



CHARLES UNIVERSITY
Faculty of Science

Přírodovědecká fakulta UK



Ústav výzkumu globální
změny AV ČR



Ústav pro hydrodynamiku
AV ČR

Project TAČR SS05010124

**Hodnocení vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii
a klima v Krkonošském národním parku s využitím dálkového průzkumu Země
a hydrologického modelování**

Dokument prokazující dosažení výsledku

Číslo výsledku dle ISTA: **SS05010124-V21**

Název výsledku: **Datová sada biochemických vlastností listoví a struktury lesních porostů**

Druh výstupu/výsledku: **O-ostatní**

Termín dosažení výsledku: **12/2023**

Autoři výsledku (jméno/organizace): **Zuzana Lhotáková, Jana Albrechtová, Eva Neuwirthová, Miroslav Barták (UK), Petr Lukeš, Lucie Homolová (ÚVGZ)**

Cíl/účel vytváření výsledku

Hodnocení aktuálního zdravotního stavu lesních porostů v zájmových lokalitách – ověření map zdravotního stavu lesních porostů získaných z leteckých hyperspektrálních dat (součást řešení projektu v rámci WP2 – Analýza aktuálního zdravotního stavu lesních porostů s využitím technologií DPZ

Stručný popis postupu tvorby výsledku (vstupní data, použité metody)

V termínu 16-17. 5. 2022 proběhl v zájmové oblasti KRNP, pro které jsou pořizovány UAV, letecká a satelitní data za asistence provozního inspektora KRNP Ing. Rejzka výběr výzkumných ploch v lesních porostech vystavených různým stresovým faktorům tak, aby pokrýval dostupný gradient

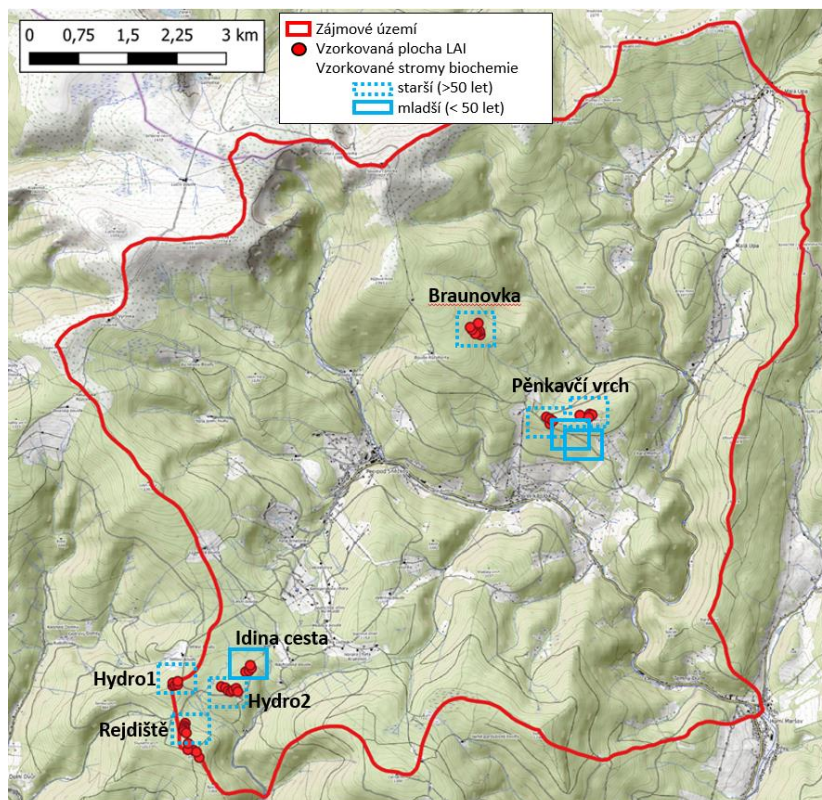
ve zdravotním stavu. Celkem bylo vybráno 9 výzkumných ploch a označeno 92 stromů starších 40 let.

Ve dnech 19. až 21. 7. 2022 proběhla terénní kampaň, která cílila na sběr dat, které by popisovaly strukturu lesních porostů a index listové plochy (LAI z angl. leaf area index), ve stejném termínu byly bezeškodnou horolezeckou technikou vzorkovány vybrané stromy (72 jedinců starších 40 let a 10 jedinců mladších, Obrázek 1, Tabulka 1) za účelem biochemické analýzy fotosyntetických pigmentů v jehlicích. U vzorkovaných stromů starších než 40 let byl na základě defoliace a přítomnosti barevných změn jehlic stanoven stupeň poškození stromu.

