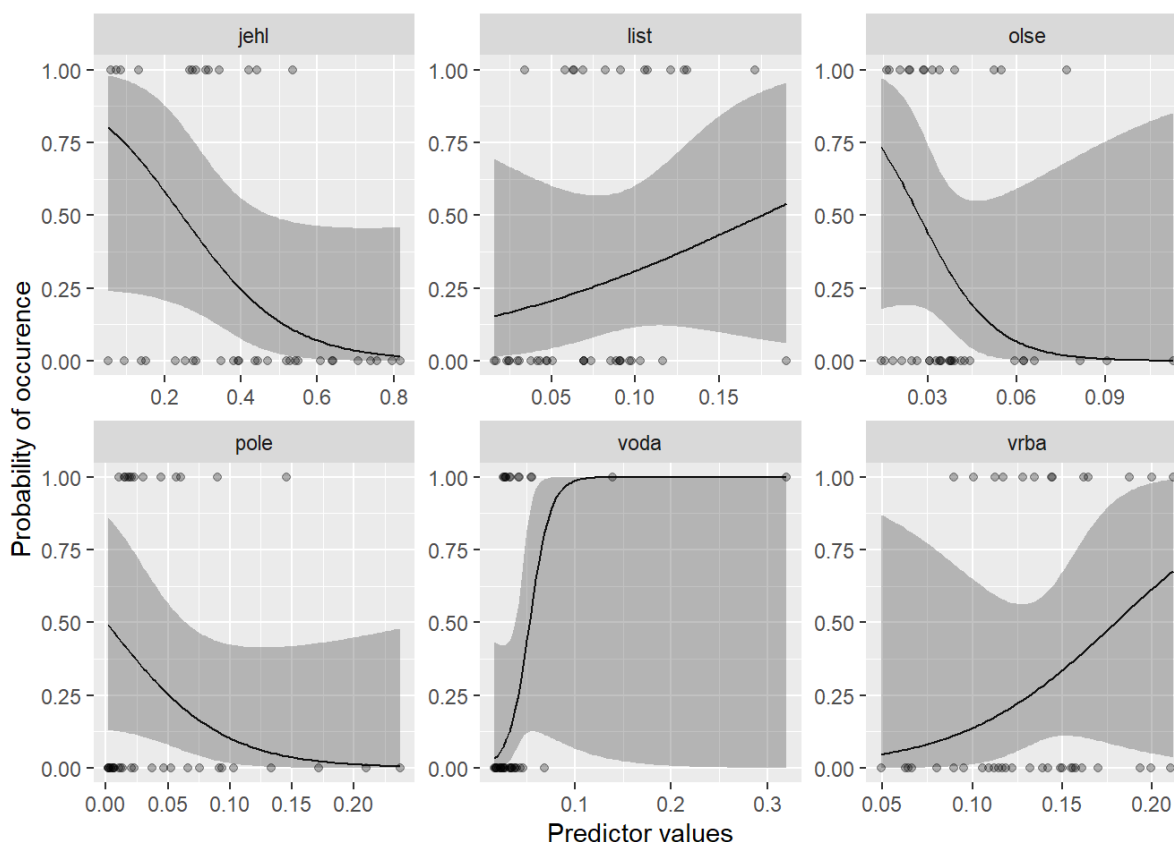
Při všech těchto úvahách je však třeba mít na paměti relativně malou predikční sílu modelu (0,39). Ta může být způsobena právě tím, že území je, díky všudypřítomné keřové vrbě, celé relativně vhodné pro bobra a jeho lokální výskyt je tak paradoxně obtížné modelovat. Hodnota AUC vypočtená křížovou validací byla 0,78, což spadá do kategorie “přijatelná diskriminace”.

Predikční síla modelu na Střele se všemi prediktory (kromě antropogenních ploch) byla původně téměř 70 %. V modelu však byla přítomná silná mutlikolinearita. Nejvyšší hodnota VIF byla 17,5 u travních porostů (hraniční je hodnota 2). Efekt travních porostů šlo tedy zastoupit kombinovaným efektem jiných prediktorů, proto byly travní porosty z modelu vyloučeny. Pro model bez travních porostů byly již hodnoty VIF mnohem přijatelnější, pohybovaly se od 1,4 do 4,8. Relativně vysoká hodnota 4,8 u vrbových porostů je zjevně způsobena jejich negativní korelací s jehličnany. Vzhledem k tomu, že primárním účelem modelu je predikce, nepředstavuje takto vysoká hodnota VIF významnější problém. Naopak odebrání vrbových či jehličnatých porostů z modelu vedlo vždy ke snížení jeho predikční síly, přičemž efekt ponechaných prediktorů zůstal prakticky stejný. Predikční síla modelu po odebrání travních porostů klesla na 61 %, což je stále velmi dobrý výsledek.

Průběh efektů byl u všech prediktorů ve shodě se známými preferencemi bobra (viz obr. 14). Významné prediktory byly voda a jehličnaté porosty (tab. 5). Na hranici významnosti byly pole a olšové porosty, přesto byly v modelu ponechány. Nevýznamnost vrbových porostů je zjevně výsledkem jejich negativní korelovanosti s porosty jehličnatými a výsledné slabé multikolinearity. Po odebrání vrbových či jehličnatých porostů z modelu se skutečně druhý z prediktorů vždy stal nejvýznamnějším prediktorem v modelu, přitom průběh příslušných efektů se tím prakticky nezměnil. Oba prediktory byly proto v modelu ponechány. Listnaté porosty sice měly relativně vysokou *P* hodnotu, jejich efekt, ačkoli ne tak výrazný jako u ostatních prediktorů, byl nicméně ve shodě s očekáváním kladný. Listnaté porosty byly tedy v modelu ponechány jako dodatečný prediktor, zvyšující mírně jeho predikční sílu. Hodnota AUC vypočtená křížovou validací byla 0,90, což je na hranici mezi “výbornou” a “vynikající diskriminací”.

Tab. 5: Významnost jednotlivých prediktorů na Střele hodnocená testem maximální věrohodnosti. Významné prediktory označeny tučně.

Prediktor	Stupně volnosti	Deviance	LRT statistika	P hodnota
vrba	1	28,097	0,8130	0,36724
olse	1	30,450	3,1659	0,07519
list	1	27,866	0,5815	0,44574
jehl	1	31,414	4,1300	0,04213
pole	1	30,589	3,3047	0,06908
voda	1	33,371	6,0865	0,01362



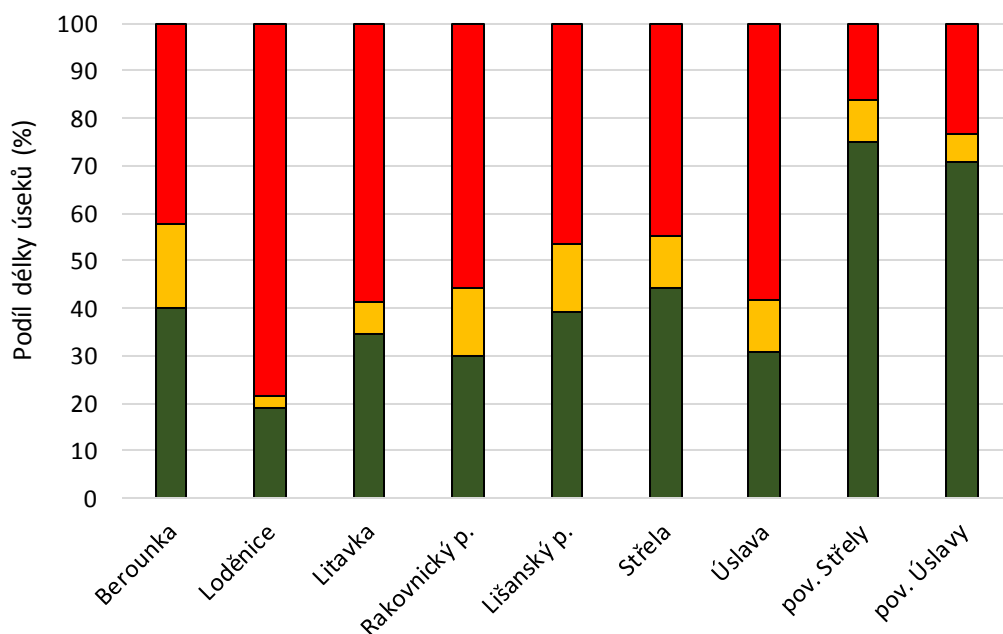
Obr. 14: Grafy efektů jednotlivých prediktorů (osa x) na pravděpodobnost výskytu bobra na Střele (osa y). Efekty jsou podmíněné konstantní hodnotou ostatních prediktorů, stanovenou jako průměr z naměřených hodnot. Pásky spolehlivosti jsou vypočteny jako Waldovy 95 % intervaly spolehlivosti.

