

Projekt "Historické využití území a jeho význam pro budoucí ochranu významných druhů podél bavorsko-české hranice", projekt č. 293.

Závěrečná zpráva k analýze sedimentárních záznamů (aktivita A1.4)

Univerzita Karlova – Petr Kuneš, Přemysl Bobek, Václav Šulc, January 2023



**Europäische Union
Evropská unie**

Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung
Evropský fond pro
regionální rozvoj



Ziel ETZ | Cíl EÚS

Freistaat Bayern –
Tschechische Republik
Česká republika –
Svobodný stát Bavorsko
2014 – 2020 (INTERREG V)



Obsah

Úvod	2
Studovaná oblast	3
Metodika	6
Datování a chronologie	6
Geochemie	8
Pylová analýza	8
Kvantitativní rekonstrukce vegetace	8
Rekonstrukce požárové historie	9
Výsledky a interpretace	10
Datování profilů	10
Historie vegetace	10
Změny ve složení lesů v oblasti AR	10
Změny ve složení lesů v regionu PC	13
Regionální změny vegetačního pokryvu – land cover (REVEALS)	14
Požárová dynamika	16
Diskuze a způsoby ochrany	19
Původnost skladby lesů	19
Vliv člověka a struktura krajiny	22
Závěr a doporučení pro ochranu přírody	23
Literatura	24
Přílohy	26
Age-depth modely pro všechny sedimentární záznamy	26

Úvod

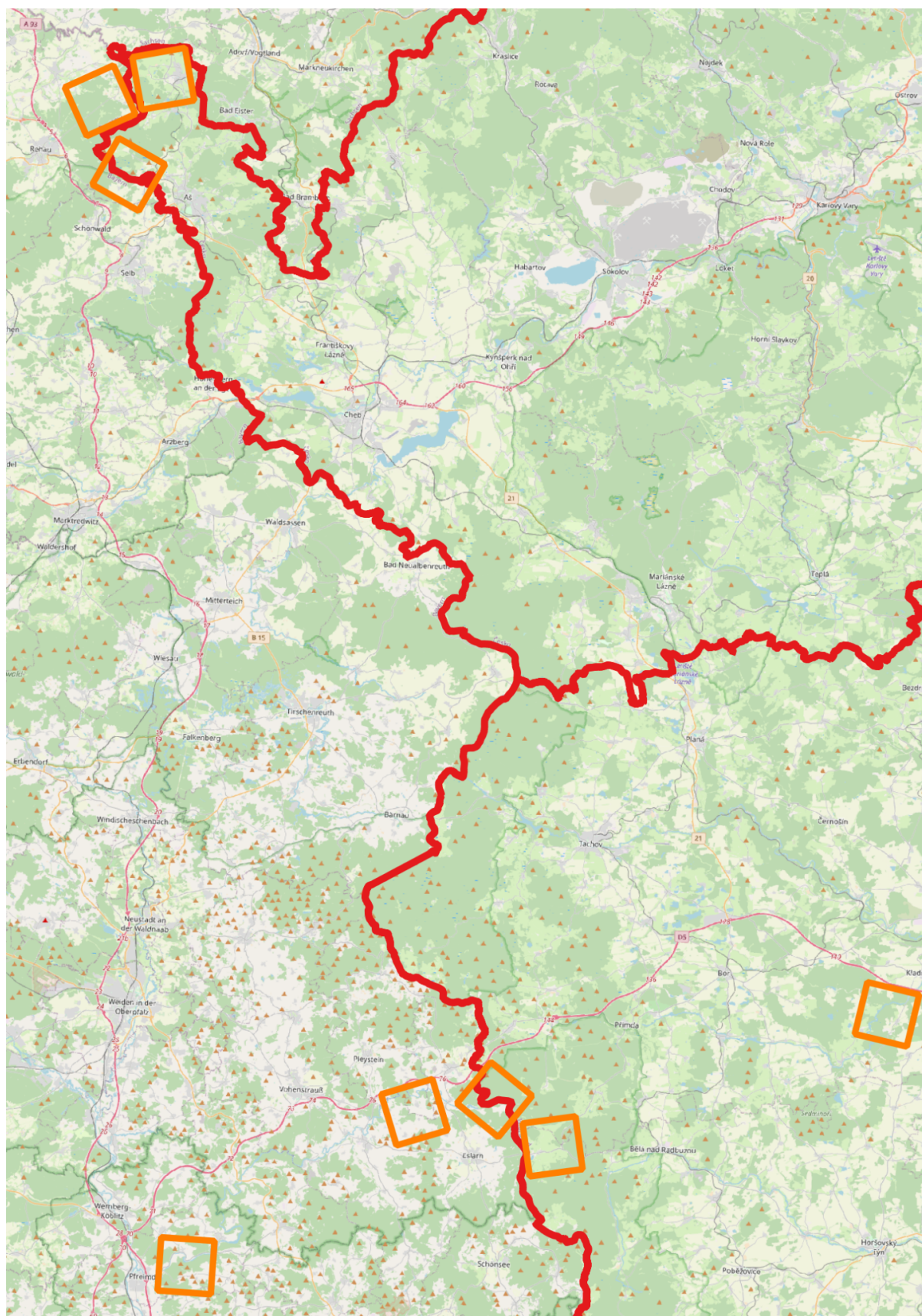
Současná krajina odráží procesy měnící se druhové skladby, měnícího se poměru odlesnění nebo přírodních a antropogenních disturbancí v minulých staletích. Dlouhodobá perspektiva je proto zásadní pro pochopení současné krajiny a může významně pomoci při ochraně tzv. deštníkových druhů a udržení biologické rozmanitosti.

Změny krajiny na škálách desetiletí a staletí lze studovat na základě různých sedimentárních záznamů. Patří k nim přírodní archivy vodního a suchozemského prostředí, které se zachovaly v místech s vysokou akumulací organických látek - jezera, rašeliniště, slatiny apod. Tyto archivy uchovávají informace o minulém výskytu rostlin v podobě pylu a jiných rostlinných zbytků nebo o probíhajících disturbancích, jako jsou požáry v podobě zuhelnatělých částic nebo škůdci a herbivorie v podobě houbových spor. Přesné datování těchto sedimentárních záznamů pomocí moderních metod umožňuje zařadit události do časového měřítka a umožnit srovnání s jinými (např. historickými) zdroji dat.

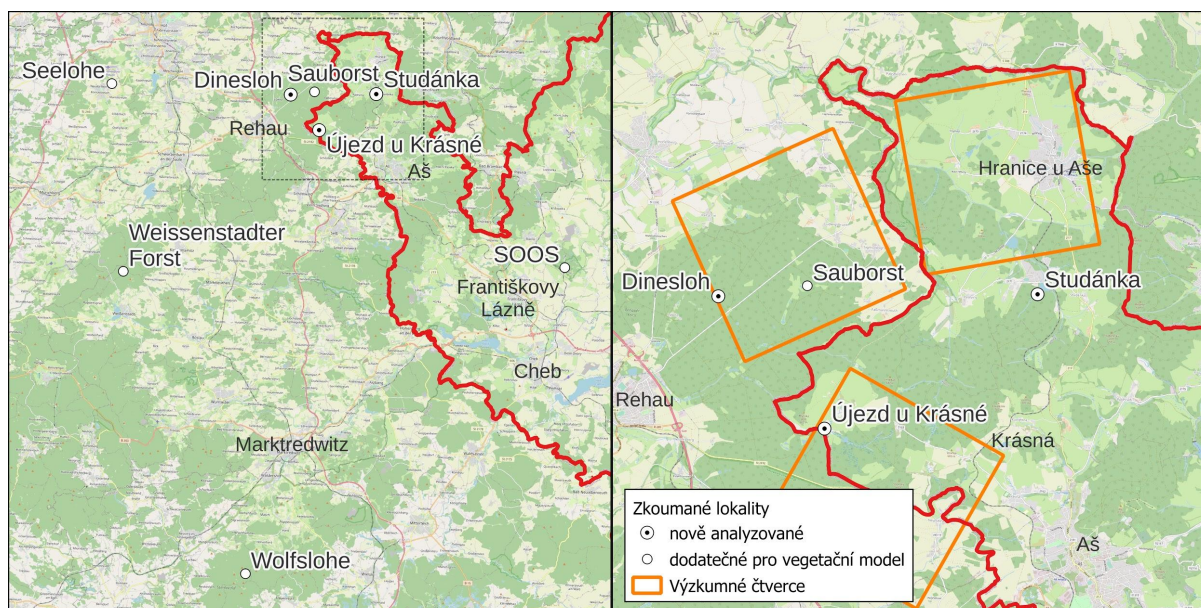
V našich studovaných oblastech jsme vybrali jsme několik sedimentárních záznamů, datovali je a provedli paleoekologické analýzy. Zaměřili jsme se především na zodpovězení následujících otázek: (i) jaký byl poměr lesa a bezlesí, (ii) jak se měnila skladba lesa a které druhy lze považovat za přirozené, (iii) jaká byla frekvence požárů, (iv) a kdy přišel do krajiny člověk a jak moc ji ovlivnil?

Studovaná oblast

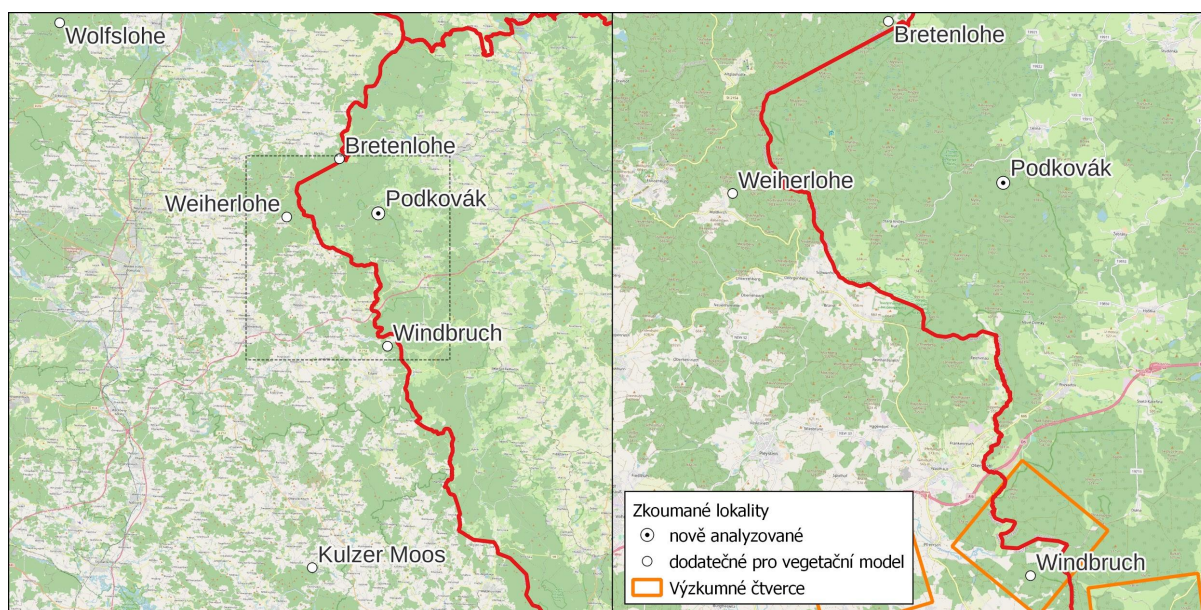
Celá zájmová oblast se skládá ze dvou regionů: **severního Ašska/Rehau (AR)** a jižního **povodí Pfreimdu (PC)** (obr. 1). V každém regionu jsme v nejprve vymezili čtverce o velikosti 4x4 km pro podrobné mapování vegetace a krajiny. Proto byl výběr vhodných lokalit sedimentárních archivů přizpůsoben těmto čtvercům.