Jehlice 1., 2. a 4. ročníku byly odebrány z osluněných větví celkem 81 stromů tak, aby reprezentovaly porosty v části povodí Horní Úpy a Horní Čisté. Do 24 hodin byly vzorky zpracovány v laboratoři PŘF UK, zjištěna čerstvá hmotnost, projekční plocha jehlic, byly odebrány vzorky pro spektrofotometrické stanovení obsahu chlorofylu. Obsah fotosyntetických pigmentů byl stanoven v dimethylformamidovém extraktu dle (Porra *et al.*, 1989; Wellburn, 1994). Obsah pigmentů, vody a sušiny v jehlicích byl vyjádřen jako hmotnost dané složky na polovinu povrchu jehlice ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Prezentace výsledku (popis, obrázky, grafy apod.)

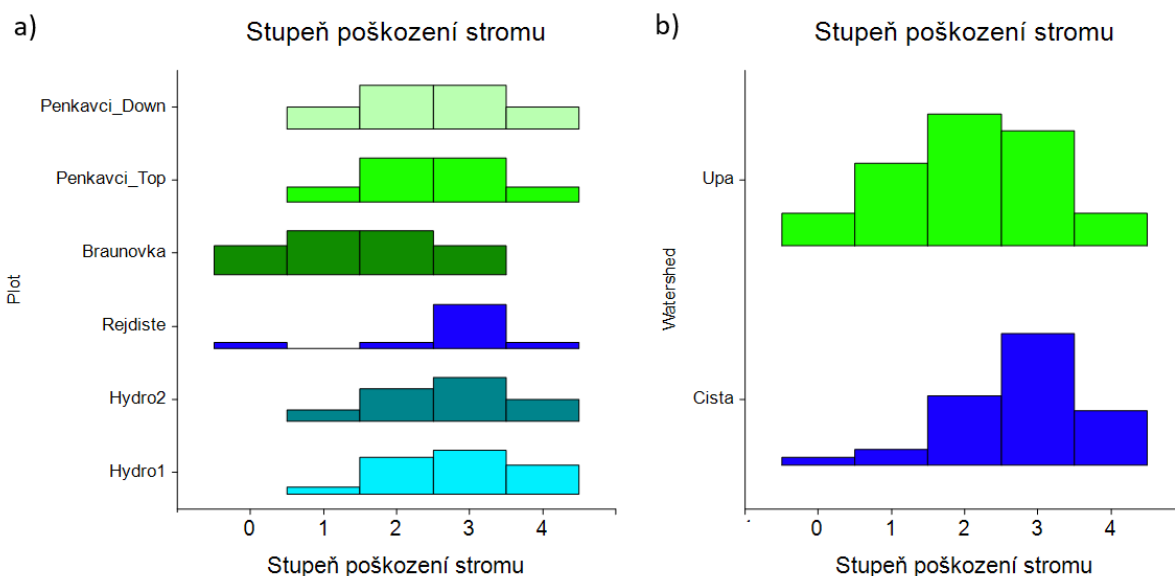
Lokalizace ploch pro výpočet strukturálních parametrů (LAI) a vzorkovaných stromů pro analýzu obsahu fotosyntetických pigmentů, vody a sušiny dokumentuje Obrázek 1. Histogramy rozložení hodnot stupně poškození stromu na úrovni jednotlivých ploch dokumentuje Obrázek 2a, na úrovni sledovaných povodí Obrázek 2b.



Obrázek 1. Poloha vzorkovaných lokalit v rámci zájemového území povodí. 44 ploch pro stanovení LAI (červené body), 9 ploch pro vzorkování stromů na biochemickou analýzu jehlic (modré rámečky).

Tabulka 1. Lokalizace a charakteristika výzkumných ploch s počtem vzorkovaných jedinců (smrk ztepilý). Na základě vzorků jehlic z těchto stromů byla vytvořena datová sada biochemických vlastností listů.

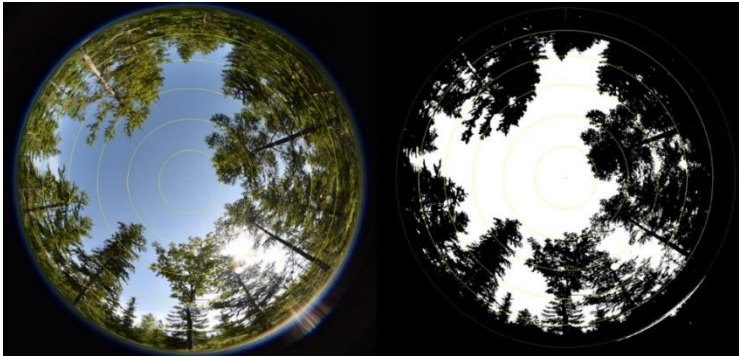
Povodí	Plocha	Souřadnice	Nadm. Výška (m n.m.)	Přibližný věk porostu	Počet vzorkovaných stromů
Úpa	Braunovka	50.7132189N, 15.7595411E	1245	200	10
Úpa	Pěnkavčí vrch-vrchol	50.7017419N, 15.7838981E	1090	150	8
Úpa	Pěnkavčí vrch-úbočí	50.7012139N, 15.7758000E	1045	60	7
Úpa	Pěnkavčí vrch-mladý1	50.7007903N, 15.7824697E	1090	30	5
Úpa	Pěnkavčí vrch-mladý2	50.7008061N, 15.7795533E	1065	30	5
Čistá	Idina cesta	50.6670189N, 15.7099331E	1045	40	5
Čistá	Hydro 1	50.6654819N, 15.6942200E	1035	120	22
Čistá	Hydro 2	50.6642769N, 15.7053981E	1040	90	10
Čistá	Rejdiště	50.6590661N, 15.6961481E	1005	80	10