6.3 Predikce pravděpodobnosti rozšíření

Pravděpodobnost rozšíření bobra byla spočtena pro dílčí úseky již zmiňovaných významných vodních toků: Berounka (oba břehy), Loděnice, Litavka, Rakovnický p. a Lišanský p., Střela a Úslava a dále pro vodní toky hrubého členění (DIBAVOD) v povodí Střely a Úslavy. Pravděpodobnost rozšíření odpovídá hodnotám 0–100 % a pro praktické použití byla rozdělena v barvách semaforu na tři stupně: nízká (zeleně, 0–30 %), střední (oranžově, 31–70) a vysoká (červeně, 71–100).

Průměrné hodnoty pravděpodobnosti pro významné vodní toky se pohybují od 48 % (Střela) po 74 % (Loděnice). Na Berounce dosahuje průměrná pravděpodobnost výskytu 51 %, přesto je Berounka bobry osídlena téměř v celé délce toku (viz obr. 2 v úvodní části). Pro Střelu je charakterističtější užší rozmezí mezi stupni nízké a vysoké pravděpodobnosti výskytu bobra v celé délce toku (obr. 15). Při zahrnutí přítoků Střely se ovšem pravděpodobnost výskytu bobra sníží (nízký stupeň je na třech čtvrtinách celkové délky toků), neboť v povodí převládají pro bobra méně vhodné jehličnaté a olšové porosty. Do predikce nebyla (kromě šířky břehového porostu na Berounce) zahrnuta informace o morfologii toku (výška břehu, šířka a hloubka toku apod.). Z předchozích výzkumů (např. Vorel et al., 2012, Vorel et al., 2015) je zřejmé, že pokud je vodní tok dostatečně úživný, dokáže bobr kolonizovat i velmi malé vodní toky či toky s vyšším podélným sklonem. Bobr je

také schopen usídlit se v méně vhodném úseku pouze na několik let, obzvlášť v případech, kdy začíná být daný tok bobry saturován a ti si začínají svá teritoria agresivněji bránit.

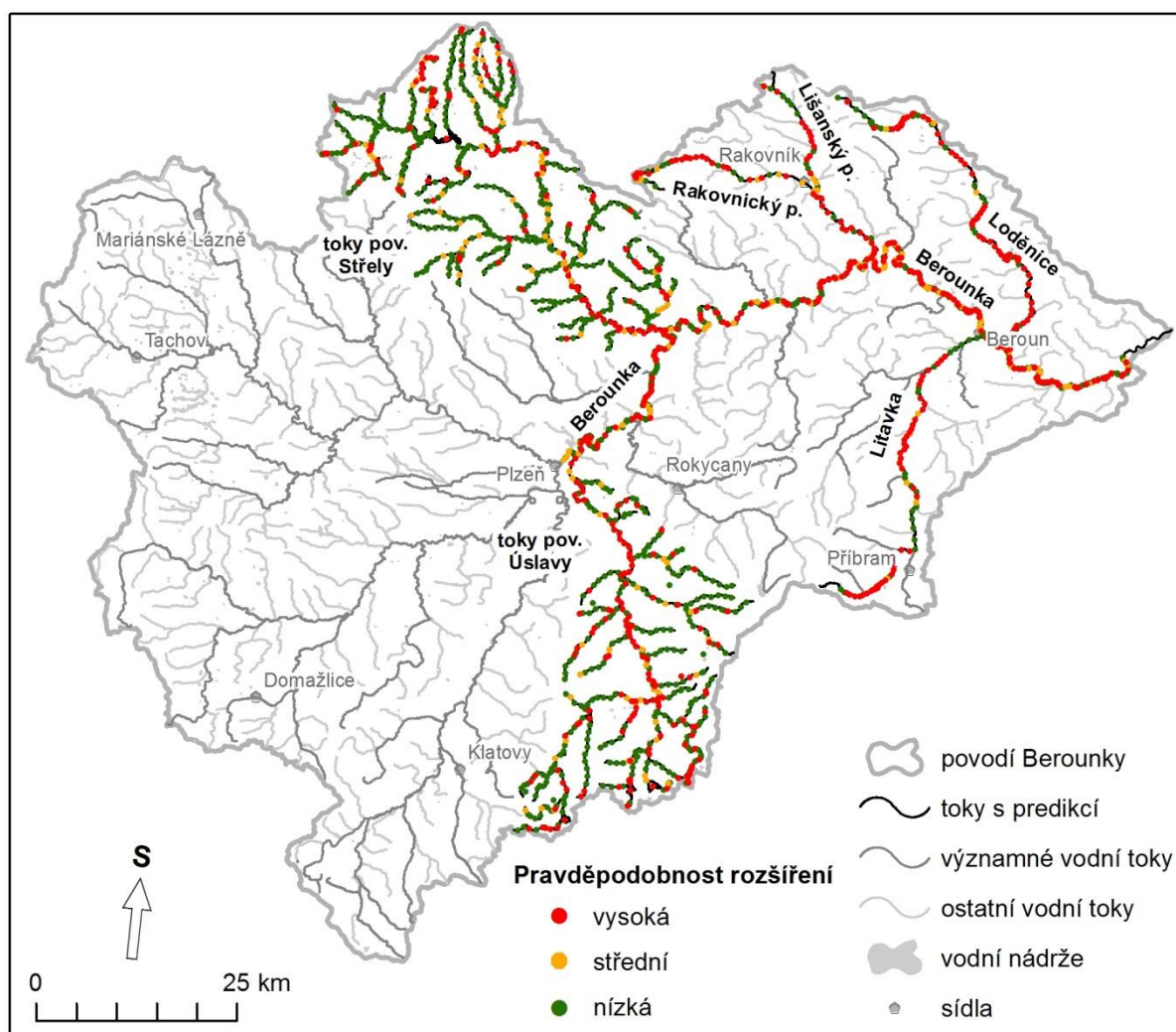


Obr. 15: Podíl délky úseků (%) s predikovanou pravděpodobností výskytu bobra v barvách semaforu (zeleně nízká, oranžově střední, červeně vysoká) na celkové délce významného vodního toku a celkové délce všech toků v povodí Střely a Úslavy

Z predikce pravděpodobnosti rozšíření bobra na vybraných vodních tocích vyplývá, že velmi vhodným tokem pro bobra je Berounka (dokazuje také současný výskyt bobra na obr. 2), Loděnice, Litavka, Úslava a části ostatní vodních toků (obr. 16). S ohledem na sílu predikce modelů a různá omezení uvedená v předchozích kapitolách se zdají být pro bobra méně vhodné břehové porosty Střely a jejích přítoků. Zde a podobně také u přítoků Úslavy bude mít vliv na pravděpodobnost výskytu bobra složení břehových porostů především z olše a jehličnanů. V povodí Střely a Úslavy hraje důležitou roli prediktor označený jako voda, proto má většina malých vodních nádrží (rybníků) stupeň vysoké pravděpodobnosti výskytu. Složení břehových porostů vodních nádrží bývá často pro bobra příznivé, proto je důležité věnovat vodním nádržím zvýšenou pozornost. Bobr navíc běžně využívá vodní plochy pro stavbu svých obydlí a pro potravu si dochází (plave) do vzdálenějších úseků. Z pochůzek v terénu je známo mnoho bobřích pěšin a vyhrabaných kanálů dále od břehů vodních ploch.

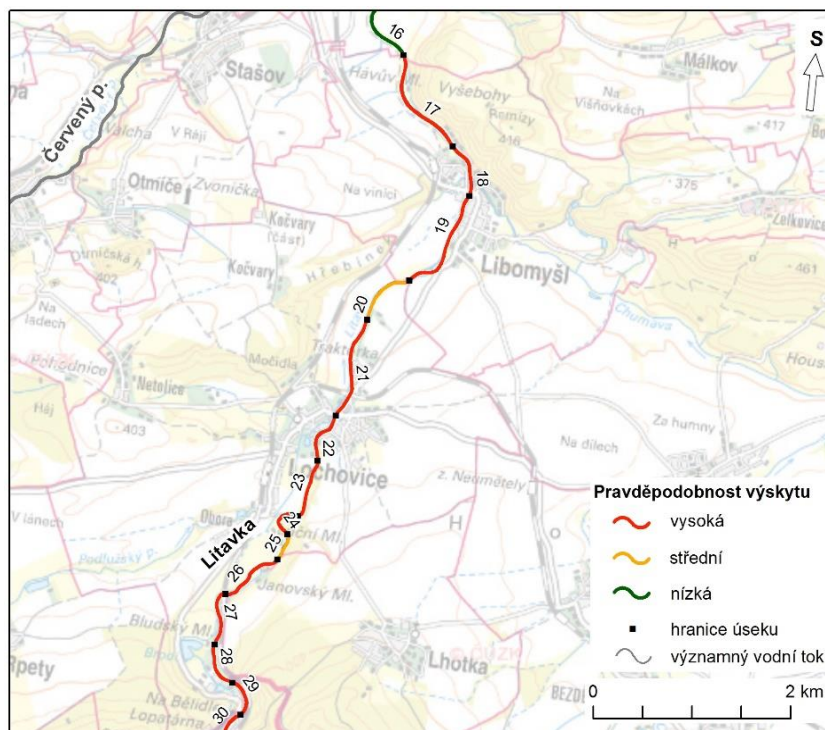
Při interpretaci výsledků je také nutné zohlednit fakt, že bobr zatím neosídlil všechny vhodné biotopy v povodí, čímž jsou modely predikce zatíženy. To se projevuje zvláště v případě negativního vlivu (stromové) vrby na rozšíření bobra, jenž prozatím využívá jiné snadněji dostupné zdroje potravy. Nečekaný pozitivní vliv olše na rozšíření bobra zase způsobuje fakt, že bobr dokáže osídlit území, kde je sice vysoký podíl pro bobra vhodných dřevin či křovin, ale ve výsledku může převažovat podíl olše. Bobr je navíc oportunistický druh živočicha, který se poměrně dobře dokáže přizpůsobit svému prostředí (viz např. Vorel et al., 2015; Campbell-Palmer et al., 2016).

