



**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA**

Ing. Gréta Doláková, MSc.

Autoreferát dizertačnej práce

Hodnotenie kvality habitatu toku pomocou bioindikácie

na získanie akademického titulu: „doktor“ („philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

v doktorandskom študijnom programe: 4127V00 krajinárstvo D-KRAJ4

v študijnom odbore: poľnohospodárstvo a krajinárstvo

Forma štúdia: denná

Bratislava 2022



Dizertačná práca bola vypracovaná na Katedre vodného hospodárstva krajiny Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave

Predkladateľ Ing. Gréta Doláková, MSc.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Školiteľ prof. Ing. Viliam Macura, PhD.
Katedra vodného hospodárstva krajiny
Stavebná fakulta
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Oponenti prof. Ing. Zlatica Muchová, PhD.
Katedra krajinného plánovania a pozemkových úprav
Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Tulipánová 7, 949 76 Nitra

prof. Ing. Ľuboš Jurík, CSc.
Katedra krajinného inžinierstva
Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Tulipánová 7, 949 76 Nitra

Ing. Peter Ivan, PhD.
Slovenský vodohospodársky podnik, štátny podnik
Povodie Hrona, odštepny závod
Partizánska cesta 69
974 98 Banská Bystrica

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa.....o.....hod na Katedre vodného hospodárstva krajiny, Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, na Radlinského ulici 11, v miestnosti číslo

.....
Prof. Ing. Stanislav Uncík, PhD.
dekan fakulty

1. Obsah

1. Obsah	3
1. Úvod.....	4
2. Ciele dizertačnej práce	5
2.1 Čiastkové ciele	6
3. Metodika práce a metódy skúmania.....	6
3.1 Metodika.....	6
4. Výsledky práce.....	9
4.1 Korelačná analýza parametrov	9
5. Regresná analýza.....	11
5.1 Lineárna regresia Model LASSO	11
5.2 Výsledky regresie	13
6. Diskusia.....	14
6.1 Návrh metodiky - postup pri hodnotení kvality akvatického habitatu regresnou rovnicou	15
7. Záver	16
Summary	17
Zoznam použitej literatúry	17

1. Úvod

Stovky rokov naprieč históriou ľudského vývoja rieky podliehali ľudským aktivitám, ktoré zmenili prietokový režim, ako sú potreby na poľnohospodárske zavlažovanie, konštrukcie vodných elektrární, vodné plavby a zabezpečovali pitné potreby pre celé civilizácie. V posledných storočiach však toky čelia aj klimatickým zmenám, invazívnym druhom a mnohým ďalším zásahom do tvarov a funkcie korýt, ktoré ohrozujú ich integritu (Pennock et al., 2022, Carlson et al. 2017; Muñoz-Mas et al. 2016; Guo et al. 2018). Ako dôsledok je stav celosvetovej akvatickej biodiverzity mnohonásobne horší, ako v iných ekosystémoch (Revenga et al. 2000). Riečne korytá navyše trpeli aj necitlivými úpravami, vo väčšine orientovaných na protipovodňovú ochranu, avšak častokrát výhradne zameraných na zvýšenie kapacity koryta, prehĺbenie toku, napriamenie a odrezávanie meandrov bohatých na biodiverzitu a geomorfologickú členitosť (Štefunková et al. 2016). Bohatá pestrosť dna, tak potrebná pre riečnu faunu a flóru, a tým aj pre samočistiacu schopnosť toku, bola často vymenená, najmä v našom regióne, za betónové panely alebo kamennú dlažbu. Betónové panely zamedzujú variabilnej geomorfológii koryta, tým zanikajú úkryty pre ryby a voda sa rýchlejšie zohrieva. Za hrubé a necitlivé úpravy korýt sú zodpovedné najmä prvotné pokusy o vodný manažment v priebehu minulých storočí, ktoré boli do značnej miery ovplyvnené antropocentrickým vnímaním sveta (Savenije et al. 2014).

Na Slovensku prebieha výskum monitorovania preferencií rýb mikrohabitatu od roku 1995 (Macura et al. 2012). Výskum je založený na podrobných ichtyologických, topografických a hydromorfologických meraniach (Stankoci et al. 2014). Pôvodná databáza výskumu obsahuje viac ako 60 úsekov podhorských a horských tokov, ktoré boli namerané a príslušne vyhodnotené. Databáza bola pomocou tohto výskumu doplnená o ďalších viac ako 30 úsekov tokov prirodzeného aj upraveného charakteru. Úseky podhorských a horských tokov boli vybrané z dôvodu, že regulácia má výraznejší vplyv na ichtyofaunu toku najmä v úsekoch vo vyšších nadmorských výškach. V rámci týchto tokov boli úseky vybrané na základe ich dostupnosti pre terénne merania.

Počiatkový výskum, považoval za nádejný bioindikátor makrozoobentos, no neskôr sa zistilo, že rybie spoločenstvá reagujú na zmeny hydromorfológie, fluktuácie teplôt a prietokov rádoovo výraznejšie. Miera úspechu revitalizácii tokov potvrdzuje, že zlepšenie členitosti hydromorfológie toku má výrazne pozitívny vplyv na zvýšenie ekologického potenciálu akvatického habitatu. Na výskum preferencií rýb pre rôzne mikrohabitaty boli porovnávané biotické a abiotické parametre tokov (abundancia rýb) (Macura et al. 2012). Biotické parametre boli v modelovaní zastúpené vo forme vhodnostných kriviek pre pstruha potočného. Vhodnostné krivky vo všeobecnosti vyjadrujú

preferencie rýb pre rôzne mikrohabitaty, pri konštantnom prietoku. Vhodnostné krivky boli použité pre abiotické faktory hĺbky, nakoľko bola zistená jeho silná väzba na prirodzené úseky tokov (Macura et al. 2012). Pri výbere vhodného bioindikátora je potrebné brať do úvahy aj vek jedincov, ktorý má významný vplyv na výber habitatu (Thomas and Bovee 1993), práve preto boli v rámci ichtyologického vstupu zahrnuté len dáta pre dospelé jedince. Na slovenské podmienky sa javí ako najvhodnejší bioindikátor pstruh potočný (*Salmo trutta m. fario*). Je tomu tak, kvôli jeho častému výskytu naprieč Slovenskom, jeho vysokej senzitivite na zmeny v hydromorfológii koryta a najvyššej korelácii vhodnostných kriviek (Štefunková et al. 2018; 2021). Všetky merania a analyzované dáta boli zozbierané počas leta, pri stresujúcom faktore minimálnych prietokov. Minimálne prietoky majú negatívny vplyv na biocenózu vodného toku, kvôli nízkemu obsahu rozpustného kyslíka a nízkej hĺbke vodného stĺpca, ktorá obmedzuje možnosti úkrytov pre rybie spoločenstvá.