Obrázek 1: Umístění mapovacích čtverců (oranžově) v severní (AR) a jižní (PC) oblasti.



Obrázek 2: Umístění odebraných profilů v oblasti Ašsko/Rehau (AR) (mapa vpravo). Další pylová data pro konstrukci kvantitativního modelu byla získána pro lokality na širším území (levá mapa) - kompletní seznam viz tab. 3.



Obrázek 3: Umístění odebraného profilu v povodí řeky Pfreimd (mapa vpravo). Další pylová data pro konstrukci kvantitativního modelu byla získána pro lokality v širší oblasti (levá mapa) - kompletní seznam viz tab. 3.

V AR regionu jsme po podrobné prospekci celé oblasti vybrali tři profily. Lokality se nacházejí přímo ve čtvercích nebo v jejich těsné blízkosti. V PC regionu jsme nejprve hledali potenciální existující profily ve středním čtverci, a to na základě předchozích paleoekologických studií (profil Windbruch, KNIPPING 1997). Bohužel v důsledku předchozí intenzivní těžby rašeliny nebyl v hraničním regionu k dispozici žádný vhodný materiál. Proto jsme až v širším okolí našli zachovalé rašeliniště Podkovák, vzdálené cca 10 km od hranice našeho mapovacího čtverce. Vzhledem k tomu, že paleoekologická data (zejména pak

pylová analýza) poskytují regionální signál, předpokládáme, že data z této lokality lze interpretovat v kontextu mapovaných míst.

Tabulka 1: Seznam odebraných sedimentárních profilů s jejich lokalizací a hloubkou odběru v obou studovaných oblastech.

Lokalita	Souřadnice	Datum odběru	Hloubka při odběru
<i>Ašsko/Rehau (AR)</i>			
Dinesloh	N 50.273322 E 12.071468	4.6.2020	132 cm
Újezd u Krásné	N 50.247183 E 12.106841	29.6.2021	114 cm
Studánka	N 50.276239 E 12.172885	29.6.2021	81 cm
<i>Povodí Pfreimd (PC)</i>			
Podkovák	N 49.7361389 E 12.52267	7.7.2020	283 cm

Pro potřeby regionální kvantitativní rekonstrukce vegetace byla z České kvartérní pylové databáze (PALYCZ, KUNEŠ et al. 2009) shromážděna dostupná analyzovaná paleoekologická data z okruhu cca 60 km. Z této databáze bylo použito dalších pět lokalit v AR regionu (čtyři z německé strany oblasti Fichtelgebirge a jedna z Chebské pánve, tab. 3, obr. 2) a čtyři další lokality byly vybrány v PC regionu (tab. 3, obr. 3).

Metodika

Datování a chronologie

Stáří všech sedimentárních profilů bylo určeno pomocí radiometrického datování metodou ^{14}C AMS. Vzorky byly odebrány rovnoměrně s ohledem na stratigrafii jednotlivých profilů (zahrnutí případného hiátu apod.) a následně odeslány do České radiouhlíkové laboratoře (CRL). Výsledná stáří jsou uváděna v konvenčních (radiouhlíkových) stářích, která je nutné přepočítat na kalendářní stáří pomocí kalibračních křivek (REIMER et al. 2020). V případě vhodnosti byla horní část jádra datována pomocí izotopu ^{210}Pb v radiometrické laboratoři PřF UK. K odhadu stáří jednotlivých analyzovaných vzorků mezi datovanými vrstvami jsme použili tzv. “age-depth model” založený na bayesovských statistických technikách. Jednotlivé modely byly vytvořeny v programu rbacon v jazyce R (BLAAUW & CHRISTEN 2011). Cal. BP označuje kalibrované stáří před rokem 1950. Všechny age-depth modely jsou uvedeny v příloze.

Tabulka 2: Seznam datovaných vzorků v jednotlivých profilech. 14C stáří představuje nekalibrované stáří, které je třeba dále kalibrovat pro získání kalendářního stáří. Kalibrace je zahrnuta při vytváření modelů hloubky stáří (viz metody). 210Pb stáří jsou uvedena v našem letopočtu. Potenciálně kontaminovaný vzorek je označen hvězdičkou.

Lokalita	Laboratorní kód	14C stáří	210Pb stáří	Odchylka	Vzorek	Datovaný materiál
Dinesloh	Crl-21_588	-2376		16	DIN 8-9	rašelina
Dinesloh	Crl-21_589	337		18	DIN 23-24	rašelina
Dinesloh	Crl-21_590B	1519		17	DIN 36-37	rašelina
Dinesloh	Crl-21_591	5094		26	DIN 48-49	rašelina
Dinesloh	Crl-21_592	6792		26	DIN 64-65	rašelina
Dinesloh	Crl-21_593B	9244		29	DIN 75-76	rašelina
Dinesloh	Crl-21_594	9448		29	DIN 99-100	rašelina
Podkovák			2018	2.3	Podk 0-2	rašelina
Podkovák			2011	2.4	Podk 2-4	rašelina
Podkovák			2000	2.9	Podk 4-6	rašelina
Podkovák			1983	4	Podk 6-8	rašelina
Podkovák			1963	6	Podk 8-10	rašelina
Podkovák			1953	6.1	Podk 10-12	rašelina
Podkovák			1930	8.2	Podk 12-14	rašelina
Podkovák			1899	10.9	Podk 14-16	rašelina
Podkovák	Crl-21_375	158		16	20–21	rašelina
Podkovák	Crl-21_369	2081		19	50–51	rašelina
Podkovák	Crl-21_370	4283		23	125–126	rašelina
Podkovák	Crl-21_371	4695		25	140–141	rašelina
Podkovák	Crl-21_372	6177		24	185–186	rašelina
Podkovák	Crl-21_373	7750		27	225–226	rašelina
Podkovák	Crl-21_374	11264		38	273–274	rašelina
Studánka	Crl-22_0022	3906		21	44–45	rašelina
Studánka	Crl-22_0023	5937		49	55–56	rašelina
Studánka	Crl-22_0024	8434		33	80–81	rašelina
Újezd	Crl-22_0419	902		21	30–31	uhlík 5x Picea abies
Újezd	Crl-22_0420	4246		20	42–43	uhlík of Picea abies
Újezd	Crl-22_0421	6876		29	73–74	jehlice Picea, Carex semena
Újezd	Crl-22_0422*	5378		27	96–97	rašelina

Geochemie

Pro stanovení prvkového složení sedimentu jsme použili rentgenové fluorescenční spektroskopie (XRF). Za tímto účelem byla využita programovatelná horizontálně se pohybující plošina připojená k osobnímu počítači. Každé jádro sedimentu bylo umístěno do držáku sedimentu pokrytého polyethylenovou membránou. Analýzy XRF byly provedeny po celé délce jader s krokem 5 mm, s použitím kolimovaného paprsku o průměru 2,2 mm, s expozicí 6 minut pro každé měřící místo. Použili jsme režim Geochem se dvěma paprsky (do 11 keV pro lehčí prvky po dobu 3 minut a do 50 keV pro těžší prvky po dobu 3 minut). Pro kontrolu korelace jednotlivých jader byly použity variace několika prvků.

Pylová analýza

Každý profil byl vzorkován pro pylovou analýzu tak, aby byla zachycena důležitá časová období, a aby pro horní části záznamů bylo zvoleno vyšší časové rozlišení. Vzorky byly připraveny standardními metodami pro palynologii. Ke známému objemu vzorku (1 cm³) bylo před chemickou úpravou přidáno známé množství traceru (tablety *Lycopodium* vyráběné společností <https://www.geology.lu.se/services/pollen-tablets>).

V každém vzorku bylo stanoveno minimálně 500 pylových zrn suchozemských rostlin. Druhy pylu byly určeny pomocí určovacích klíčů PUNT et al. (1976–2009), v případě potřeby doplněných o další (BEUG 2004). Spolu s identifikací pylových zrn byly kvantifikovány i mikrouhlíky (větší než 20 µm) podle velikostních kategorií. Současně byly identifikovány i nepylové objekty. Pro určení byly využity nejnovější poznatky obsažené v internetové databázi těchto objektů <http://non-pollen-palynomorphs.uni-goettingen.de/>.

Údaje byly dodány společně pro celý profil v tabulce primárních dat o počtu jednotlivě identifikovaných mikrofosilií v každém vzorku. Dále byl vytvořen procentuální pylový diagram v programu Tilia (<https://www.neotomadb.org/apps/tilia>).

Zonace pylových diagramů byla stanovena na základě stratigraficky omezené klastrové analýzy a vizuálního posouzení zón.

Kvantitativní rekonstrukce vegetace

Pro každou studovanou oblast jsme odhadli zastoupení regionální vegetace na základě kombinace regionálně dostupných pylových záznamů (model REVEALS). Metodika podle ABRAHAM et al. (2016) používá parametr maximální rozlohy oblasti 60 km (oblast o poloměru 60 km, pro kterou byly odhady počítány) a rychlosti větru 4 m/s. Odhady pylové produktivity a rychlosti spadu pylu byly použity podle ABRAHAM et al. (2016). Celkem bylo použito osm pylových záznamů pro oblast AR a pět záznamů pro oblast PC (tab. 3).

Tabulka 3: Seznam lokalit použitých pro model REVEALS. Lokality analyzované v rámci tohoto projektu jsou označeny hvězdičkou.

<i>Lokalita</i>	<i>Region</i>	<i>Souřadnice</i>	<i>Nadmořská výška [m n. m.]</i>	<i>Velikost lokality [ha]</i>	<i>Max. stáří [cal. BP]</i>

Dinesloh *	AR	N 50.273322; E 12.071468	600	0.4	10992
SOOS	AR	N 50.14944; E 12.40361	435	452	11930
Sauborst	AR	N 50.27617; E 12.09961	572	0.5	8182
Seelohe	AR	N 50.0262; E 11.859	778	0.5	7547
Studánka *	AR	N 50.276239; E 12.172885	600	0.1	9547
Újezd u Krásné *	AR	N 50.247183; E 12.106841	580	0.2	9486
Weissenstadter Forst	AR	N 50.133784; E 11.881848	725	0.5	7025
Wolfslohe	AR	N 49.90756; E 12.04038	826	1	5397
Bretenlohe	PC	N 49.78722; E 12.4625	745	1	13146
Kulzer Moos	PC	N 49.39472; E 12.44278	481	12	6200
Podkovák *	PC	N 49.7361389; E 12.52268	705	0.5	13212
Weiherlohe	PC	N 49.72972; E 12.3875	685	1	11369
Windbruch	PC	N 49.60917; E 12.54278	497	20	8628

Rekonstrukce požárové historie

Změny v koncentraci makroskopických uhlíků v sedimentech rašelinišť odrážejí minulou požární aktivitu (WHITLOCK & LARSEN 2001). Analýza uhlíků byla provedena na všech studovaných lokalitách za účelem rekonstrukce historie lokálních požárů. Odebrané profily byly spojitě ovzorkovány v intervalu 1 cm.