Obrázek 2. Popisná statistika (histogramy rozložení hodnot) pro stupeň poškození stromu na vzorkovaných lokalitách v zájmové oblasti KRNP. a) úroveň výzkumných ploch, v zelených odstínech plochy z povodí Úpy, v modrých odstínech plochy z povodí Horní Čisté; b) úroveň povodí. Stupeň poškození 0 odpovídá nepoškozeným stromům s defoliací do 10 % bez přítomnosti barevných změn. Stupeň poškození 4 odpovídá vysoké míře defoliace (přes 80 %, případně přes 60 % v případech přítomnosti barevných změn jehlic).

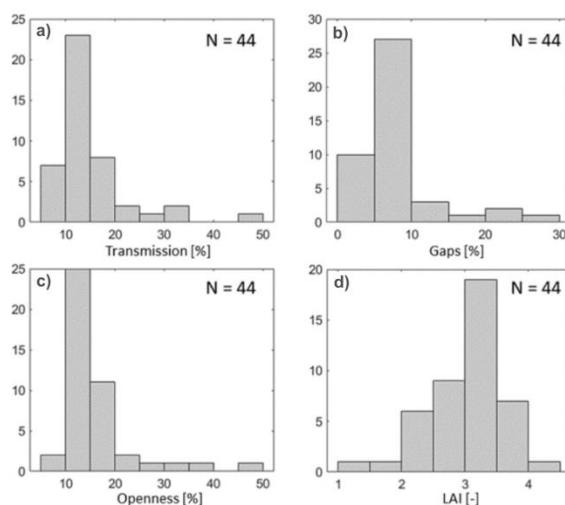
Datová sada parametrů struktury lesních porostů – LAI

Za účelem měření LAI bylo celkem navštíveno 44 ploch, pro které jsme pořídili sadu pěti digitálních hemisférických fotografií (DHP), Obrázek 1. Na každé lokalitě jsme pořídili sadu pěti hemisférických fotografií – ve středu plochy a s rozestupem 10 m na všechny čtyři světové strany. Fotografie byly pořízeny fotoaparátem Nikon D5500 s objektivem Sigma 4.5 mm typu cirkulární rybí oko v rozlišení 12 Mpix. Ukázka fotografií je zobrazena na Obrázku 2.



Obrázek 2. Ukázka fotografie pořízené objektivem typu cirkulární rybí oko pro jednu ze vzorkovaných ploch. Vlevo - RGB fotografie se soustřednými kruhy pro které se počítá statistika úhlové distribuce dřev v porostu, vpravo - binární snímek po prahování.

Snímky byly zpracovány pomocí software Hemisfer 3 (WSL, Švýcarsko, <https://www.schleppi.ch/hemisfer/>). Tento software semi-automatizovaně vypočítá hodnoty indexu listové plochy a několika dalších strukturálních parametrů porostu (průchodnost světla porostem, procentické zastoupení dřev v porostu, korunový zápoj aj.) pomocí hodnocení tzv. úhlové distribuce dřev v porostu. Pro tyto účely rozdělí analyzovaný snímek na 5 koncentrických kruhů se stejnou šířkou a provede prahování původně barevného snímku do binárních hodnot 0 (porost) a 1 (obloha). Určení prahové hodnoty mezi porostem a oblohou bylo v prvním kroku ponecháno na automatickém výpočtu (algoritmus Otsu's threshold), poté byly snímky ručně prověřeny a chybně určené prahové hodnoty byly ručně korigovány. Výsledkem je tabulková databáze, ve které máme pro každou ze 44 ploch informace o hodnotách LAI (vypočtenou pomocí několik algoritmů s různou mírou korekce shlukování vegetace a terénu), průchodu světla a procentického zastoupení dřev v porostu. Základní popisná statistika databáze je znázorněna na Obrázku 3.