Tento výskum obsahuje návrh novej metodiky na hodnotenie kvality vodného biotopu pomocou hydraulického modelovania a následnej tvorby regresnej rovnice, na základe ktorej by sa dal ekologický potenciál zistiť jednoduchšie a rýchlejšie, ako pri pôvodnom postupe. Hydraulické modelovanie sa vykonalo pomocou metodiky Instream Flow Incremental Methodology (IFIM), ktorá kombinuje hydromorfológiu, hydrauliku a bioindikáciu vo forme ichtyofauny, pstruha potočného. A na základe výsledkov sa pristúpilo k regresnej analýze na tvorbu rovnice. Súbor tokov je reprezentovaný prirodzenými a upravenými tokmi. Prirodzené úseky tokov ponúkajú riečnej biocenóze prírodnú morfológickú štruktúru členitého dna s početnými rôznorodými mikrohabitatmi, úkrytmi pre ryby a nenarušenú priechodnosť rieky pre migráciu rýb, či vodných živočíchov. Tým predstavujú prirodzené úseky referenčné podmienky pre veľmi dobrý stav povrchovej tečúcej vody. Naopak upravené, silne modifikované toky boli v minulosti značne pozmenené antropogénnymi aktivitami spoločnosti a celú paletu pozitívnych a determináčnych parametrov pre život funkčnej biocenózy toku neponúkajú (European Commission 2000).

2. Ciele dizertačnej práce

Základným cieľom dizertačnej práce je vytvorenie metodiky hodnotenia kvality tokov v súlade s Rámcovou smernicou o vode (s oficiálnym názvom Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23. októbra 2000, ktorou sa stanovuje rámec pôsobnosti pre opatrenia Spoločenstva v oblasti vodného hospodárstva). Smernica vyžaduje zaradenie tokov do kategórii podľa ich ekologického stavu. Cieľom dizertačnej práce bolo vytvoriť metodiku na hodnotenie kvality akvatického habitatu toku, ktorá by bola dostupná pre odbornú a projekčnú prax. To znamená metodiku, ktorá na základe bazálnych charakteristík toku určí kvalitu akvatického habitatu, ktorá

je reprezentovaná hodnotou Váženej využiteľnej plochy AWS. Metodika je vypracovaná pre horské a podhorské toky Slovenska.

2.1 Čiastkové ciele

1. Literárny rešerš orientovaný na hydraulické modelovanie a determinujúce faktory kvality akvatického habitatu korýt tokov
2. Práce v teréne: terénne topografické, hydrometrické merania a merania pomocou navrhovanej metódy hĺbok na horských a podhorských slovenských tokoch
3. Spracovanie už získaných ichtyologických dát a odvodených vhodnostných kriviek v predošlom výskume
4. Ohodnotenie nových terénnych meraní - hydraulické a ichtyologické charakteristiky referenčných úsekov, základným bioindikátorom je pstruh potočný
5. Modelovanie kvality akvatického habitatu na referenčných úsekoch tokov - výstup vo forme Váženej využiteľnej plochy (AWS)
6. Korelačná analýza parametrov
7. Regresná analýza parametrov - odvodenie rovnice na vyhodnotenie kvality akvatického habitatu na základe AWS
8. Verifikácia odvodenej rovnice na základe nových terénnych meraní prirodzených a upravených úsekov tokov

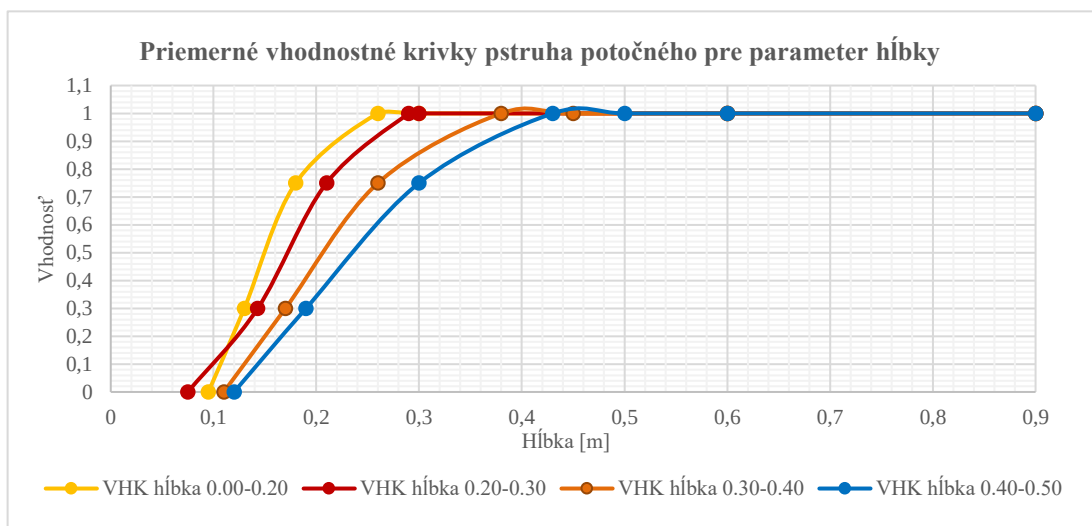
3. Metodika práce a metódy skúmania

Za účelom splnenia hlavného a čiastkových cieľov bolo, v prvom rade získanie výstupu, ktorý charakterizuje ekologický potenciál daného toku na základe hydromorfologických a biotických charakteristík toku. V tejto štúdii bol vyhodnocovaný výstup Vážená využiteľná plocha (VVP) / Area Weighted Suitability (AWS), ďalej v texte nazývanú len AWS. Získane výsledky AWS boli analyzované na základe priamych meraní na referenčných úsekoch tokov a použité ako vstup do regresnej analýzy na tvorbu regresnej rovnice. Členitá hydromorfológia toku a úkrytov pre rybie spoločenstvá je determinujúcim faktorom pre zachovanie alebo zlepšovanie biodiverzity akvatických biocenóz. Pre stanovenie vplyvu jednotlivých parametrov na kvalitu akvatického habitatu tokov bola zvolená nasledujúca metodika.