Objem vzorku sedimentu byl 3 ml, aby byla zajištěna citlivost metody na slabší požáry. Vzorky byly nejprve rozpuštěny v 10% hydroxidu draselném (KOH) po dobu 24 hodin, aby došlo k dezintegraci sedimentu. Poté byly prosety přes síta s oky o velikosti 125 µm pomocí proudu vody jemně rozprašovaného z trysky. Nezuheľnatěľý organický materiál byl odbarven působením 10% roztoku chlornanu sodného (NaOCl) po dobu 6 hodin. Pro usnadnění počítání uhlíků byla většina nezuheľnatěľých rostlinných zbytků odstraněna ručně pod stereomikroskopem. Vzorek byl poté rovnoměrně rozprostřen v Petriho misce a uhlíky byly počítány při 63-150násobném zvětšení. Celkový počet uhlíků ve vzorku o známém objemu byl převeden na koncentraci (částice cm⁻³). Hodnota koncentrace byla vyjádřena jako rychlost ukládání uhlíků (částice cm⁻² rok⁻¹; CHAR = rychlost akumulace uhlíků) pomocí modelu sedimentační rychlosti. Historie lokálního požáru byla rekonstruována pomocí dekompoziční metody, která signál požáru rozdělí na složku dlouhodobého trendu a

výrazných vrcholů v depozici uhlíků. Za základ pro modelování trendu pomocí funkcí LOESS bylo uvažováno časové okno 2000 let. Podrobněji je metodický postup popsán v článku BOBEK et al. (2018).

Výsledky a interpretace

Datování profilů

Datování (viz tab. 2) ukázalo překvapivě vysoké stáří všech zkoumaných lokalit. Nejstarší v regionu AR je lokalita Dinesloh, kde sedimentace započala téměř na samém počátku holocénu. Stáří lokality Újezd u Krásné nebylo jednoznačně určeno vlivem mladšího data na bázi profilu, které bylo způsobeno zřejmě pronikáním kořínků, nicméně na základě biostratigrafického srovnání s ostatními lokalitami datujeme počátek sedimentace rovněž do staršího holocénu. Všechny lokality vykazují nerovnoměrnost v sedimentaci, můžeme tedy předpokládat existenci několika sedimentačních přerušení, která znesnadňují přesnější datování vrstev, zejména na přechodu mezi středním a mladším holocénem (období cca 4000-2000 cal. BP).

U profilu Studánka neuvádíme stáří ve svrchní polovině profilu vzhledem k absenci dat v této části a možnému přerušení sedimentace, které by značně zpřesnilo age-depth model. Datování lokality Podkovák v oblasti PC ukazuje kontinuální sedimentaci od pozdního glaciálu. Nejsvrchnější část byla vhodná i pro datování pomocí ^{210}Pb , které ukázalo posledních 150 let v rozmezí cca 20 cm.

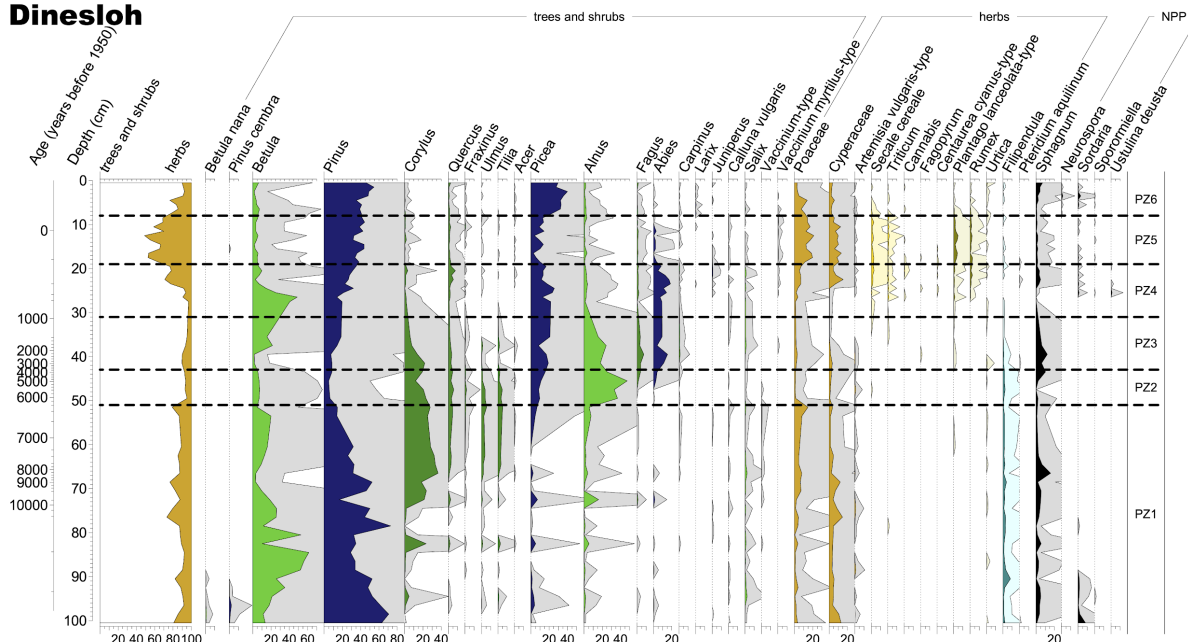
Historie vegetace

Historie vegetace je znázorněna ve formě pylových diagramů (obr.4–6). Ty čteme jako čas na svislé ose a procentuální zastoupení různých pylových taxonů na vodorovné ose. Rostliny produkují pyl, a ten tedy představuje okolní vegetaci.

Změny ve složení lesů v oblasti AR

Profil Dinesloh pokrývá historii vegetace za posledních 11 000 let (obr.4). Bohužel obsahuje několik přestávek v sedimentaci (rozložený materiál), které znemožňují kontinuální interpretaci vegetační historie.

Dinesloh



Obrázek 4: Procentuální pylový diagram profilu Dinesloh. Vodorovné přerušované čáry oddělují jednotlivé zóny popisované v textu. Na vodorovné ose jsou uvedena procenta. První sloupeček znázorňuje poměr bylin – šedá barva, versus dřevin – bílá barva. U jednotlivých taxonů pak černá barva znázorňuje procentuální zastoupení ve vzorku a šedá pak jeho desetinásobek.

Na základě změn v pylových spektrech jsme v tomto pylovém diagramu vytvořili šest vývojových zón (PZ). Pyl borovice a břízy dominuje v první zóně PZ1 a později s rostoucí lískou. Poměr pylu bylin nepřesahuje 20 % a je složen převážně z trav, ostřic a tužebníku. Pyl olše a smrku narůstá ve druhé zóně PZ2 na úkor borovice a břízy. Relativní zastoupení pylu bylin se snižuje. Buk a jedle začínají expandovat v PZ3 a spolu se smrkem tvoří hlavní dřeviny stromového patra. Olše opět kontinuálně klesá. Zóna PZ4 se vyznačuje nárůstem primárních (obilovin) a sekundárních antropogenních pylových indikátorů (*Plantago lanceolata*-type, *Rumex*, *Centaurea cyanus*-type), nárůstem pylu ostatních bylin (*Poaceae*, *Cyperaceae*) a výskytem spor kopřivních hub (*Sordaria*, *Sporormiella*), které indikují pastvu. Zóna PZ5 se vyznačuje nejvyšším podílem pylu bylin a náhlým poklesem nebo téměř vymizením pylu jedle a buku. Poslední zóna PZ6 značí opětovný nárůst některých pylových zrn stromů, hlavně smrku.

Další dva profily, Újezd u Krásné a Studánka (obr. 5 a obr. 6), se liší v jednotlivostech, nicméně obecný vývoj zůstává velmi podobný. Zonace vegetačního vývoje odpovídá profilu Dinesloh.

Na základě členění všech pylových diagramů interpretujeme následující vegetační vývojové fáze:

První a zároveň nejstarší fází je **starý holocén/hemiboreální les (až do cca 6000 cal. BP)**. V tomto pravděpodobně nejteplejším období došlo k rychlému rozvoji lesa, který měl zároveň k dispozici dostatek živin v půdách. Převládají prosvětlené březo-borové lesy s bohatým podrostem trav a bylin jako jsou tužebník obecný a černýš lesní. Vyšší keřové a nižší stromové patro tvoří líska. Plochy mokřadů pokrývají porosty tvořené ostřicemi a travami, případně tužebníkem. V širším regionu jsou na úživnějších půdách zastoupeny i lípy a jilmy.

Další, tj. druhou fázi označujeme jako **smrkovou tajgu (6000–3000 cal. BP)**. V tomto období zřejmě dochází k výraznému zvlhčení klimatu. Do lesa začíná pronikat smrk a jeho charakter se proměňuje – začíná být tmavý a na to reagují světlomilné druhy bříza a borovice ústupem. Líska však odolává a stále představuje významnou komponentu lesního porostu. Olše mohla lokálně zarůstat mokřady, což způsobilo výrazný ústup trav.

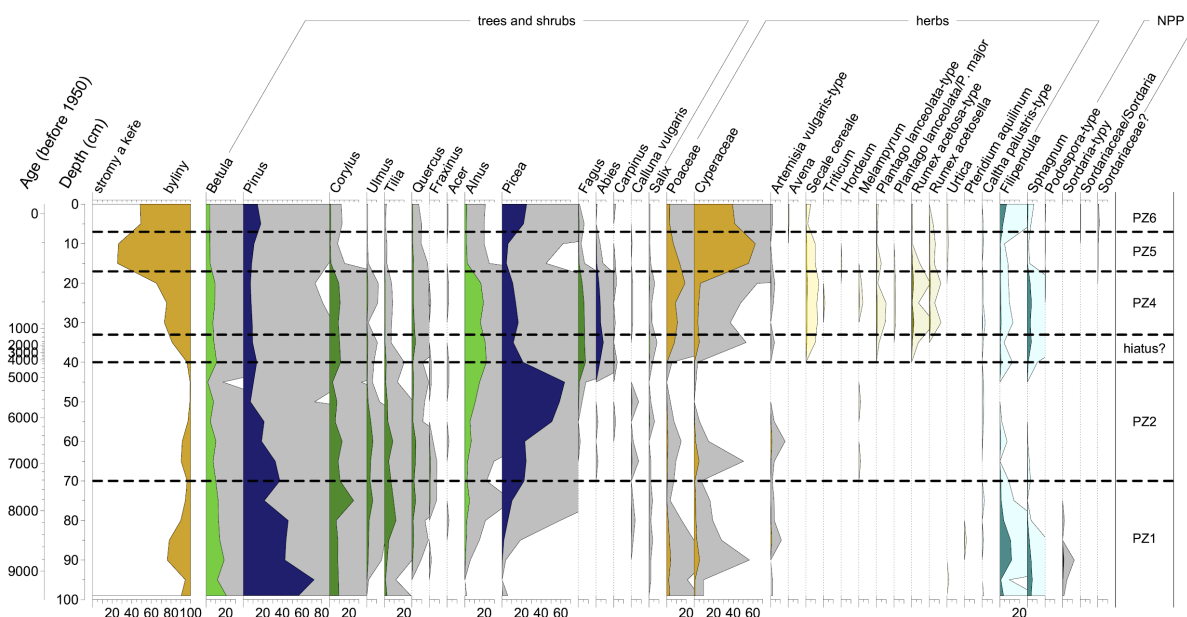
S expanzí buku a jedle ve třetí fázi pozorujeme přechod ke **smíšenému lesu (cca 3000–1000 cal. BP)**. Buk se ale prosazuje méně a nestává se vůdčím druhem lesního porostu, což ve srovnání s jinými středoevropskými regiony můžeme pokládat za regionální specifikum. Jedle je spolu se smrkem hlavní dřevinou jehličnatého stromového patra. Olšový porost na některých místech ustupuje patrně v důsledku částečného vysušení, dynamika olše pak může mít zásadní vliv na přerušení sedimentace, protože mohla způsobit rozklad staršího organického sedimentu. V širším regionu se již sporadicky projevují první stopy lidské aktivity. Jde zejména o pastevní indikátory (jitrocel kopinatý a prostřední, šťovík). Pyl žita dokládá nástup orného zemědělství.