Pravděpodobnost rozšíření byla zpracována pro jednotlivé úseky vodních toků, na nichž se mohou dále vázat managementová opatření (blíže rozebráno v následující kapitole). Každý úsek disponuje informací o složení břehového porostu (v tabulce i vektorové vrstvě do GIS) a nyní také o pravděpodobnosti výskytu bobra. Obr. 17 ukazuje příklad Litavky v okolí Libomyšle a Lochovic, kde podle predikce převažují úseky s vysokou pravděpodobností výskytu bobra. Obr. 18 přibližuje predikci rozšíření bobra na Střele u Plas, kde se bobra již nyní vyskytuje a pravděpodobně šíří na další vhodná místa. Souhrnnou mapu ve formátu A3 si lze prohlédnout v příloze tohoto dokumentu a podrobněji také na webu: speclab.cz/projekty/tacr-bobr/.



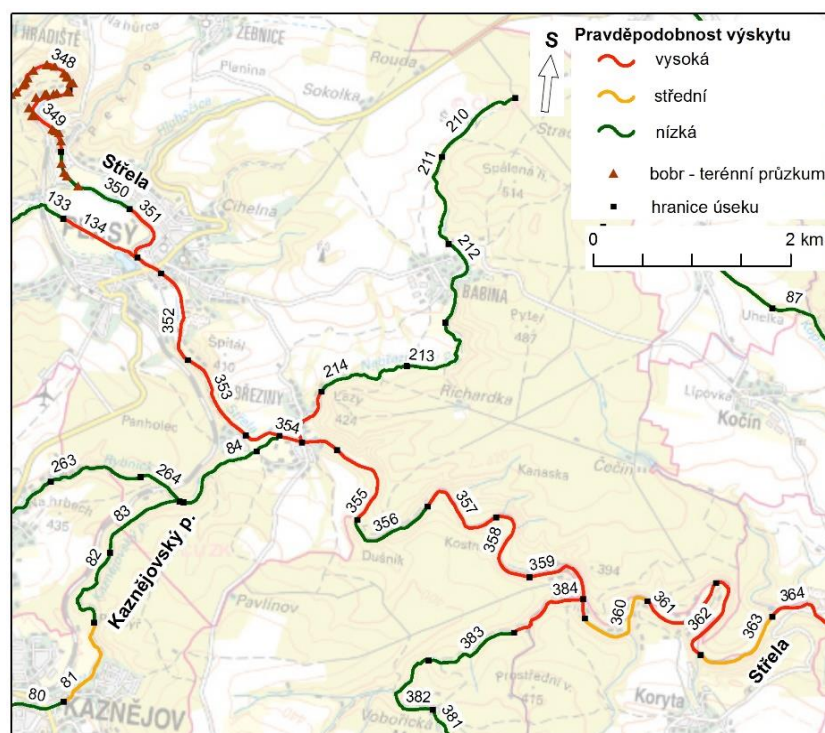
Obr. 16: Pravděpodobnost výskytu bobra na vybraných vodních tocích povodí Berounky. Úseky vodních toků jsou pro přehlednost vyjádřeny body. Souhrnná mapa ve formátu A3 je v příloze 2 tohoto dokumentu a také k prohlédnutí na webu: speclab.cz/projekty/tacr-bobr/ (viz odkaz v příloze 3).

Pozn.: Data pochází z databáze Povodí Vltavy, státní podnik, z databáze DIBAVOD (VÚV TGM) a z databáze ZABAGED (ČÚZK, 2017).



Obr. 17: Detailnější pohled na pravděpodobný výskyt (semafor) bobra na Litavce v jednotlivých úsecích toku (očíslováno)

Pozn.: Podkladová mapa je Základní mapa ČR (ČÚZK).



Obr. 18: Detailnější pohled na pravděpodobný výskyt (semafor) bobra na Střele v jednotlivých úsecích toku (očíslováno). Terénní průzkum probíhal pouze severně od Plas (jaro 2020).

Pozn.: Podkladová mapa je Základní mapa ČR (ČÚZK).

7. Aplikace výsledků v praxi

Bobr evropský se poprvé objevil v povodí Berounky zhruba před čtyřiceti lety a od té doby se zde rozmnožuje a šíří. Zdrojové populace v příhraniční oblasti Českého lesa (Kouba, Kateřinský potok) a Šumavy fungují jako bohatý zdroj bobřích jedinců, kteří si hledají své místo níže po toku (Vorel et al., 2012). Bobr dosud obsadil zdrojové vodní toky Berounky - Úhlavu, Radbuzu a částečně také Mži. Zajímavé je, že bobr dosud tolik nevyhledává Úslavu, která se svým charakterem podobá Úhlavě. Bobr z velké části obsadil také Berounku a začíná kolonizovat její přítoky: Klabavu, Střelu, Litavku, Loděnici a částečně další vodní toky. Bobr prozatím nemá ve svém šíření žádná velká omezení. V území absentuje větší množství přirozených predátorů (velké šelmy, zejména vlk), v šíření nebrání ani antropogenní prvky (sídla, příčné překážky na toku apod.) a pro bobří populace klíčový lov, neboť je bobr stále považován za zvláště chráněný druh živočicha.

Výsledky predikce pravděpodobnosti výskytu bobra na vybraných vodních tocích povodí Berounky ukazují obr. 16–18 v kap. 6. Podrobněji lze výsledky prohlížet v přílohách tohoto dokumentu a také v mapovém prohlížeči pod odkazem na webu: <https://www.speclab.cz/projekty/tacr-bobri/>, kde je ve formě PDF také volně k dispozici tato publikace. Na základě smlouvy o uplatnění specializované mapy lze poskytnout data v souhrnné tabulce a ve formě vektorové vrstvy (ESRI shapefile).

Predikce pravděpodobnosti rozšíření bobra byla vypočítána pro úseky vodních toků, které je možné využít jako základní prostorovou jednotku pro budoucí monitoring přítomnosti bobra a navrhovaných opatření. Znázornění pravděpodobnosti rozšíření (nízká 0–30 %, střední 31–70, vysoká 71–100) barvou připomíná semafor. Červené úseky by proto měly být navštíveny nejdříve. Nejen v červených, ale i v ostatních úsecích by měl být kladen důraz na druhové složení dřevin (křovin), které je pro šíření bobra klíčové a které určuje úživnost (vhodnost) daného úseku. Úseky vodních toků na Berounce (pravý a levý břeh zvláště), Loděnici, Litavce, Rakovnickém a Lišanském potoce odpovídají rozdělení vodních toků z návrhů managementu břehových porostů, jejichž hodnocení pro Povodí Vltavy, státní podnik proběhlo v minulých letech. Pro povodí Střely a Úslavy byly vodní toky (hrubé členění, DIBAVOD) rozděleny do pravidelných cca 1 km dlouhých úseků. V okolí větších vodních nádrží (rybníků) byly úseky upraveny tak, aby břehy vodních nádrží bylo možné hodnotit samostatně. Všechny úseky jsou očíslovány a obsahují také informaci o složení břehového porostu. Pro povodí Střely a Úslavy se jedná pouze o generalizované skupiny vegetace a pro managementová opatření bude potřeba provést podrobnější průzkum v terénu.

Tato publikace je jedním ze 3 plánovaných výsledků projektu s názvem *Predikční model šíření bobra evropského a souvisejícího poškození břehových porostů. Návrh preventivních opatření* (podpořeno Technologickou agenturou ČR). Mapa bude důležitým podkladem pro chystanou metodiku péče o břehové porosty v prostředí s přítomností bobra (rok dokončení 2021), kde bude podrobněji vysvětleno, jak přistupovat k výskytu bobra v břehových porostech.