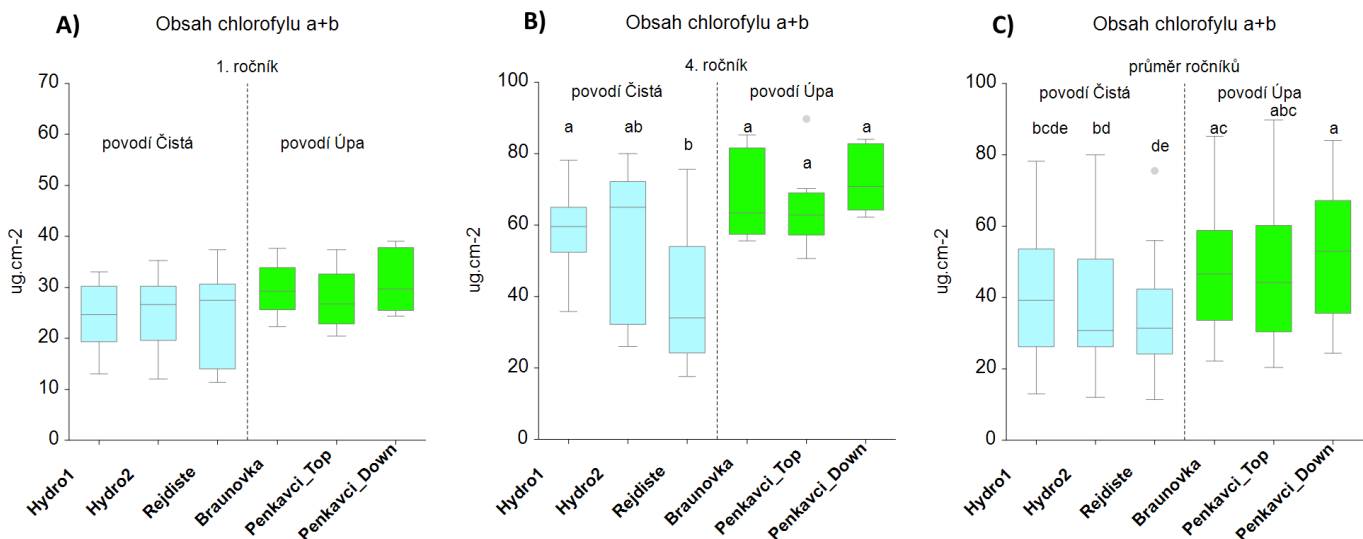
Obrázek 3. Popisná statistika (histogramy rozložení hodnot) pro čtyři parametry popisující strukturu lokalit vzorkovaných v zájmové oblasti KRNP, a) průchod světla porostem - transmission, b) procentické zastoupení dřev (obloha) v porostu - gaps, c) otevřenost porostu - openness, d) index listové plochy - LAI.

Datová sada biochemických vlastností listů

Obsah chlorofylu a, b a celkových karotenoidů byl stanoven zvlášť pro jehlice 1., 2. a 4. ročníku. První předběžné zpracování výsledků proběhlo na stanovištích s porosty staršími 50 let (Tabulka 2). Průměrný obsah chlorofylu v prvním ročníku jehlic se nelišil mezi zkoumanými plochami. Bez ohledu na rozdílný makroskopický stav jedinců měly stromy standardní obsah chlorofylu v nejmladších jehlicích. Za povšimnutí stojí vyšší rozptyl hodnot na stanovišti Rejdiště, kde byl shledán gradient v makroskopickém poškození od vyšších k nižším polohám na ploše. Obsah chlorofylu byl nejvyšší u stanoviště z úbočí Pěnkavčího vrch (Penkavci-Down, povodí Horní Úpa), nejnižší na vysoce heterogenním stanovišti Rejdiště (povodí Horní Čistá), Obrázek 4 A,B. Analýza 4. ročníků jehlic poukázala na degradační procesy ve starších jehlicích, které se projevují i barevnými změnami v koruně. Obsah chlorofylu ve starších jehlicích byl vyšší na všech plochách z povodí Úpy oproti ploše Rejdiště v povodí Horní Čisté, Obrázek 4B. Průměrné hodnoty všech biochemických parametrů (díleč výsledek zpracování databáze) jsou uvedeny v Tabulce 3 a průměrné hodnoty všech biochemických parametrů vypočítané z průměrných hodnot jednotlivých jedinců pro všechny zkoumané plochy dokumentují grafy v Obrázku 5.

p-hodnota	1. ročník	2. ročník	4. ročník	Všechny ročníky
Chlorofyl a+b	0.09857	0.00187	0.00006	0.001774
Karotenoidy	0.01584	0.00357	0.00003	0.003977
Chlo:Kar	0.77049	0.55520	0.03350	0.166481
Obsah sušiny	0.72487	0.04976	0.20501	0.192039
Obsah vody	0.55768	0.69748	0.48338	0.103354

Tabulka 2. Výsledky analýza rozptylu jednoduchého třídění pro biochemické parametry jehlic pro jednotlivé věkové kategorie jehlic a jejich průměr. Hodnocena byla průkaznost rozdílů mezi sledovanými plochami se stromy staršími 50 let. Rozdíly hodnoceny jako průkazné na hladině $\alpha = 0.05$.



Obrázek 4. Obsah chlorofylu a+b v jehlicích stromů na vzorkovaných lokalitách v zájmové oblasti KRNP, porosty starší 50 let. a) průměrný obsah chlorofylu v jehlicích 1. ročníku b) průměrný obsah chlorofylu v jehlicích 4. ročníku; c) průměrný obsah chlorofylu ve všech vzorkovaných ročnících; modře plochy z povodí Horní Čisté, zelené plochy z povodí Úpy; Analýza rozptylu jednoduchého třídění, Kruskal-Wallis Z-test. Rozdíly hodnoceny jako průkazné na hladině $\alpha = 0.05$. Rozdílná písmena nad krabicovými diagramy značí průkazný rozdíl.