Následující období jsou již výrazně ovlivněna lidskou činností. Během **středověké kolonizace (1000–400 cal. BP)** započal v širším území proces odlesňování provázený ústupem jedle. Zemědělské aktivity jsou v širším okolí jasně doloženy pylem žita a pšenice. Vznikají pastviny, na kterých jsou hojné šťovíky, jitrocely a jalovec.

Tato iniciační fáze vývoje kulturní krajiny je následována **krajinou novověku (400–100 cal. BP)**, kde pozorujeme nejintenzivnější odlesňování, tedy největší poměr bylin ku dřevinám. Dřívější smíšené smrko-jedlo-bukové lesy jsou intenzivně těženy a ponechány samovolné obnově. Z toho profituje především borovice, která je schopná rychle osídlit paseky. Jedle s bukem dále ustupuje. Rozvíjejí se i pastviny s jalovcem, jitroceli a šťovíky, v zemědělské krajině jsou hojné pšenice i žito.

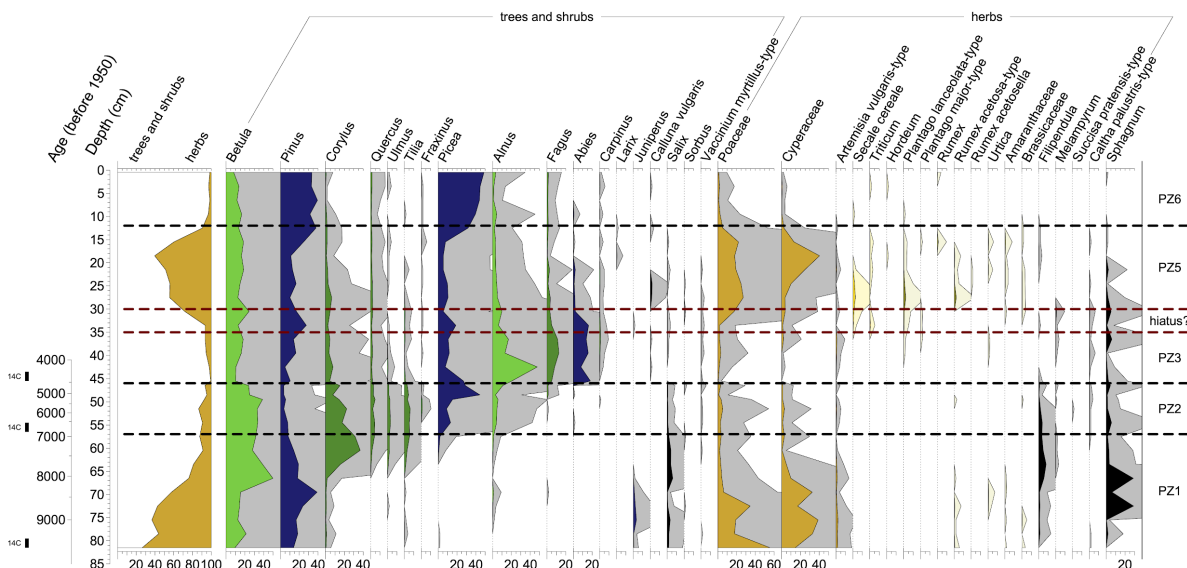
V nejmladší fázi vývoje pozorujeme vznik **pěstovaného lesa (posledních 150 let)**. Na konci 18. století dochází k výrazným změnám v lesním hospodaření. Lesy se začínají ve velkém měřítku cíleně pěstovat a mění se jejich druhová skladba a struktura, která má v této fázi již dnešní charakter – jde nepochybně o kulturní smrčinu. Krajina je obecně více zalesněná než v předchozím období. Na mokřadech je řídký porost borovic a podrost je tvořen zapojenou travino-ostřicovou vegetací.

Újezd u Krásné



Obrázek 5: Procentuální pylový diagram profilu Újezd u Krásné. Vodorovné přerušované čáry oddělují jednotlivé zóny popisované v textu. Na vodorovné ose jsou uvedena procenta. První sloupeček znázorňuje poměr bylin – šedá barva, versus dřevin – bílá barva. U jednotlivých taxonů pak černá barva znázorňuje procentuální zastoupení ve vzorku a šedá pak jeho desetinasobek.

Studánka

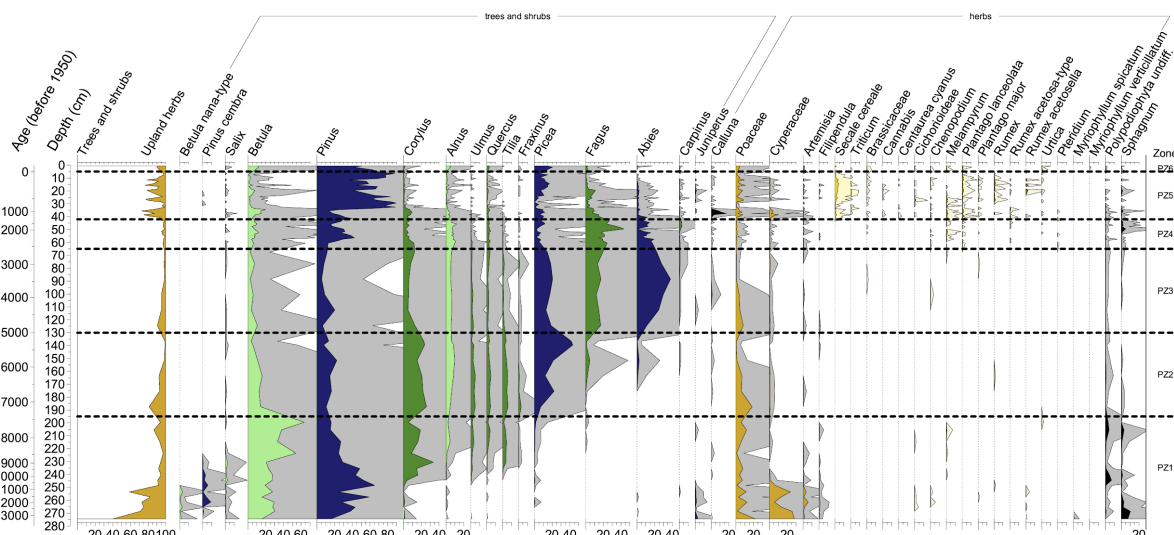


Obrázek 6: Procentuální pylový diagram profilu Studánka. Vodorovné přerušované čáry oddělují jednotlivé zóny popisované v textu. Na vodorovné ose jsou uvedena procenta. První sloupeček znázorňuje poměr bylin – šedá barva, versus dřevin – bílá barva. U jednotlivých taxonů pak černá barva znázorňuje procentuální zastoupení ve vzorku a šedá pak jeho desetinasobek.

Změny ve složení lesů v regionu PC

Profil Podkovák pokrývá historii vegetace za posledních 13000 let. Sedimentace je zde kontinuální a směrem k současnosti se zvyšuje.

Podkovák



Regionální změny vegetačního pokryvu – land cover (REVEALS)

V raném holocénu (před expanzí smrku, 11500-8000 cal BP) byla krajina poměrně otevřená, s vyšším podílem otevřené krajiny v regionu PC (až 70 %). Jako stromový porost převládaly borové doubravy, v pozdějším období se rozšířila líska (*Corylus*) a další listnaté taxony.

Smrk se začíná rozšiřovat ve středním holocénu a dosahuje dominance ve stromovém pokryvu mezi 8000–5500 cal BP. Líska, dub a další taxony listnáčů mírného pásma zůstávají v menší míře, ale *Alnus* je v PC zastoupena o něco více než v oblasti AR. Otevřených ploch ubývá. Lesy musely své porosty postupně uzavírat a výrazně zhoustnout.

Buk se začíná rozšiřovat v době 5500 cal BP, později spolu s jedlí; nikdy však nezískávají vyšší zastoupení než smrk. Počínaje pozdním holocémem postupně pozorujeme v krajině známky lidského působení, které se projevuje nárůstem obilovin a otevřením krajiny. Vliv člověka je v oblasti PC dřívější a výraznější, začíná již kolem 5000 cal BP zemědělskou činností (obiloviny) a odlesňováním. V regionu AR je vliv člověka zodpovědný za postupné odlesňování, zemědělská činnost je vzácnější. Smrku mírně ubývá hlavně na úkor otevřené krajiny v AR, mnohem prudčeji v PC, kde je více ovlivněn expanzí buku a jedle. V posledním tisíciletí pozorujeme rychlé odlesňování a zemědělskou činnost nejprve v PC a později v AR. Jedle a buk jsou hlavními dřevinami postiženými vlivem člověka. Otevřená a zemědělská krajina dosahují v PC vyšších hodnot, a to až 50 %. V lesích stále zůstává hlavní dominantou smrk.