3.1 Metodika

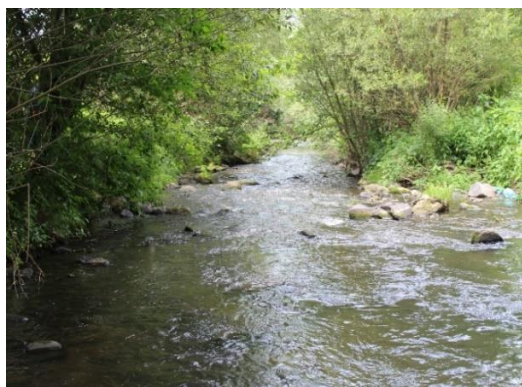
- Determinácia referenčných a upravených úsekov tokov
- Ichtyologický prieskum referenčných úsekov tokov

- Výber druhu ryby, bioindikátor kvality habitatu toku, konštrukcia vhodnostných kriviek vid' Obr. 1, generalizované vhod. krivky boli použité z predchádzajúce výskumu (Macura et al. 2018)
- Topografické a hydrometrické terénne meranie referenčných úsekov
- Terénne meranie navrhovanou metodikou – metóda hĺbok
- Modelovanie kvality akvatického habitatu pomocou metodiky IFIM v softvéroch SEFA a Hydrocheck
- Výstup v podobe Váženej využiteľnej plochy AWS
- Korelačná analýza parametrov (R softvér)
- Regresná analýza charakteristík toku a ich vplyv na kvalitu akvatického habitatu na základe korelačného dátového súboru (R softvér)
- Verifikácia regresnej rovnice pomocou testovacieho dátového súboru



Obrázok 1 Priemerné vhodnostné krivky pstruha potočného pre parameter hĺbky

Prirodzený úsek



Upravený úsek



Obrázok 2 Ilustračný obrázok z prirodzeného a upraveného úsek toku Handlovka



Obrázok 3 Mapa záujmových úsekov tokov použitých pri analýze (žlté - kalibračné dáta Tab.1, modré - testovacie prirodzené Tab.2, červené - testovacie upravené úseky tokov Tab.3) zobrazené na riečnej sieti Slovenska (QGIS)

4. Výsledky práce

Všetky získané dáta o referenčných úsekoch tokov z terénnych meraní, alebo predchádzajúcej databázy, boli využité na určenie odvodených hodnôt parametrov použitých na výpočet Váženej využiteľnej plochy AWS. Výpočet sa vykonal pomocou modelovania v softvéroch Hydrocheck a SEFA, alebo priamym odčítaním vhodnosti z vhodnostných kriviek pstruha potočného pre jednotlivé lokality. Za účelom zjednodušenia procesu ohodnotenia ekologického potenciálu tokov a získania výsledkov AWS jednoduchšie a rýchlejšie, táto práca pojednáva o tvorbe metodiky zberu dát pomocou metódy hlbok, t.j. identifikácii rybích úkrytov pomocou ciachovanej tyče a diaľkomeru, a o následnom spracovaní týchto dát v algoritme. Daný algoritmus by potom bez nutnosti rozsiahlych terénnych meraní a ďalších vstupov vedel vypočítať hodnoty AWS podstatne jednoduchšie. Zabránilo by to tak časovo náročným terénnym meraniam a zjednodušilo proces prioritizácie regulovaných tokov na ich revitalizáciu.. Pre tvorbu a overenie metódy hlbok, bolo v prvom kroku potrebné vykonať korelačnú analýzu jednotlivých vstupných parametrov, čiže potenciálnych vstupných (nezávislých) premenných do regresnej rovnice pre výpočet AWS.

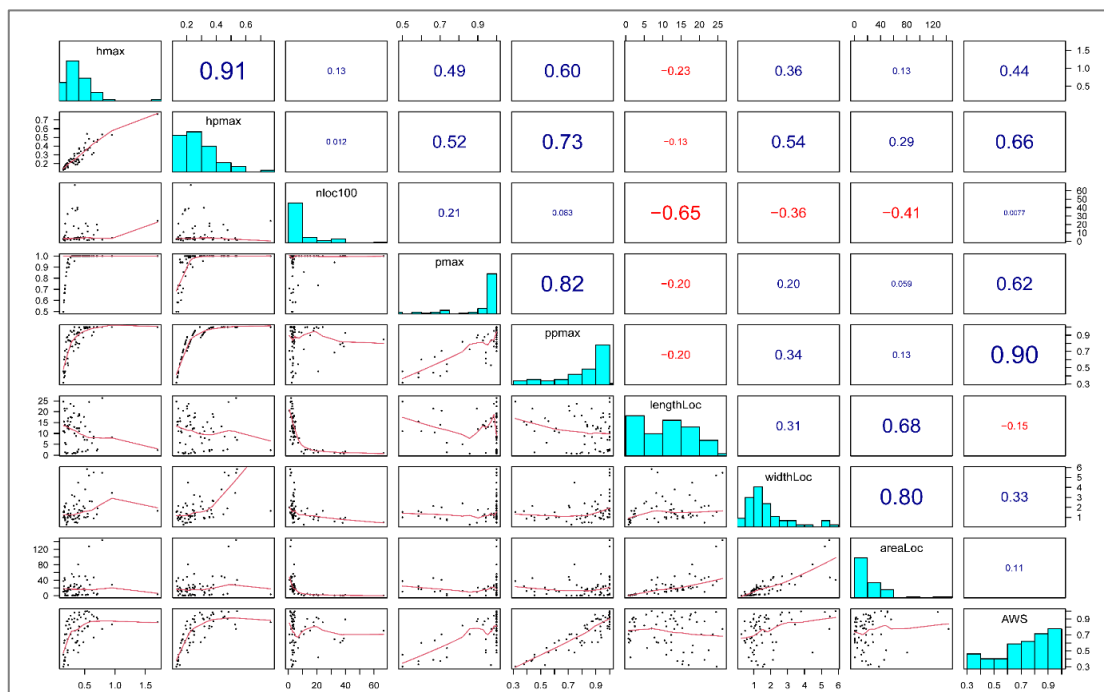
4.1 Korelačná analýza parametrov

Korelačná analýza skúma vzájomné vzťahy medzi premennými a ich vhodnosť v algoritme, vďaka ktorému sa vypočíta hodnota AWS. Na tvorbu vhodného modelu je potrebné dbať na to, aby sa do výsledného modelu nebrali ako vstupy premenné, ktoré príliš vzájomne korelujú. Ideálny stav premenných je preto vzájomná nezávislosť a čo najnižšia korelácia. Tak isto je pri korelačnej analýze premenných dôležitá samotná korelácia s výsledným AWS – čím daná premenná viac koreluje so závislou premennou AWS, tým je vhodnejšia vo výslednej rovnici. Korelácia a výsledný korelačný súčiniteľ ale nie je jediný štatistický ukazovateľ, ktoré je potrebné sledovať. Výsledný regresný model síce môže s danou premennou vykazovať vyššiu celkovú koreláciu, ale môže hodnoty napríklad systematicky nadhodnocovať. Takéto nadhodnotenie indikuje napríklad zvýšený PBIAS (percentuálna odchýlka). Bez grafického vyhodnotenia dát a ostatných štatistických parametrov modelu, nie je možné sa spoliehať len na korelačný súčiniteľ (Revell et al. 2018). Selekcia sa v tejto štúdii vykonala pomocou korelačnej analýzy, vďaka ktorej vstúpia do regresnej analýzy iba tie premenné, ktoré sú najvhodnejšie. V korelačnej analýze boli dodržané nasledujúce základné pravidlá pre výber premenných: korelácia s AWS, vzájomná korelácia premenných, udržanie najvyššieho možného počtu premenných, kontrola lineárnych/nelineárnych vzťahov s AWS.

