

ZMĚNY ZÁSoby SLEDOVANÝCH PRVKŮ V LESNÍCH PŮDÁCH NA PLOCHÁCH MOLDAVA V KRUŠNÝCH HORÁCH

CHANGES IN POOLS OF OBSERVED ELEMENTS IN FOREST SOILS AT THE MOLDAVA PLOTS IN THE ORE MTS.

VÁCLAV LOCHMAN - VÍT ŠRÁMEK - VĚRA FADRHONSOVÁ - ZORA LACHMANOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

ABSTRACT

Moldava plots are situated in the Ore Mts., the area of historically high air pollution. Since the second half of the 1970s deposition is measured in open area (bulk) and in the spruce stand (throughfall). After the stand was felled in 1980, deposition has been measured in the regenerating transitory stand of mountain ash. Also soil water chemistry and runoff water are monitored. In 1977, 1980, 1988, 1994 and 2003 the chemical properties of the soil and humus horizon were analysed. The results confirm general decrease of deposition in the 1990s, reflected also in gradual increase of the soil pH and pH of soil solution. However, in the transitory stand of mountain ash the amount of available basic cations is still decreasing. In the clear cut the content of available K and Mg increased, Ca content decreased. The difference between deposition and the loss in runoff water show a negative balance of Ca, Mg, but N and SO_4^{2-} as well. Cation content in humus and soil depends, under current litterfall level, on their pool in primary minerals and the speed of their release. Under existing condition mainly soil calcium content seems to be critical for the stand growth in the future.

Klíčová slova: atmosférická depozice, Krušné hory, porosty náhradních dřevin, chemismus půdy, půdní voda

Key words: atmospheric deposition, Ore Mts., forest stands of substitutive species, soil chemistry, soil solution

ÚVOD

Devadesátá léta minulého století jsou obdobím podstatného snížení emisí znečišťujících látek do ovzduší ve střední Evropě. Dokládají to údaje uváděné FERRIEREM et al. (2001) a WRIGHTEM et al. (2000). Také v České republice silně poklesly emise plyných a tuhých látek. Jak uvádí ČHMÚ (ČHMÚ 2000, 2003), snížila se v ČR roční emise SO_2 mezi roky 1988 a 2002 z 2 066 kt na 236 kt, u NO_x z 858 na 318 kt a u tuhých látek (prachu a popela) z 840 kt na 59 kt. U NH_3 je uváděna v roce 1990 emise 156 kt a v roce 2002 pouze 77 kt. Plochy Moldava, jejichž půdy jsou předmětem hodnocení tohoto příspěvku, leží v Krušných horách při hranici se spolkovou zemí Sasko. RABEN et al. (1996) uvádějí, že v nových spolkových zemích SRN se po roce 1989 do roku 1992 snížila zátěž SO_2 na 50 % a prachu na 20 %. Obsah Ca ve srážkové vodě poklesl pod 25 %, SO_4^{2-} na 50 % a Cl^- na méně než 50 % původních hodnot. Zvýšení se projevilo u emisí NO_x (o 30 %) a koncentrace H^+ iontů ve srážkové vodě narostly na 250 %. Snížení depozice tuhých látek na plochách VÚLHM způsobilo, že i při poklesu spadu SO_4^{2-} pokles u Ca, Mg a K vyvolal ve srážkách na volné ploše (bulk) opětové zvýšení koncentrací a depozice protonů (LOCHMAN et al. 2003, 2004, 2005, 2006). Zvýšení průměrných koncentrací H^+ iontů se na konci 90. let minulého a počátkem tohoto století projevilo v některých případech v podkorunových srážkách na plochách s porosty listnáčů. Změny koncentrací látek ve srážkové vodě se odráží i v chemismu půdní vody, která ovlivňuje výměnu iontů v půdním prostředí.

Depozice protonů H^+ ve srážkách pod porosty v 90. letech však razantně poklesla na množství, které by mohlo být i přes výkyv neutralizováno při zvětrávání půdních minerálů – aluminosilikátů

(MATZNER 1988, ULRICH et al. 1981), ale na okyselování půd se podílejí i procesy v půdě. Kyselé látky jsou uvolňovány při rozkladu organické hmoty a vylučují je také kořeny vegetace při získávání kationtů. Především jsou však produktem reakcí při změnách forem dusíku (ULRICH et al. 1981, KHANNA, ULRICH 1985, BREDMEIER, ULRICH 1989). Vymývání kationtů z půdního prostředí působí jejich vazby na anionty kyselin. Tok SO_4^{2-} se zvyšuje uvolňováním z komplexních sloučenin s oxidy Al (ALEWELL et al. 2001). Ionty NO_3^- vznikají při nitrifikaci redukovaných forem dusíku (NH_4^+).

Předmětem tohoto příspěvku je hodnocení stavu a vývoje zásoby prvků (geobiogenů) v humusu a v minerální půdě na dlouhodobě sledovaných plochách Moldava v Krušných horách s ohledem na vývoj depozice látek a vývoj porostů.

METODIKA

Popis ploch

Výzkumné plochy Moldava seč a Moldava porost leží v blízkosti stejnojmenné obce ve východní části Krušných hor, v nadmořské výšce 805 m (porost), resp. 825 m (seč). Patří do oblasti lesní správy Litvínov (Lesy České republiky, s. p., OI Teplice). Plocha „seč“ byla založena v roce 1977 na nově vzniklé holé seči po smýcení prořídleho poškozeného smrkového porostu. Málo vitální smrk pichlavý (*Picea pungens* ENGELM.) ve velkém sponu dosud neovlivňuje chemismus zachycované srážkové a půdní vody. Od počátku měření v roce 1978 na ploše dominuje paseční travní vegetace s *Calamagrostis villosa* a *Deschampsia flexuosa*. Na ploše porost stál na počátku měření (1978) silně poškozený dospělý smrkový porost ve věku 94 let,

který byl na konci zimy 1980/1981 smýcen. V okolí sběrného zařízení na srážkovou a půdní vodu se rychle vyvinul nárost jeřábu, který již v druhé polovině 80. let ovlivňoval chemismus srážek. Odběry půdy v letech 1988, 1994 a 2003 zde byly prováděny jednak v lokalitách se zapojeným porostem jeřábu, jednak na volnějším prostranství, kde v rámci vegetačního krytu dominovala travní vegetace. Na povodí sledovaného pramene byly v roce 1981 plošně smýceny poškozené porosty smrku a seč byla po bagrové přípravě půdy zalesněna náhradními dřevinami.

Půdní poměry

Humusovou formou na výzkumných plochách byl na konci 70. let mor o mocnosti horizontu O 13 cm. V roce 2003 je pokrývný humus na svrchní části vytvářen drnem a zbytky trav, pod dřevinami i opadem listů. Ve spodní části tohoto horizontu je reziduální vrstva s rozpoznatelnými zbytky kořenů, kůry a větví (Hr) předchozího porostu. Mocnost pokrývného humusu, včetně drnu, nepřesahuje 10 cm.

Geologickým substrátem půdy na ploše seč je muskovit-biotitická migmatizovaná pararula, na ploše porost biotit-muskovitická ortorula. Na obou plochách se vyvinul málo výrazný podzol modální, od hloubky 50 cm s převahou skeletu matečné horniny. Podle klasifikace FAO (WRB 1998) jde o Endoskeletal Haplic Podzol.

Popis zařízení a prováděných prací

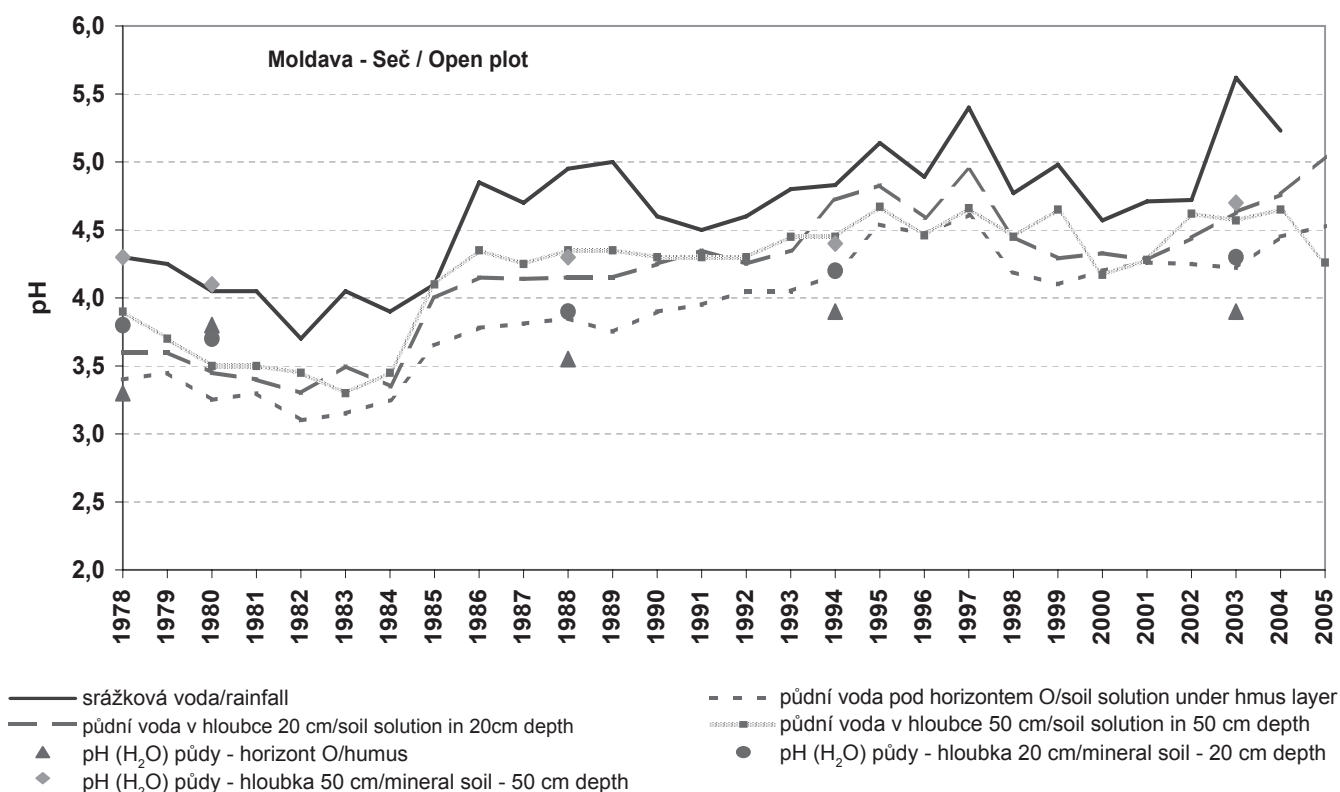
Srážková voda na plochách seč a porost byla zachycována do otevřených plastových koryt umístěných ve výšce 100 cm nad zemí. Půdní voda byla jímána do beztlakových lyzimetrů umístěných pod pokrývným humusem a v půdě v hloubce 20 (25) cm a 50 cm.

Zachycená voda byla sváděna do nádob z polyethylenu umístěných v zakrytých půdních sondách. V zimním období sloužily pro zachycování sněhových srážek přenosné nádoby. Odběry byly prováděny ve čtrnáctidenních intervalech a slévány do měsíčních vzorků. Ve stejných periodách byla odebrána i voda z pramene. V průběhu řešení nebyla měřena vydatnost sledovaného pramene. Proto byl pro výpočet ztráty prvků použit průměrný roční odtok 536 mm (536 l.m⁻²) uvedený v Atlasu ČSSR (1966) a průměrné koncentrace prvků ve vodě z pramene v jednotlivých obdobích. První vzorky půdy byly odebrány v podzimních měsících roku 1977 při budování zařízení na jímání půdní vody, další v několikaletých odstupech (poslední odběr v roce 2003).

Laboratorní analýzy

Analýzy vod a půd (humusu) prováděla zkušební laboratoř Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. Během sledování chemismu vody a půd (období 27 let) došlo ke změnám metodik rozborů. Ke stanovení SO₄²⁻ a NO₃⁻ byl do roku 1994 používán kolorimetr Technicon Autoanalyser II, pro Cl⁻ iontově selektivní elektroda a pro NH₄⁺ kolorimetr SAN Plus Analyzer. Od roku 1994 jsou anionty SO₄²⁻, NO₃⁻ a Cl⁻ měřeny na kapalinovém chromatografu Thermoseparation Products. Kationty byly ve vodách do roku 1994 stanovovány na spektrofotometru Varian Techtron a v dalších letech na spektrofotometru ICP OES LIBERTY 220 (Varian).

Půdní vzorky byly před analýzou prosáté přes síto 2 mm. Ve vzorcích byl do roku 2003 zjišťován celkový organický uhlík jodometrickou titrací po mineralizaci kyselinou chromsírovou, od roku 2003 na přístroji CNS Vario-Max, stejně jako celkový N, který byl v předchozích letech stanovován kjeldahlizací.



Obr. 1.

Vývoj pH srážkové a půdní vody a aktivního pH půdy na ploše Moldava – seč

Development of pH of precipitation and soil water and active soil pH in the plot Moldava – clearcut

Pro zjištění celkového obsahu dalších prvků v humusovém materiálu byl využíván výluh popela koncentrovanou HCl, v roce 2003 výluh lučavkou královskou. Do roku 1988 byl pro zjištění zásoby „přístupných“ živin v půdě používán výluh 1% kyselinou citronovou, od tohoto roku je pro stanovení výměnných kationtů prováděn výluh půdy 1 M NH_4Cl a jejich měření na spektrofotometru Varian. U vzorků půdy odebraných v roce 1988 se uskutečnil výluh oběma extrakčními činidly. Kyselina citronová byla do roku 1988 využívána i pro výluh přístupných fosforečnanů. Od roku 1989 jsou z půdy vyluhovány směsí 0,05 N HCl a 0,025 N H_2SO_4 .