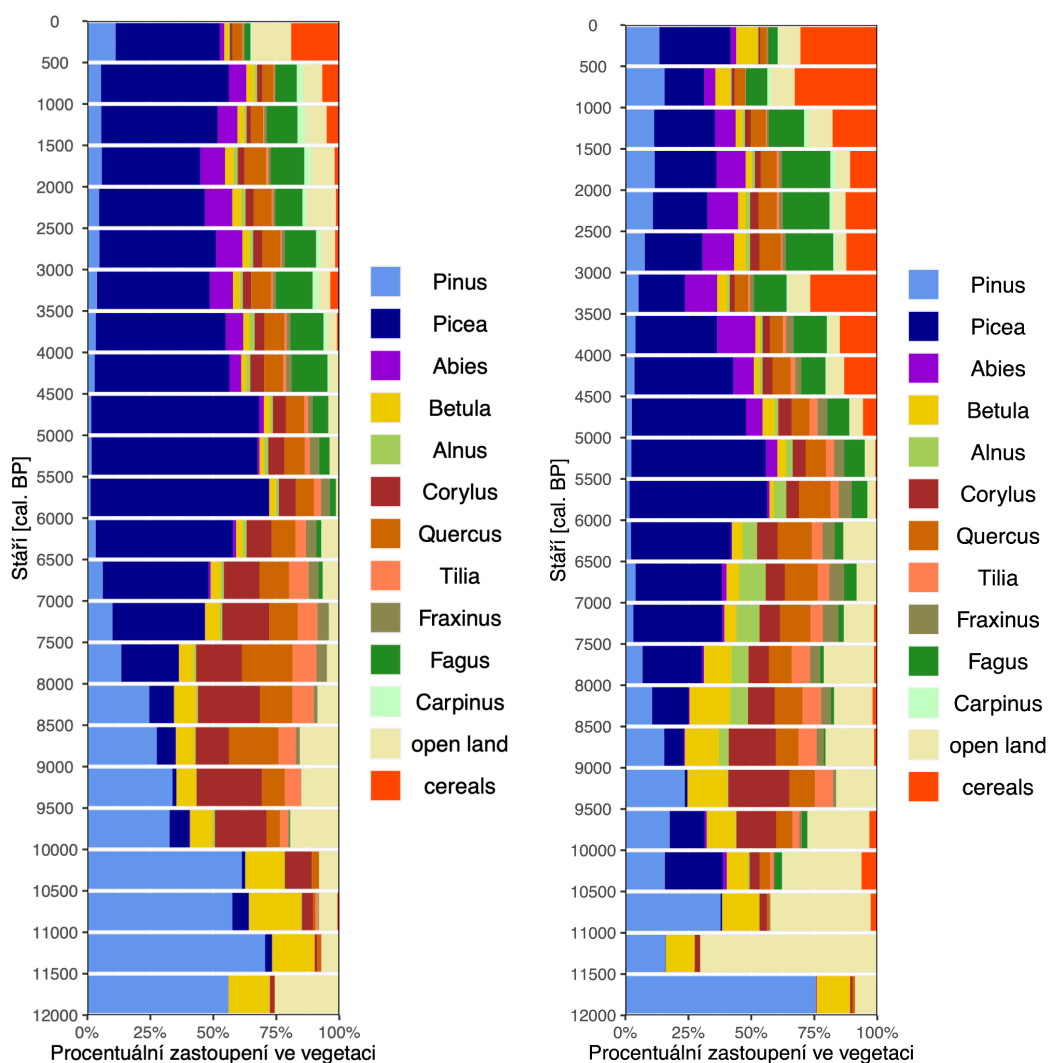


Figure 8a,b: REVEALS vegetation estimates for two studied regions: AP at left and PC at right.

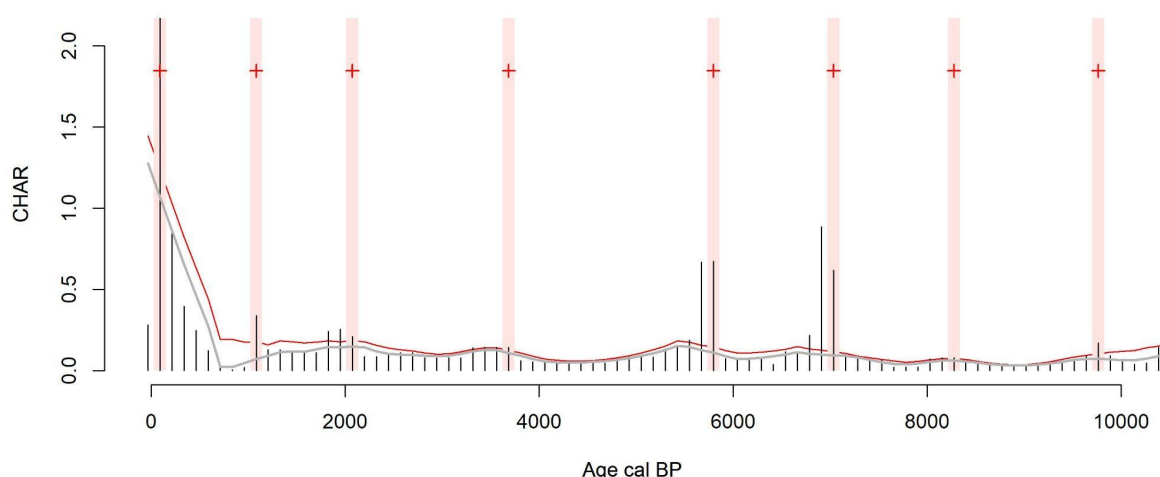
Požárová dynamika

rekonstrukce historie požárů na studovaných lokalitách v AR je znázorněna na obr. 9-12.

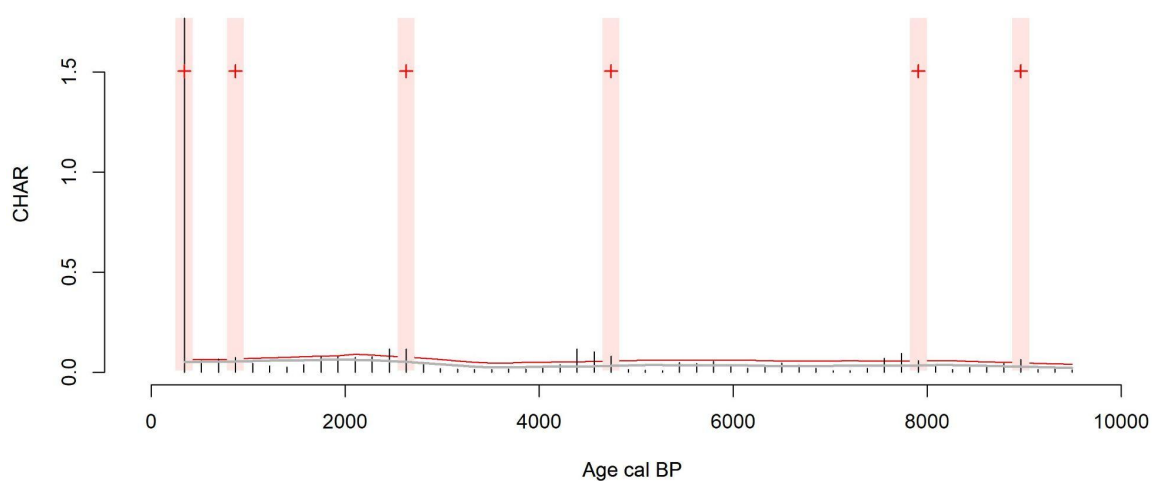
Vyšší četnost požárů byla zaznamenána v raném a středním holocénu. Nejvyšší hodnoty depozice uhlíků jsou v období 5500-5000 cal. BP, kdy dochází k největšímu rozvoji smrkových lesů. V mladší části holocénu jsou požáry méně časté. Středověk a raný novověk ukazují největší požáry.

Záznamy o historii holocenních požárů byly získány na všech zkoumaných lokalitách, jejich kvalita se však v rámci jednotlivých úseků odebraných profilů značně liší. V důsledku hiátů a nízké míry akumulace sedimentů jsou slabší/vzdálenější požáry v některých obdobích velmi špatně rozlišeny. Vysoké hodnoty depozice uhlíků tak pravděpodobně představují požáry in-situ, které primárně ovlivnily mokřadní vegetaci. Požáry během raného a středního holocénu (10000-6000 cal. BP) jsou nejlépe dokumentovány v profilech Újezd a Studánka, kde je rozlišení sedimentů 60-90 let/cm, což je dostatečné pro zachycení jednotlivých požárů.

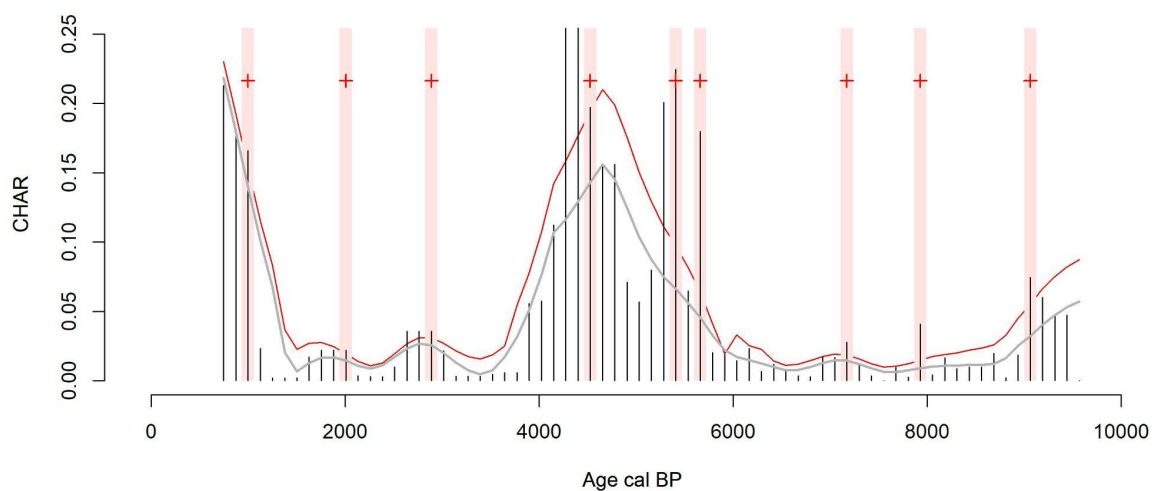
Spolu s prudkým nárůstem depozic uhlíků na všech třech lokalitách kolem 1000 cal BP, které ukazují především na jejich původ v travinném a bylinném porostu, pozorujeme nárůst pylové diverzity a rozsáhlé odlesnění (obr. 12).