Do korelačnej analýzy boli zaradené nasledujúce premenné:

$h_{\max}$	maximálna hĺbka úseku toku
$h_{p\max}$	priemerná maximálna hĺbka v úseku
n_{loc100}	počet úkrytov na 100m dĺžky úseku
$P_{\max}$	vhodnosť odčítaná z vhodnostnej krivky pre hĺbku $h_{\max}$
$P_{p\max}$	vhodnosť odčítaná z vhodnostnej krivky pre hĺbku $h_{p\max}$
$length_{Loc}$	priemerná dĺžka lokality (úkrytu)
$width_{Loc}$	priemerná šírka lokality (úkrytu)
$area_{Loc}$	plocha lokality na 1 meter
AWS	AWS hodnota váženej využiteľnej plochy AWS (VVP) v rámci referenčného úseku. Táto hodnota reprezentuje kvalitu akvatického habitatu.

Vzájomný vzťah premenných na kvalitu akvatického habitatu, ktorá je reprezentovaná výslednou hodnotou AWS je znázornený v korelačnej matici na 2. Korelačná matica sa číta nasledovne: na diagonále sa nachádzajú modré histogramy jednotlivých premenných, ktorých vzájomné vzťahy skúmame. Napravo od tejto diagonály modrých diagramov, sú hodnoty Pearsonovho korelačného súčiniteľa. Modrým písmom je vyznačená priama a červeným nepriama korelačná závislosť. Pre rýchlu orientáciu je veľkosť korelácie vyjadrená aj veľkosťou písma. Naľavo pod diagonálou sú informatívne uvedené bodové grafy spolu s nelineárnou krivkou ich závislosti. Tieto grafy vyjadrujú vzájomné vzťahy premenných a ich závislosť, môžu tiež pomôcť indikovať spomínanú nelineárnu závislosť.



Obrázok 4 Korelačná matica zachytávajúca vzťahy medzi premennými mikrohabitatov a priemernou hodnotou plochy váženej využiteľnej plochy AWS pre databázu všetkých úsekov tokov 1-65 (kalibračné aj testovacie dáta)

Ideálna nezávislá premenná má mať silnú koreláciu s výsledným AWS a slabú koreláciu medzi jednotlivými premennými. Z korelačnej matice je zrejmé, že niektoré nezávislé premenné medzi

sebou silne korelujú. Nie je vhodné, aby sa tieto premenné spolu vyskytovali vo výslednej rovnici, nakoľko sa tým naruša stabilita regresného vzťahu. Taktiež nie je vhodné použitie premennej, ktorá má s AWS slabú koreláciu, ako je napríklad n_{100m} ($\rho = -0,17$). Korelácia je tým menšia, čím je menšia absolútna hodnota korelačného súčiniteľa. Najvyššiu koreláciu s AWS má premenná P_{pmax} ($\rho = 0,9$) a h_{pmax} ($\rho = 0,72$). Avšak kvôli ich vysokej vzájomnej korelácii bola vyradená premenná h_{pmax} , ktorá mala slabší korelačný koeficient s AWS. Na základe korelačnej matice na Obr. 4 boli preto **vylúčené** premenné **h_{max} , h_{pmax} , p_{max} , $area_{Loc}$ a n_{100m}** . Do ďalšieho hľadania regresného vzťahu **postúpili** premenné: **P_{pmax} , $length_{Loc}$, a $width_{Loc}$** . Zo vzájomných vzťahov vyjadrených v bodových grafoch premenných s výslednou hodnotou AWS sa dá odvodiť a následne hľadať lineárna, alebo nelineárna funkcia pomocou regresnej analýzy.

5. Regresná analýza

Regresná analýza bola v tejto štúdii použitá za účelom hľadania ideálneho vzťahu reprezentujúceho výsledné AWS na základe predmetných premenných za účelom zjednodušenia určenia AWS. Hlavnou úlohou regresnej analýzy je preveriť a vyjadriť vzájomné vzťahy medzi jednotlivými premennými. Regresia znamená hľadanie matematickej funkcie, nazývanej regresná funkcia, alebo regresný model, ktorý čo najlepšie popisuje priebeh závislosti medzi závislou a nezávislými premennými. Podľa počtu neznámych delíme regresnú analýzu na jednoduchú a viacnásobnú. Jednoduchá regresná analýza na základe jednej nezávislej premennej vypočítava závislú premennú, v tomto prípade výsledné AWS, ktoré závisí od danej nezávislej premennej. Predmetná závislosť sa dá jednoducho graficky vyjadriť v spomínanom bodovom grafe vytvoreného z bodov (x_i, y_i) , pre $i=1...n$, kde x_i a y_i sú hodnoty skúmanej nezávislej premennej a závislej premennej AWS. Na základe tohoto grafu bodového vyobrazenia je následne možné určiť o aký tip závislosti sa jedná. Typ vzájomnej závislosti môže byť lineárny, kvadratický, exponenciálny a.i.. Viacnásobná regresná analýza predstavuje hľadanie vzájomnej matematickej závislosti medzi závislou premennou AWS a viacerými nezávislými premennými naraz (Freund et al. 2006). V tejto regresnej analýze je AWS závislá premenná a ostatné premenné sú nezávislé, potenciálne určené pre výpočet závislej premennej.