VÝSLEDKY

Vývoj depozice imisních látek

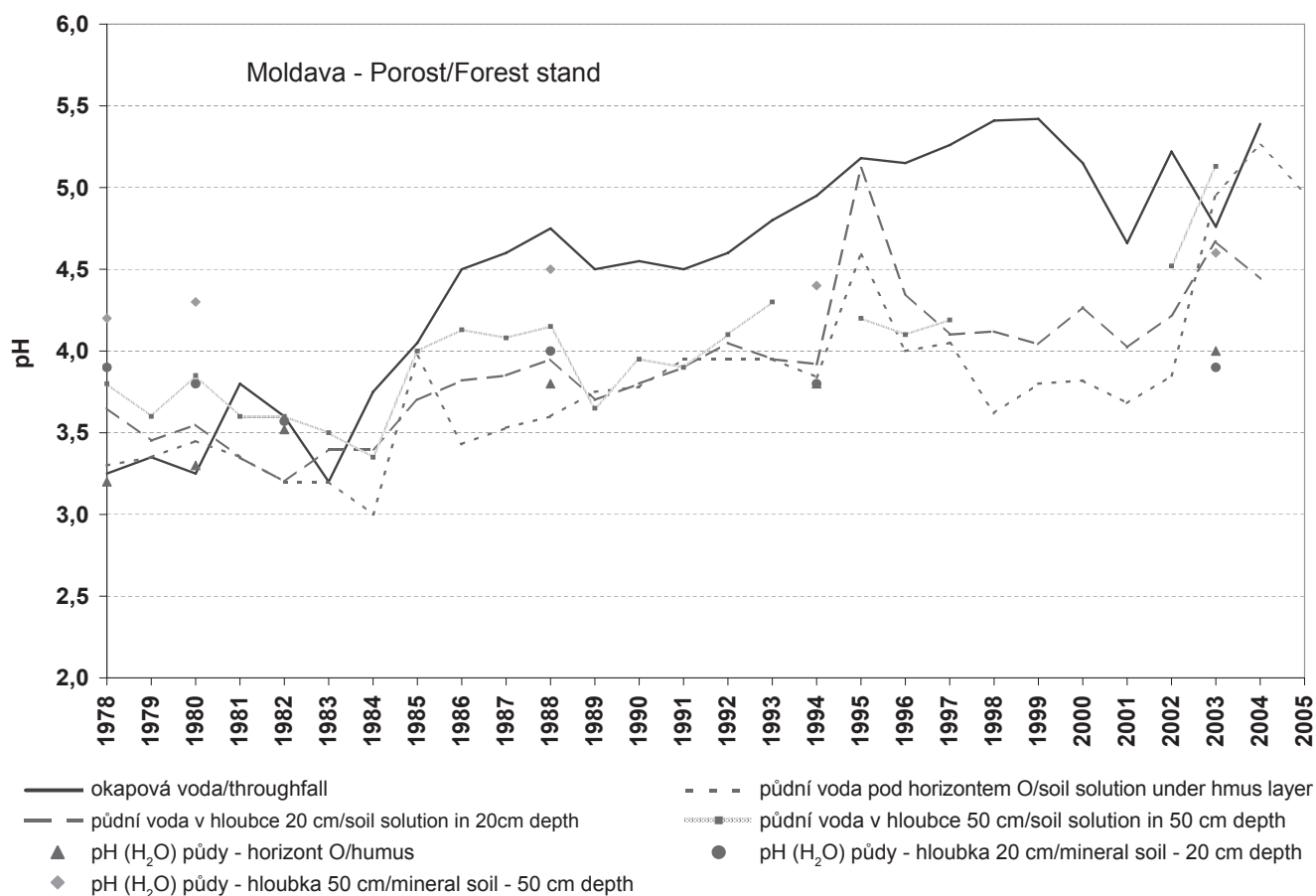
Průběh imisního zatížení látkami zachycovanými se srážkovou vodou na plochách porost a seč je patrný z tabulky 1. Průměrné roční depozice v časových úsecích ukazují velmi vysoký spád protonů (H^+), SO_4^{2-} a minerálních forem dusíku ($\text{N}/\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) v letech 1978 až 1980 pod korunami silně poškozeného smrkového porostu. Po jeho smýcení zjara 1981 se na seči snížila depozice sledovaných iontů, s výjimkou Na. Od poloviny 80. let depozici látek na ploše porost ovlivňoval vývoj nárůstu jeřábu, především u K. V 90. letech je patrný pokles spadu H iontů, SO_4^{2-} , sloučenin N a od roku 2000 též Ca a Mg.

Depozice látek na ploše Moldava seč je ovlivňována pouze znečištěním ovzduší (bulk). Z výsledků uvedených v tabulce 1 lze vyvodit, že na této lokalitě dosahovaly největších hodnot spady protonů (H^+), SO_4^{2-} a Ca v letech 1981 až 1983, u $\text{N}(\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+)$ v období 1990 - 1993. V dalších letech se depozice sledovaných látek snižovala. U Na byla zřejmě ovlivňována přenosem posypových solí z nedaleké silnice. Z rozdílu množství K zachycovaného na ploše porost a na ploše seč je patrné jeho vymývání z listů porostu (tab. 1). Rozdíly u dalších prvků byly v letech 1981 až 2003 podstatně menší a u protonů (H^+) minimální.

Vývoj hodnot pH srážkové a půdní vody

Na ploše seč dosahovala srážková voda nejnižších hodnot pH v letech 1981 až 1983, v dalším období probíhal jejich nárůst (obr. 1). Půdní voda zachycovaná do beztlakových lyzimetrů pod pokryvným humusem (horizontem O) a v půdě v hloubce 20 cm a 50 cm měla průměrná pH nižší než srážková voda (bulk). S hloubkou půdy se pH zvyšovalo. Od poloviny 80. let se stejně jako u srážek projevoval trend zvyšování pH půdní vody s výkyvy po roce 2000.

Na ploše porost po smýcení porostu smrku se v půdní vodě projevilo snížení průměrných hodnot pH (1981 - 1983), které poklesly pod hodnoty pH srážek na nově vzniklé holé seči (obr. 2). Od roku 1985 pH půdní vody narůstalo, ale zůstávalo pod průměrnými ročními hodnotami pH srážek na seči a později srážek v porostu jeřábu. S hloubkou půdního profilu se pH půdní vody



Obr. 2.

Vývoj pH srážkové a půdní vody a aktivního pH půdy na ploše Moldava – porost

Development of precipitation pH and soil water pH and active soil pH in the plot Moldava – stand

Tab. 1.

Průměrné roční a celkové spady prvků ve sledovaném období na plochách Moldava
Average annual and total deposition of elements within the Moldava plots

Období/Time period	H ⁺	Na	K	Mg	Ca	N (NO ₃ ⁻ +NH ₄ ⁺)	S (SO ₄ ²⁻)
Plocha porost [kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/Forest stand - throughfall deposition [kg.ha ⁻¹ .year ⁻¹]							
1978 - 1980	5,04	8,07	29,98	7,24	79,22	28,38	131,6
1981 - 1983	1,581	8,33	8,2	5,2	55,4	21,4	36,0
1984 - 1989	0,484	5,39	8,3	5,4	27,26	23,36	40,5
1990 - 1993	0,229	7,15	13,83	6,2	31,75	22,24	38,5
1994 - 1999	0,057	7,98	33,57	6,22	24,82	13,72	25,8
2000 - 2002	0,108	7,72	27,32	3,02	16,95	12,59	12,7
2003	0,078	4,65	14,71	2,04	7,3	12,5	9,2
Celkový spád/Total deposition [kg.ha ⁻¹]							
1981 - 2003	9,307	169,83	427,81	121,22	614,19	426,82	588,7
1978-2003	29,17	194,04	517,75	142,94	851,85	511,96	983,6
Plocha seč [kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/Open plot - bulk deposition [kg.ha ⁻¹ .year ⁻¹]							
1978 - 1980	0,66	7,91	2,75	4,84	45,48	17,63	28,1
1981 - 1983	1,54	7,74	4,89	4,86	47,42	16,08	37,6
1984 - 1989	0,343	4,66	5,74	4,75	36,37	19,82	27,2
1990 - 1993	0,214	6,01	8,31	5,21	26,2	27,31	24,3
1994 - 1999	0,138	7,49	5,15	4,75	19,43	13,25	16,7
2000 - 2002	0,261	4,17	3,17	2,09	13,33	9,56	9,6
2003	0,011	4,82		1,93	6,92	10,06	7,6
Celkový spád/Total deposition [kg.ha ⁻¹]							
1981 - 2003	9,156	145,23	138,03	100,62	628,77	354,3	415,0
1978 - 2003	11,136	168,96	146,28	115,14	765,21	407,19	496,2

Tab. 2.

Průměrné roční ztráty prvků a celkové ztráty s odtokem vody v povodí pramene na Moldavě
Average yearly element losses and total losses in runoff water in the watershed of the Moldava spring

Období/Time period	H ⁺	Na	K	Mg	Ca	N	S (SO ₄ ²⁻)
Průměrné roční ztráty [kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹]/Average leaching [kg.ha ⁻¹ .year ⁻¹]							
1978 - 1980	0,033	37	5	27	52	23	23
1981 - 1983	0,048	41	7	26	55	21	32
1984 - 1989	0,012	33	6	22	35	22	37
1990 - 1993	0,018	30	6	20	30	18	39
1994 - 1999	0,009	33	6	21	36	11	40
2000 - 2002	0,006	48	6	29	43	12	34
Celková ztráta prvků/Total leaching [kg.ha ⁻¹]							
1981 - 2002	0,358	856	142	544	865	486	935
1978 - 2002	0,458	968	158	625	1020	555	1002

Tab. 3.

Rozdíly mezi depozicí látek se srážkovou vodou a ztrátou s odtékající vodou z pramene na výzkumných plochách
 Difference between atmospheric deposition of the elements and the loss in spring water runoff at the study plots

Plocha/Plot	Období/Period	H	Na	K	Mg	Ca	N($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$)	S (SO_4^{2-})	Cl ⁻
		kg.ha ⁻¹							
Porost/Forest stand	1978 - 2002	28,63	-778,57	344,85	-484,43	-175,55	-55,77	-27,9	-1274,6
	1981 - 2002	8,87	-691,21	270,78	-424,49	-257,72	-71,97	-355,2	-1093,8
	1978 - 1980	19,76	-87,36	74,07	-59,94	82,17	16,20	327,3	-180,9
Seč/Open plot	1978 - 2002	10,67	-803,81	-24,95	-512,11	-261,80	-158,13	-513,6	-1259,4
	1981 - 2002	8,79	-715,98	-17,06	-444,98	-242,76	-142,02	-527,3	-1086,5

zvyšovalo. Mezi ročními hodnotami se projevují značné rozdíly, ale přesto je z obrázku 2 zřejmé, že na ploše porost bylo ve sledovaném období zjišťováno většinou nižší pH půdní vody než na ploše seč s travní vegetací. Výrazný byl tento rozdíl zejména v období od roku 1992 do roku 2002. Poté na ploše porost dochází k nárůstu pH, který je způsoben plošným vápněním o dávce 3 t.ha⁻¹, provedeným v roce 2001.

Při porovnání pH půdní vody a aktivního pH půdy (pH/H₂O) na ploše seč je zřejmé, že na počátku měření bylo pH půdní vody srovnatelné či nižší než aktivní pH půdy ve stejné hloubce. Od odběru v roce 1988 se tato situace změnila - půdní voda odebíraná pod humusem a v hloubce 20 cm je méně kyselá než půda v těchto horizontech. V hloubce 50 cm je pH půdní vody a půdy od odběru v roce 1988 prakticky totožné.

Na ploše porost bylo pH půdní vody pod humusem a ve 20 cm blízké až prakticky vyrovnané s aktivním pH půdy. Až do odběru v roce 1988 bylo pH půdy v 50 cm výrazně vyšší než pH půdní vody odebírané v této hloubce. Výrazná změna je patrná v odběrech půdy z roku 2003, kdy byly zaznamenány výrazně vyšší hodnoty pH v půdní vodě, což bylo pravděpodobně způsobeno vlivem vápnění z roku 2001.

Ztráty prvků s odtékající vodou

Změny v depozici sledovaných prvků a půdní procesy ovlivňují jejich koncentrace v odtékající vodě. V tabulce 2 jsou uvedeny průměrné roční ztráty prvků s vodou v prameni vyvěrajícím nad železniční tratí. Největší ztráty většiny prvků neprobíhaly v období existence smrkového porostu na povodí (1978 až 1980), ale spadají i do následujících let. Týká se to ztrát protonů (nejnižšího pH vody), Na, K, Ca, NO₃⁻, Cl⁻. Největší ztráty SO₄²⁻ se posunuly až do 90. let. Na zvýšení dynamiky kationtů a dusíku po roce 1980 se podílelo zvýšení rychlosti rozkladu organické hmoty na nově vzniklé seči. Nárůst vymývání síranů v 90. letech je spojen s jejich uvolňováním z reverzibilních vazeb s oxidy Al v půdě. Kolísání koncentrací Na a hlavně Cl⁻ bylo pravděpodobně ovlivňováno intenzitou aplikací posypových solí na silnici procházející povodím pramene.

Bilance prvků v povodí

Jak bylo uvedeno v metodice, v průběhu řešení nebyla sledována vydatnost pramene na Moldavě. Bilance je založena na průměrné hodnotě z Atlasu ČSSR (1966), odtok byl však v jednotlivých letech rozkolísaný. Tyto výsledky tak představují hrubý odhad

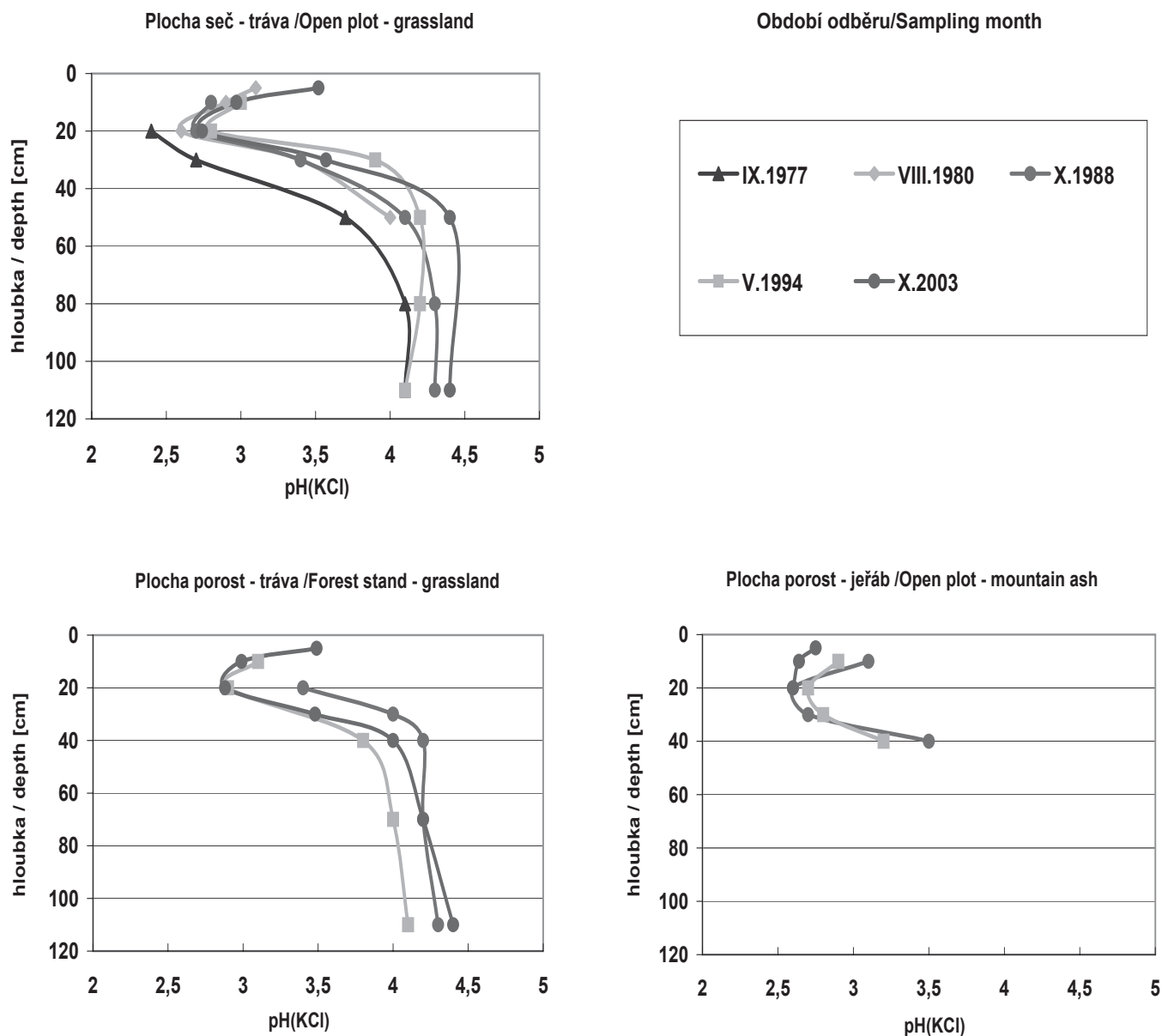
probíhajících procesů, nikoliv přesnou bilanci. Rozdíly mezi depozicí sledovaných prvků (iontů) se srážkovou vodou na výzkumných plochách a jejich ztrátou s odtékající vodou z povodí v prameni jsou uvedeny v tabulce 3. Je zde na ploše porost hodnoceno období let 1978 - 1980 (s existencí poškozených smrkových porostů) a období po smýcení smrku 1981 až 2002. Rok 2003 nebyl do výpočtu zahrnut, protože roční srážky na lokalitě Moldava nedosahovaly ani dlouhodobého průměrného odtoku vody. Čísla v tabulce 3 ukazují zápornou bilanci (ztráty) u Na, Mg, Cl⁻ po celé sledované období a u Ca, N, SO₄²⁻ v období po smýcení porostu.