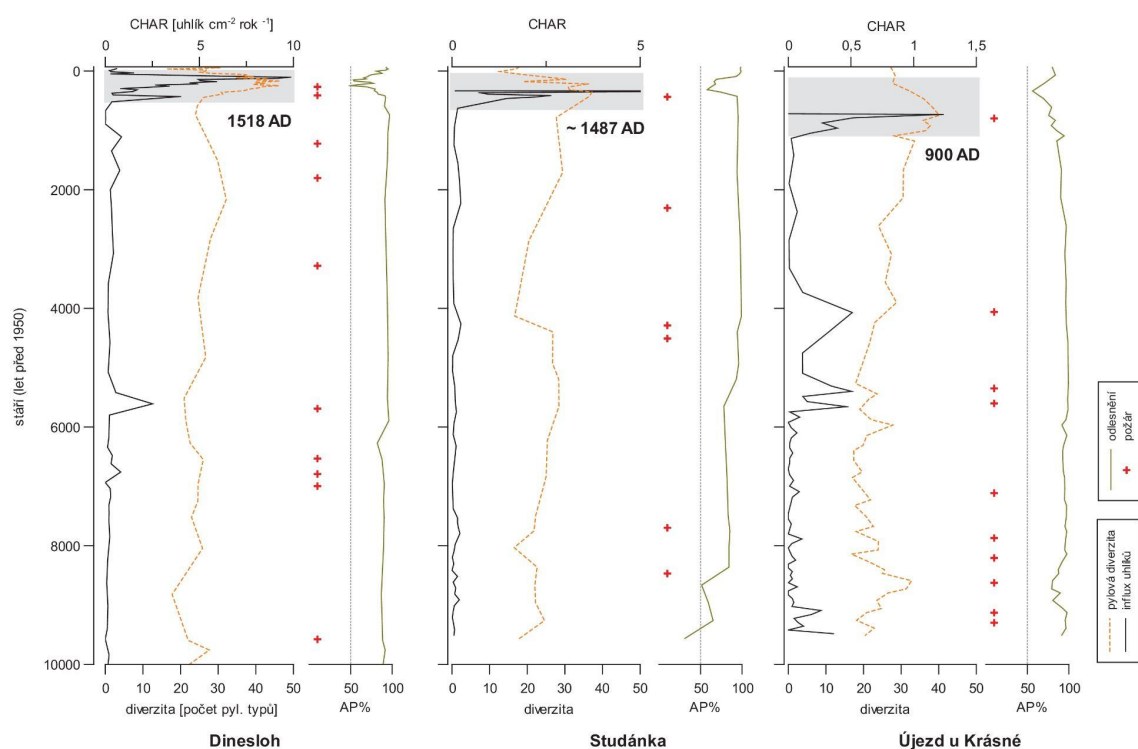
Obrázek 9: Historie požárů na lokalitě Dinesloh, událost požáru je znázorněna červeným symbolem, pozadí je určeno na základě 1000 let dlouhého časového okna (červená čára).



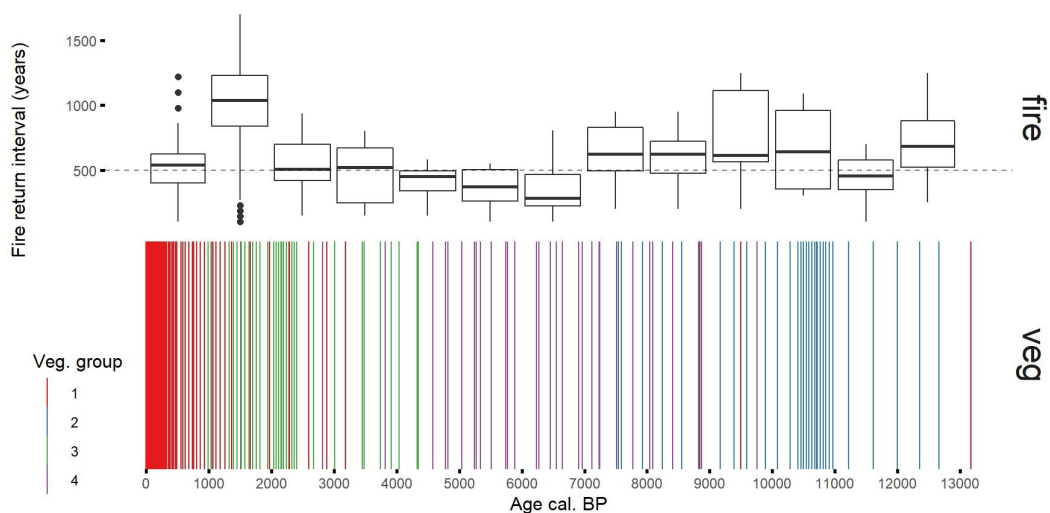
Obrázek 10: Historie požárů na lokalitě Studánka, událost požáru je znázorněna červeným symbolem, pozadí je určeno na základě 1000 let dlouhého časového okna (červená čára).



Obrázek 11: Historie požárů na lokalitě Újezd u Krásné, událost požáru je znázorněna červeným symbolem, pozadí je určeno na základě 1000 let dlouhého časového okna (červená čára).

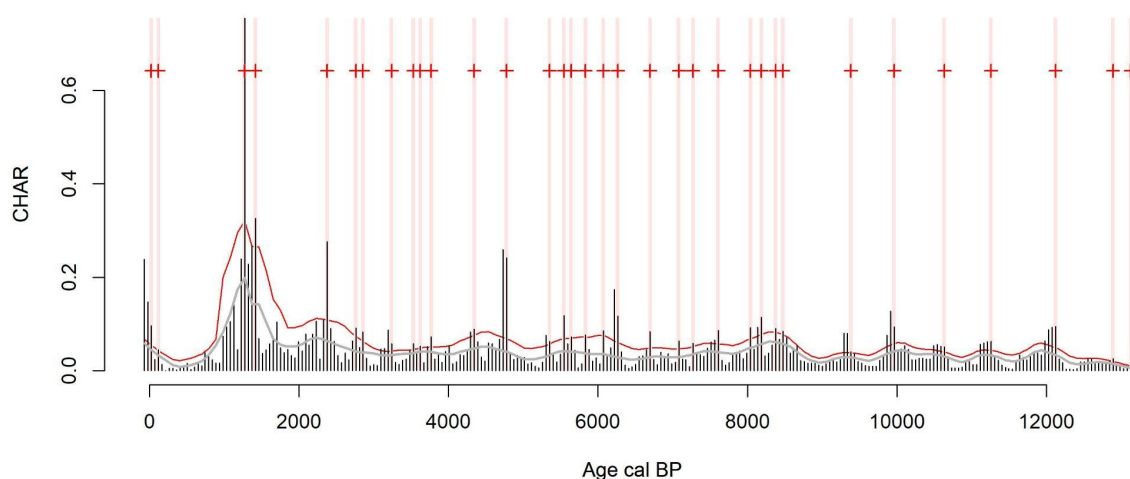


Obrázek 12: Rychlost ukládání makroskopických uhlíků ($>125\ \mu\text{m}$, CHAR) a změny v pylové diverzitě (druhové bohatosti) na lokalitách Dinesloh, Újezd u Krásné a Studánka. Červeným křížkem jsou vyznačeny rekonstruované lokální požáry. Míra odlesnění je odvozena z procentuálního zastoupení pylu stromů a keřů ve vzorku (AP% = pyl dřevin). V horní části profilů je šedě vyznačena fáze vypalování mokřadů, která je doprovázena zvýšením pylové diverzity a výrazným odlesněním. Její nástup je odhadnut na základě sedimentačního modelu.



Obrázek 13: Rozsah variability četnosti požárů během holocénu. Krabicové grafy znázorňují rozložení odhadovaných intervalů návratu požárů v rámci časového okna 1000 let. Jednotlivé fáze vývoje regionální vegetace jsou zastoupeny čtyřmi skupinami: 1 - středověké a novověké lesy (průměrné zastoupení pylu *Picea* 13 %, *Pinus* 34 %, *Fagus* 2 %, *Betula* 6 %), 2 - raně holocenní hemiboreální les (*Picea* 0,5 %, *Pinus* 35 %, *Fagus* 0 %, *Betula* 21 %), 3 - smíšený les (*Picea* 9 %, *Pinus* 20 %, *Fagus* 18 %, *Betula* 7 %), 4 - smrková tajga (*Picea* 12 %, *Pinus* 12 %, *Fagus* 1 %, *Betula* 12 %).

Rekonstrukce historie požárů v oblasti PC na lokalitě Podkovák je znázorněna na obr. 14. Vyšší četnost požárů byla zaznamenána mezi cca 8500-2500 cal BP, což se shoduje s expanzí a dominancí smrku. V mladší části holocénu pak byly požáry méně časté, ale výrazné požáry dokumentujeme kolem roku 1300 cal BP, což souvisí s prvním obdobím odlesnění patrným v pylových datech. Další nárůst požárové aktivity pozorujeme v současnosti.



Obrázek 14: Historie požárů na lokalitě Podkovák, událost požáru je znázorněna červeným symbolem, pozadí je určeno na základě 1000 let dlouhého časového okna (červená čára).

Diskuze a způsoby ochrany

Původnost skladby lesů

Výsledky pylové analýzy ukazují, že současná pylová spektra se liší od pylových spekter z období před rozsáhlou středověkou kolonizací krajiny. Hlavní rozdíl spočívá v úplném úbytku nebo dokonce úplném vymizení pylu buku a jedle, který v AR dosahoval v období před intenzivním odlesněním až 20 %, přičemž jedle byla hojnější než buk. Jedle (*Abies*) dokonce převyšovala buk (*Fagus*) v regionu PC v době jeho maximálního rozšíření kolem 3500 cal BP. Nicméně ve srovnání s okolními oblastmi, jako je Český les (oblast PC), Šumava nebo Krušné hory, bylo zastoupení obou dřevin v oblasti AR poměrně nízké (VERON et al. 2014; KNIPPING 1989; CARTER et al. 2018a). Další významnou složku lesa tvořila borovice a bříza, vznikající především ve fázi obnovy po různých disturbancích.

Přirozeností lesa se zabývá Mapa potenciální přirozené vegetace (PPV), která na většině území obou oblastí uvádí výskyt acidofilních bučin, případně s lokálními podmačenými smrčiny (NEUHÄUSLOVÁ et al. 1998). Otázkou využití a vzniku této mapy se zabývají různé práce, viz např. práce ABRAHAM et al. (2016), kteří také uvádějí, že v mnoha případech byla PPV inspirována rekonstruovanou vegetací zjištěnou na základě palynologických výzkumů. Tomu nasvědčuje i porovnání PPV s rekonstruovanou vegetací z různých období v minulosti, kdy nejbližší podobnost vychází s obdobím raného středověku, tj. před intenzivní kolonizací periferních oblastí.

V případě regionu AR je však díky nově získaným datům toto srovnání problematičtější, protože buk hraje v inkriminovaném období obecně spíše podružnou roli a lesy lze rekonstruovat spíše jako jehličnaté (smrk, jedle, borovice) nebo smíšené s bukem. I na základě současného vegetačního mapování je zřejmé, že buk pravděpodobně není v AR přirozeně silně zastoupen. Naše terénní pozorování ukazují, že izolované bukové porosty příliš spontánně nezmlazují. Dokonce i dospělí jedinci trpí pozdními jarními mrazíky. Mezi další dřeviny, které se v průběhu času vyskytují v konstantní, ale malé míře, patří dub. Izolované porosty lze očekávat i v oblasti AP, ale rozsáhlejší porosty se vyskytují spíše v nižších polohách širšího regionu, např. v Chebské pánvi (viz diskuse níže).

V regionu PC byl buk zastoupen mnohem více a dosáhl svého pylového maxima kolem roku 2000 cal BP. Složení lesů zde bylo před kolonizací a počátkem vlivu člověka rovnoměrněji rozloženo mezi smrk, buk a jedli.