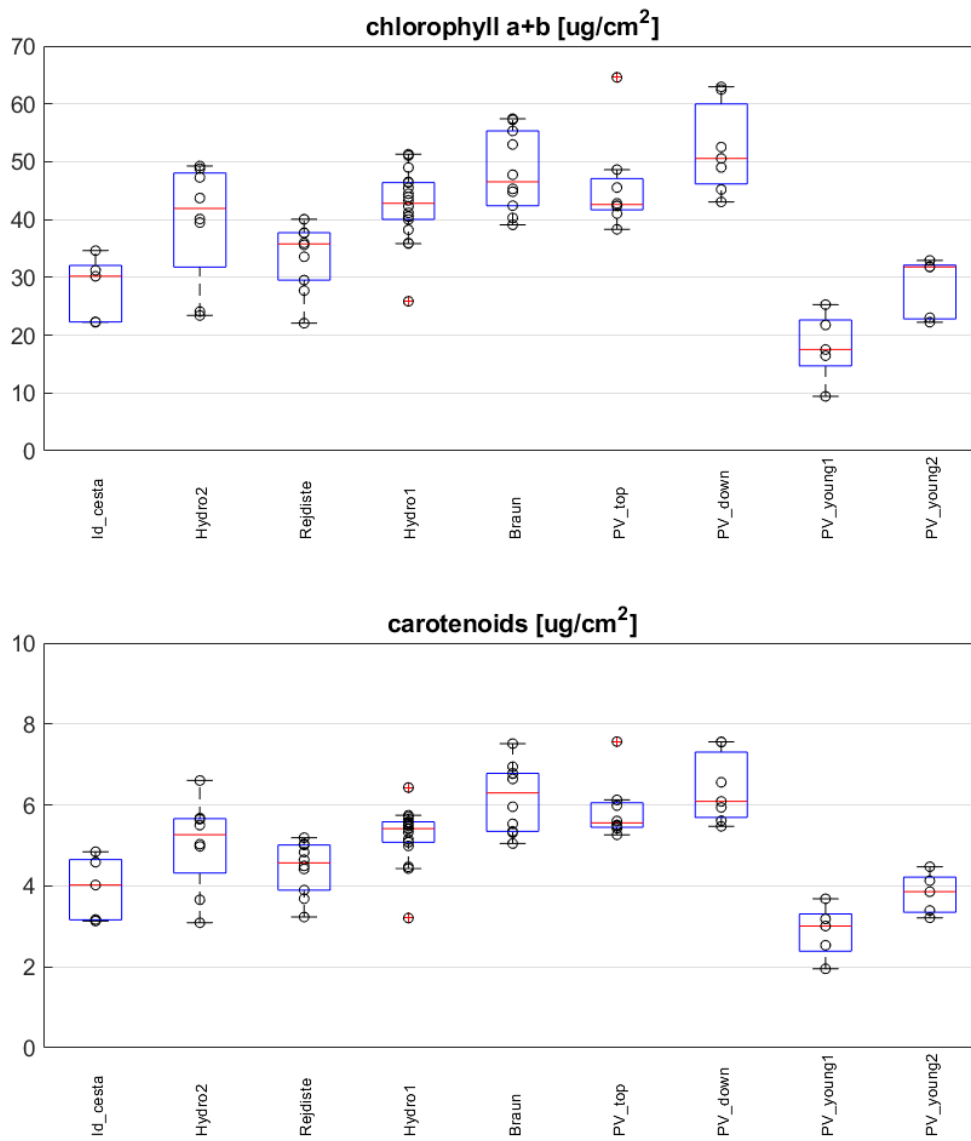
Tabulka 3. Databáze biochemických parametrů listoví. Průměrné hodnoty ze tří věkových kategorií jehlic pro strom. Výzkumné plochy na povodí Úpy a povodí Čistě. Ca – chlorofyl a ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), Cb – chlorofyl b ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), Cab – chlorofyl a+b ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), Ca:Cb – poměr chlorofylu a ku chlorofylu b, Cxc – karotenoidy ($\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), Cxc:Cab – poměr karotenoidů a chlorofylů, Cm – obsah sušiny ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$), Cw – obsah vody ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Povodí	Plocha	ID	Ca	Cb	Cab	Ca:Cb	Cxc	Cxc:Cab	Cm	Cw
Úpa	Braunovka	2	27.73	11.36	39.09	2.50	5.05	0.13	0.0159	0.0206
Úpa	Braunovka	3	39.25	16.07	55.32	2.45	6.78	0.12	0.0210	0.0245
Úpa	Braunovka	4	40.09	17.15	57.24	2.35	7.52	0.13	0.0223	0.0270
Úpa	Braunovka	6	37.90	15.07	52.97	2.53	6.77	0.13	0.0197	0.0240
Úpa	Braunovka	7	32.33	12.48	44.81	2.59	5.53	0.12	0.0209	0.0238
Úpa	Braunovka	8	29.82	12.58	42.40	2.41	5.96	0.14	0.0209	0.0243
Úpa	Braunovka	11	34.23	13.51	47.74	2.55	6.64	0.14	0.0231	0.0250
Úpa	Braunovka	12	40.52	16.91	57.44	2.41	6.95	0.12	0.0208	0.0233
Úpa	Braunovka	13	28.06	12.22	40.28	2.33	5.32	0.13	0.0219	0.0241
Úpa	Braunovka	14	32.31	13.00	45.31	2.49	5.35	0.12	0.0192	0.0218
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	41	29.82	12.60	42.41	2.39	5.60	0.13	0.0188	0.0227
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	42	34.70	13.93	48.63	2.52	6.13	0.13	0.0222	0.0259
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	43	29.19	11.84	41.02	2.50	5.51	0.14	0.0183	0.0212
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	44	27.05	11.26	38.31	2.40	5.42	0.14	0.0205	0.0224
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	46	30.02	12.30	42.33	2.49	5.26	0.13	0.0180	0.0212
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	48	30.15	12.64	42.79	2.42	5.48	0.13	0.0180	0.0196
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	49	32.59	12.94	45.53	2.52	5.98	0.13	0.0214	0.0262
Úpa	Pěnkavčí vrch - vrchol	50	45.01	19.56	64.57	2.30	7.57	0.12	0.0199	0.0285
Úpa	Pěnkavčí vrch - úbočí	52	44.47	18.01	62.48	2.46	7.55	0.12	0.0195	0.0246
Úpa	Pěnkavčí vrch - úbočí	53	44.67	18.28	62.95	2.45	7.56	0.12	0.0190	0.0224
Úpa	Pěnkavčí vrch - úbočí	54	37.67	14.86	52.53	2.55	6.56	0.13	0.0187	0.0223
Úpa	Pěnkavčí vrch - úbočí	56	30.87	12.18	43.05	2.55	5.47	0.13	0.0191	0.0248
Úpa	Pěnkavčí vrch - úbočí	57	35.18	13.84	49.02	2.57	5.94	0.12	0.0190	0.0227
Úpa	Pěnkavčí vrch - úbočí	59	32.10	13.10	45.20	2.48	5.61	0.12	0.0188	0.0225
Úpa	Pěnkavčí vrch - úbočí	60	36.17	14.39	50.56	2.52	6.09	0.12	0.0186	0.0230
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 1	77	17.83	7.45	25.28	2.42	3.68	0.15	0.0129	0.0157
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 1	78	15.85	5.91	21.76	2.67	3.19	0.15	0.0148	0.0202
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 1	79	6.80	2.63	9.43	2.58	1.95	0.21	0.0143	0.0145
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 1	80	12.75	4.77	17.52	2.67	3.01	0.18	0.0137	0.0195
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 1	81	11.56	4.90	16.46	2.36	2.53	0.15	0.0115	0.0134
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 2	82	22.71	9.14	31.85	2.47	3.86	0.12	0.0132	0.0193
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 2	83	16.79	6.23	23.02	2.70	3.39	0.15	0.0180	0.0217
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 2	84	22.91	8.88	31.79	2.57	4.13	0.13	0.0151	0.0189
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 2	85	16.05	6.20	22.25	2.59	3.21	0.15	0.0135	0.0172
Úpa	Pěnkavčí vrch - mladý 2	86	23.44	9.49	32.93	2.47	4.47	0.14	0.0192	0.0239