5.1 Lineárna regresia Model LASSO

Lineárna regresia je jednou zo základných techník štatistiky a strojového učenia, pomocou ktorej sa dá vyhľadať vzťah medzi závislými a nezávislými premennými v danom súbore údajov. V takejto regresii sa používa stratová alebo optimalizačná funkcia zvyškový súčet štvorcov (RSS) na definovanie chyby modelu. Vytvorený algoritmus sa následne využije na nájdenie optimálnej

funkcie prechodom cez niekoľko iterácii. Ako lineárna metóda bola použitá regulovaná regresia pomocou modelu Least Absolute Selection And Shrinkage Operator LASSO (Operátor najmenšieho absolútneho výberu a zmršťovania). Podmienkou lineárnej regresie je nezávislosť premenných, ktorá bola preverená predchádzajúcou korelačnou analýzou. Regularizované algoritmy, jednak hľadajú riešenie regresnej závislosti, ale snažia sa riešenie „regularizovať“ tak, aby malo isté vlastnosti. Pri použití modelu LASSO, sa regularizácia vykonáva tak, aby sa čo najviac koeficientov premenných vynulovalo. Týmto spôsobom sa model následne ľahšie interpretuje (Melkumova and Shatskikh 2017). Vznikne tak jednoduchší model s menej premennými, v ktorom sa eliminuje multikolinearita a ktorý zvyčajne lepšie generalizuje. Algoritmus hľadá nadbytočné vysvetľujúce premenné a ich koeficienty nastaví na nulu (Tibshirani 1996). Metóda LASSO využíva za týmto účelom parameter λ , ktorý sa zisťuje v procese ladenia modelu. Jeho hodnotu nie je možné určiť dopredu a nie je ani stanovená tabuľková hodnota, zisťuje sa len v závislosti na riešený problém (Melkumova and Shatskikh 2017). Keď sa λ rovná hodnote 0, hodnotová funkcia LASSO sa rovná RSS. Ak sa hodnota λ zvyšuje, zvyšuje sa aj rozptyl aj odchýlka, sklon trendovej spojnice sa zníži a línia bude horizontálna. Keď sa tento člen zvyšuje, model sa stáva menej citlivým na nezávislé premenné. Z toho vyplýva, že najvyhovujúcejšia hodnota λ sa musí zvoliť iteračným postupom, tak aby model vykazoval čo najnižšiu chybu (Abdulhafedh 2022). Za účelom zistenia λ , aby rovnica vierohodne reflektovala aj iné než kalibračné údaje vhodnosti úkrytov pre ryby, sa dáta rozdelili na dva súbory dát - **kalibračné** a **testovacie**. Kalibračný súbor obsahuje 46 úsekov tokov z predchádzajúceho výskumu generalizácie vhodnostných kriviek pstruha potočného z horských a podhorských tokov na Slovensku (Macura et al. 2018). Súbor dát obsahuje geodeticky namerané dáta a hydraulicky namodelované prúdenie IFIM metodológiou a s výsledným AWS. Dataset bol navyše zredukovaný o 40% vhodnosti od nulovej hodnoty krivky na zvyšovanie podmienky definície rybích úkrytov. Redukcia výslednej AWS bola prevedená na jednotlivé úkryty v rámci úsekov, ale aj na výsledné AWS toku. Tak sa z pôvodného súboru 58 tokov oddelenili nielen jednotlivé úkryty v rámci úsekov pod túto hraničnú hodnotu AWS, ale aj celé úseky tokov, ktoré ju nedosahovali. Z pôvodných 58 úsekov tokov tak vznikol kalibračný súbor dát 46 úsekov. Na kalibračnom súbore bol vytvorený model, v pozadí ktorého je určenie parametra λ . Za týmto účelom sa taktiež vyselektovali najvhodnejšie premenné a vo výslednej rovnici sa ku nim určili pridružené koeficienty s interceptom (koeficientu bez premennej).

Na základe vstupného datasetu AWS sa pomocou metódy LASSO vytvoril lineárny model vyjadrený pomocou nasledujúcej rovnice.

5.2 Výsledky regresie

$$AWS_{LASSO} = k_1 * P_{p,max} + k_2 * width_{Loc} + i \quad (1)$$

Kde:

$P_{p,max}$ vhodnosť odčítaná z krivky pre hodnotu h_{pmax}
 $width_{Loc}$ šírka lokality
 k_i koeficienty
 i intercept

Výsledná hodnota určuje AWS v m^2/m^2 pre sledovaný bioindikátor (pstruh potočný), ktorá pripadá na jeden meter štvorcový plochy hladiny sledovaného referenčného úseku toku.

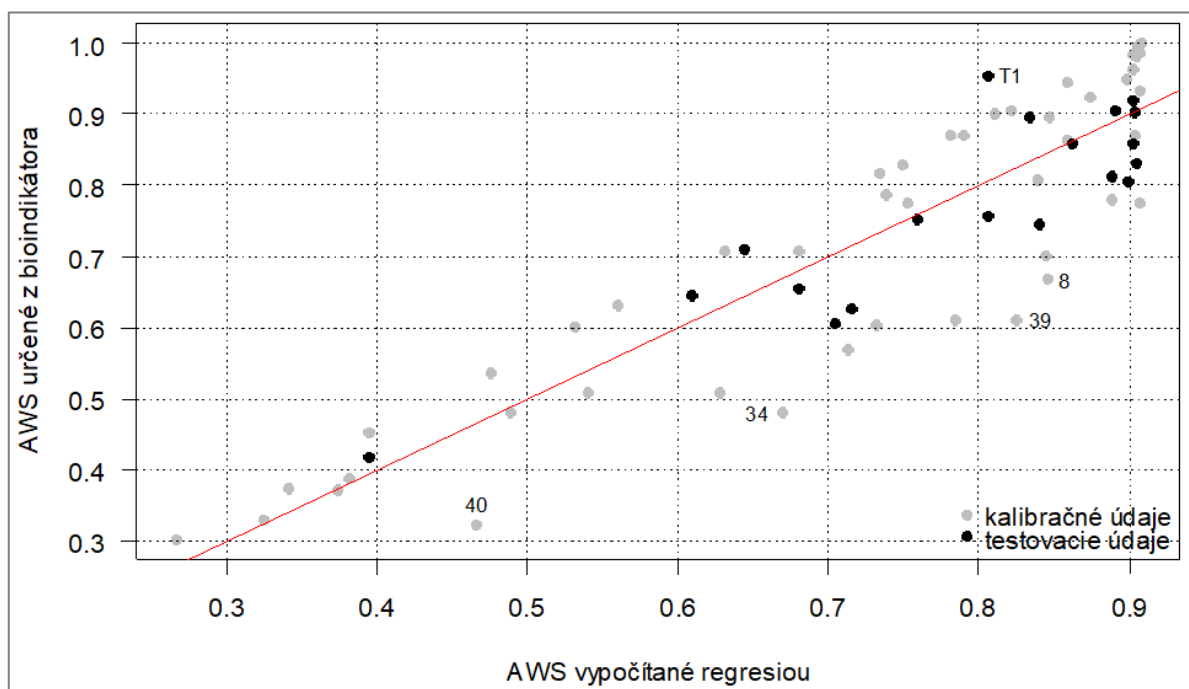
Tabuľka 1 Ukazovatele presnosti pre lineárnu a nelineárnu regresnú metódu