Určení přirozenosti druhové skladby lesa na základě minulého vývoje samozřejmě závisí na tom, jak daleko do minulosti se podíváme. V případě stanovení hranice do roku 1800 n. l., tj. před začátkem obecně uznávaného intenzivního lesního hospodaření, můžeme zkoumat relativně nedávnou minulost, kdy ještě probíhala relativně spontánní obnova lesa. Navíc máme k dispozici nejen paleoekologická, ale i historická data, podle kterých zjišťujeme, stejně jako v jiných regionech, že převažovaly jehličnaté lesy, které byly dále člověkem přeměněny na smrkové monokultury (SZABÓ et al. 2017). V obou regionech však již před tímto obdobím zaznamenáváme výrazně větší odlesnění krajiny ve srovnání se současností (viz níže) a pravděpodobně i v souvislosti s cílenou obnovou lesa. Z historických pramenů víme, že v roce 1586 vydal markrabě Georg Friedrich první nařízení o obecném hospodaření v lesích a že ve Vogtlandu byl v roce 1593 vydán první lesní řád, který měl zajistit cílenou obnovu lesa, protože lesů zbývalo velmi málo (ALBERTI 1934). Tyto indicie vyvracejí možnost hledání přirozené skladby lesů v novověku.

V období před středověkou kolonizací oblasti můžeme pravděpodobně najít přirozenější skladbu lesů. Vliv člověka je však patrný a kontinuální i v tomto starším období, což velmi ztěžuje přijetí představy o neovlivnění ekosystémů člověkem. Navíc se s větším časovým odstupem mnoha tisíc let vzdalujeme i klimatické realitě současnosti a roli hrají i další procesy, jako je vývoj půd, migrace druhů apod. Skutečně přirozené ekosystémy bychom mohli hledat někdy ve středním holocénu, před dobou bronzovou, ale to už se nacházíme v jiných podmínkách. Často se předpokládá, že mezolitičtí lidé také významně ovlivňovali ekosystémy, např. hospodařením s ohněm nebo cíleným šířením druhů (KUNEŠ et al. 2008, PTÁKOVÁ et al. 2021). V takovém případě bychom mohli považovat celý postglaciál za ovlivněný člověkem.

Nicméně z palynologických dat je patrné, že druhové složení lesů se za posledních šest tisíc let výrazně nezměnilo, přičemž smrk byl dlouhou dobu dominantní dřevinou v oblasti AR, resp. spoludominantou s bukem a jedlí v oblasti PC. Člověk pravděpodobně způsobil vymizení jedle a úbytek buku. Dub a pravděpodobně i další náročnější listnaté dřeviny se vyskytovaly i v širším regionu, ale po expanzi smrku v regionu AR a expanzi buku a jedle v

regionu PC nedosáhly významnější role. Obnova lesa by tedy měla zohlednit výše uvedené informace, ale zároveň je nutné vzít v úvahu možné scénáře postupné změny klimatu pro příští století, které pro naši oblast zahrnují nejen zvýšení teplot, ale zejména nebyvalé sucho (BÜNTGEN et al. 2021).

Požáry jako přirozená součást dynamiky lesa

Záznamy o historii holocenních požárů byly získány na všech zkoumaných lokalitách. Přesto se jejich kvalita v jednotlivých úsecích profilů, z nichž byly odebírány vzorky, značně liší. V důsledku přestávek v sedimentaci a nízké míry akumulace sedimentů jsou slabší/vzdálenější požáry v některých obdobích velmi špatně rozlišeny. Vysoké hodnoty depozice uhlíku tak pravděpodobně představují požáry in situ, které primárně ovlivnily mokřadní vegetaci.

V oblasti AR jsou požáry během raného a středního holocénu (10000-6000 cal. BP) nejlépe dokumentovány v profilech Újezd a Studánka, kde je rozlišení sedimentů 60-90 let/cm, což je dostatečné pro zachycení jednotlivých požárů. Častější výskyt požárů souvisí s převahou borových a březoborových lesů, které jsou náchylné k povrchovým požárům nízké intenzity (ADÁMEK et al. 2016). Tomu odpovídá i vyšší frekvence požárů doložená na lokalitě Újezd, která se pohybuje v rozmezí 10000-8000 cal. BP.

Během středního holocénu se v oblasti začíná šířit smrk, který se stává dominantní dřevinou tehdejších lesů a zarůstá i samotný povrch mokřadů. Tato změna zpomalila rychlost tvorby rašeliny, což nakonec vedlo k jejímu rozkladu, a v důsledku toho je toto období obtížně čitelné. Napříč studovanými profily však lze identifikovat fázi nejvyššího zalesnění smrkem, datovanou do období 5500-5000 cal. BP. Synchronně s touto fází je v profilech Dinesloh a Újezd zaznamenána významná akumulace uhlíku. Vzhledem k nízkému časovému rozlišení a možným hiátům nelze rozhodnout, zda se jedná o jediný požár, nebo o sled více událostí. V celém sedimentárním záznamu východní a střední Evropy však lze pozorovat změnu požárového režimu směrem k méně častým požárovým epizodám střední a vyšší intenzity spolu s šířením smrku ve středním holocénu (FEURDEAN et al. 2017, CARTER et al. 2018b). Tyto akumulace mohou být důkazem stejného procesu.

Následující období smíšeného lesa, v němž byl přítomen i buk a jedle, je z hlediska požárů nejméně aktivním obdobím holocénu. Efekt přeměny převážně jehličnatých lesů na smíšené lesy s vysokým podílem buku je dobře zmapován (BOBEK et al. 2019) a je doprovázen výrazným snížením počtu požárů v mladším holocénu. Profily Dinesloh a Studánka však zaznamenávají požáry i v tomto období, což lze vysvětlit tím, že člověk se stal důležitým faktorem v dynamice požárů. Antropogenní vliv se projevil během středověké kolonizace oblasti, kdy byl oheň využíván k získávání zemědělské půdy.

V oblasti PC můžeme pozorovat mnohem podrobnější dynamiku požárů ze záznamu z lokality Podkovák vykazující souvislou sedimentaci od doby ledové. Požáry se zde vyskytovaly nepřetržitě během raného a středního holocénu (obr. 14). Nejčastější požáry můžeme pozorovat mezi 8000 a 2500 cal. BP, což odpovídá období expanze a maximálního výskytu smrku v této oblasti. Frekvence požárů mírně klesá kolem 5000-4000 cal. BP doprovázená expanzí buku a později i jedle. To je v souladu s výsledky z oblasti AR (viz výše) a celé střeoevropské oblasti (BOBEK et al. 2019). Požární aktivita zůstává nízká, pouze několik požárů se objevuje až do cca 1300 cal. BP, kdy pozorujeme prudký nárůst akumulace uhlíků. Tato událost je rovněž spojena se zvýšením primárních a sekundárních antropogenních pylových indikátorů a otevřenosti vegetace. Podobně jako v oblasti AR je zvýšená požární aktivita pravděpodobně spojena s antropogenním vlivem v období středověku.

Podle našich údajů přispělo úmyslné vypalování na mnoha místech k rozvoji mokřadních společenstev, kdy spolu s prudkým nárůstem depozice uhlíků pozorujeme nárůst pylové

diverzity a rozsáhlé odlesnění (viz obr. 12). Mokřadní stanoviště byla původně alespoň částečně pokryta stromy, zejména smrkem a olší, a spolu s odlesněním krajiny byla i tato místa přeměněna na bezlesí. Zdá se pravděpodobné, že oheň byl používán především k potlačení obnovy dřevin. Morfotypy přítomných uhlíků totiž naznačují původ jak v travinách a bylinách, tak ve dřevě stromů.

Vliv člověka a struktura krajiny

Jak již bylo zmíněno, člověk ovlivňuje krajinu ve studované oblasti již více než poslední tisíciletí. Lidské zásahy způsobily změny v druhovém složení (např. lesů) a struktuře krajiny. Kvantitativní rekonstrukce pokryvu krajiny ukazuje, že celkově byla krajina v širší oblasti severozápadních Čech a přilehlé části Bavorska za posledních tisíc let odlesněna až ze 40 % (obr. 8, ABRAHAM et al. 2016), přičemž ve zbývajících lesních porostech převládá nebo se spolupodílí smrk. Před tímto intenzivním odlesněním bylo využívání krajiny spíše sporadické a od středního holocénu byla krajina téměř zcela zalesněná. Zajímavé je, že smrk byl v oblasti AR již dominantní lesní dřevinou a buk hrál jen menší roli (do 20 %). V tomto ohledu se struktura krajiny příliš neliší od okolních oblastí vyšších nadmořských výšek. V oblasti PC byly více zastoupeny buk a jedle, které tvořily pravé smíšené lesy se smrkem. Intenzivní osídlení v obou regionech však začalo o něco dříve, což je dáno nižší nadmořskou výškou, která je v regionu PC patrnější.

Nyní porovnejme výsledky pylových analýz jednotlivých profilů v regionu AR. Vidíme lokální variabilitu zachycující různé stupně bezlesí v posledních několika letech. Na lokalitě Újezd u Krásné je odlesnění největší a míra bezlesí se také směrem k současnosti příliš nesnižuje. Naopak lokality Dinesloh a Studánka vykazují vyšší míru bezlesí v období kolonizace a větší výkyvy směrem k současnosti, kdy dochází k téměř úplnému zalesnění. Všechny lokality tedy vykazují lokální vývoj v bezprostředním okolí, který odpovídá současnému stavu okolí lokalit. Dinesloh a Studánka leží v současnosti v lesním komplexu, Újezd naopak v bezlesé enklávě zaniklé obce.

Takovou prostorovou variabilitu v regionu PC nemůžeme vzhledem k nedostatku lokalit sledovat. Díky analýze s vysokým rozlišením v průběhu posledního tisíciletí však pozorujeme zjevnou časovou proměnlivost v poměru stromů a bylin. To naznačuje, že mohly existovat dvě vlny odlesňování krajiny, jedna v raném středověku a druhá během vrcholného středověku. Záznam je však zkreslen prudkým nárůstem pylu borovice (zřejmě blatky - *Pinus rotunda*), která pravděpodobně v důsledku měnících se hydrologických podmínek opakovaně zarůstala rašeliniště.

Struktura krajiny byla v posledních tisíci letech velmi pestrá, což spolu s extenzivním využíváním území mohlo mít pozitivní vliv na udržení rozmanitých společenstev a přetrvávání námi studovaných druhů. Bohužel zachycení takových druhů v paleoekologickém záznamu je velmi obtížné. Čertkus luční (*Succisa pratensis*) patří mezi projektové druhy vyskytující se v oblasti AR. Jedná se o druh typický pro zachovalé vlhké louky a rašeliniště. V našich oblastech je také jedinou živnou rostlinou kriticky ohroženého hnědáka chrastavcového (*Euphydryas aurinia*). Právě přítomnost *Succisa pratensis* se nám podařilo prokázat v palynologickém záznamu z lokality Studánka. Jedná se o druhý palynologický záznam z této oblasti, první byl v dříve analyzovaném profilu Sauborst (Hahne 1992).

Závěr a doporučení pro ochranu přírody

Naše data a interpretace neposkytují jasný návod na to, jak s lesními ekosystémy a krajinou hospodařit, umožňují pouze velmi nepřesně rekonstruovat různé stavy a dynamiku ekosystému v minulosti. I s vědomím těchto úskalí lze učinit některá doporučení. Zároveň je velmi problematické vztahovat probíhající klimatickou změnu k možným situacím v minulosti, a to kvůli nepřesnostem klimatických modelů a rekonstrukcí.