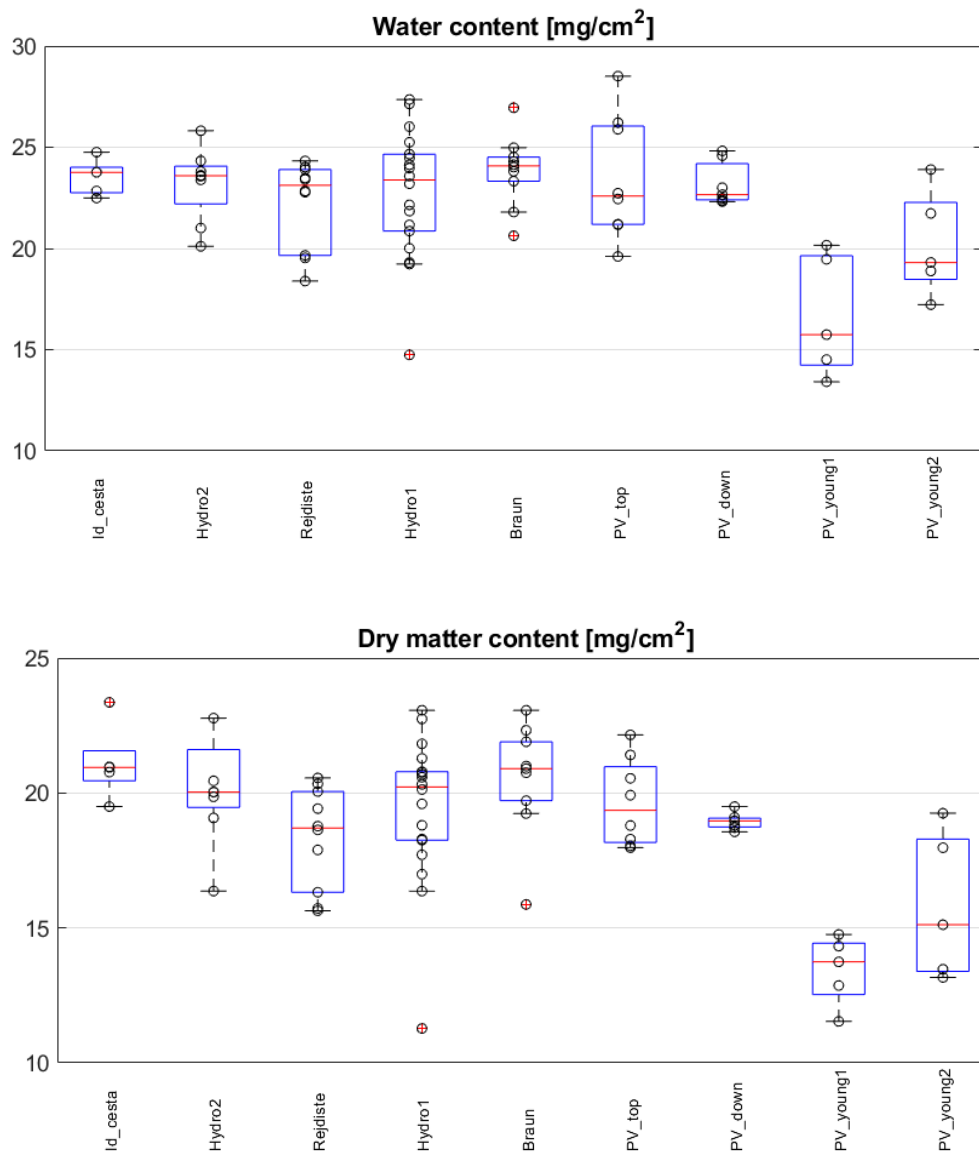
Tabulka 3. pokračování - databáze biochemických parametrů listovní