Mezi roky 1981 až 2002 i mezi roky 1978 až 2002 byla na seči depozice všech prvků nižší, s výjimkou protonů (H⁺), než jejich ztráta s odtékající vodou.

Kladné hodnoty u draslíku způsobilo pravděpodobně jeho intenzivní vymývání z listů (v porostu smrku do roku 1980 a v dalších letech z listů jeřábu) při výměně za vodíkové ionty ze srážkové vody. Množství takto uvolňovaného K lze odvodit z rozdílu jeho depozice na plochách porost a seč. Zásoba síry v nestálých sloučeninách se v půdě akumulovala v době maximálního imisního zatížení povodí před smýcením porostů, kdy roční depozice SO₄²⁻ na ploše porost dosahovala 394 kg.ha⁻¹ (1978 - 1980) a ztráty odtokem pouze 67 kg.ha⁻¹. Jako příčinu velkého rozdílu mezi atmosférickou depozicí a ztrátou Na a Cl⁻ lze zvažovat používání posypových solí na komunikaci vedoucí povodím pramene. Zjištěná záporná bilance nitrátových iontů ukazuje, že v půdě povodí probíhá nitrifikace amonných iontů přicházejících do půdy se srážkami (představují 53 % celkového N ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) a i dalších NH sloučenin, které jsou produkty rozkladu opadu a humusu. Přitom se uvolňují protony (H⁺), které dále okyselují půdní prostředí. Anionty NO₃⁻ spolu s SO₄²⁻ uvolňovanými z vazeb s oxidy Al způsobují ztráty (vymývání) kationtů z této části ekosystémů.

Změny hodnot pH půdy

Změny ve velikosti kyselého spadu a změny vegetačního pokryvu se v průběhu sledování chemických vlastností půdy odrážejí ve vývoji kyselosti povrchového humusu a minerální půdy. Na obrázku 3 jsou uvedeny hodnoty výměnného pH zjišťované u vzorků odebíraných od roku 1977 do roku 2003. Na holé seči (plocha seč) je v tomto období patrný nárůst aktivního a výměnného pH (obr. 3), zejména v povrchových horizontech minerální půdy. Vývoj hodnot pH půdy na ploše porost ukazuje nárůst především v místech s travní vegetací. Pod nárůstem jeřábu s omezeným



Obr. 3.

Vývoj výměnného pH(KCl) v jednotlivých půdních profilech v období 1977 - 2003
Development of exchangeable pH(KCl) in individual soil profiles in the period 1977 - 2003

vývojem přízemní vegetace bylo zvýšení hodnot pH podstatně nižší. Zóna s pufrací protonů uvolňováním Al (s $\text{pH}/\text{H}_2\text{O} \leq 4,2$) se zúžila na povrchové horizonty jen pod travní vegetací.

Změny koncentrací přístupných prvků v půdě

Vývoj obsahu přístupných kationtů stanovený v 1% kyselině citronové do roku 1988 a obsahu výměnných kationtů ve výluhu 1 M NH_4Cl od roku 1988 je uveden v tabulce 4. Na seči se obsah přístupného K v humusu a minerálním horizontu 0 - 10 cm v letech 1977 - 1980 nejprve zvýšil, mezi roky 1980 - 1988 pak došlo k výraznému poklesu. V minerálních horizontech 10 - 40 cm byl v období 1977 - 1988 zaznamenán průběžný pokles. U Ca probíhalo snižování obsahu v půdním profilu obdobně jako u draslíku s tím,

že pokles v letech 1977 - 1988 je vidět až do hloubky 100 cm. U hořčíku je v tomto období patrný průběžný pokles ve všech minerálních horizontech. Od roku 1988 obsah výměnného Mg narůstal v celém půdním profilu. U obsahu Ca došlo v humusové vrstvě a svrchním minerálu do 10 cm k nárůstu v období 1988 - 1994, k odběrům v roce 2003 byly obsahy opět nižší, v hlubších horizontech půdy obsah výměnného Ca do roku 2003 průběžně klesá. Mezi roky 1994 až 2003 poklesl i v nejsvrchnější minerální půdě stupeň nasycení sorpčního komplexu (V) pod 10 %. Obsah přístupného P se v humusovém horizontu snižoval a v hlubších horizontech minerální půdy narůstal.

V půdě na ploše porost byl zjištěn pokles přístupného K do roku 1988 (tab. 5). Přístupný Mg do roku 1988 klesal a v dalších letech

Tab. 4.

Vývoj chemismu půdy a obsahů přístupných (výměnných) kationtů na ploše Moldava - seč
 Development of the soil chemistry and the content of available (exchangeable) cations clearcut

Horizont/Horizon hloubka odběru/sampling depth [cm]	Rok/ Year	pH/H ₂ O	pH/KCl	Cox %	C/N	K	Mg	Ca	P	V%
						mg.kg ⁻¹				
H	1977*	3,3	2,6	32,3	20,7	130	62	526	59	
	1980*	3,8	3,1	36,2	21,6	206	88	750	67	
	1988*	3,6	2,8	24,0	19,8	88	34	339	46	
	1988**	3,6	2,8	24,0	19,8	138	63	480	46	21,5
	1994**	3,9	2,8	22,1	22,6	129	103	765	36	27,8
	2003**	3,9	3,0	34,5	19,8	360	108	508	20	33,7
0 - 8	1977*	3,3	2,4	6,0	16,3	26	19	125	42	
0 - 8	1980*	3,2	2,6	9,8	11,0	50	17	150	22	
0 - 10	1988*	3,4	2,7	5,6	18,8	19	7	110	26	
0 - 10	1988**	3,4	2,7	5,6	18,8	33	18	164	26	7,5
0 - 10	1994**	3,8	3,2	5,3	16,6	47	22	212	94	11,5
0 - 10	2003**	4,1	3,3	7,8	22,2	65	30	75	27	6,9
8 - 15	1977*	3,5	2,7	3,2	17,6	46	30	138	26	
8 - 25	1980*	3,7	3,4	3,0	23,4	25	10	70	18	
10 - 20	1988*	3,9	3,4	2,8	22,6	11	6	61	22	
10 - 20	1988**	3,9	3,4	2,8		17	9	84	22	5,4
10 - 20	1994**	4,2	3,9	2,0	17,8	12	7	57	240	6,6
10 - 20	2003**	4,3	3,6	4,2	25,8	39	18	52	197	6,1
15 - 40	1977*	4,0	3,7	2,0	19,4	27	18	75	58	
25 - 40	1980*	4,1	4,0	1,9	20,6	20	8	65	42	
20 - 40	1988*	4,4	4,2	1,0		8	2	12	22	
20 - 40	1988**	4,4	4,2	1,0		12	3	26	22	6,3
20 - 40	1994**	4,5	4,2	0,6	17,1	9	3	21	362	9,3
20 - 40	2003**	4,7	4,4	1,5	19,9	16	9	9	545	6
40 - 60	1977*	4,3	4,1	0,6	10,7	7	9	55	42	
40 - 70	1988*	4,6	4,3	0,4	15,2	9	2	11	30	
40 - 70	1988**	4,6	4,3	0,4		8	3	23	30	7,1
40 - 70	1994**	4,4	4,1	0,4	16,0	8	3	21	106	8,7
40 - 80	2003**	4,7	4,3	0,5	15,1	11	10	8	187	4,1
60 - 100	1977*	4,3	4,1	0,1	5,8	8	8	50	34	
70 - 100	1988*	4,6	4,4	0,1	11,7	11	2	9	22	
70 - 100	1988**	4,6	4,4	0,1	11,7	10	3	14	22	6
70 - 100	1994**	4,4	4,1	0,5	17,0	9	3	21	93	7,6
80 - 100	2003**	4,7	4,4	0,2	14,4	10	11	4	199	3,4

* výluh v 1% kyselině citronové - extracted in 1% citric acid; ** výluh v 1N NH₄Cl - extracted in 1N NH₄Cl

Tab. 5.

Vývoj chemismu půdy a obsahů přístupných (výměnných) kationtů na ploše Moldava - porost

Development of the soil chemistry and the content of available (exchangeable) cations - forest stand

Horizont/Horizon hloubka odběru/sampling depth [cm]	Rok/Year	pH/H ₂ O	pH/KCl	Cox %	C/N	K	Mg	Ca	P	V%
						mg.kg ⁻¹				
H	1977*	3,2	2,5	34,4	25,7	121	70	561	79	
	1980*	3,3	2,5	38,8	24,7	105	62	450	46	
	1988*	3,8	3,1	24,5	22,1	112	28		42	
	1988**	3,8	3,1	24,3	22,1	135	48	1004	42	54,7
	1994**	3,8	3,0	10,0	18,6	304	111	988	46	40,4
	2003**	4,0	2,9	37,3	20,2	293	151	1475	30	33,2
0 - 8	1977*	3,2	2,3	6,4	13,9	34	22	126	70	
0 - 9	1981*	3,3	2,4	5,5	30,0	34	14	119	77	
0 - 10	1988*	3,4	2,6	4,5	23,3	26	6	298	93	
0 - 10	1988**	3,4	2,6	4,5	23,3	45	14	491	93	26,5
0 - 10	1994**	3,5	2,8	6,0	15,9	99	16	138	27	12,1
0 - 10	2003**	3,8	2,8	9,3	22,3	78	21	172	21	6,7
8 - 15	1977*	3,3	2,5	3,8	21,0	51	23	113	40	
9 - 15	1981*	3,6	2,9	3,8	24,9	43	28	115	34	
10 - 20	1988*	3,4	2,7	3,9	23,8	22	8	123	80	
10 - 20	1988**	3,4	2,7	3,9	23,8	42	16	188	80	11,0
10 - 20	1994**	3,8	3,2	2,7	18,5	59	8	53	36	5,6
10 - 20	2003**	3,9	3,1	2,7	24,7	38	11	54	18	2,9
15 - 35	1977*	3,9	3,5	2,2	28,0	21	13	62	107	
15 - 30	1981*	4,0	3,6	2,3	22,2	25	13	130	57	
20 - 30	1988*	4,0	3,5	1,8	18,1	20	8	66	81	
20 - 30	1988**	4,0	3,5	1,8	18,1	42	13	75	81	6,4
20 - 30	1994**	4,0	3,5	2,2	20,0	37	9	41	62	7,1
20 - 30	2003**	4,4	4,0	2,5	22,5	25	6	25	51	1,8
35 - 70	1977*	4,2	4,1	1,4	18,0	22	9	45	110	
30 - 60	1981*	4,3	4,0	0,4	14,6	17	5	30	22	
30 - 60	1988*	4,5	4,2	1,0	14,6	12	2	27	59	
30 - 60	1988**	4,5	4,2	1,0	14,6	19	5	26	59	8,2
30 - 60	1994**	4,4	4,0	1,2	17,8	34	7	45	108	4,1
30 - 60	2003**	4,6	4,2	2,1	22,4	11	5	21	167	1,5
70 - 100	1977*	4,3	4,2	0,1	10,0	21	10	58	51	
60 - 100	1981*	4,3	4,0	0,2	13,0	22	7	55	23	
60 - 100	1988*	4,6	4,3	0,1		14	2	18	45	
60 - 100	1988**	4,6	4,3	0,1		21	3	20	45	9,9
60 - 100	1994**	4,4	4,1	0,4	17,4	21	3	19	325	9,4
60 - 100	2003**	4,6	4,4	0,3	12,4	12	4	16	416	1,4

* výluh v 1% kyselině citronové; ** výluh 1N NH₄Cl - extracted in 1N NH₄Cl

Tab. 6.

Celková zásoba prvků v pokryvném humusu ploch Moldava

Total element pool in the upper humus layer of the Moldava plots

Místo odběru/Locality	Rok odběru/ Year	Hmotnost horizontu/ Horizon volume	C (Cox)	N (N _t)	K	Mg	Ca	P	Al	Fe	Mn
		t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹							
Porost/Forest stand											
porost smrku/N. spruce stand	1981	205	68,4	3,26	117	81	364	166	889	1621	17
po smýcení/after clearcut	1982	185	66,75	2,94	111	69	379	148	748	1290	17
travní pokryv/grassland	2003	120	52,56	2,87	156	104	446	132	585	1111	25
jeřáb/mountain ash	2003	200	82,04	4,07	144	108	465	217	813	2095	22
Seč/Open plot											
	1980	205	53,73	3,21	126	55	283	166	443	1031	15
	2003	160	62,9	3,2	144	133	364	205	700	1678	34

V letech 1980 až 1982 oxidovatelný uhlík (Cox) stanovován mokřým spalováním a celkový dusík (N_t) Kjeldahlizací, v roce 2003 stanovení celkového C a N v půdním vzorku elementární analýzou na CNS analyzátoru. Na, K, Mg, Ca, P, Al, Fe, Mn v letech 1980 až 1982 stanoveny ve výluhu popela koncentrovanou HCl, v roce 2004 ve výluhu lučavkou královskou.