Pro aktivitu obnovy lesa a lesního hospodaření je z našeho pohledu přijatelné v lesích zachovat větší množství smrku a případně usilovat o návrat jedle. Společně s určitým podílem borovice, která zároveň představuje regenerační fáze lesa, může v území dobře fungovat dominantně jehličnatý les. Z našich dat můžeme vyvodit, že spontánní sukcese hrála v historii lidského osídlení nezanedbatelnou roli (zvýšený podíl břízy a borovice v obdobích zvýšeného lidského vlivu). Pro budoucí hospodaření v lesích proto spontánní nebo řízená sukcese může být pozitivním přínosem jak ekonomickým, tak i z hlediska biodiverzity a přispět k větší odolnosti lesů při jejich obnově. V území by mohl díky klimatické změně lépe než v minulosti profitovat buk, který zde byl (nebo stále je) na některých místech limitován jarními mrazíky. Ovšem i to má svá úskalí, protože se s klimatickou změnou zvyšuje pravděpodobnost častějšího a extrémnějšího sucha, což může mít na výskyt buku lesního (a obdobně i jedle) negativní vliv. V tomto případě si do omezené míry můžeme vzít příklad z minulosti, a sice z období středního holocénu, kdy podle různých rekonstrukcí mohlo být klima teplejší a zároveň i sušší. V území tehdy byl mnohem více zastoupen dub, který by jako dřevina mohl lépe reagovat na klimatickou změnu. Již dnes je dub zastoupen v lesních porostech nižších poloh, např. okolí Hranic.

Pro udržení biodiverzity v krajině, a tedy i výskytu zmiňovaných deštníkových druhů, by mohl napomoci cílený požárový management zejména u bezlesých biotopů, jako jsou mokřady a zarůstající louky (Middleton et al. 2006). Řízené vypalování představuje účinný nástroj, který může efektivně bránit sukcesnímu vývoji směrem k lesním společenstvům a vnáší do mokřadních ekosystémů žádoucí heterogenitu. Opuštěním tradičních forem hospodaření (pastva, kosení) totiž dochází na těchto plochách k expanzi konkurenčně silných druhů a v další fázi k zarůstání dřevinami. Průvodním jevem je také značná akumulace odumřelé biomasy, která blokuje generativní rozmnožování mnoha druhů. Důsledkem těchto procesů je úbytek druhové diverzity rostlin a dalších skupin organismů. Tento negativní trend je zřetelný také ve fosilním záznamu, kde je v nejmladších vrstvách všech zkoumaných profilů jasně patrný pokles diverzity v důsledku stoupajícího zalesnění. Vypalování mokřadů mělo v různých regionech svůj specifický historický kontext, takže nemuselo nabývat pouze formy pravidelných zásahů, ale mohlo se jednat také o epizodické události. V získaných uhlíkových datech vidíme, že výrazné požárové vrstvy předchází době formování travinno-bylinné vegetace mokřadů a nárůstu jejich druhové diverzity. Jednalo se nepochybně o lidskou činnost podmíněnou požáry, které můžeme dát do vztahu s kolonizačními aktivitami v regionu. Lidé tímto způsobem přetvářeli mokřadní biotopy, aby odpovídaly jejich hospodářským záměrům. Zda se jednalo o pravidelné vypalování nemůžeme kvůli malému rozlišení jednoznačně potvrdit, nicméně stabilně velké množství uhlíků v celém tomto období tomu napovídá. Řízené vypalování mokřadů tedy může představovat perspektivní nástroj pro udržení jejich diverzity, který by mohl představovat ekonomičtější variantu ke kosení nebo pastvě těchto biotopů.

V této souvislosti zmíníme také možnost kontrolovaných lesní požárů (tzv. „prescribed burning“), které jsou v oblastech boreálního lesa používány ke zmenšování rizika velkých požárů a také podpoře biodiverzity. Vzhledem k tomu, že rekonstrukce regionálního

vegetačního pokryvu v holocénu zde dokládá stabilně vysoký podíl jehličnanů, je opodstatněné uvažovat tento způsob managementu jako jeden z hypotetických přístupů. Určitý potenciál této techniky spatřujeme zejména u porostů, kde neprobíhá lesnické hospodaření, např. u březin v prostorech bývalé železné opony nebo u rozvolněných borových lesů. Takové porosty můžeme považovat za analogie lesů rekonstruovaných v časném holocénu, kde jsme doložili vyšší frekvenci požárů. Cílem zásahů by bylo především udržení rozvolněné struktury těchto porostů a tím podpoření světlomilných druhů. Takový přístup bychom ale doporučovali v ryze experimentální formě, maloplošně a doprovázený monitoringem vlivu ohně na populace organismů napříč skupinami. Nicméně si myslíme, že v území Ašska, kde je zastoupení těchto biotopů díky nedávné historii vysoké, má k použití této techniky vysoký potenciál.

Literatura

- Abraham, V., Kuneš, P., Petr, L., Svitavská-Svobodová, H., Kozáková, R., Jamrichová, E., Švarcová, M.G., & Pokorný, P. 2016. A pollen-based quantitative reconstruction of the Holocene vegetation updates a perspective on the natural vegetation in the Czech Republic and Slovakia. *Preslia* 88: 409–434.
- Adámek, M., Hadincová, V., & Wild, J. 2016. Long-term effect of wildfires on temperate *Pinus sylvestris* forests: Vegetation dynamics and ecosystem resilience. *Forest Ecology and Management* 380: 285–295.
- Alberti, K. 1934. *Beiträge zur Geschichte der Stadt Asch und des Ascher Bezirkes. Bd. I. Vom Mittelalter bis zum Dreißigjährigen Krieg*. Verlag des Bezirkslehrervereins Asch.
- Beug, H.J. 2004. *Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Blaauw, M., & Christen, J.A. 2011. Flexible Paleoclimate Age-Depth Models Using an Autoregressive Gamma Process. *Bayesian Analysis* 6: 457–474.
- Bobek, P., Svobodová-Svitavská, H., Pokorný, P., Šamonil, P., Kuneš, P., Kozáková, R., Abraham, V., Klinerová, T., Švarcová, M.G., Jamrichová, E., Krauseová, E., & Wild, J. 2019. Divergent fire history trajectories in Central European temperate forests revealed a pronounced influence of broadleaved trees on fire dynamics. *Quaternary Science Reviews* 222: 105865.
- Bobek, P., Svitavská Svobodová, H., Werchan, B., Švarcová, M.G., & Kuneš, P. 2018. Human-induced changes in fire regime and subsequent alteration of the sandstone landscape of Northern Bohemia (Czech Republic). *The Holocene* 28: 427–443.
- Büntgen, U., Urban, O., Krusic, P.J., Rybníček, M., Kolář, T., Kyncl, T., Ač, A., Koňasová, E., Čáslavský, J., Esper, J., Wagner, S., Saurer, M., Tegel, W., Dobrovolný, P., Cherubini, P., Reinig, F., & Trnka, M. 2021. Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nature Geoscience* 14: 190–196.
- Carter, V.A., Chiverrell, R.C., Clear, J.L., Kuosmanen, N., Moravcová, A., Svoboda, M., Svobodová-Svitavská, H., Leeuwen, V., Van Leeuwen, J., van der Knaap, W.O., & Kuneš, P. 2018a. Quantitative palynology informing conservation ecology in the Bohemian/Bavarian

- Forests of Central Europe. *Frontiers in Plant Science* 8: 1–14.
- Carter, V.A., Moravcová, A., Chiverrell, R.C., Clear, J.L., Finsinger, W., Dreslerová, D., Halsall, K., & Kuneš, P. 2018b. Holocene-scale fire dynamics of central European temperate spruce-beech forests. *Quaternary Science Reviews* 191: 15–30.
- Feurdean, A., Florescu, G., Vanni re, B., Tan  u, I., O'Hara, R.B., Pfeiffer, M., Hutchinson, S.M., Ga ka, M., Moskal-del Hoyo, M., & Hickler, T. 2017. Fire has been an important driver of forest dynamics in the Carpathian Mountains during the Holocene. *Forest Ecology and Management* 389: 15–26.
- Knipping, M. 1989. *Zur sp t- und postglazialen Vegetationsgeschichte des Oberpf lzer Waldes*. J. Cramer, Berlin, Stuttgart.
- Knipping, M. 1997. Pollenanalytische Untersuchungen zur Siedlungsgeschichte des Oberpf lzer Waldes. *Telma* 27: 61–74.
- Kuneš, P., Pokorn  , P., & Š da, P. 2008. Detection of the impact of early Holocene hunter-gatherers on vegetation in the Czech Republic, using multivariate analysis of pollen data. *Vegetation History and Archaeobotany* 17: 269–287.
- Kuneš, P., Abraham, V., Kov   k, O., Kopeck  , M., & PALYCZcontributors. 2009. Czech Quaternary Palynological Database – PALYCZ: review and basic statistics of the data. *Preslia* 81: 209–238.
- Middleton, B.A., Holsten, B., & van Diggelen, R. 2006. Biodiversity management of fens and fen meadows by grazing, cutting and burning. *Applied Vegetation Science* 9: 307–316.
- Neuh uslov  , Z., Bla zkov  , D., Grulich, V., Husov  , M., Chytr  , M., Jen  k, J., Jir  sek, J., Kolbek, J., Krop    , Z., Lo  ek, V., Moravec, J., Prach, K., Rybn    ek, K., Rybn    kov  , E., & S  dlo, J. 1998. *Mapa potenci  ln   p  rozen   vegetace   esk   republiky. [Map of potential natural vegetation of the Czech Republic]*. Academia, Praha.
- Pt  kov  , M., Š da, P., Vondrovsk  , V., & Pokorn  , P. 2021. Islands of Difference: An Ecologically Explicit Model of Central European Neolithisation. *Environmental Archaeology* 0: 1–9.
- Punt, W., Blackmore, S., Hoen, P., & Stafford, P. (Eds.). 1976–2009. *The Northwest European Pollen Flora*. Elsevier, Amsterdam.
- Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Ramsey, C.B., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheler, R., Palmer, J.G., Pearson, C., Plicht, J. van der, Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., B  ntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., K  hler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reinig, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A., & Talamo, S. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62: 725–757.
- Szab  , P., Kuneš, P., Svobodov  -Svitavsk  , H., Š varcov  , M.G., K  r   ov  , L., Such  nkov  , S., M   llerov  , J., & H  dl, R. 2017. Using historical ecology to reassess the conservation status of coniferous forests in Central Europe. *Conservation Biology* 31: 150–160.
- Veron, A., Novak, M., Brizova, E., & Stepanova, M. 2014. Environmental imprints of climate

changes and anthropogenic activities in the Ore Mountains of Bohemia (Central Europe) since 13 cal. kyr BP. *The Holocene* 24: 919–931.

Whitlock, C., & Larsen, C. 2001. Charcoal as a Fire Proxy. In Smol, J.P., Birks, H.J.B., & Last, W.M. (eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*, pp. 75–97. Developments in Paleoenvironmental Research. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow.

Přílohy

Age-depth models pro všechny sedimentární záznamy