Povodí	Plocha	ID	Ca	Cb	Cab	Ca:Cb	Cxc	Cxc:Cab	Cm	Cw
Čistá	Idina cesta	16	22.38	8.83	31.21	2.53	4.59	0.14	0.0234	0.0238
Čistá	Idina cesta	17	24.89	9.73	34.62	2.62	4.84	0.14	0.0209	0.0238
Čistá	Idina cesta	18	21.51	8.69	30.19	2.52	4.02	0.13	0.0208	0.0228
Čistá	Idina cesta	19	16.06	6.18	22.24	2.61	3.17	0.14	0.0195	0.0248
Čistá	Idina cesta	20	15.93	6.39	22.33	2.51	3.13	0.14	0.0210	0.0225
Čistá	Hydro 2	21	33.33	13.96	47.29	2.41	5.50	0.11	0.0164	0.0210
Čistá	Hydro 2	22	29.95	12.15	42.10	2.46	5.60	0.13	0.0175	0.0227
Čistá	Hydro 2	23	17.82	6.27	24.09	2.81	3.66	0.15	0.0199	0.0201
Čistá	Hydro 2	24	28.07	11.40	39.47	2.55	5.03	0.13	0.0200	0.0236
Čistá	Hydro 2	25	16.84	6.57	23.41	2.59	3.09	0.13	0.0228	0.0238
Čistá	Hydro 2	26	34.66	14.16	48.82	2.46	5.67	0.12	0.0204	0.0234
Čistá	Hydro 2	27	19.85	7.91	27.77	2.51	3.81	0.14	0.0199	0.0250
Čistá	Hydro 2	28	28.36	11.73	40.09	2.47	4.98	0.12	0.0191	0.0258
Čistá	Hydro 2	29	35.12	14.13	49.25	2.56	6.60	0.14	0.0252	0.0236
Čistá	Hydro 2	30	31.29	12.42	43.72	2.52	5.65	0.13	0.0200	0.0243
Čistá	Rejdiště	31	15.68	6.41	22.08	2.43	3.23	0.15	0.0157	0.0195
Čistá	Rejdiště	32	24.54	9.03	33.56	2.69	4.42	0.13	0.0179	0.0235
Čistá	Rejdiště	33	26.76	10.90	37.65	2.45	4.65	0.12	0.0186	0.0228
Čistá	Rejdiště	34	21.28	8.25	29.53	2.58	3.90	0.13	0.0163	0.0184
Čistá	Rejdiště	35	28.37	11.66	40.03	2.50	5.04	0.13	0.0156	0.0197
Čistá	Rejdiště	36	27.51	10.21	37.72	2.69	5.19	0.14	0.0201	0.0243
Čistá	Rejdiště	37	25.35	10.27	35.62	2.49	4.49	0.13	0.0194	0.0234
Čistá	Rejdiště	38	25.48	10.49	35.96	2.53	4.84	0.14	0.0203	0.0228
Čistá	Rejdiště	39	19.61	8.10	27.72	2.42	3.68	0.13	0.0188	0.0239
Čistá	Rejdiště	40	28.75	11.31	40.05	2.52	5.01	0.13	0.0206	0.0240
Čistá	Hydro 1	61	31.55	12.91	44.46	2.46	5.51	0.12	0.0231	0.0252
Čistá	Hydro 1	62	27.32	11.79	39.11	2.32	5.91	0.15	0.0204	0.0158
Čistá	Hydro 1	63	29.88	12.42	42.30	2.42	5.65	0.13	0.0203	0.0192
Čistá	Hydro 1	64	28.72	11.85	40.57	2.46	5.33	0.13	0.0227	0.0271
Čistá	Hydro 1	65	14.34	5.93	20.28	2.41	2.91	0.15	0.0194	0.0246
Čistá	Hydro 1	66	27.16	11.07	38.23	2.45	4.99	0.13	0.0164	0.0209
Čistá	Hydro 1	67	33.13	13.39	46.52	2.49	5.58	0.12	0.0218	0.0274
Čistá	Hydro 1	68	28.16	11.86	40.02	2.46	5.08	0.13	0.0188	0.0222
Čistá	Hydro 1	69	34.81	14.18	48.99	2.46	5.75	0.12	0.0206	0.0241
Čistá	Hydro 1	70	9.83	4.26	14.09	2.31	2.63	0.19	0.0196	0.0129
Čistá	Hydro 1	71	36.36	14.94	51.30	2.44	6.43	0.12	0.0213	0.0245
Čistá	Hydro 1	72	30.86	13.04	43.89	2.35	5.15	0.12	0.0183	0.0212
Čistá	Hydro 1	73	33.14	13.25	46.39	2.51	5.48	0.12	0.0177	0.0193
Čistá	Hydro 1	74	28.54	11.96	40.49	2.39	5.08	0.13	0.0196	0.0218
Čistá	Hydro 1	75	29.28	11.87	41.15	2.48	5.41	0.13	0.0207	0.0232
Čistá	Hydro 1	76	24.98	10.96	35.93	2.31	4.43	0.13	0.0170	0.0200
Čistá	Hydro 1	87	18.14	7.72	25.85	2.36	3.21	0.12	0.0113	0.0147
Čistá	Hydro 1	88	30.53	12.80	43.32	2.41	5.43	0.13	0.0201	0.0260
Čistá	Hydro 1	89	25.38	10.47	35.85	2.44	4.47	0.13	0.0208	0.0247
Čistá	Hydro 1	90	16.11	6.84	22.95	2.36	2.85	0.12	0.0176	0.0200
Čistá	Hydro 1	91	35.70	15.35	51.05	2.33	5.70	0.11	0.0183	0.0236
Čistá	Hydro 1	92	31.83	13.66	45.49	2.36	5.55	0.12	0.0208	0.0240