Již nyní lze mapu využít při běžné provozní činnosti zaměřené na péči o břehové porosty významných vodních toků a jejich přítoků. Správce vodního toku může na jejím základě vytipovat místa, kde je osídlení bobry v budoucnu velmi pravděpodobné (červené) a přitom by mohlo zásadním způsobem ovlivnit odtokové poměry, ohrozit stabilitu vodních děl, způsobit újmu na lidském zdraví

apod. Na takových místech lze z dlouhodobého pohledu preventivně měnit druhovou skladbu dřevin ve prospěch dřevin bobrem nevyhledávaných. Rovněž lze vytipovat konkrétní klíčové dřeviny a aplikovat na ně některou z forem ochranných opatření, které lze najít v *Průvodci v soužití s bobrem* (Vorel a Korbelová, 2016). Testování ochrany dřevin pomocí kari sítě, oplocení a nátěru Wöbra je také součástí tohoto projektu.

Současně lze na základě předpokládaného výskytu bobra zvýšit intenzitu dohledu nad rizikovými břehovými porosty, stejně tak jako v místech již známého výskytu bobra, a včasné zahájit preventivní opatření. Nejvhodnější období pro monitoring bobří činnosti je zimní polovina roku (říjen až duben), kdy probíhá období vegetační klidu, jsou opadané listy a v podrostu je dobře vidět bobří aktivita (okusy, hrady, skluzy atd.).

8. Závěr

Mapa predikce rozšíření bobra na vybraných vodních tocích povodí Berounky dosáhla stanovených cílů. Povedlo se připravit databázi břehových porostů a podrobným terénním průzkumem získat aktuální nálezová data o bobří aktivitě. Podařilo se sestavit statistický model do podoby skriptů (v příloze), který bude možné opakovat i v dalších letech, anebo aplikovat v jiných povodích, pokud se pro ně podaří shromáždit obdobná data o břehové vegetaci. Model pro Berounku (predikční síla 0,39) vycházel z těchto prediktorů: šířka břehového porostu a druhová skladba dřevin – podíl javorů, olší, topolů, vrb a keřové vrby. Analýza dat ukázala, že bobe v povodí preferuje především keřové vrby, které jsou pro něj ideálním zdrojem potravy (Vorel et al., 2015). Rozložení porostů keřových vrb také vypovídá o tom, že bobe na Berounce dosud pravděpodobně neosídlil všechna vhodná území, neboť relativně silné zastoupení keřových vrb se vyskytuje i u absencí. Predikční síla modelu pro Střelu byla po odebrání několika prediktorů nakonec 0,61. Pro Střelu bylo poměrně složité modelovat pravděpodobnost výskytu, neboť prediktory zde trpěly silnou multikolinearitou a muselo se přistoupit k jejich redukci, po které zbyly vrby s topoly, olše, ostatní listnaté a jehličnaté porosty, pole a vodní plochy. Predikci na Střele a Úslavě rovněž zatěžuje nízká přesnost klasifikace družicových dat (Střela 80 %, Úslava 69 %).

Statistické modely současně naznačily preference a reakce na jednotlivé druhy dřevin, které ukazují grafy efektů prediktorů (obr. 12 a obr. 14). Grafy efektů jednotlivých prediktorů na výskyt bobra na Berounce ukazují očekávaný pozitivní efekt keřové vrby a šířky břehového porostu. Ostatní efekty se mohou zdát poněkud překvapivé, bobe totiž na Berounce ještě neosídlil všechny vhodné biotopy. Z grafu zastoupení jednotlivých dřevin na Berounce (obr. 13) je patrné, že v břehových porostech silně dominuje vrba (převážně keřová), jež je přítomna ve všech úsecích absencí i prezencí. Keřová vrba představuje jeden z hlavních potravních zdrojů bobra a je možné, že bobe se zatím primárně váže na výskyt této formy vrb. Průzkum úseků s dlouhodobým bobřím osídlením v horních částech povodí Berounky však ukázal, že bobe nakonec zpracuje všechny pro něj vhodné dřeviny nehlédě na jejich formu růstu. Pozitivní efekt olše na Berounce by mohl být vysvětlen zvýšenou stabilitou břehů, která je pro olši charakteristická a pro bobra důležitá ke stavbě obydlí. Na Střele grafy efektů potvrzují kladný vztah k vrbám a ostatním listnatým dřevinám a negativní vztah k přítomnosti olší a jehličnatých dřevin.

Pravděpodobnost rozšíření bobra na vybraných vodních tocích byla pro praktické použití rozdělena v barvách semaforu na tři stupně: nízký (zeleně, 0–30 %), střední (oranžově, 31–70 %) a vysoký (červeně, 71–100 %). Červené úseky by proto správce toku měl navštívit a chránit jako první. Nejen v červených, ale i v ostatních úsecích by měl být kladen důraz na druhové složení dřevin (křovin), které je pro šíření bobra klíčové a které určuje úživnost (vhodnost) daného úseku. Nadpoloviční hodnoty pravděpodobnosti dosahují téměř všechny vybrané významné vodní toky (s maximem 74 % na Loděnici, obr. 15). Na Berounce nabývá průměrná pravděpodobnost rozšíření hodnot 51 %, přesto je Berounka bobry osídlena téměř po celé délce toku. Při interpretaci výsledků je však nutné vzít v úvahu fakt, že bobra v povodí zatím neosídlil všechna vhodná stanoviště, čímž jsou modely predikce zatíženy. Bobr je navíc oportunistický druh živočicha, který se poměrně dobře dokáže přizpůsobit svému prostředí (viz např. Vorel et al., 2015; Campbell-Palmer et al., 2016).

Výsledky predikce rozšíření bobra je možné využít při běžné provozní činnosti zaměřené na péči o břehové porosty významných vodních toků i jejich přítoků. Správce vodního toku může na jejím základě vytipovat místa, kde je osídlení bobry v budoucnu nejvíce pravděpodobné (červeně) a přitom by mohlo zásadním způsobem ovlivnit odtokové poměry, ohrozit stabilitu vodních děl, způsobit újmu na lidském zdraví, či napáchat velké škody na dřevinách. Celkový potenciál Mapy bude naplněn až ve spojení s metodikou péče o břehové porosty s přítomností bobra (výsledkem stejného projektu).

Poděkování

Mapa je výsledkem řešení výzkumného projektu TH03030069 “Predikční model šíření bobra evropského a souvisejícího poškození břehových porostů. Návrh preventivních opatření” podpořeného Technologickou agenturou ČR. Za vypracování oponentních posudků, zhodnocení a přínosné podněty k Mapě děkujeme RNDr. Tomáši Václavíkovi, Ph.D. a Ing. Martinu Veselému. Poděkování si zaslouží Ladislava Urbanová za pomoc při sběru nálezových dat a Ing. Veronika Strnadová za korekturu textu.

9. Shrnutí (Summary)

Předpokládané šíření bobra evropského v závislosti na současném výskytu a úživnosti prostředí vybraných toků v povodí Berounky

Klíčová slova: bobr evropský; *Castor fiber*; druhové distribuční modelování; břehové porosty, povodí Berounky

Ve 2. pol. 20. st. došlo ve střední Evropě k iniciaci (reintrodukcemi) přirozeného šíření bobrů (Vorel a Kostkan, 2005), při čemž jedna z nejsilnějších vln návratu bobrů probíhala od 60. do 90. let 20. st. v Bavorsku (Zahner, 1997). Po více než 40 letech šíření bobrů do západních a jihozápadních Čech jsou nyní kolonizovány všechny pohraniční přítoky řek Ohře, Mže, Radbuzy, Úhlavy, Úslavy, Otavy a Vltavy. Významnému rozšíření bobra nejen v povodí Berounky výrazně napomohla jeho silná legislativní ochrana a také vyhlášení programu péče (Vorel et al., 2013). Pro šíření bobra je důležitá úživnost prostředí a charakter břehů, jež dohromady představují klíčový faktor pro současné, ale i případné budoucí osídlení. Bobr však v břehových porostech způsobuje škody na dřevinách, a to v řádech milionů korun ročně (Uhlíková et al., 2015, Bulíř et al., 2019), a proto by bylo vhodné znát jeho možné budoucí rozšíření. K tomu slouží modely distribuce druhů, které představují popis empiricky zjištěné korelace mezi distribucí druhů a environmentálními proměnnými (Franklin, 2010). Pro modelování pravděpodobnosti výskytu bobra v povodí Berounky byl zvolen pravidelně využívaný binomický zobecněný lineární model (tzv. logistická regrese, Guisan et al., 2002).