Ukazovateľ	skratka	LASSO
priemerná odchýlka	ME	0,015
stredná absolútna odchýlka	MAE	0,054
stredná kvadratická odchýlka	MSE	0,004
odmocnina z priemernej kvadratickej odchýlky	RMSE	0,066
normalizované RMSE	NRMSE %	48,700
priemerná percentuálna odchýlka	PBIAS %	1,900
korelačný koeficient	r	0,880
koeficient determinácie	R ²	0,774

Na základe výsledkov je možné dosadiť do rovnice koeficienty a intercept. Rovnica na výpočet AWS bude mať tento tvar:

$$AWS_{LASSO} = 0,931576 * p_{p,max} + 0,001169 * width_{Loc} - 0,030700 \quad (2)$$

Presnosť modelu je vyobrazená na Obrázku 5, kde je uvedené porovnanie dát pôvodného AWS (vstupu do modelu) a AWS_{LASSO} vypočítané regresným vzťahom získaného pomocou modelu LASSO. Pre konkrétne výsledky jednotlivých meraní dátových súborov: korelačný súbor, testovací prirodzený a testovací upravený súbor dát, viď Príloha C Výsledky AWS.

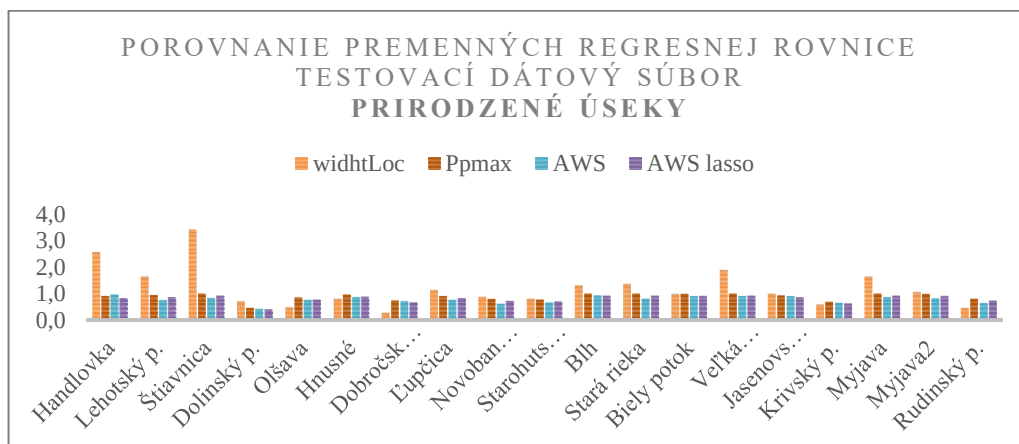


Obrázok 5 Porovnanie presnosti v bodovom grafe výpočtu medzi pôvodným AWS a $\text{AWS}_{\text{LASSO}}$ vypočítaným regresným lineárnym vzťahom pomocou modelu LASSO

6. Diskusia

Výskum bol vykonaný zameraný na vyjadrenie miery vhodnosti akvatického habitatu pomocou regresnej rovnice. Miera vhodnosti je reprezentovaná AWS. Výskum bol vykonaný na vyjadrenie tejto hodnoty pomocou regresnej rovnice. V prvom kroku bolo potrebné vykonať korelačnú analýzu parametrov, na základe ktorej bolo možné vyradiť nevhodné parametre, ktoré neskôr nevstúpili do regresnej analýzy, pretože by ju destabilizovali. Vyradené parametre boli n100m kvôli najnižšej korelácii s AWS a hmax, hpmax, Pmax, kvôli ich nevyhovujúcej vzájomnej korelácii. Výsledné dáta z analýzy boli vstupom do modelu LASSO, ktorý ďalej vyhodnotil ich významnosť v regresnej rovnici. Podmienkou lineárnej regresie je nezávislosť premenných, ktorá bola preverená predchádzajúcou korelačnou analýzou.

Zvyšné premenné postúpili do regresie pomocou modelu LASSO. Vytvorený algoritmus sa využil na nájdenie optimálnej funkcie prechodom cez niekoľko iterácií. Vytvoril sa tak jednoduchší model s menej premennými, s eliminovanou multikolinearitou a s lepšou generalizáciou. Samotná rovnica obsahuje vo finále premenné P_{pmax} a $\text{width}_{\text{Loc}}$. Pričom P_{pmax} preukázala vysokú významnosť a $\text{width}_{\text{Loc}}$ nižšiu, no rovnica obsahujúca aj $\text{width}_{\text{Loc}}$ vykazovala mierne zlepšenie parametru PBIAS. Z porovnania výsledkov AWS so skutočným stavom úsekov tokov na základe terénnych meraní, vyplýva opodstatnenosť parametru $\text{width}_{\text{Loc}}$. Na nasledujúcom grafe je vyobrazené porovnanie trendu premenných s výsledkami AWS a $\text{AWS}_{\text{LASSO}}$ pre jednotlivé toky testovacieho dátového súboru prirodzených tokov (Obr. 6).



Obrázok 6 Porovnanie premenných regresnej rovnice testovací dátový súbor – prirodzené úseky (19)

Regresná rovnica pre výpočet AWSLASSO je citlivá hlavne na parameter hĺbky. Tento fakt sa zdá byť logický, nakoľko úpravou toku sa mení hydromorfológia koryta a hlavne spomínaná hĺbka toku. Na Obr.44-46 je viditeľná veľmi dobrá zhoda medzi AWS a AWSLASSO, to dokumentuje, že regresná rovnica poskytuje významne korelujúce výsledky ako AWS získane modelom. Rovnica je citlivá hlavne na parameter hĺbky. Aj preto pri jeho použití na výpočet hodnoty AWS pri upravených tokov bola preukázaná jeho nižšia hodnota, reflektujúca horší stav ekologického potenciálu upraveného toku. Rovnica v takom prípade javí taktiež významnú koreláciu (viď Príloha C), napriek tomu, že pri trénovaní modelu (kalibrácii) neboli použité žiadne regulované toky. Potenciál ďalšieho výskumu môže ležať v rozšírenom overení modelu aj na ďalšie upravené toky, nakoľko databáza terénnych meraní regulovaných úsekov obsahuje doposiaľ len 12 úsekov.