In 1980 – 1982, oxidizable carbon (Cox) was stated by wet decomposition and total nitrogen (N_t) by Kjeldahl method; in 2003 total C and N in the soil sample were determined by the CNS analyzer. In 1980 – 1982, Na, K, Mg, Ca, P, Al, Fe, Mn were determined in the ash extract by concentrated HCl, in 2004 in the extract by aqua regia.

Tab. 7.

Celková zásoba C a N a zásoba přístupných a výměnných kationtů a P v půdě na plochách Moldava

Total pools of C and N and available and exchangeable cations and P in the soil at Moldava plot

Místo odběru/Locality	Rok odběru/ Year	C (Cox)	N (N _t)	K	Mg	Ca	P
		t.ha ⁻¹	kg.ha ⁻¹				
Porost/Forest stand							
porost smrku/N. spruce stand	1977*	205,8	10,8	243	119	613	763
po smýcení/after clearcut	1981*	174,6	8,6	205	83	589	658
	1988*	166,8	8,3	148	38	692	598
	1988**			259	76	1008	
	1994**	178,7	10,4	393	71	474	973
	2003**	227,7	11,8	225	72	393	1270
seč/open plot							
	1977*	162,3	9,9	171	102	614	420
	1988*	126,3	7,0	87	25	256	195
	1988**			114	47	404	
	1994**	111,1	8,2	115	49	421	1545
	2003**	182,1	10,4	190	111	186	2147

* výluh přístupných kationtů v 1% kyselině citronové/available cations extracted in 1% citric acid; ** výluh výměnných kationtů v 1M NH₄Cl/exchangeable cations extracted in 1M NH₄Cl. V letech 1980 až 1994 stanovován oxidovatelný uhlík (Cox) mokřým spalováním a celkový dusík (N_t) kjeldahlizací; v roce 2003 stanovení celkového C a N v půdním vzorku elementární analýzou na CNS analyzátoru; Do roku 1988 stanoven P/PO₄³⁻ ve výluhu 1% kyseliny citronové, v roce 1994 a 2003 spektrometricky ve výluhu 0,05 M HCl a 0,025 M H₂SO₄/In 1980 – 1994, oxidable carbon (Cox) was determined by wet decomposition and total nitrogen (N_t) by Kjeldahl method; in 2003 total C and N in the soil sample was determined by the CNS analyzer. Up to 1988 P/PO₄³⁻ determined in the 1% citric acid extract, in 1994 and 2003 spectrometrically in the extract 0.05 M HCl and 0.025 M H₂SO₄

Tab. 8.

Změny celkové zásoby bazických kationtů a fosforu v pokryvném humusu a změny zásoby přístupných kationtů a fosforu v minerálním půdním profilu (0 - 90 cm) na plochách Moldava

Changes of the total pool of basic cations and phosphorus in the upper humus layer and changes of available cations and phosphorus in mineral soil profile (0 - 90 cm) in the plot Moldava

Místo odběru/ Locality	Období/ Period	Celková zásoba prvků/ Total nutrients amount					Období/ Period	Zásoba přístupných prvků/ Available nutrients amount			
		Na	K	Mg	Ca	P		K	Mg	Ca	P
		kmol.ha ⁻¹						kg.ha ⁻¹			
Plocha porost/Forest stand											
porost trav/grassland	1981 - 2003	0,52	1,0	1,89	4,09	-34	1977 - 2003	-3,3	-7,04	-26,81	132,8
jeřáb/mountain ash	1981 - 2003	1,7	0,84	2,22	5,04	51	1981 - 2003	-2,32	-4,13	-25,62	237,9
Plocha seč/Open plot											
porost trav/grassland	1980 - 2003		0,46	6,41	4,04	39	1977 - 2003	-0,37	-1,08	-28,78	376,3

koncentrace výměnného Mg poklesla jen mírně a v humózních horizontech H a A narostla. U Ca byl zjišťován pokles jeho obsahu v přístupné i výměnné formě především v minerální části profilu, naopak v humusovém horizontu O nastalo zvýšení. Zásoba přístupného fosforu v humusovém horizontu a v povrchových horizontech minerální půdy klesala a v její spodině narůstala. Nasycení sorpčního komplexu bazickými kationty klesalo mezi roky 1994 a 2003 s nárůstem obsahu Al v sorpčním komplexu.

Změny celkové zásoby prvků v humusovém horizontu

Při porovnání výsledků analýz půdy z počátku 80. let a z roku 2003, uvedených v tabulce 6, je zřejmé, že se zásoba uhlíku (Cox/C) a dusíku (N_t/N) v horizontu pokryvného humusu ve zmíněném období v porostu jeřábu zvýšila. Je však nutné vzít v úvahu, že při stanovení obou prvků v roce 2003 byl použit přístroj CNS Vario-Max, který poskytuje vyšší výsledky oproti stanovení Cox a N_t kjeldahlizací. Také rozdíly stanovené u dalších prvků mohlo ovlivnit použití lučavky královské při analýzách v roce 2003 oproti koncentrované HCl na počátku 80. let. Zvýšení celkové zásoby kationtů v humusovém horizontu odpovídá též jejich nárůstu v sorpčním komplexu horizontů H (tab. 4 a 5).

Vývoj zásoby prvků v půdním profilu

Tabulka 7 uvádí vývoj celkové zásoby uhlíku (Cox) a dusíku (N_t) a přístupných (výměnných) forem K, Mg, Ca a P v půdním profilu. V roce 2003 byl celkový uhlík a dusík také měřen na přístroji CNS, který mohl ovlivnit stanovení vyšší zásoby především u uhlíku. Zásoba přístupných forem K, Mg, Ca a P (ve výluhu 1% kyseliny citronové) do roku 1988 klesala na obou plochách. Po roce 1988 probíhalo snižování zásoby výměnného K, Mg, Ca jen v půdě porostu jeřábu. V půdě na seči se po roce 1988 zásoba výměnného K a Mg zvyšovala a pokles byl zjištěn pouze u Ca. Zásoba přístupného P v půdě obou ploch po roce 1988 narůstala.

DISKUSE

Z výsledků výzkumu získaných na plochách Moldava je zřejmé, že pokles spadu kyselých látek (H⁺, SO₄²⁻) na této lokalitě probíhal již od poloviny 80. let, u nitrátů (NO₃⁻) a potenciálně kyselých amonných iontů (NH₄⁺) až během 90. let. Od konce 90. let také podstatně klesala depozice kationtů Ca a Mg. Tento vývoj byl důsledkem výrazného snižování emisí plyných sloučenin síry (SO₂) a dusíku (NO_x a NH₄⁺) a radikálního snížení emisí prachu (popela) v regionu a v celé střední Evropě. Vývoj depozice těchto iontů na plochách Moldava je zřejmý z tabulky 1.

Při snižujícím se spadu protonů a aniontů silných kyselin zůstával spad bazických kationtů se srážkovou vodou nižší než suma aniontů (v molárních hodnotách). Jako kationt v disociovaných solích kyselin se uplatňují amonné ionty. Ty jsou však považovány za potenciálně kyselé, protože při jejich příjmu rostlinami z půdy je uvolňován iont H⁺ a při nitrifikaci jednoho iontu NH₄⁺ jsou uvolňovány 2H⁺ (KHANNA, ULRICH 1984, ULRICH, MAYER, KHANNA 1981). Naopak příjem nitrátového iontu je spojen se spotřebou jednoho protonu. V případě, že lehce pohyblivé ionty NO₃⁻ jsou z půdy vymyty, je narušena rovnováha produkce a spotřeby protonů a půdní prostředí je okyselováno.

Velikost depozice bazických kationtů a protonů na výzkumných plochách Moldava v letech 2000 až 2002 ukazuje tabulka 1. Depozice bazických kationtů (v molárních hodnotách) nedosahuje depozici aniontů silných kyselin ve srážkách na seči (bulk). Pod porostem jeřábu navýšilo sumu kationtů pravděpodobně jejich vymývání z listů - jde především o draslík. U amonných iontů probíhá minimální ztráta s odtékající vodou a jsou v převážné míře spotřebovány vegetací nebo nitrifikovány. Rozdíl mezi spadem nitrátů (NO₃⁻) ve srážkové vodě v porostu jeřábu v letech 2000 až 2002 (0,536 kmol.ha⁻¹.rok⁻¹) a jejich ztrátou s odtékající vodou v prameni (0,861 kmol.ha⁻¹.rok⁻¹) dosahoval 0,325 kmol.ha⁻¹.rok⁻¹ a přibližoval se molární hodnotě spadu amonných iontů (0,360 kmol.ha⁻¹.rok⁻¹).

Obrázky 1 a 2 ukazují, že v 80. letech bylo ve stejné hloubce půdního profilu pH odtékající půdní vody nižší než pH/H₂O půdy, od 90. let převyšují průměrné hodnoty pH zachycované gravitační půdní vody pH půdy. Zóna pufrace protonů uvolňováním Al (pH/H₂O ≤ 4,2) se na seči v roce 2003 zúžila na hloubku 0 - 10 cm a v porostu jeřábu na 0 až 30 cm.

Sledování depozice látek se srážkovou vodou probíhá též na plochách mezinárodního monitoringu ICP Forests, úrovně II v Sasku, v západní části Krušných hor na ploše Klingenthal, ve střední části na ploše Obernhau a v oblasti Labských pískovců na ploše Cunnorsdorf. RABEN et al. (1996) uvádějí, že se od počátku 90. let na jmenovaných plochách ve smrkových porostech podstatně snižovaly depozice kyselých látek (hlavně sloučenin síry) a ještě podstatněji depozice prachu, který přináší i kationty.

Z přehledu vývoje chemismu půd v tabulce 4 a 5 a z obrázku 3 je zřejmý nárůst hodnot pH, především na ploše seč. Obsah přístupných forem kationtů (do roku 1988) a výměnných kationtů (po roce 1988) v půdě na ploše porost klesal. Na ploše seč se obsah výměnného K a Mg v půdě poněkud zvýšil, ale u Ca byl stanoven také pokles.

Zjištěný růst zásoby C a N v pokryvném humusu obou ploch v posledních letech může být ovlivněn změnou metodiky a stanovení na přístroji CNS v roce 2003. Celková zásoba kationtů K, Mg, Ca v těchto horizontech se v roce 2003 oproti roku 1981 zvýšila (tab. 6), stejně jako obsah výměnných K, Mg, Ca v horizontu H (tab. 4, 5).

V minerálním profilu se během sledování snižovaly obsahy přístupného a výměnného K, Mg a Ca na ploše porost. Na seči po roce 1988 klesaly obsahy jen u Ca.

Růst zásoby přístupného P je pravděpodobně také ovlivněn změnou použité metodiky. Přesto je zřejmý trend posunu P (P/PO₄³⁻) ze svrchních horizontů do hlubších.

I přes nejistoty, které vyplývají z použití konstantního ročního odtoku pro hodnocení bilance prvků, jsou patrné tendence vývoje v této oblasti. Z výsledků v tabulce 3 je zřejmé, že ztráty s odtékající vodou probíhaly u Ca a N po smýcení porostu smrku v období oživení rozkladu akumulované hmoty opadu a zbytků po těžbě porostu, u SO₄²⁻ až v 90. letech. Rozdíly mezi ztrátou spojenou s odtokem vody v prameni a depozicí se srážkovou vodou byly největší u hořčíku. Tento rozdíl vysoko překračuje snížení přístupné i výměnné zásoby tohoto prvku v půdě. Vysvětlení je možné hledat v intenzivním zvětrávání primárních minerálů v půdě. To v půdách na silikátových substrátech dosahuje 0,27 kmol.ha⁻¹.rok⁻¹, tj. 3,28 kg.ha⁻¹ (MATZNER 1988, ULRICH et al. 1989) a je tedy ve sledovaném období podstatně nižší než rozdíl mezi spadem Mg a jeho ztrátou s odtékající vodou (tab. 3). Proto je zřejmé, že k největšímu uvolňování Mg dochází až ve zvětralině biotitických hornin v podložích, kterými prochází odtékající voda.

Zápornou bilanci mezi spadem se srážkami a ztrátou s odtékající vodou z povodí má též vápník, a to zejména po snížení jeho depozice od druhé poloviny 90. let. V době existence smrkového porostu (1978 - 1980) převyšoval spád Ca jeho ztráty s odtokem vody (tab. 1, 2, 3). Ztráty výměnného Ca se v minerální půdě projevily až po roce 1988 na obou plochách (tab. 7). Naopak v pokryvném humusu obou ploch byla v roce 2003 stanovena větší celková zásoba vápníku oproti roku 1981, respektive roku 1980 (tab. 6). Ztráta tohoto prvku v minerálním profilu půdy na ploše porost (512 kg.ha⁻¹), vypočtená ze ztráty přístupného Ca mezi roky 1977 a 1988 a ztráty výměnného Ca mezi roky 1988 a 2003 (tab. 7),

je větší než součet ztráty vyplývající z rozdílu spadu a odnosu s odtékající vodou 258 kg.ha⁻¹ a jeho nárůstu v pokryvném humusu 92 kg.ha⁻¹ (tab. 3 a 6). Vysvětlení je možné hledat ve spotřebě tohoto prvku vegetací (travním porostem a jeřábem). Rozdíl 162 kg.ha⁻¹ odpovídá asi 410 kg CaCO₃. Rychlost uvolňování vápníku z primárních minerálů v půdě je podstatně nižší než u hořčíku (MATZNER 1978, ULRICH et al. 1989).

U draslíku byl vzhledem k jeho intenzivnímu vymývání z listů spád na seči blíže ku skutečnému spadu v povodí. Při jeho použití v bilanci se ukazuje mírné vymývání K z ekosystémů v povodí (tab. 3). V pokryvném humusu se na obou plochách projevil mírný nárůst celkové zásoby draslíku a současně i pokles zásoby přístupného K v minerální půdě (tab. 8)

Sodík a chloridy (Cl⁻) se dostávají do povodí s posypovými solemi, a proto jsou jejich ztráty při bilanci přibližně stejné (v molárních hodnotách). Oba tyto ionty jsou při příjmu živin kořeny rostlin diskriminovány a proto lehce vyplavovány (ULRICH, MAYER, KHANNA 1981).