Specializovaná mapa měla za cíl (1) připravit databázi břehových porostů a nálezových dat, (2) správně nastavit a validovat statistický model a nakonec (3) spočítat predikci pravděpodobnosti výskytu bobra pro dvě skupiny vodních toků, které se odlišovaly vstupními daty o břehových porostech. Pro Berounku, Loděnici, Litavku, Rakovnický p. a Lišanský p. byla použita podrobná data z původního managementového průzkumu břehových porostů. Pro vodní toky (hrubé členění, DIBAVOD) v povodích Střely a Úslavy byla informace o složení břehového porostu získána pomocí řízené klasifikace obrazu (přesnost klasifikace dosáhla pro Střelu 80 % a Úslavu 69 %). Za účelem získání nálezových dat byl proveden podrobný terénní průzkum od Plzně po Řevnice (Berounka) a od Toužimi po Plasy (Střela). Zvláště na Berounce průzkum překvapivě odhalil přítomnost minimálně 30 bobřích rodin.

Statistické modely pro Berounku a Střelu se podařilo připravit do podoby skriptů (v příloze), jenž bude možné využít opakovaně a případně aplikovat také v jiných povodích. Vysvětlovanou proměnnou byly úseky prezence/absence bobra extrahované z nálezových dat metodou jádrového odhadu populační hustoty. Environmentálními proměnnými (prediktory) byly údaje o složení břehových porostů pořízených terénním průzkumem v minulých letech, resp. data o krajinném pokryvu získaná řízenou klasifikací. Model byl nejprve naplněn na prezenčně-absenčních datech na Berounce a Střele a následně aplikován na výše uvedené vybrané vodní toky.

Model pro Berounku (predikční síla 0,39) vycházel z těchto prediktorů: šířka břehového porostu a jeho druhová skladba – podíl javorů, olší, topolů, vrb a keřové vrby. Analýza dat následně ukázala, že bobr v povodí preferuje především keřové vrby, které jsou pro něj ideálním zdrojem potravy (Vorel et al., 2015). Rozložení porostů keřových vrb také ukazuje, že bobr na Berounce dosud

pravděpodobně neosídlil všechna vhodná území, neboť relativně silné zastoupení keřových vrb se vyskytuje i u absencí. Predikční síla modelu pro Střelu byla po odebrání několika prediktorů nakonec 0,61. Pro Střelu bylo poměrně složité modelovat pravděpodobnost výskytu, neboť prediktory zde trpěly silnou multikolinearitou a muselo se přistoupit k jejich redukci, po které zbyly vrby s topoly, olše, ostatní listnaté a jehličnaté porosty, pole a vodní plochy. Predikci na Střele a Úslavě mohla rovněž ztížit přesnost klasifikace družicových dat (Střela 80 %, Úslava 69 %).

Statistické modely naznačily také preference a reakce bobra na přítomnost jednotlivých druhů dřevin. Grafy efektů jednotlivých prediktorů na výskyt bobra na Berounce (obr. 12) ukazují očekávaný pozitivní efekt keřové vrby a šířky břehového porostu. Jak stromová, tak keřová vrba je přítomna ve všech úsecích absencí i prezencí. Jelikož keřová vrba je jedním z hlavních potravních zdrojů bobra, je možné, že se bobr primárně váže na výskyt keřové vrby (a šířku břehového porostu), zatímco zvýšený výskyt stromových forem dřevin může být považován prozatím za méně vhodný zdroj potravy a tím mít nepřímo negativní efekt na výskyt bobra. Nečekaný pozitivní efekt olše by mohl být vysvětlen zvýšenou stabilitou břehů, která je pro olši charakteristická a pro bobra důležitá, nebo čistě zpracováním dat (podíl olší v úsecích prezencí). Na Střele grafy efektů potvrzují kladný vztah k vrbám a ostatním listnatým dřevinám a negativní vztah k přítomnosti olší a jehličnatých dřevin.

Pravděpodobnost rozšíření bobra na vybraných vodních tocích (0–100 %) byla pro praktické použití rozdělena v barvách semaforu na tři stupně: nízký (zeleně, 0–30 %), střední (oranžově, 31–70 %) a vysoký (červeně, 71–100 %). Červené úseky by proto správce toku měl navštívit jako první. Téměř všechny vybrané významné vodní toky dosahují nadpoloviční hodnoty pravděpodobnosti (s maximem 74 % na Loděnici, obr. 15). Na Berounce nabývá průměrná pravděpodobnost rozšíření hodnot 51 %, přesto je Berounka bobry osídlena téměř po celé délce toku. Při interpretaci výsledků je však nutné zohlednit fakt, že bobr v povodí zatím neosídlil všechna vhodná stanoviště. Zjištěný výskyt bobra tak odráží jeho potravní preference jen částečně, neboť část absencí je způsobena nikoli tím, že by dané místo bylo pro bobra nevhodné, ale tím, že dosud nebylo osídleno. Bobr je navíc oportunistický druh živočicha, který se poměrně dobře dokáže přizpůsobit svému prostředí (viz např. Vorel et al., 2015; Campbell-Palmer et al., 2016).

Výsledky predikce rozšíření ukazují přehledové mapy ve formátu A3 v příloze anebo je možné výsledky prohlížet podrobněji pod odkazem na webu: speclab.cz/projekty/tacr-bobr/. V praxi budou výsledky využity při běžné provozní činnosti zaměřené na péči o břehové porosty významných vodních toků a jejich přítoků. Správce vodního toku by měl na základě predikce rozšíření vytipovat místa, kde je osídlení bobry v budoucnu velmi pravděpodobné (červené) a přitom by mohlo zásadním způsobem ovlivnit odtokové poměry, ohrozit stabilitu vodních děl, způsobit újmu na lidském zdraví, či napáchat velké škody na dřevinách. Nejen v červených, ale i v ostatních úsecích by měl být kladen důraz na druhové složení dřevin (křovin), které je pro šíření bobra klíčové a které určuje úživnost (vhodnost) daného úseku toku. Celkový potenciál mapy bude naplněn až ve spojení s metodikou péče o břehové porosty s přítomností bobra (výsledkem stejného projektu).

Presumed spread of European beaver depending on the current occurrence and the usability of the environment of selected streams in the Berounka river basin

Key words: European beaver; *Castor Fiber*; species distribution models; riparian forest, the Berounka river basin

After more than 40 years of European beaver (*Castor fiber*) spreading to western and southwestern Bohemia (initiated by reintroductions in Bavaria), all tributaries of rivers Ohře, Mže, Radbuza, Úhlava, Úslava, Otava and Vltava have been colonized. The important factors of colonization are the usability of the environment and the character of shores. The spread of European beaver (abbreviated beaver) in the Berounka river basin was significantly facilitated by its strong legislative protection (Vorel et al., 2013). As a consequence, every year beavers cause damage to woody plants in riparian stands in the order of millions of Czech crowns (Uhlíková et al., 2015, Bulíř et al., 2019). Therefore, it would be useful to know possible future expansion of beavers. In our research, we used species distribution models, which represent a description of the empirically determined correlation between species distribution and environmental variables (Franklin, 2010).

The specialized map aimed to (1) prepare a database of vegetation of riparian stands and a database of occurrence data, (2) correctly set and validate a statistical model and finally (3) calculate a probability of beaver spread for two groups of watercourses that were differed by input vegetation data. Detailed data from the original management survey of riparian stands were used for rivers Berounka, Loděnice, Litavka and for streams Rakovnický potok and Lišanský potok (database of Povodí Vltavy, State Enterprise). For watercourses in the Střela and the Úslava river basins (DIBAVOD, database of VÚV TGM), information on the composition of the riparian vegetation was obtained from satellite data (SPOT 6/7) using the supervised image classification. In order to obtain the occurrence data, a detailed field survey was conducted in winter 2020 from Plzeň to Řevnice (the Berounka) and from Toužim to Plasy (the Střela).

Our statistical presence/absence models based on logistic regression for the Berounka (pseudo- R^2 0.39) and the Střela (0.61) showed, that beavers prefer mainly willow stands and wider riparian stands. There was a positive relation towards willows and other deciduous trees and a negative relation towards the presence of alders and coniferous trees. For practical use, the probability of beaver spread along selected watercourses was divided into three levels: low (0–30 %, green line), medium (31–70 %, orange line) and high (71–100 %, red line). Most of all significant watercourses reach more than 50 % of the probability (with a maximum of 74 % for the Loděnice river, Fig. 15). For the Berounka river, the average probability of spread is 51 % but beavers occupy almost the entire length of this river. The detected probability of beavers spread reflects beavers food preferences only partially because some parts of watercourses (absences) has not been inhabited by beavers yet, although there are satisfactory food sources. In addition, the beaver is an opportunistic animal species that can adapt to its environment (see, for example, Campbell-Palmer et al., 2016) so it can be only a matter of time before the beaver inhabit the entire length of watercourses.