6.1 Návrh metodiky - postup pri hodnotení kvality akvatického habitatu regresnou rovnicou

Pri hodnotení kvality akvatického habitatu s využitím regresnej rovnice (Rovnica 2) sa postupuje nasledovne. V prvom kroku je potrebné vykonať terénne meranie na úseku toku a zamerať parametre úkrytov pre regresnú rovnicu, to znamená max. hĺbku a šírku lokality. Meranie sa prevádza dĺžkovými meradlami – pásma / diaľkomer, ciachovaná tyč. Na referenčnom úseku toku zameriame všetky mikrohabitaty s väčšími hĺbkami, to znamená lokality úseku v oblasti s priaznivým mikrohabitatom. Do predpripraveného hárku zaznamenáme nasledujúce hodnoty: začiatok a koniec úseku, šírka, hĺbka a vzdialenosť jednotlivých úkrytov. Pre výber vhodnostnej krivky sa postupuje nasledovne: v prvom kroku sa odhadne krivka zo 4. kategórii (0-20cm, 20-30cm, 30-40cm, 40-50cm), (Vid' Obr. 5. Pripomíname, že krivka je zovšeobecnená pre horské

toky Slovenska, preto sa tieto krivky môžu používať na všetky horské toky Karpatskej sústavy). Ďalej sa odčíta miera vhodnosti 0,4 a jej prislúchajúca hĺbka. Hĺbka sa porovná s ostatnými hĺbkami, či spadá do prislúchajúcej kategórie vhodnosti. Ak hĺbky nekorešpondujú s intervalom platnosti vybranej krivky, zvolí sa ďalšia krivka, ktorej interval platnosti je v súlade s nameranými hĺbkami. Na základe vybranej krivky sa uvažujú všetky namerané mikrohabitaty, ktorých hĺbka je vyššia ako hĺbka, ktorá vyplýva z vybranej krivky pri miere vhodnosti 0,4, merania s nižšou hĺbkou sa neuvažujú – odstránia sa. Týmto sa vykoná selekcia úkrytov nad požadovaný limit vhodnosti 0,4. Z vyselektovaných úkrytov sa určí maximálna priemerná hĺbka celého úseku toku h_{pmax} . Táto hodnota predstavuje aritmetický priemer všetkých maximálnych hĺbok v úseku. Následne sa pomocou h_{pmax} odčíta z vybranej vhodnostnej krivky hodnota vhodnosti P_{pmax} . Táto hodnota predstavuje mieru vhodnosti pre bioindikátor v rámci celého úseku toku. Tým máme k dispozícii iba parametre regresnej rovnice $width_{Loc}$ a P_{pmax} . Následne sa pomocou regresnej rovnice (5) určí hodnota AWS.

7. Záver

Z výsledkov je zrejmé, že prirodzené úseky ponúkajú vyššiu mieru vhodnosti pre bioindikátor, v tomto prípade pstruha potočného. Naopak regulované úseky tokov ponúkajú výrazne nižšie hodnoty ukazovateľa AWS, pokiaľ nejde o samovoľnú alebo cielenú renaturalizáciu. Cieľom výskumu bolo vytvorenie metódy na stanovenie miery ovplyvnenia akvatického habitatu toku na Slovensku pomocou bioindikácie, pstruha potočného. Metóda, ktorú sme nazvali metódou hĺbok vychádza z princípov metodiky IFIM, konkrétnejšie z modelu SEFA. Metóda využíva iba údaje morfológických charakteristík toku, ktoré sa získajú v rámci terénneho prieskumu jednoduchým vybavením a to ciachovanou tyčou na meranie hĺbky úkrytov v toku a pásmom alebo digitálnym diaľkomerom na meranie staničenia, vzdialenosti a základných rozmerov úseku toku. Takýto postup je výrazne jednoduchší ako určenie AWS modelom SEFA. Model SEFA vyžaduje geodetické zameranie topografie koryta pre hydraulické modelovanie. Biotické parametre sú stanovené z ichtyologického prieskumu pre pstruha potočného. Získanie týchto údajov je náročné a spolu s modelovaním v programe SEFA je postup príliš náročný pre vodohospodársku prax. Metóda hĺbok (Rovnica 6) je podstatne jednoduchšia a pre prax dostupná. Zo štatistického testovania rovnice vyplýva, že metóda poskytuje významne podobné výsledky ako hydraulické modelovanie v SEFA. Na základe navrhutej metodiky je teda možné ohodnotiť ekologický potenciál horských a podhorských tokov na Slovensku.

Summary

It is clear from the results that the natural reaches offer a higher degree of habitat suitability for a bioindicator, in this case brown trout. On the contrary, regulated stream reaches offer significantly lower values of the AWS indicator, unless it is a spontaneous or targeted renaturalization. The aim of the research was to create a methodology for determining the degree of influence of the aquatic habitat of mountain and piedmont streams in Slovakia using bioindication, brown trout. The method, which we called the Depth Method, is based on the principles of the IFIM methodology, more specifically in the SEFA model. The method of this research is based on the collection of easily accessible data. Such data are only basic morphological characteristics measurable in the field survey with simple equipment. Equipment is a calibrated rod for measuring the depth of shelters and tape or a digital rangefinder for measuring station, distance, depth of shelters and basic dimensions of the reaches. Such a procedure is significantly simpler than determining the AWS by the SEFA model. The SEFA model requires geodetic survey of the riverbed topography for hydraulic modelling using the IFIM methodology. Biotic parameters are determined from an ichthyological survey for brown trout. Obtaining this data is difficult and, together with modelling in the SEFA program, the procedure is too demanding for practical use. The methodology of depths and the regression equation (Equation 2) is much simpler and easy to use in practice. Statistical testing of the regression equation shows that the method provides significantly similar results to hydraulic modelling in the SEFA. Based on the proposed methodology, it is therefore possible to assess the ecological potential of the mountain and piedmont streams in Slovakia.

Zoznam použitej literatúry

ABDULHAFEDH, Azad, 2022. Comparison between Common Statistical Modeling Techniques Used in Research, Including: Discriminant Analysis vs Logistic Regression, Ridge Regression vs LASSO, and Decision Tree vs Random Forest. *Open Access Library Journal* [online]. 2022, vol. 9, no. 2, pp. 1–19 [accessed. 05/04/2022]. ISSN 2333-9721. Dostupné na: doi:10.4236/OALIB.1108414

ANSARI, Sam and Ali Bou NASSIF, 2022. A Comprehensive Study of Regression Analysis and the Existing Techniques [online]. 2022, pp. 1–10 [accessed. 05/04/2022]. Dostupné na: doi:10.1109/ASET53988.2022.9734973

BRACHET, Christophe, Julie MAGNIER, Daniel VALENSUELA, Katell PETIT, Benoît FRIBOURG-BLANC, Nicole BERNEX, Michael SCOULLOS and Dan TARLOCK, 2015. *the*

Handbook for Management and Restoration of Aquatic Ecosystems [online]. ISBN 1877265519.