Obrázek 5: Grafické znázornění biochemických parametrů listů, krabicové diagramy pro výzkumné plochy vypočítané z průměrných hodnot jednotlivých korun stromů. Obsah chlorofylu (chlorophyll a+b), obsah karotenoidů (carotenoids).



Obrázek 6: Grafické znázornění biochemických parametrů listů, krabicové diagramy pro výzkumné plochy vypočítané z průměrných hodnot jednotlivých korun stromů. Obsah vody (water content) a obsah sušiny (dry matter content).



Vyhodnocení výsledku (základní zjištění, přínos, případně využití)

V této fázi jde o sestavení databáze biochemických, fyziologických a strukturálních parametrů porostů, které budou dále využity jako indikátory zdravotního stavu stromů a budou sloužit jako vstupní parametry do RTM modelů, kalibraci a validaci DPZ dat a k vyhodnocení aktuálního fyziologického stavu stromů. Z dosavadních vyhodnocených výsledků lze předpokládat, že aktuální fyziologický stav byl v roce 2022 lepší na plochách v povodí Horní Úpy.

Výsledek (dokument prokazující dosažení výsledku) je volně dostupný zde*:

<https://www.lucc4hydro.cz/2023-2/>

Jedná se o důkaz provedení terénních kampaní a získání dat, která budou dále hodnocena v širším kontextu a budou předmětem odborné publikace, případně podkladem pro sestavení tematických map. V této fázi nebude výsledek volně zpřístupněn.

*** V případě, že je možné výsledek volně zpřístupnit.**

Pokud nelze originální výsledek volně zpřístupnit, prokazuje jeho dosažení pouze tento dokument.