The probability of the beavers spread is illustrated in the attached overview maps or in the web application on the link speclab.cz/projekty/tacr-bobr/. In practice, the results can be used in

routine operational activities focused on the care of riparian stands. Based on the prediction of spread, the watercourse administrator can identify places where beaver occurrence is highly probable and at the same time it could significantly affect runoff conditions, endanger the stability of water works, endanger human lives or cause great damage to riparian stands. This specialized map is the result of the project “A predictive model of Eurasian beaver spreading and related damage of riparian stands. Proposal for preventive measures” supported by Technology Agency of the Czech Republic.

10. Literatura

- AIROLA, A., PAHIKKALA, T., WAEGEMAN, W., DE BAETS, B., SALAKOSKI, T. (2010): An experimental comparison of cross-validation techniques for estimating the area under the ROC curve, *Computational Statistics & Data Analysis*, 55 (4), p. 1828–1844.
- BARTÁK, V., VOREL, A., ŠÍMOVÁ, P., PUŠ, V. (2013): Spatial spread of Eurasian beavers in river networks: a comparison of range expansion rates. *Journal of Animal Ecology*, 82, p. 587–597.
- BULÍŘ, P., ČERNÝ, K., STRNADOVÁ, V., BRESTOVANSKÁ, T., ZÝKA, V. (2019): Jak oceňovat škodu na dřevinách způsobenou bobrem evropským? *Vodní hospodářství*, 69, s. 5–10.
- CAMPBELL-PALMER, R., GOW, D., CAMPBELL, R., DICKINSON, R., GIRLING, D., URNELL, J. HALLEY, D., JONES, S., LISLE, S., PARKER, H., SCHWAB, G., ROSELL, F. (2016): *The Eurasian Beaver Handbook: Ecology and Management of Castor fiber*. Pelagic Publishing, Exeter, United Kingdom, 202 p. ISBN 978-1-78427-113-8.
- FRANCIS, R. A., TAYLOR, J. D., DIBBLE, E., STRICKLAND, B., PETRO, V. M., EASTERWOOD, Ch., WANG, G. (2017): Restricted cross-scale habitat selection by American beavers. *Current Zoology*, Volume 63 (6), p. 703–710.
- FRANKLIN, J. 2010. *Mapping species distributions spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, USA, 320 p.
- GUISAN, A., EDWARDS, T. C., HASTIE, T., (2002): Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological Modelling*, 157 (2-3), p. 89–100.
- HAYES, M. M., MILLER, S. N., MURPHY, M. A. (2014): High-resolution landcover classification using Random Forest. *Remote Sensing Letters*, 5 (2), p. 112–121.
- HIRZEL, A. H., ARLETTAZ, R. (2003): Modeling Habitat Suitability for Complex Species Distributions by Environmental-Distance Geometric Mean. *Environmental Management*, 32 (5), p. 614–623.
- HOSMER, D. W., LEMESHOW, S. (2000): *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons, Inc., Second Edition, Canada, 397 p.
- HUTCHINSON, G. E. (1957): Concluding remarks. *Cold Spring Harbo Symposium on Quantitative Biology*, 22, p. 415–427.
- JORDAN, C. F. (1969): Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor. *Ecology* 50 (4), p. 663–666.
- KOLÁŘ, J., PAVELKA, K., HALOUNOVÁ, L. (1997): *Dálkový průzkum země 10*. ČVUT, Praha, 1997.

- MARINGER, A., SLOTTA-BACHMAYR, L. (2006): A GIS-based habitat-suitability model as a tool for the management of beavers *Castor fiber*. *Acta Theriologica*, 51, p. 373–382.
- NOLET, B. A., ROSELL, F. (1998): Comeback of the beaver *Castor fiber*: An overview of old and new conservation problems. *Biological Conservation*, 83 (2), p. 165–173.
- PHILLIPS, S. J., ANDERSON, R. P., SCHAPIRE, R. E. (2006): Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, s. 231–259.
- SMERALDO, S., DI FEBBRARO, M., ČIROVIĆ, D., BOSSO, L., TRBOJEVIĆ, I., RUSSO, D. (2017): Species distribution models as a tool to predict range expansion after reintroduction: A case study on Eurasian beavers (*Castor fiber*). *Journal for Nature Conservation*, 37, p. 12–20.
- ŠAFÁŘ, J., 2002: Novodobé rozšíření bobra evropského (*Castor fiber* L., 1758) v České republice. *Příroda*, 13, s. 161–196.
- THUILLER, W., LAFOURCADE, B., ENGLER, R., ARAÚJO, M. B. (2009): BIOMOD–A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, 32, p. 369–373.
- UHLÍKOVÁ, J., VOREL, A., ŠÍMA, J. (2015): Analýza třináctiletého období poskytování náhrad škod způsobených bobrem evropským. *Ochrana přírody*, 2015 (2), s. 12–17.
- VOREL, A., KORBELOVÁ, J. eds. (2016): *Průvodce v soužití s bobrem*. ČZU v Praze, Praha, 129 s.
- VOREL, A., KOSTKAN, V., (2005): Rešerše a hodnocení realizovaných a probíhajících projektů aktivní ochrany bobra evropského (*Castor fiber*) v České republice, s. 407–414. In: KUMSTÁTOVÁ T., NOVÁ P. & MARHOUL P. (eds.) 2005: *Hodnocení projektů aktivní podpory ohrožených živočichů v České republice*. AOPK ČR, Praha, 432 s.
- VOREL, A., ŠAFÁŘ, J., ŠIMŮNKOVÁ, K. (2012): Recentní rozšíření bobra evropského (*Castor fiber*) v České republice v letech 2002 – 2012 (Rodentia: Castoridae). *Lynx*, 43, s. 149–179.
- VOREL, A., ŠÍMA, J., UHLÍKOVÁ, J., PELTÁNOVÁ, A., MINÁRIKOVÁ T., ŠVANYGA, J. (2013): *Program péče o bobra evropského v České republice*. AOPK ČR a MŽP ČR, Praha, 97 s.
- VOREL, A., VÁLKOVÁ, L., HAMŠÍKOVÁ, L., MALOŇ, J., KORBELOVÁ, J. (2015): Beaver foraging behaviour: Seasonal foraging specialization by a choosy generalist herbivore. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69(7), p. 1221–1235.
- ZAHNER, V. (1997): Der Biber in Bayern. Eine Studie aus forstlicher Sicht. *Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft*, p. 1–63.

11. Seznam odborných podkladů

- BARTÁK, V., VOREL, A., ŠÍMOVÁ, P., PUŠ, V. (2013): Spatial spread of Eurasian beavers in river networks: a comparison of range expansion rates. *Journal of Animal Ecology*, 82, p. 587–597.
- CAMPBELL-PALMER, R., GOW, D., CAMPBELL, R., DICKINSON, R., GIRLING, D., URNELL, J. HALLEY, D., JONES, S., LISLE, S., PARKER, H., SCHWAB, G., ROSELL, F. (2016): *The Eurasian Beaver Handbook: Ecology and Management of Castor fiber*. Pelagic Publishing, Exeter, United Kingdom, 202 p. ISBN 978-1-78427-113-8.
- VOREL, A., KORBELOVÁ, J. eds. (2016): *Průvodce v soužití s bobrem*. ČZU v Praze, Praha, 129 s.
- VOREL, A., ŠÍMA, J., UHLÍKOVÁ, J., PELTÁNOVÁ, A., MINÁRIKOVÁ T., ŠVANYGA, J. (2013): *Program péče o bobra evropského v České republice*. AOPK ČR a MŽP ČR, Praha, 97 s.
- VOREL, A., VÁLKOVÁ, L., HAMŠÍKOVÁ, L., MALOŇ, J., KORBELOVÁ, J. (2015): Beaver foraging behaviour: Seasonal foraging specialization by a choosy generalist herbivore. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 69 (7), p. 1221–1235.

12. Přílohy

Přílohou k Mapě jsou soubory programovacího kódu, velkoformátové mapy predikce pravděpodobnosti rozšíření a odkaz na web, kde je možné výsledky predikce prohlížet podrobněji. Všechny níže uvedené přílohy včetně této publikace ve formátu PDF jsou ke stažení zde: speclab.cz/projekty/tacr-bobr/, anebo na vyžádání na emailové adrese: zyka@vukoz.cz.

Přílohou 1 jsou dva soubory programovacího kódu ve formátu html s názvem „*Model_Berounka*“ (pro vodní toky Berounka, Loděnice, Litavka, Rakovnický p. a Lišanský p.) a „*Model_Strela*“ pro všechny toky z povodí Střely a Úslavy. Soubory obsahují také některé obrázky ke statistice využité v této publikaci v lepším rozlišení.

Příloha 2 označuje mapy predikce rozšíření bobra (PDF, formát A3) na území (a) Berounky, Loděnice, Litavky, Rakovnického p. a Lišanského p., (b) povodí Střely a (3) povodí Úslavy. Tyto mapy jsou přílohou k tomuto textu a také samostatně uložené na uvedené webové adrese.