Stanovené zásoby prvků v humusu a půdě na plochách Moldava je možné porovnat s údaji z monitoračních ploch s porosty smrku v Sasku, v blízkosti hranice s ČR (RABEN et al. 2000). Plochy leží v nadmořské výšce 677 až 795 m. Na plochách Bärenfels a Brand - Erbisdorf je půdním typem kambizem, na Altenbergu podzol. Odběry vzorků humusu a půdy byly provedeny v letech 1992 a 1997. Aktivní a výměnné pH pokryvného humusu a v povrchových půdních horizontech, zejména v místech s travním porostem, bylo na plochách Moldava vyšší než v půdě monitoračních ploch s porosty smrku na saské straně Krušných hor. Větší mocnost pokryvného humusu zapříčiňuje i vyšší celkovou zásobu C, N, Ca, Mg a P na Moldavě (zásoba K je zde nižší). V minerální půdě na Moldavě byla také stanovena poněkud větší celková zásoba C a N, zásoby výměnného Ca, Mg a K na plochách v Sasku i na Moldavě kolísají. Rozdílné hodnoty na plochách v Sasku odpovídají rozpětí ploch Moldava. Nasycení sorpčního komplexu bazickými kationty (V) v humózních horizontech A (10,4 až 12,2 %) a v hlubších horizontech (5,1 až 12 %) odpovídá poměrům stanoveným na Moldavě v roce 1994 (tab. 4, 5).

Meliorační působení náhradních dřevin popisují BARTELT et al. (1999) na plochách v Krušných horách na saské straně, kde bylo při přípravě půdy pro výsadbu provedeno její povápnění a pohnování. Nejpriznivější složení opadu má jívka, následuje osika, jeřáb a bříza.

ZÁVĚRY

Sledování chemismu srážkové, půdní vody, vody v prameni a chemismu půd na výzkumných plochách Moldava ve východním Krušnohoří bylo zahájeno v roce 1978. Z výsledků výzkumu vyplývá, že spád kyselých látek (H⁺, SO₄²⁻) se snižuje již od poloviny 80. let, u nitrátů (NO₃⁻) a amonných iontů (NH₄⁺) až během 90. let, kdy také podstatně poklesla depozice bazických kationtů (Ca, Mg), a to v souvislosti se snížením emisí plyných sloučenin síry a dusíku a také prachových částic (popela) v regionu. Depozice bazických kationtů nedosahuje úrovně depozice aniontů silných kyselin ve srážkách na volné ploše (bulk). V porostu jeřábu sumu bazických kationtů navyšuje jejich vymývání z listů, především u draslíku.

V půdách dochází ke zvyšování hodnot pH a také ke snižování obsahu přístupného Ca v porostu i na seči, pokles byl zaznamenán také u ostatních bazických kationtů v porostu, naopak na seči se zásoba přístupného K a Mg zvýšila. Z rozdílů mezi depozicí a ztrátou s odtokem vody je zřejmá záporná bilance u Ca, Mg, ale také u N a SO_4^{2-} .

V současné době po snížení znečištění ovzduší exhaláty kyselých a toxických látek lze uvažovat o obnově těchto porostů cílovými dřevinami. Další alternativou je ponechání stávajících porostů dřevin s cílem zlepšit zásobu přístupných živin pro později založený porost. Sestupné trendy v depozici látek se srážkami se dotýkájí nejen protonů (H^+), SO_4^{2-} , sloučenin dusíku, ale také depozice kationtů Ca, Mg a K. Přímý spad protonů se srážkami se snížil na 0,1 až 0,3 $\text{kmol} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a toto množství by mohlo být neutralizováno při zvětrávání minerálů matečné horniny. Dalším zdrojem protonů jsou však přeměny forem dusíku, především nitrifikace amonických iontů při současném vymývání vzniklých nitrátových iontů, která překračuje 0,3 $\text{kmol} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a zanechává tak v půdě dvojnásobné množství (molární) H^+ . Tyto externí zdroje zřejmě převyšují interní ekosystémovou produkci protonů zapříčiněnou akumulací kationtů v biomase a produkcí organických kyselin. Zmíněné procesy byly tedy příčinou poklesu zásoby výměnných kationtů na ploše s porostem jeřábu v období snížené kyselé depozice.

Na plochách Moldava bude zřejmě Ca, s ohledem na složení matečné horniny, omezení jeho spadu a nároky dřevin, v budoucnu nedostatkovým prvkem.

I po skončení silného imisního zatížení v 90. letech probíhal v minerální půdě plochy porost pokles zásoby bazických kationtů, především Ca. V půdě plochy seč se snižovala jen zásoba Ca.

Doplňování kationtů v humusu a půdě je při současné úrovni spadu v podstatné míře závislé na jejich zásobě v primárních minerálech a rychlosti jejich uvolňování. Proto bylo zjištěno vyšší uvolňování Mg při neutralizaci H^+ iontů v odtékající vodě a i vyšší doplňování hořčíku v humusu a v sorpčním komplexu půdy než uvolňování Ca a jeho doplňování v přístupné formě v půdě. Draslík je udržován v intenzivním biologickém koloběhu a je vymýván z půdního prostředí v podstatně menší míře než Mg a Ca.

V současné době nízké úrovně znečištění ovzduší lze uvažovat o obnově porostů v povodí cílovými dřevinami. S ohledem na výše uvedené důvody však bude vápník pro tyto porosty nedostatkovým prvkem.

Poznámka:

Výsledky byly získány v rámci řešení výzkumného záměru „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“ (MZE č. 0002070201).

LITERATURA

- ALEWELL, C., ARMBRUSTER, M., BITTERSÖHL, J., EVANS, C. D., MEESENBURG, H., MORITZ, K., PRECHTEL, A. Are there signs of acidification reversal in freshwaters of the low mountain ranges in Germany? *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2001, vol. 5, s. 283-297.
- Atlas Československé socialistické republiky. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1966.
- BARTELT, D., NEBE, W., LEUBE, F. Biochemisches Potenzial ausgewählter Baumarten auf meliorierten, immissionsbeeinflussten Standorten des Erzgebirges. *Schriftenr. Sächsischen Landesans. f. Forsten, Graupa*, vol. 18, 1999. 40 s. ISBN 3-932967-19-4.
- BREDEMEIER, M., ULRICH, B. Depositionsbedingte und ökosysteminterne Anteile der Säurebelastung von Waldböden. *AFZ*, 1989, vol. 11, s. 256-260.
- ČHMÚ Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1999. Ročenka Českého hydrometeorologického ústavu. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2000. 198 s. ISBN 80-85813-77-7.
- ČHMÚ Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2002. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2003. 158 s. ISBN 80-86690-07-5.
- FERRIER, R. C., JENKINS, A., WRIGHT, R. F., SCHÖPP, W., BARTH, H. Assessment of recovery of European surface waters from acidification 1970 - 2000: An introduction to the Special Issue. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 2001, vol. 5, s. 274-282.
- KHANNA, P. K., ULRICH, B. Processes associated with acidification of soils and their influence on the stability of spruce stands in Solling area. In *Proc. Symp. Air Pollution and Stability of Coniferous Forest Ecosystems*. Ostravice, October 1-5, 1984. Brno: Fac. Forestry Agric. Univ., 1985. s. 23-26.
- LOCHMAN, V., BÍBA, M., BUCEK, J., FADRHOŇOVÁ, V. Vývoj depozice imisních látek a chemismu půdy v lesních porostech na plochách v okolí Temelína. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2003, roč. 48, č. 1, s. 30-44.
- LOCHMAN, V., MAREŠ, V., FADRHOŇOVÁ, V. Development of air pollutant deposition, soil water chemistry and soil in the research plots of Šerlich, and water chemistry in a surface water source. *Jour. For. Sci.*, 2004, vol. 50, no. 6, s. 263-283.
- LOCHMAN, V., FADRHOŇOVÁ, V., BÍBA, M. Water chemistry development of surface sources in the Želivka area with regard to pollution load and management in the catchment. *Comm. Inst. For. Boh.*, 2005, vol. 21, s. 54-74.
- LOCHMAN, V., MAXA, M., BÍBA, M. Vývoj chemismu půdy na výzkumných plochách VÚLHM v období poklesu spadu imisních látek. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2006, roč. 51, č. 2, s. 106-119.
- MATZNER, E. Der Stoffumsatz zweier Waldökosysteme im Solling. *Ber. d. Forschungszentr. Waldökosyst. Univ. Göttingen*, 1988, Bd. A 40, 217 s.
- RABEN, G., ANDRAE, H., LEUBE, F. Schadstoffbelastungen in sächsischen Waldökosystemen. *AFZ/Der Wald*, 1996, vol. 22, s. 1244-1248.
- RABEN, G., ANDRAE, H., KARST, H., SYMOSSEK, F., LEUBE, F. Bodenzustandserhebung (BEZ) in den sächsischen Wäldern (1992 - 1997). *Schriftenr. d. Sächsischen Landesans. f. Forsten, Graupa*, 2000, vol. 20, 200 s. ISBN 3-932967-18-6.

- ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P. K. Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schrift. Forstl. Fak. Univ. Göttingen, 1981. Bd. 58, 2. Auflage, 391 s.
- ULRICH, B., MEYER, H., JÄNICH, K., BÜTTNER, G. Basenverluste in den Böden von Hainsimsen – Buchenwäldern in Südniedersachsen zwischen 1954 und 1986. Forst u. Holz, 1989, vol. 44, s. 251-253.
- WRIGHT, R. F., ALEWELL, C., CULLEN, J. M., EVANS, C. D., MARCHETTO, A., MOLDAN, F., PRECHTEL, A., ROGORA, M. Trends in nitrogen deposition and leaching in acid-sensitive streams in Europe. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2000, vol. 5, s. 299-310.
- WRB: World reference base for soil resources. World soil resources reports 84. Rome: FAO, 1998. 88 s. ISBN 92-5-104141-5.

CHANGES IN POOLS OF OBSERVED ELEMENTS IN FOREST SOILS ON PLOTS MOLDAVA IN THE ORE MTS.

SUMMARY

The plots of Moldava are situated in the eastern part of the Ore Mts. (Krušné hory), at the altitude of 805 m (stand) and 825 m (clearcut). Research activities were initiated in 1978. In the plot "clearcut" grass vegetation is dominating, developed after the original Norway spruce stand had been felled down. At beginning of measuring the plot "forest stand" was covered by strongly damaged adult spruce stand, which was felled in winter 1980/81. After that fast-growing transitory stand of mountain ash had developed in part of the plot, affecting chemistry of precipitation since the second half of the 1980s. Other part of the plot forest is still just grass-covered.

Samples of precipitation, soil water and spring water were taken in two-week interval; monthly mixed samples were analysed. Soil samples were taken between 1977 and 2003 in several-year periods.

The highest element deposition with precipitation in the stand was in 1978/80 (original damaged spruce stand), mainly of protons (H^+), SO_4^{2-} , NO_3^- and NH_4^+ . After the stand was felled down, deposition decreased, with exception of Na. Throughfall was affected by the mountain ash stand since the mid-1980s, which was obvious mainly for K (leaching from leaves). Since the 1990s the deposition of H^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ is decreasing permanently, same as deposition of Ca and Mg. In the clearcut, the highest bulk deposition of H^+ and SO_4^{2-} was at the beginning of the 1980s, and deposition of NO_3^- and NH_4^+ at the beginning of the 1990s. The values of precipitation pH increased gradually during the investigation. Soil water pH was lower at the beginning, compared to the bulk precipitation, however, during the period of investigation, increasing trend of soil water pH is visible in the clearcut.

The highest element loss in runoff water was visible since the beginning of the 1980s, in connection with fast decomposition of organic matter after felling of the spruce stand. Increased losses of SO_4^{2-} were observed only in the 1990s (due to release of reversible Al compounds).

Changes in precipitation chemistry and changes in vegetation cover are reflected in chemistry of the upper humus layer and mineral soil during the investigation. Content of available nutrients (K, Mg, Ca) was decreasing both in the clearcut and in the stand. In lower layers of the mineral soil it was increasing moderately, with the exclusion of Ca. Base saturation of the sorption complex decreased in the clearcut under 10%, it decreased also due to increased content of exchangeable Al. Carbon and nitrogen content in the upper humus layer has increased in both plots during the period of investigation. However, the results can be influenced by the methods of laboratory analyses.

The results of the research show that decreased atmospheric deposition of acid substances (H^+ , SO_4^{2-}) is observed since mid-1980s, for nitrogen (NO_3^- , NH_4^+) only since the 1990s. Also deposition of basic cations (Ca, Mg) decreased due to radical lowering of dust and ash pollution. Total deposition of basic cations is lower than deposition of strong acids anions. Also ammonium ions (NH_4^+) are considered to be potentially acid, as in their uptake by the plants one ion H^+ is released, and in nitrification of one NH_4^+ ion two ions of H^+ are released (KHANNA, ULRICH 1984, ULRICH, MAYER, KHANNA 1981). In contrary, uptake of one NO_3^- ion is connected to the consumption of one H^+ ion, thus when the free ions NO_3^- are leached in the soil, the balance of production and consumption of the H^+ protons is disturbed and the soil environment is acidified.

Element balance in the watershed confirms losses of Ca and N with runoff water after clearcut of the spruce stand and increased decomposition of accumulated organic substances, for SO_4^{2-} later, in 1990s. The difference in the loss with runoff water and deposition is the highest for Mg, it is much higher than the decreased content of Mg in the soil. It can be explained by intensive weathering of primary minerals, which reaches $0.27 \text{ kmol} \cdot \text{ha}^{-1}$ per year ($3.28 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) in silicate rocks (MATZNER 1988, ULRICH et al. 1989). The highest Mg release is in the weathered biotic bedrocks, penetrated by the runoff water.

Calcium is of negative balance also, mainly after its deposition decreased in the mid-1990s. Loss in mineral soil was observed only after 1988; in contrary, in the upper humus layer the content increased, which can be explained by consumption of this element by vegetation (grass and mountain ash stand).

In conclusion it can be stated that not only deposition of protons (H^+) SO_4^{2-} and nitrogen compounds (NO_3^- and NH_4^+), but also deposition of basic cations Ca, Mg and K showed decreasing trend. Direct protons fallout in precipitation decreased to $0.1 - 0.3 \text{ kmol} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ and this amount can be neutralised in mineral weathering of the bedrock. Leaching of nitrogen in the soil is another source of protons – the amount of H^+ is double. These sources overtake the ecosystem proton production caused by accumulating of cations in biomass and creation of organic acids. All these processes caused decrease of the content of exchangeable cations in the mountain ash plot.

Recovery of cations in the soil depends, under recent atmospheric deposition, on their content in primary minerals and on the weathering rate. That is why higher Mg release was found under neutralisation of H^+ ions, and its recovery was higher in humus and mineral soil sorption complex, compared to Ca.

Even after lowering of air pollution load, decrease of the content of basic cations, mainly of Ca, was observed in the plot Moldava. Calcium will be insufficient element in the future due to mineral composition of the bedrock.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Václav Lochman, CSc., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.,
Strnady 136, 292 02 Jíloviště, Česká republika
tel.: 257 892 206; e-mail: admin@vulhm.cz

VYHODNOCENÍ VÝVOJE CHEMISMU PŮDNÍHO PROFILU NA PLOCHÁCH ZDÍKOV V OBLASTI ŠUMAVY

EVALUATION OF DEVELOPMENT OF SOIL PROFILE CHEMISTRY ON PLOTS ZDÍKOV IN THE AREA OF THE ŠUMAVA MTS.