Dostupné na: doi:10.1176/appi.ps.201500521

CARLSON, Andrew K., William W. TAYLOR, Kelsey M. SCHLEE, Troy G. ZORN and Dana M. INFANTE, 2017. Projected impacts of climate change on stream salmonids with implications for resilience-based management. *Ecology of Freshwater Fish* [online]. 2017, vol. 26, no. 2, pp. 190–204. ISSN 09066691. Dostupné na: doi:10.1111/eff.12267

EUROPEAN COMMISSION, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. *Official Journal of the European Communities*. 2000, no. September 1996.

FREUND, Rudolf J., William J. WILSON and Ping SA, 2006. Regression Analysis. Statistical Modeling of a Response Variable. 2006, pp. 56–76.

GUO, Qin, Xiongjun LIU, Xuefu AO, Jiajun QIN, Xiaoping WU and Shan OUYANG, 2018. Fish diversity in the middle and lower reaches of the Ganjiang River of China: Threats and conservation. *PLOS ONE* [online]. 2018, vol. 13, no. 11, p. e0205116. ISSN 1932-6203. Dostupné na: doi:10.1371/journal.pone.0205116

MACURA, V., A. ŠKRINÁR, K. KALUZ, M. JALČOVÍKOVÁ and M. ŠKROVINOVÁ, 2012. Influence Of The Morphological And Hydraulic Characteristics Of Mountain Streams On Fish Habitat Suitability Curves. *River Research and Applications* [online]. 2012, vol. 28, no. 8, pp. 1161–1178 [accessed. 05/23/2019]. ISSN 15351459. Dostupné na: doi:10.1002/rra.1518

MACURA, Viliam, Zuzana S. ŠTEFUNKOVÁ, Martina MAJOROŠOVÁ, Peter HALAJ and Andrej ŠKRINÁR, 2018. Influence of discharge on fish habitat suitability curves in mountain watercourses in IFIM methodology. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* [online]. 2018, vol. 66, no. 1, pp. 12–22. ISSN 13384333. Dostupné na: doi:10.1515/johh-2017-0044

MADDOCK, Ian, Atle HARBY, Paul KEMP and Paul WOOD, 2013. *Ecohydraulics: An Integrated Approach* [online]. ISBN 9781118526576. Dostupné na: doi:10.1002/9781118526576

MELKUMOVA, L. E. and S. Ya SHATSKIKH, 2017. Comparing Ridge and LASSO estimators for data analysis. *Procedia Engineering* [online]. 2017, vol. 201, pp. 746–755 [accessed. 05/04/2022]. ISSN 18777058. Dostupné na: doi:10.1016/J.PROENG.2017.09.615

MUÑOZ-MAS, R., Ch. PAPADAKI, F. MARTÍNEZ-CAPEL, S. ZOGARIS, L. NTOANIDIS and E. DIMITRIOU, 2016. Generalized additive and fuzzy models in environmental flow assessment: A comparison employing the West Balkan trout (*Salmo farioides* ; Karaman, 1938). *Ecological Engineering* [online]. 2016, vol. 91, pp. 365–377. ISSN 09258574. Dostupné na: doi:10.1016/j.ecoleng.2016.03.009

REVELL, Liam J., Klaus SCHLIEP, Eugenio VALDERRAMA and James E. RICHARDSON, 2018. Graphs in phylogenetic comparative analysis: Anscombe's quartet revisited. *Methods in*

Ecology and Evolution [online]. 2018, vol. 9, no. 10, pp. 2145–2154 [accessed. 05/06/2022]. ISSN 2041-210X. Dostupné na: doi:10.1111/2041-210X.13067

REVENGA, C., J. BRUNNER, N. HENNINGER, K. KASSEM and R. PAYNE, 2000. Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems. *Pilot analysis of global ecosystems: freshwater systems*. 2000, vol. 2001305512, no. 1569734607.

SAVENIJE, H. H. G., A. Y. HOEKSTRA and P. VAN DER ZAAG, 2014. Evolving water science in the Anthropocene. *Hydrology and Earth System Sciences* [online]. 2014, vol. 18, no. 1, pp. 319–332. ISSN 1607-7938. Dostupné na: doi:10.5194/hess-18-319-2014

STANKOCI, Ivan, Jana JARIABKOVÁ and Viliam MACURA, 2014. Evaluation of the Quality of an Aquatic Habitat on the Drietomica River. *Slovak Journal of Civil Engineering* [online]. 2014, vol. 22, no. 1, pp. 43–48 [accessed. 02/18/2019]. ISSN 1338-3973. Dostupné na: doi:10.2478/sjce-2014-0006

ŠTEFUNKOVÁ, Z., I. BELČÁKOVÁ, M. MAJOROŠOVÁ, A. ŠKRINÁR, B. VASEKOVÁ, M. NERUDA and V. MACURA, 2018. The Impact of The Morphology of Mountain Watercourses on The Habitat Preferences Indicated by Ichtyofauna Using the IFIM Methodology. *Applied Ecology and Environmental Research* [online]. 2018, vol. 16, no. 5, pp. 5893–5907 [accessed. 02/19/2019]. ISSN 15891623. Dostupné na: doi:10.15666/aer/1605_58935907

ŠTEFUNKOVÁ, Zuzana, Viliam MACURA, Andrej ŠKRINÁR, Peter IVAN, Milan ČISTÝ, Martina MAJOROŠOVÁ and Viktória TYUKOSOVÁ, 2021. Relationship between Morphological Characteristics and Quality of Aquatic Habitat in Mountain Streams of Slovakia. *Water* 2021, Vol. 13, Page 142 [online]. 2021, vol. 13, no. 2, p. 142 [accessed. 07/11/2021]. Dostupné na: doi:10.3390/W13020142

ŠTEFUNKOVÁ, Zuzana, Andrej ŠKRINÁR, Ingrid BELČÁKOVÁ, Peter HALAJ and Peter IVAN, 2016. Determination of the Qualitative Features of Watercourses for Restoration in the Urban Environment. *Procedia Engineering* [online]. 2016, vol. 161, pp. 23–29 [accessed. 05/23/2019]. ISSN 18777058. Dostupné na: doi:10.1016/j.proeng.2016.08.492

THOMAS, Jeff A. and Ken D. BOVEE, 1993. Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria. *Regulated Rivers: Research & Management* [online]. 1993, vol. 8, no. 3, pp. 285–294. ISSN 08869375. Dostupné na: doi:10.1002/rrr.3450080307

TIBSHIRANI, Robert, 1996. Regression Shrinkage and Selection Via the Lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* [online]. 1996, vol. 58, no. 1, pp. 267–288 [accessed. 04/27/2022]. ISSN 2517-6161. Dostupné na: doi:10.1111/J.2517-6161.1996.TB02080.X