Přílohou 3 je odkaz na podrobnější prohlížení výsledků predikce rozšíření bobra. Prohlížení dat je připraveno na platformě ArcGIS Online zde:

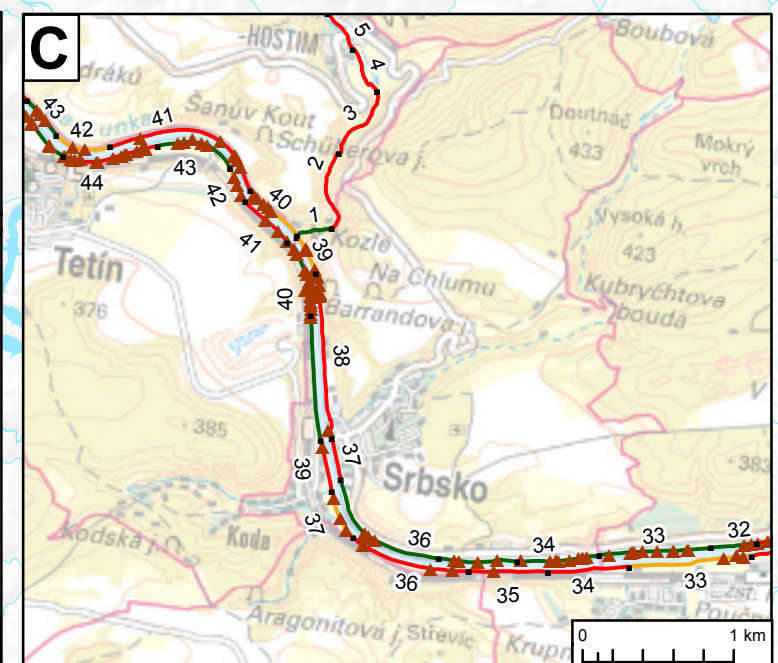
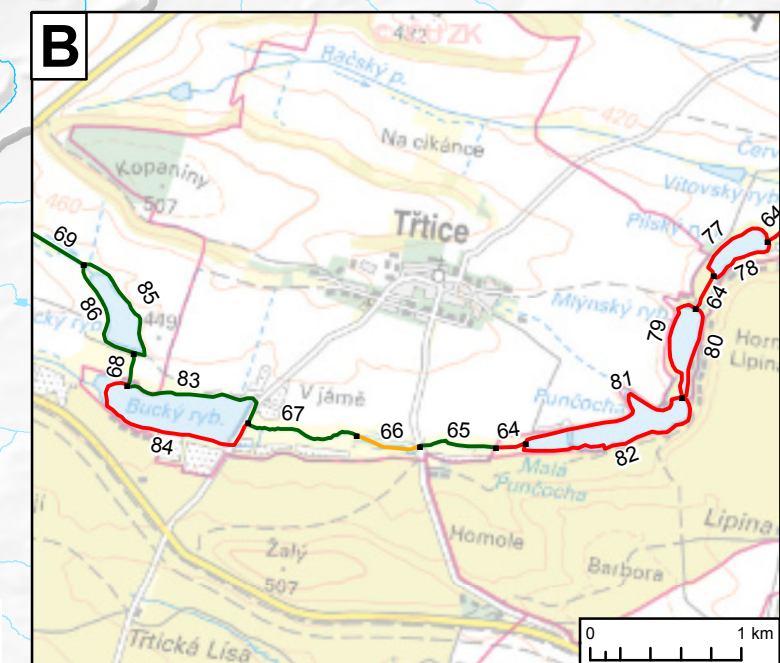
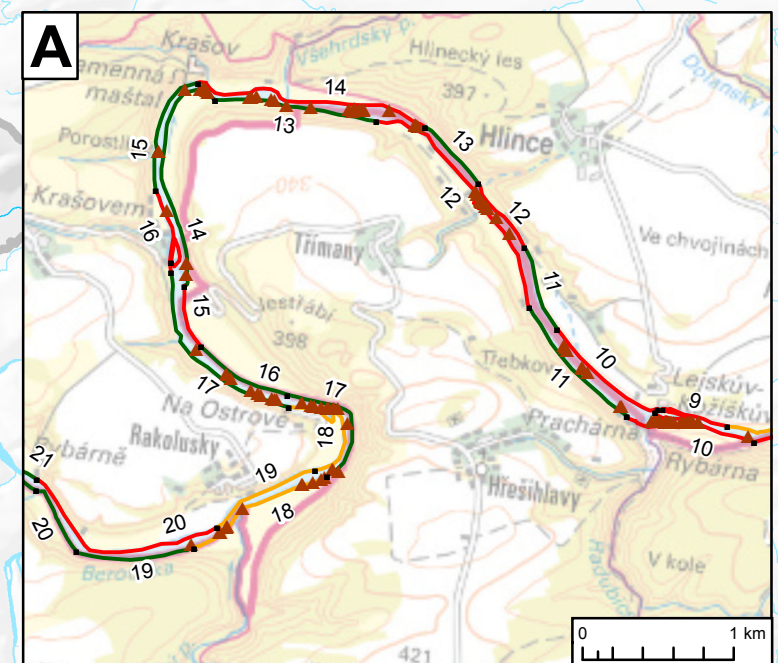
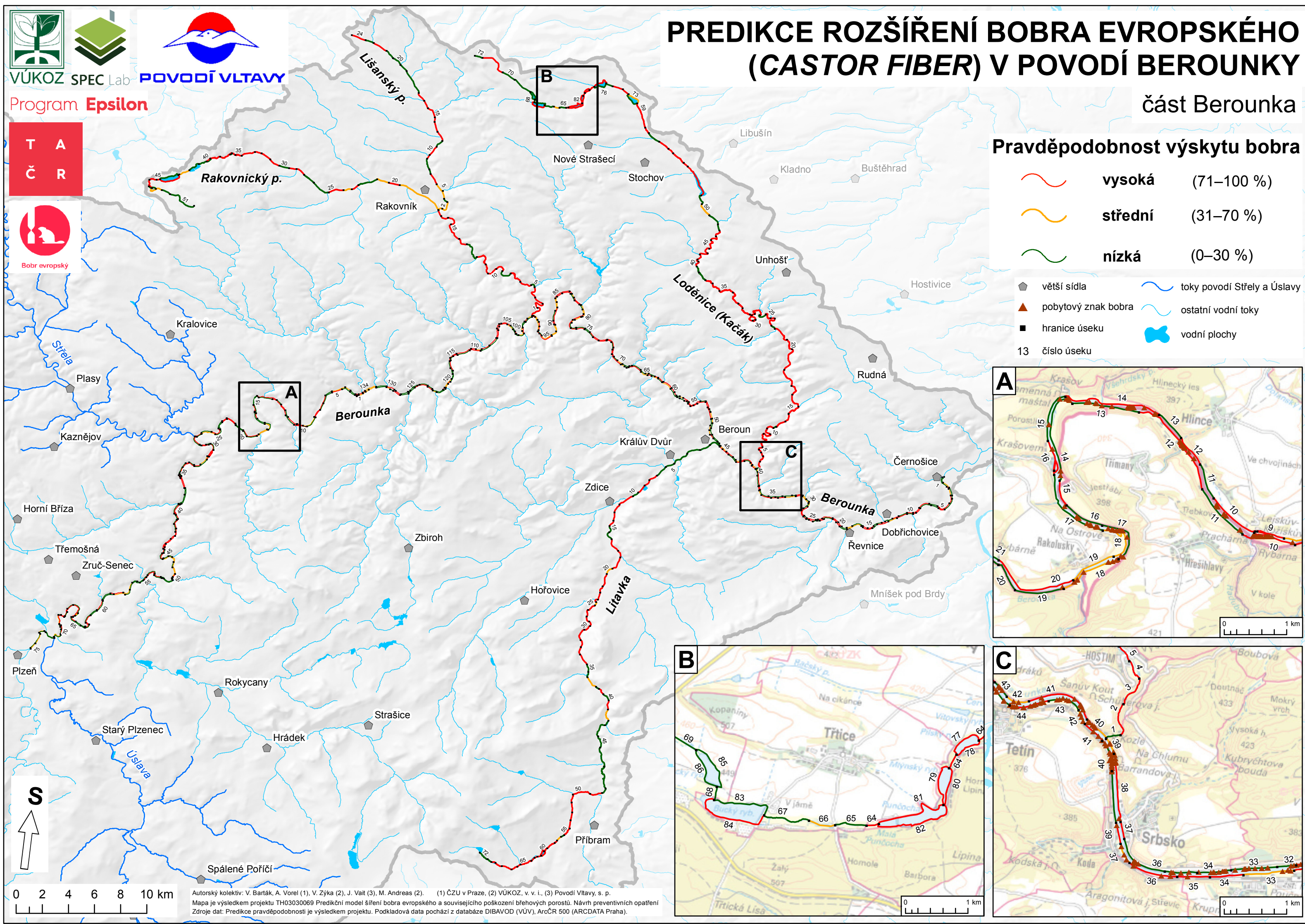
<https://vukoz.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=389d0c8a90c9416eb18759c4124bfe1>