VÁCLAV LOCHMAN - MILAN BÍBA - VĚRA FADRHONSOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady

ABSTRACT

Research plots Zdíkov are situated into the experimental catchment U Lizu in the Šumava Mts. Foothills at Zdíkov. Research in this area was focused on water management influence of spruce and beech stands. Plot spruce I was established in 1986 in the older stand that was felled in 1997. In the same year plot spruce II was established in the vicinity of the plot beech established in 1989. Sampling of humus and soil was provided during plot establishment and repeated in irregular time periods, and fallout of substances in throughfall was investigated. In the 1990s deposition of H^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , Fe , Al and NH_4^+ decreased in the observed stands, after 2000 marked fallout drop of Na , Mg , Ca appeared as well as growth of K fallout and also of Mn in throughfall under spruce. Changes were in deposition of observed substances also in concentration of substances in soil water caught under humus horizon. Between years 1993 and 2000 pH increased in forest floor of spruce and content of exchangeable cations Mg , Ca and Mn (already on felling) enhanced. In mineral soil pH as well as content of exchangeable basic cations decreased. In 2000 increased content of exchangeable cations was found in beech stand in the layer H of forest floor in comparison with the year 1993 and this state lasted until 2006. In mineral soil sudden fallout of exchangeable cations appeared in 2000. Zone of higher content of cations in adsorption complex occurs in soil profile under spruce (II) already from depth of 50 cm, while in beech stand first from 70 - 100 cm.

Klíčová slova: chemismus lesních půd, změny depozice prvků, Šumava

Key words: chemistry of forest soils, changes in deposition of elements, Šumava Mts.

ÚVOD

Výzkumné plochy Zdíkov byly založeny na povodí U Lizu pro studium vlivu porostů smrku a buku na vodní režim půdy, jejich vlivu na odtok vody do zdrojů a vztahu k přírůstu dřevní hmoty (MRÁZ et al. 1990). Sledování vodního režimu půd bylo ukončeno v roce 1994 (BUCEK et al. 1994). Vedle vodního režimu půd v porostech smrku a buku byla měřena depozice látek a chemismus půdní vody. Měření pokračovalo do konce roku 2007 (LOCHMAN et al. 2003). Při založení výzkumných ploch zde byly odebírány vzorky humusu a půdy pro analýzy, odběry a analýzy humusu a půd na plochách byly opakovány a je možné vyhodnotit vývoj chemismu půdy, který je předmětem tohoto příspěvku.

Oblast Zdíkov v předhůří Šumavy (CHKO Šumava) byla relativně méně zasažena spadem imisních látek ve srovnání s dalšími horskými oblastmi České republiky (LOCHMAN 1993), přesto se i zde zřetelně projevil pokles znečištění ovzduší a spadu kyselých imisních látek, především SO_4^{2-} i Cl^- v 90. letech a komponentů tuhého spadu po roce 2000. Po snížení spadu imisních látek však stále klesá zásoba výměnných kationtů v rhizosféře minerální půdy. Vývoj chemismu půdy je podstatný nejen pro ovlivňování koncentrací látek v odtékající vodě do zdrojů, ale též pro výživu porostů lesních dřevin.

METODIKA

Popis ploch

Výzkumné plochy v porostech smrku a buku leží na výzkumném povodí U Lizu nedaleko Zdíkova. Jeho správcem je Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd ČR. Plocha v porostu smrku I byla v zimě 1996/97 zrušena smýcením porostu a v dubnu 1997 přenesena do smrkového porostu II, poblíž plochy v porostu buku. Bližší údaje o porostech jsou v tabulce 1. Podle TESÁŘE (1990) zde dosahovaly v letech 1976 až 1989 průměrné roční srážky 840,6 mm, podle Atlasu ČSSR (1966) leží srážky v pásmu 800 až 900 mm. Pro jednotlivé roky jsou k dispozici srážky volné plochy na stanici České geologické služby. Průměrná teplota se v minulosti pohybovala mezi 5 a 6 °C (Atlas ČSSR, 1966). Humusovou formou v porostu na ploše smrk I je morový moder, v porostu smrk II a v porostu buku typický moder. Půdním typem na všech třech plochách je dystrická kambizem, na ploše smrk I se pomístně objevují i znaky podzolizace (NĚMEČEK et al. 2001). Půdy se vyvinuly na svahovinách ruly (biotitická a sillimanit-biotitická plagioklasová pararula).

Popisy prací

Na výzkumných plochách je instalováno zařízení ke sběru srážkové vody (koryta) a beztlakové lyzimetry pod pokryvným humusem. Na ploše smrk I byly umístěny roku 1986 a na plochu ve smrku II byly přemístěny v roce 1997.

V porostu buku byla instalována sběrná zařízení na podkorunové srážky a stok vody po kmenu i lyzimetry na jímání půdní vody pod pokryvným humusem v roce 1989. Vzorky vody byly odebírány v měsíčních intervalech, v mrazivém zimním období byly odběry nepravidelné.

První vzorky půdy jsme odebírali ze sond při zakládání ploch, na ploše smrk I roku 1986 a dále roku 1993 a 2000, na ploše smrk II až v roce 2006. V porostu buku byly odebrány první vzorky půdy v roce 1989 a dále v roce 1993, 2000 a 2006.

Metodiky rozboru

Rozbory vod i půd prováděly zkušební laboratoře VÚLHM Strnady. Celkový organický uhlík (Cox) byl ve vodách zjišťován jodometrickou titrací po mineralizaci kyselinou chromsírovou. Hodnoty pH byly měřeny na pH přístroji ION Meter pMX 2000. Koncentrace F^- a Cl^- byly stanoveny do roku 1993 na stejném přístroji pomocí iontových selektivních elektrod. Do konce tohoto roku byl měřen obsah NO_3^- , NH_4^+ a SO_4^{2-} kolorimetricky na Auto-Analyzeru Technicon II a fosfáty kolorimetricky při použití molyb-



Obr. 1.
Půdní profil v sondě na ploše Zdíkov
Soil profile in the probe on plot Zdíkov



Obr. 2.
Popis půdní sondy na ploše Zdíkov v roce 2006
Description of soil probe on plot Zdíkov in 2006

Tab. 1.
Plocha Zdíkov
Plot Zdíkov

Plocha/ Plot	Dřevina/ Tree species	Věk/ Age	Zakmenění/ Stocking	Bonita/ Yield class	Lesní typ/ Forest type	Nadm. výška/ Elevation m
smrk I/spruce 1 1987 - 1996	smrk 92/spruce 92 buk 5/beech 5 jedle 3/fir 3	126	10	6	6 K1	835
smrk II/spruce II od/since 1997	smrk 100/spruce 100	97	10	5	6 S1	870
buk/beech od/since 1989	buk 100/beech 100	97	10	5	6 S1	880

denátu amonného. Od roku 1994 byly měřeny koncentrace Cl^- , F^- , NO_3^- , SO_4^{2-} na chromatografu Thermostepparation a NH_4^+ na přístroji SAN Plus Autoanalyzer. Kationty Na, K, Mg, Ca, Zn, Mn, Al byly do roku 1993 ve vodách stanoveny na spektrofotometru Varian Techtron. Od roku 1994 jsou koncentrace těchto prvků a P měřeny na spektrofotometru ICP OES LIBERTY.

Pro stanovení celkového obsahu prvků v humusu byly vzorky mineralizovány žiháním a k výluhu popela použita koncentrovaná HCl. Od roku 1994 jsou vzorky vyluhovány lučavkou královskou. Do roku 1989 byl pro stanovení přístupných prvků používán 1% výluh kyselinou citronovou a od roku 1990 výluh 1M NH_4Cl .

Při použití kyseliny citronové přejde do výluhu méně sorbovaných bazických kationtů (Na, K, Mg, Ca) než do výluhu 1M NH_4Cl , ale více kovů Al, Fe, Mn, protože kyselina vytváří rozpustné cheláty s oxidy (hydroxidy) těchto kovů přítomných v půdě (LOCHMAN 1996, LOCHMAN et al. 1998).

Celkový oxidovatelný uhlík (Cox) v půdách byl stanoven též jodometrickou titrací po mineralizaci kyselinou chromsírovou, celkový dusík pomocí kjeldahlizace. Obsahy Ca, K, Mg, Na, Al, Fe, Mn, Zn ve výluzích půdy i po mineralizaci humusu byly stanoveny na spektrofotometru AAS Varian Techtron. Obsahy As, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb a P po mineralizaci vzorků byly v letech 1994 a 2006 určovány na přístroji ICP OES LIBERTY. Do roku 1993 byl používán ke stanovení těchto prvků též AAS Varian Techtron. Přístupný fosfor byl extrahován slabým roztokem kyselin (0,05 N HCl + 0,025 N H_2SO_4) a měřen na spektrometru Skalar. Hodnoty pH půdy v půdní suspenzi jsou měřeny na přístroji DIGI 520 WTW. Roku 2006 byl celkový C a N měřen v půdním vzorku spalovací metodou.

VÝSLEDKY

Vývoj depozice sledovaných látek a kontaminace vod

V tabulce 2 je uveden průměrný roční spad sledovaných látek zachycený s podkorunovými srážkami (throughfall) na plochách v porostech smrku. Na ploše smrk I klesal od roku 1987 do roku 1996 spad vodíkových iontů. V dalších letech, od roku 1997 se v podkorunových srážkách ve smrku na ploše smrk II pokles spadu H^+ iontů zastavil. U bazických kationtů je vidět pokles spadu Ca. Ve sledovaném období se snižoval spad Al, depozice Fe klesala především do roku 1997. Dále je patrný pokles spadu sloučenin N a zřetelný pokles spadu SO_4^{2-} , F^- , $\text{P}(\text{P}/\text{PO}_4^{3-})$ ve srážkové vodě zachycované v porostech smrku na ploše I i na ploše II. V letech 2001 - 2005 zůstával stejný spad K a zvyšoval se spad Mn, oproti předchozímu období.

V tabulce 3 se prezentují průměrné celkové spady v porostu buku, které jsou součtem spadu látek s podkorunovými srážkami (throughfall) s látkami ve stoku vody po kmeni (stemflow). Mezi roky 1990 a 2005 se projevil na ploše pokles spadu H^+ iontů. U bazických kationtů je patrné zřetelné snížení depozice Ca, u kovů především Al a také Fe a Zn. Posuzujeme-li celé období let 1990 až 2005, je vidět pokles spadu SO_4^{2-} , F^- a $\text{P}(\text{P}/\text{PO}_4^{3-})$. Naopak zvýšení depozice s podkorunovými srážkami se projeвило u K a Mn. Tyto prvky jsou však v korunách stromů intenzivně vymývány z listů.

Celkové spady látek mohou být ovlivněny výší srážek. Změny znečištění ovzduší ukazují hodnoty koncentrací. Vývoj jejich koncentrací ve srážkové vodě pod korunami buku a ve vodě stékající po kmenech buku ukazují údaje v tabulce 4. V období let 2001 až 2005 se oproti období let 1990 - 1993 snížila kyselost vody

(poklesl obsah H^+), dále poklesly koncentrace Na, Mg a především Ca. Zřetelný byl i pokles koncentrací Al, Fe, Zn a aniontů zejména SO_4^{2-} a F^- , méně Cl^- . Snížení se projevilo i u sloučenin N a P. Naopak ve srážkové vodě narostl obsah K.

Změnu znečištění ovzduší dokladuje voda stékající po kmeni, která v prvním hodnoceném období (1990 - 1993) byla více kontaminovaná než voda okapová a v druhém období 2004 až 2005 je již méně znečištěná většinou prvků.

Půdní voda zachycovaná pod humusovým horizontem v buku v letech 1990 až 1993 vykazovala vyšší koncentrace téměř všech sledovaných látek oproti podkorunovým srážkám, s výjimkou H^+ , Cl^- a Na. V období let 2001 až 2005 humusový horizont také obohacoval odtékající okapovou vodu ionty, s výjimkou K a Cl^- , ale koncentrace sledovaných látek byly většinou nižší, až na H^+ , Mn a Fe, jejichž průměrné koncentrace ve vodě odtékající z pokryvného humusu se v těchto letech naopak zvýšily.

Vývoj chemismu půdy v porostech

U vzorků humusu odebíraných v porostu smrku I mezi roky 1986 a 2000 se v celkovém obsahu projevuje pokles Na, Al, Pb a Cr a také Fe ve vrstvě L (tab. 5). Vyšší obsahy byly zjištěny v roce 2000 u K a Ca. Údaje z roku 2006 se týkají nové plochy, kde je analyzován i vzorek organominerálního horizontu Ah.

Obsah přístupných prvků stanovených v 1% kyselině citronové byl na ploše ve smrku I zjišťován v roce 1986 (tab. 7). Povrchové horizonty půdy na ploše byly kyselé, poměr C/N byl vysoký a obsahy přístupných kationtů Ca a Mg a $\text{P}/\text{PO}_4^{3-}$ velmi nízké. Vyšší obsahy Fe v hloubce 5 - 10 cm (s kyselinou citronovou vytvářejí cheláty) ukazují sklon k podzolizaci. Zóna obohacená sloučeninami Fe byla. Při stanovení výměnných sorpčně vázaných kationtů, ve výluhu 1 M NH_4Cl v roce 1993, s výjimkou humózního horizontu 0 - 10 cm, nebyly zjištěny vyšší obsahy Na, Ca, Mg než obsahy přístupných kationtů v roce 1986. U přístupného $\text{P}/\text{PO}_4^{3-}$ bylo stanoveno zvýšení obsahu (byla použita jiná metodika výluhu). Mezi roky 1993 a 2000 nastalo ve vrstvě H zvýšení hodnoty $\text{pH}/\text{H}_2\text{O}$ a zvýšení obsahu K, Mg, Ca, Mn. V minerální půdě proběhlo snížení pH a zásoby všech bazických kationtů a stupně nasycení sorpčního komplexu V. S výjimkou K byly zásoby výměnných bazických kationtů velmi nízké (BALCAR et al. 2000), nasycení sorpčního komplexu minerální půdy nedosahovalo 10 %.

Na nové ploše v porostu smrku II, založené v roce 1997, vykazovaly v roce 2006 humus a minerální půda příznivější pH a především v hlubší části půdního profilu vyšší zásobu výměnných bazických kationtů (tab. 8). Nasycení sorpčního komplexu od povrchu minerální půdy do hloubky 40 cm zde také nedosahuje 10 %. Zásoba P je v celém půdním profilu minimální ($< 5,49 \text{ mg.kg}^{-1}$). V sorpčním komplexu pokryvného humusu převažuje Mn nad Al a Fe. Zásoba K, Mg a Ca i P je v rhizosféře půdního profilu velmi nízká.