PREDIKCE ROZŠÍŘENÍ BOBRA EVROPSKÉHO (CASTOR FIBER) V POVODÍ BEROUNKY

část Berounka

Pravděpodobnost výskytu bobra

- **vysoká** (71–100 %)
- **střední** (31–70 %)
- **nízká** (0–30 %)
- větší sídla
- pobytový znak bobra
- hranice úseku
- toky povodí Sřely a Úslavy
- ostatní vodní toky
- vodní plochy
- 13 číslo úseku



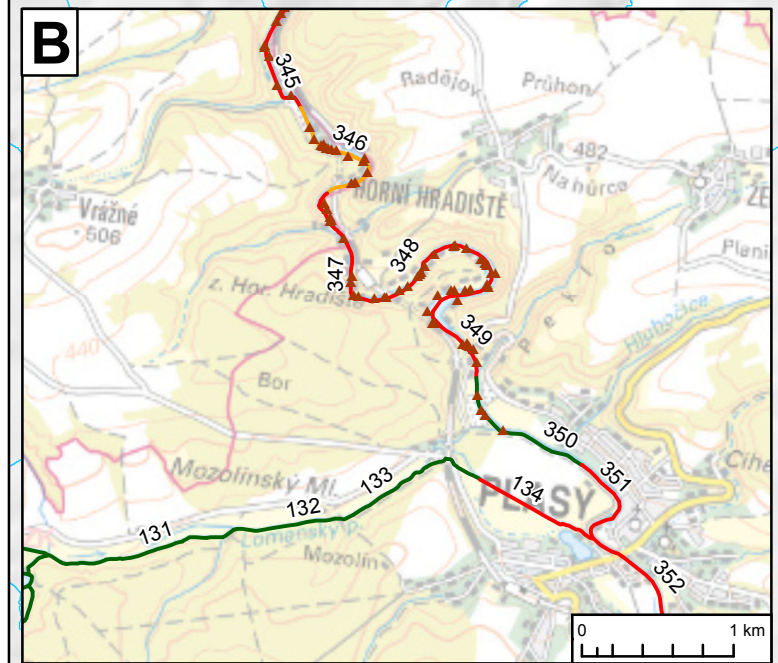
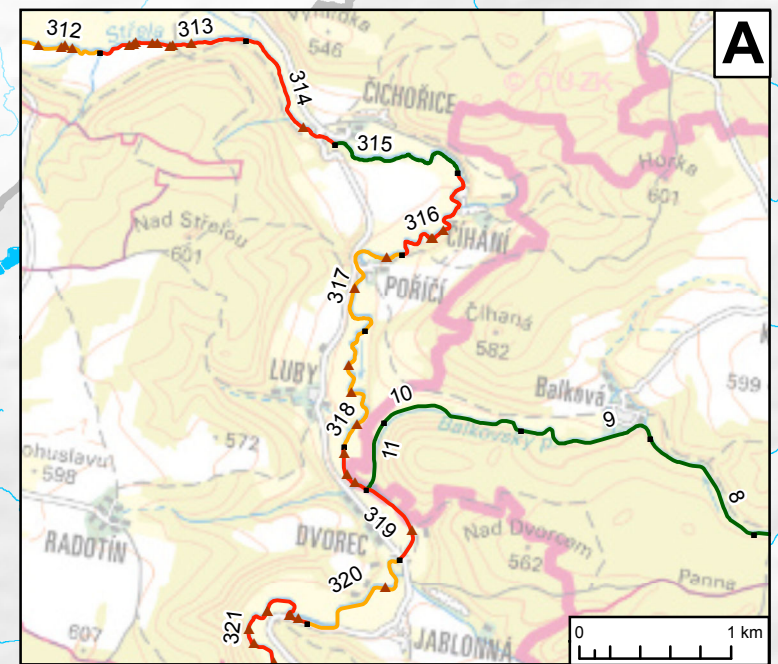
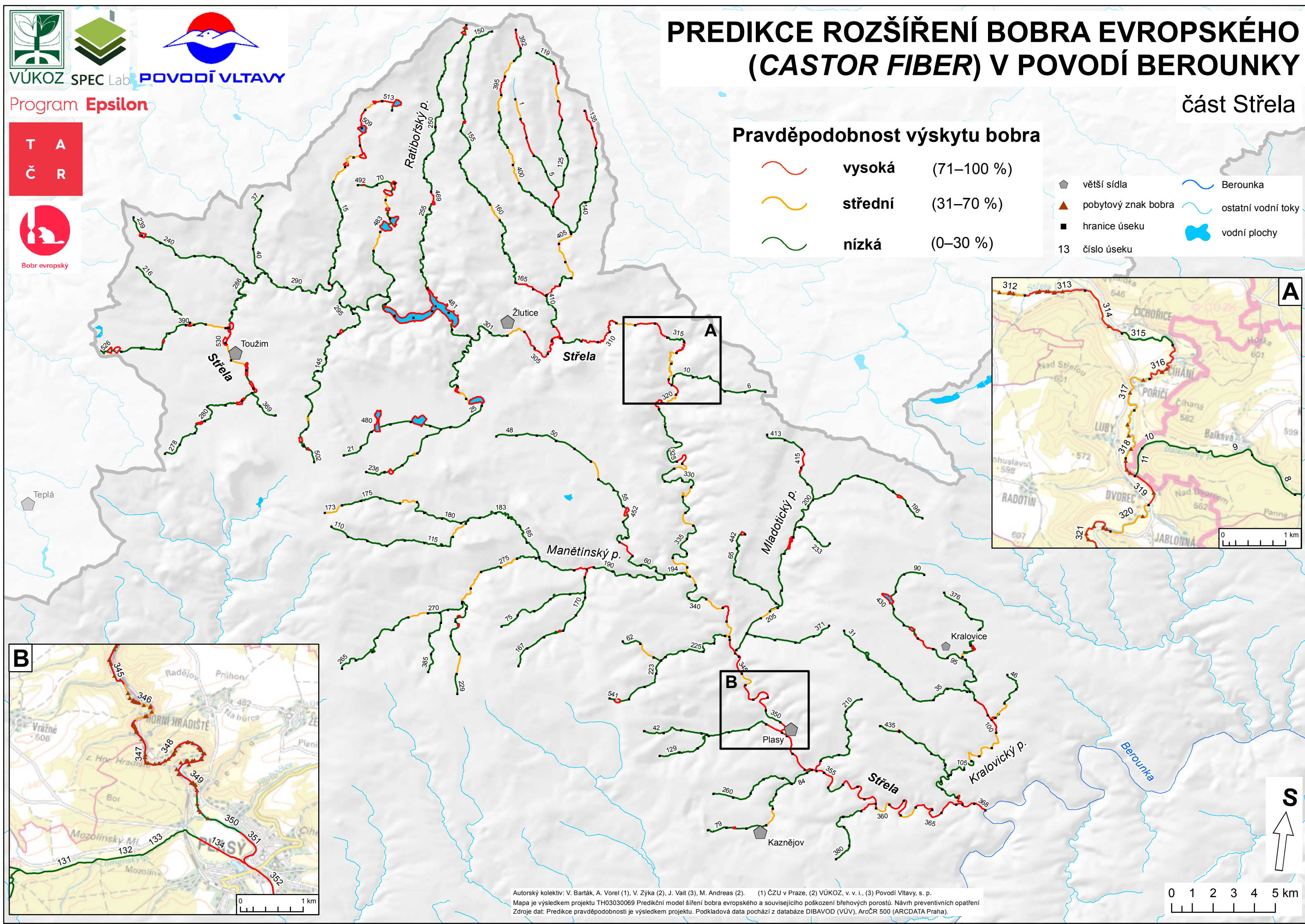
PREDIKCE ROZŠÍŘENÍ BOBRA EVROPSKÉHO (CASTOR FIBER) V POVODÍ BEROUNKY

část Střela

Pravděpodobnost výskytu bobra

- ~ **vysoká** (71–100 %)
- ~ **střední** (31–70 %)
- ~ **nízká** (0–30 %)

- větší sídla
- pobytový znak bobra
- hranice úseku
- Berounka
- ostatní vodní toky
- vodní plochy
- 13 číslo úseku





PREDIKCE ROZŠÍŘENÍ BOBRA EVROPSKÉHO (CASTOR FIBER) V POVODÍ BEROUNKY

část Úslava

Pravděpodobnost výskytu bobra

- vysoká (71–100 %)
- střední (31–70 %)
- nízká (0–30 %)

- větší sídla
- hranice úseku
- 13 číslo úseku
- Berounka
- ostatní vodní toky
- vodní plochy