V porostu buku ukazuje tabulka 6 celkové obsahy prvků. Zásoby všech bazických kationtů, fosforu i těžkých kovů (Cd, Cu, Pb, Zn) jsou střední (FABIÁNEK et al. 2004). Maximální obsahy byly zjištěny u většiny prvků v roce 2000.

Při prvním odběru vzorků půdy v roce 1989 byla zjišťována zásoba přístupných prvků v 1% kyselině citronové. U vzorků půdy odebraných v roce 1993 se oproti roku 1989 zvýšilo pH hlubších horizontů. Poměr C : N se podstatně neměnil. V pokryvném humusu se obsah výměnných bazických kationtů ve vrstvě H rovnal přibližně obsahu přístupných forem zjištěných v roce 1989. Obsah přístupného P poklesl.

V minerální půdě byla v roce 1993 stanovena poněkud vyšší zásoba výměnných bazických kationtů než přístupných v roce 1989. Při rozbořech vzorků odebraných v roce 2000 bylo ve vrstvě H zjištěno zvýšení obsahu výměnných bazických kationtů a tento stav přetrvával do roku 2006. V minerální půdě se projevil pokles obsahu výměnných iontů Na, K, Mg, Ca na velmi nízké hodnoty. Při analýzách vzorků z roku 2006 byly v hloubce 70 až 100 cm zjištěny poněkud vyšší obsahy výměnných kationtů Na, K, Mg, Ca. Zásoba přístupného P poklesla z nízkých a středních hodnot v roce 1993 na velmi nízké ($< 5,46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

DISKUSE

V 90. letech minulého století probíhalo v střední Evropě snižování spadu imisních látek v důsledku omezení jejich emise (FERRIER et al. 2001, PRECHTEL et al. 2001, WRIGHT et al. 2001). Toto snížení depozice imisních látek se projevilo i v České republice. Na výzkumných plochách VÚLHM to zaznamenal LOCHMAN et al. (2006), přímo na Šumavě KOPÁČEK et al. (2001) a LOCHMAN et al. (2003). Na výzkumných plochách v porostech smrku a buku na povodí U Lizu se v 90. letech projevil zásadní pokles spadu protonů, síranů i dalších aniontů silných kyselin a kovů. Současně se snižovala emise a imise tuhých látek. Pokles emise v České republice uvádějí ročenky ČHMÚ (Znečištění ovzduší 1999, 2002). Snížení spadu tuhých látek vyvolalo i pokles depozice Ca, Mg i Al. Předpokládáme, že pokles spadu bazických kationtů je spojen s poklesem pH srážek po roce 2000 a zvýšeným vymýváním kationtů z listů. Na sledovaných výzkumných plochách tím můžeme vysvětlit zvýšení koncentrací K a Mn v okapové vodě pod korunami porostů, jejich vymýváním jsou pufrovány vodíkové ionty. Ionty K a Mn podléhají intenzivnímu koloběhu mezi dřevinami a půdou, ale také silnému vymývání z listů, takže jejich koncentrace se v podkorunových srážkách oproti srážkám z volné plochy mohou zvyšovat více než dvacetinásobně nebo třicetinásobně (LOCHMAN 1981, 1983).

Rozdíly v koncentracích látek v okapové vodě zachycované pod porostem buku na počátku 90. let minulého století (1990 - 1993) a v prvních letech tohoto století (2001 - 2005) jsou v tabulce 4. Koncentrace látek mají zhruba stejné trendy jako celkové spady a projevují se i v půdní vodě odtékající z humusového horizontu. Pokles obsahu většiny sledovaných látek v půdní vodě je v druhém hodnoceném období (2001 - 2005) ovlivněn poklesem jejich přítomnosti v podkorunových srážkách. Půdní voda je též kyslejší než voda podkorunových srážek. V prvním hodnoceném období působil humus pufrací a zvyšoval pH protékající vody. Koncentrace organických látek (Cox) se v půdní vodě oproti prvnímu období nezvyšovaly, i přes zvyšování koncentrací Cox v podkorunových srážkách. Snižování množství K ve vodě zachycované pod humusovým horizontem O, oproti množství ve vodě okapové, svědčí o jeho intenzivním odběru kořeny již v tomto horizontu.

Při hodnocení celkového obsahu prvků v humusovém materiálu na povrchu půdy, v horizontu O, je zapotřebí vzít v úvahu stupeň humifikace a příměs minerálních částic ve vrstvě H. Se stupněm humifikace klesá celkový obsah K, Ca, Mn a větší příměs minerálních částic zvyšuje obsahy těch prvků, které jsou ve větší míře obsaženy v mateční hornině (Fe, Al, Mg).

Pro výživu porostů dusíkem má větší význam míra jeho uvolňování než jeho celková zásoba. Předpokladem pro rychlost rozkladu humusového materiálu je poměr celkového uhlíku k celkové-

mu dusíku (MATERNA 2003). Tyto hodnoty jsou příznivější (nižší) v humusu pod porostem buku.

Z údajů v tabulkách 5 a 6 je patrný vyšší obsah bazických kationtů Na, K, Mg, Ca v materiálu vrstev L a F pokryvného humusu v buku než v porostech smrku, vzhledem k příznivějšímu opadu. V porostu buku byly i nižší obsahy celkového Al, Fe, Pb i dalších těžkých kovů, jejichž zdrojem je atmosférický spad. Ve vrstvě H jsou hodnoty více ovlivněny příměsí minerálního materiálu půdy, probíhá zde i akumulace Pb. V časové posloupnosti je zřejmé snížení depozice Pb i dalších těžkých kovů v současnosti oproti 90. letům minulého století.

Posuzování vlivu porostu buku, oproti porostu smrku, na zásobu výměnných a přístupných kationtů (živin) v minerální půdě je obtížné. Plocha smrku I byla na chudším lesním typu 6 K (kyselá smrková bučina), než je plocha v buku na lesním typu 6 S (svěží smrková bučina), stejně jako nová plocha ve smrku II.

Dalším problémem je změna způsobu vyluhování bazických kationtů Na, K, Mg, Ca. Při použití 1% kyseliny citronové byly získány zpravidla nižší obsahy přístupných bazických kationtů než při výluhu 1 M NH_4Cl obsahy výměnných bazických kationtů. Jsou-li s odstupem času stanoveny stejné obsahy výluhem chloridu amonného jako předchozí obsahy získané ve výluhu kyselinou citronovou, pak lze předpokládat v půdě pokles sorbovaných kationtů.

Půda na ploše ve smrku I vykazovala nižší pH než plocha v buku a na počátku měření nižší obsahy výměnného Mg a Ca a vyšší poměr C/N v povrchových horizontech. V průběhu let pozorování se hodnoty pH a obsahy Ca a Mg vyrovnaly stejně jako stupeň nasycení půdy bázemi V (na ploše smrku I byla od roku 1997 seč).

V roce 2006 byly odebrány vzorky půdy na ploše smrku II, která leží na stejném lesním typu jako plocha v buku. Hodnoty pH půdy a humusu jsou na této ploše podobné půdě a humusu plochy s porostem buku. Ve smrku je o něco vyšší zásoba Ca. Poněkud vyšší zásoba výměnných bazických kationtů začíná v menší hloubce (od 50 cm) než v půdě pod bukem (od 70 cm), to se projevuje v nasycení sorpčního komplexu půdy V. Zásoby přístupného P jsou na obou plochách (v buku a smrku II) minimální. Přístupnost sloučenin fosforu v půdě je velmi závislá na pH půdního prostředí a způsobu extrakce (PAČES 1979).

Podle ULRICHA et al. (1981) probíhala pufrace protonů v půdě rozkladem jílových minerálů při uvolňování iontů Al, případně Fe jen na ploše smrku I ve svrchním horizontu minerální půdy (0 - 10 cm). Je zde patrný pohyb Fe. Hluběji probíhala pufrace iontů H^+ především výměnou bazických kationtů ze sorpčního komplexu ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} > 4,2$). Takovéto poměry panují až do hloubky profilů asi 70 cm na ploše v porostu buku a na ploše v porostu smrku II ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} > 4,2 - \leq 5,0$). V půdní spodině těchto ploch postačí k pufraci protonů pouze zvětrávání minerálů (silikátů) spojené s uvolňováním bazických kationtů ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} > 5 - \leq 6,3$).

Podle WOLFFA et al. (1996) se v oblasti pufrace H^+ iontů výměnou kationtů ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} > 4,2 - \leq 5,0$), při stejném pH, může velmi změnit nasycení sorpčního komplexu bázemi. Jsou-li přítomny silikáty (minerály), probíhá i při tomto pH jejich zvětrávání i uvolňování Al, který způsobuje výměnu a vymývání bazických kationtů ze sorpčního komplexu; přechod do oblasti pufrace H^+ iontů uvolňováním Al^{3+} ($\text{pH}/\text{H}_2\text{O} \leq 4,2$) je pomalý i při silném poklesu stupně nasycení sorpčního komplexu. I malé snížení pH může v této oblasti pH být spojeno se skokovou redukcí podílu bází ve výměnném komplexu až do oblasti velmi nízkého nasycení ($V = < 5 \%$). Tyto procesy probíhaly zřejmě na plochách mezi roky 1993 a 2000.

Rychlost uvolňování bazických kationtů při zvětrávání je ovlivněna i jejich přítomností v primárních minerálech zvětraliny matečné horniny. O poměru prvků v minerálech na ploše ve smrku II a buku svědčí výsledky totální analýzy horizontů Ah (0 - 10 cm) na plochách (tab. 5 a 6). I podle ULRICHA et al. (1989) můžeme předpokládat několikanásobně vyšší uvolňování Mg oproti Ca.

Z hlediska výživy porostů je v pokryvném humusu ploch obsah celkového Ca a Mg střední, obsah K ve smrku také střední, v buku až vysoký (FABIÁNEK et al. 2004). Obsah P a poměr C : P je také střední, rovněž i poměr C : N.

V minerální půdě musíme hodnotit obsahy výměnného Ca, Mg jako velmi nízké (BALCAR et al. 2000). Přítomnost K je s výjimkou nízkého obsahu v povrchových horizontech také velmi nízká. Obsahy přístupného P jsou též velmi nízké. Půdy jsou v povrchových horizontech silně kyselé, v hlubších horizontech středně kyselé (BALCAR et al. 2000).

ZÁVĚR

Šumava byla a je z hlediska čistoty ovzduší a spadu imisí, nejčistší horskou oblastí v České republice. I při nízkých spadech protonů (H^+) zde pokračuje ochuzování sorpčního komplexu půdy o bazické kationty, především o Ca. Největší pokles obsahu bazických kationtů (Mg a Ca) proběhl ve rhizosféře půdy. Ve stejném půdním typu proběhlo hlouběji snižování míry nasycení sorpčního komplexu půdy pod porostem buku s hlubším prokořeněním než pod porostem smrku.

V porostu buku je příznivější chemické složení opadu a pokryvného humusu. S tímto jsou spojeny vyšší nároky na výživu a intenzivnější příjem živin. Listové orgány v buku také podléhají většímu vymývání kationtů, dotýká se to především K. Tyto prvky musí být i ve větší míře přijímány kořeny z humusu a půdního prostředí.

Do budoucích let je jednou z možností jejich doplňování do půdního prostředí ze zvětrávání primárních minerálů matečné horniny. U Ca je tento zdroj omezen zpravidla nízkým celkovým obsahem v krystalických horninách oproti ostatním kationtům.

Poznámka:

Příspěvek byl zpracován s využitím výsledků, získaných v rámci výzkumného záměru MZE č. 0002070201 „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“, řešeného ve Výzkumném ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

LITERATURA

- Atlas Československé republiky. Praha: Ústřední správa geodézie a kartografie, 1966.
- BALCAR, V., PODRÁZSKÝ, V., LOMSKÝ, B. Příčiny poškození lesních ekosystémů a prognóza jejich dalšího vývoje včetně návrhu následných opatření v oblastech pod dlouhodobou imisní zátěží. Závěrečná zpráva projektu č. VaV/620/1/99. Jiloviště-Strnady: VÚLHM, 2000. 77 s.
- BUCEK, J., BĚLE, J., BÍBA, M., ŠRÁMEK, V. Složky vodní bilance a vodní režim půd v porostech různých dřevin. Závěrečná zpráva za etapu dílčího úkolu 05: Zabezpečování pozitivních účinků lesního fondu v krajinném prostředí. Jiloviště-Strnady: VÚLHM 1994. 19 s., 252 příloh.
- FABIÁNEK, P. et al. Monitoring stavu lesa v České republice 1984 - 2003 [Forest Condition Monitoring in the Czech Republic.] Praha: MZe ČR, a Jiloviště-Strnady: VÚLHM, 2004. 430 s.
- FERRIER, R. C., JENKINS, A., WRIGHT, R. F., SCHÖPP, W., BARTH, H. Assessment of recovery of European surface waters from acidification 1970 - 2000: An introduction to the special issue. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2001, vol. 5, no. 3, s. 274-282.
- KOPACEK, J., VESELÝ, J., STUHLÍK, E. Sulphur and nitrogen fluxes and budgets in the Bohemian Forest and Tatra Mountains during the Industrial Revolution (1850 - 2000). Hydrol. Earth Syst. Sci., 2001, vol. 5, no. 3, s. 391-405.
- LOCHMAN, V. The influence of enriching the spruce ecosystems from atmosphere on the element dynamics in the soil. Commun. Inst. For. Českoslov., 1983, vol. 13, s. 171-191.
- LOCHMAN, V. The effect of element dynamics in precipitation and gravitational soil water on the development of principal production characteristic of forest soils. Commun. Inst. For. Českoslov., 1985, vol. 14, s. 147-172.
- LOCHMAN, V. Pollutant fall-out into forest ecosystems as related to changes in forest soils. Lesnictví - Forestry, 1993, vol. 39, no. 2, s. 58-72.
- LOCHMAN, V. Vývoj zatížení lesních ekosystémů na povodí Pekelského potoka (objekt Želivka) a jeho vliv na změny v půdě a ve vodě povrchového zdroje. Lesnictví - Forestry, 43, 1997, č. 12, s. 529 - 546.
- LOCHMAN, V., BÍBA, M., BUCEK, J., FADRHOŇSOVÁ, V. Chemical composition of the throughfall and runoff water in the spruce and beech stands at Zdikov (The Šumava Mts.) Commun. Inst. For. Bohem., 2003, vol. 20, s. 101-118.
- LOCHMAN, V., MAXA, M., BÍBA, M. Vývoj chemismu půdy na výzkumných plochách VÚLHM v období poklesu spadu imisních látek. Zprávy lesnického výzkumu, 2006, roč. 51, č. 2, s. 106-120.
- LOCHMAN, V. ŠEBKOVÁ, V. The development of air pollutant depositions and soil chemistry on the research plots in the eastern part of the Ore Mts. Lesnictví - Forestry, 44, 1998, č. 12, s. 549 - 560.
- MATERNA, J. Výsledky průzkumu výživy lesních porostů v lesích ČR. Brno: Ústřední, kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2003. 125 s. ISBN 80 - 86548 - 40 - 6.
- MRAZ, K., BUCEK, J., BÍBA, M. Vodní režim půdy, vztah k přírůstu dřevní hmoty a odtok vody v porostech různých dřevin. Závěrečná zpráva. Jiloviště-Strnady: VÚLHM, 1990. 51 s., 2 tab., 46 grafů.
- NĚMEČEK, J. et al. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: ČZU a VÚMOP, 2001, 79 s. ISBN 80-238-8061-6.

- PAČES, T. Geochemický oběh fosforu v exogenní zóně. Věstník Ústředního ústavu geologického, 1979, roč. 54, č. 6, s. 365-373.
- PRECHTEL, A., ALEWELL, C., ARMBRUSTER, M., BITTERSÖHL, J., CULLEN, J. M., EVANS, C. D., HELLIWELL, R. C., KOPÁČEK, J., MARCHETO, A., MATZNER, E., MESSENBURG, H., MOLDAN, F., MORITZ, K., VESELÝ, J., WRIGHT, R. F. Response of sulphur dynamics in European catchments to decreasing sulphate deposition. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2001, vol. 5, no. 3, s. 311-325.
- TESAŘ, M. Basic network and experimental catchments. In Hydrology and Ecology of Šumava and Bayerischer Wald. Sborník referátů Inter. Nový Dvůr, October 15-18, 1990. Ústav pro hydrocynamiku ČSAV, s. 31-48.
- ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P. K. Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. Schriften. Forstl. Univ. Göttingen, 1981, vol. 58, 391 s.
- ULRICH, B., MAYER, H., JANICH, K., BÜTTNER, G. Basenverluste in den Böden von Haimsimen - Buchenwäldern in Südniedersachsen zwischen 1954 und 1986. Forst u. Holz, 1989, vol. 44, s. 251-253.
- WRIGHT, R. F., ALEWELL, C., CULLEN, J. M., EVANS, C. D., MARCHETO, A., MOLDAN, F., PRECHTEL, A., ROGORA, M. Trends in nitrogen deposition and leaching in acid - sensitive streams in Europe. Hydrol. Earth Syst. Sci., 2001, vol. 5, no. 3, s. 299-310.
- WOLFF, B., RIEK, W., BARITZ, R., HENNIG, P. Deutscher Waldbodenbericht 1996. Band 1. Bonn: BMELF, 1997. 144 s.
- Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 1999. Ročenka ČHMÚ. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2000. 198 s. ISBN 80-85813-77-7.
- Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2002. Ročenka ČHMÚ. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2003. 158 s. ISBN 80-86690-07-5.

Tab. 2.

Zdikov - smrč - průměrné množství spadu s podkorunovými srážkami kg.ha⁻¹.rok⁻¹
 Zdikov - spruce - average amount of fallout with throughfall in kg.ha⁻¹.year⁻¹

Období/Period	Cox	H ⁺	Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ^{3-/P}	Cu	N(NO ₃ ⁻ +NH ₄ ⁺)	S/SO ₄ ²⁻
1987 - 1989	111,25	0,52773	2,71	15,98	3,8	18,79	0,355	0,702	0,332	1,463	9,49	25,61	0,540	18,63	80,05	0,33		13,15	26,74
1990 - 1993	39,8	0,35868	2,98	15,51	3,53	11,44	0,2	0,622	0,186	0,995	9,38	18,56	0,353	9,61	63,69	0,266		11,47	21,27
1994 - 1996	64,24	0,11683	3,86	17,4	4,43	14,19	0,218	0,614	0,155	0,506	5,22	12,83	0,463	13,44	54,83	0,548 *		6,95	18,31
1997 - 2000	67,18	0,06692	2,90	12,17	3,14	10,76	0,115	1,080	0,185	0,229	3,12	17,02	0,242	11,70	27,39	0,353 *	0,021	6,27	9,15
2001 - 2005	73,68	0,07010	1,91	12,47	1,89	6,04	0,082	1,523	0,207	0,150	1,69	14,72	0,167	7,35	17,72	0,212 *	0,010	4,64	5,92
2006		0,09490	2,91	17,71	2,59	8,77	0,125	1,800	0,180	0,160	8,09	18,54	0,167	13,00	21,87	0,81 *	0,010	10,46	7,11

* stanovení celkového P/determination of total P

Tab. 3.

Vývoj průměrných ročních spadů látek zachycovaných s vodou podkorunových srážek včetně stoku po kmenu v porostu buku v kg.ha⁻¹.rok⁻¹
 Development of average annual fallout of substances caught with throughfall water including stemflow in beech stand in kg.ha⁻¹.year⁻¹

Období/Period	Cox	H ⁺	Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ^{3-/P}	Cu	N(NO ₃ ⁻ +NH ₄ ⁺)	S/SO ₄ ²⁻
1990 - 1993	30,52	0,09397	2,36	14,87	2,55	10,25	0,214	0,397	0,155	0,773	6,62	20,23	0,285	7,43	36,52	0,533		9,55	12,2
1994 - 2000	52,38	0,04153	3,17	16,27	2,93	10,02	0,156	0,294	0,149	0,202	4,09	18,57	0,294	11,61	24,94	0,531 *	0,024	6,35	8,33
2001 - 2005	63,67	0,03364	1,68	22,17	1,35	5,05	0,138	0,441	0,105	0,088	2,79	17,82	0,154	5,69	14,49	0,446 *	0,014	6,19	4,84
2006		0,08227	3,37	27,2	2,1	8,37	0,08	0,647	0,121	0,098	2,41	30,4	0,176	9,43	14,58	0,313 *	0,015	8,74	4,87

* stanovení celkového P/determination of total P

Tab. 4.

Rozdíly v kontaminaci vody okapové a vody stékající po kmenu a půdní vody v porostu buku v období let 1990 - 1993 a 2001 - 2005 v mg.l⁻¹
 Differences in contamination of dripping water and stemflow and soil water in beech stand in years 1990 - 1993 and 2001 - 2005 in mg.l⁻¹

Voda/Water	Období	Cox	H ⁺	Na	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Fe	Al	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ^{3-/P}	N(NO ₃ ⁻ +NH ₄ ⁺)
voda okapová ¹	1990 - 1993	5,56	0,0166	0,46	2,71	0,49	1,9	0,043	0,074	0,029	0,084	1,17	3,7	0,059	1,25	6,67	0,037	1,74
voda stoku ²	1990 - 1993	7,09	0,0321	0,39	3,72	0,51	2,43	0,033	0,091	0,038	0,238	1,92	5,02	0,109	1,14	9,14	0,047	2,62
půdní pod hor. ³ O	1990 - 1993	28,27	0,0132	0,43	3,38	0,91	4,22	0,054	0,192	0,168	0,484	1,21	5,56	0,064	1,06	12,46	0,087	2,82
voda okapová ¹	2001 - 2005	11,19	0,00591	0,295	3,90	0,237	0,887	0,024	0,077	0,018	0,015	0,49	3,13	0,027	1,00	2,55	0,078 *	1,09
voda stoku ²	2001 - 2005	11,36	0,00214	0,275	3,84	0,169	0,754	0,009	0,052	0,021	0,014	1,36	3,48	0,024	0,88	3,43	0,127 *	1,84
půdní pod hor. ³ O	2001 - 2005	28,94	0,01697	0,366	2,47	0,609	0,272	0,029	0,267	0,307	0,338	0,734	3,88	0,032	0,90	2,78	0,095 *	1,29

* stanovení celkového P/determination of total P; ¹dripping water; ²stemflow; ³soil under horizon⁰ O

Tab. 5.
Zdikov - porosty smrků; celkové obsahy prvků v humusovém materiálu na ploše smrk I a II
Zdikov – spruce stands; total contents of elements in humus material on plot spruce I and II

Vrstva/ Layer	Plocha/ Plot	Rok odběru/ Sampling	Cox %	N %	C/N	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	P	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	
																				mg.kg ⁻¹
L	I	1986		1,18		47	972	622	4 000	1 637	1 560	418	1 200		10	82			35	57
		1993		1,23		20	650	352	2 530	841	743	250	900	0,14	2,3	5,5			20,2	28,8
	2000	37,3	1,82	20,5	34	1 537	889	5 480	527	932	782	1 203		3,6	7,5	4,7	8,4	59,3		
	2006	49,3	1,2	41,1	121	1 072	719	6 500	1 408	1 264	1 366	1 023	<0,5	2,1	5,7	3,5	8,9	45,9		
F	I	1986		1,13		48	792	720	3 490	2 123	2 450	258	1 300		11	10,2		60	82	
		1993		0,96		44	624	399	1 858	2 157	2 684	152	1 000	0,35	3,1	9,2		50	31,3	
	2000	39,4	1,78	22,1	24	1 052	669	4 357	979	4 887	490	1 054		3,6	8,5	4,7	30,9	57,7		
	2006	47,5	1,88	25,3	27	1 163	906	5 003	3 424	3 530	1 683	1 258	<0,5	6,5	7,9	6,6	26,7	58,7		
H	I	1986		1,34		54	605	468	1 630	3 232	3 680	115	900		16	11		90	39	
		1993	28,3	1,22	23,2	59	657	610	1 894	4 913	5 109	105	800	0,51	9,1	7,8		54,2	36,6	
	2000	37,3	1,59	23,5	39	731	500	2 268	2 538	5 045	179	741		6	9,5	7,6	88,5	48,8		
	2006	38,5	1,64	23,5	40	1 071	1 110	2 952	8 025	7 611	478	1 118	<0,5	13,6	10,8	10,2	79,3	48,4		
0 - 10 cm	II	2006	5	0,27	18,5	54	2 175	4 457	379	27 566	32 342	519	505	<0,3	44,4	15,4	18,3	38,4	105	

Tab. 6.
Zdřívok porost buku ; celkový obsah prvků v humusovém materiálu
Zdřívok beech stand; total content of elements in humus material

mg.kg ⁻¹																		
Vrstva/ Layer	Rok odběru/ Sampling	Cox %	N %	C/N	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	P	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
L	1989		0,99		47	1 463	834	8 780	789	915	1 173	900			9,5		22	42
	1993		1,33		40	1 255	1 177	8 320	1 732	1 964	1 392	1 100	0,25	2,5	7,6		6,1	32,7
	2000	35,1	1,58	22,2	32	2 106	1 324	10 006	2 144	2 628	1 620	1 173		4,1	9,7	4,7	8,1	46,7
	2006	48,8	1,47	33,2	35	1 567	1 084	9 306	247	254	1 408	1 261	<0,5	1,1	8,7	2,4	4,1	47,5
F	1989		1,09		94	1 189	893	9 050	1 136	1 370	1 427	1 000			22		28	60
	1993		1,6		43	919	973	8 089	2 585	2 988	2 247	1 200	0,5	3,9	9		30	44,5
	2000	33,7	1,75	19,3	55	2 107	1 574	8 415	3 091	3 471	1 852	999		6,6	10,7	5,1	16,4	68,9
	2006	48	1,87	25,7	25	1 701	953	6 499	1 267	1 607	1 424	1 123	0,58	2,9	9,9	4,1	10,9	61
H	1989	15,5	0,99	15,7	67	1 717	1 256	5 330	4 482	5 380	1 116	1 100			15		67	85
H/A	1993	14	0,92	15,2	82	2 803	2 797	1 408	17 915	20 740	944	700	0,93	73	9,3		38,7	34,2
H	2000	24,3	1,57	15,5	76	2 149	2 935	2 937	9 428	13 193	682	939		18,2	12	10,6	50,9	88,1
H	2006	30,1	1,46	20,6	32	1 378	1 468	1 922	6 685	7 011	247	1 005	<0,5	16,3	12,5	11,4	39,8	52,5
0 - 10 cm	2006	3,6	0,23	15,5	78	3 854	4 501	694	16 801	20 861	324	470	<0,3	31,8	11,6	14,8	26,8	62,8

Tab. 7.

Zdikov - porost smrku I; obsahy přístupných a výměnných prvků
 Zdikov - spruce stand I; contents of available and exchangeable elements

Horizont/ Horizon	Rok/Year	pH	Obsah přístupných prvků ve výluhu 1% kyseliny citrónové/Content of available elements in leach of 1% citric acid										T	V
			Cox	C : N	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	P		
cm		H ₂ O	KCl	%				mg.kg ⁻¹					mmol.kg ⁻¹	%
0 - 5	1986	3,4	2,7	6,88	28,6	7,9	24,5	59	1 059	1 552		20		
5 - 10		3,6	2,9	4,2	24,1	8,5	23,1	43	1 618	3 003		13		
10 - 25		4,1	3,6	2,43	22,5	5,4	12,5	36	2 470	1 643		6		
25 - 45		4,4	4,2	1,72	20,5	5,4	3	36	4 813	288	2,5	10		
Obsah výměnných prvků ve výluhu 1 M NH ₄ Cl/Content of exchangeable elements in leach 1 M NH ₄ Cl														
H	1993	3,5	2,8	28,3	23,12	26,9	277	1276	806	102	67	286	178,35	53,5
	2000	3,77	2,52	37,26	23,45	19,6	380	1985	420	88	164	48	221,32	65,59
0 - 10	1993	4	3,45	4,82	22,97	6,6	26,2	57,8	715	47,7	7,6	37	85,7	8,45
	2000	4,07	3,19	5,26	22,81	3,4	16,4	72,6	730	88,5	3,2	38	90,89	6,7
10 - 30	1993	4,45	4	2,2	16,09	4,8	10,7	24,5	241	1,3	5	192	30,95	11,47
	2000	4,49	4,02	2,62	25,44	1,5	5	21,3	383	4,6	3,1		45,23	4,33
30 - 60	1993	4,7	4,3	1,46	16,22	4,2	7,9	22,5	126	<1	2,7	413	17,39	17,48
	2000	4,57	4,22	1,42	17,75	16,7	2,5	12,6	174	2	1,8		21,67	9,46
60 - 80	1993	4,85	4,3	0,75	17,7	4,6	7,2	21,5	116	<1	2,2	472	15,92	17,09
	2000	4,6	4,24	0,77	19,25	16,8	2,4	13,5	154	<0,6	2,3		19,32	9,83
80 - 100	1993	4,9	4,2	0,27	18,88	6,8	52,4	64	126	<1	4,1	128	23,62	38,82
	2000	4,9	4,12	0,31	15,5	16,3	3	15,8	167	<0,6	4,1		20,95	9,16
100 +	1993	5,2	4,3	0,23	16,43	12,1	207,2	27,4			7,5	41		

Tab. 8.
Zdikov - porost smrku II; výměnné kationty stanoveny v 1 M NH_4Cl a přístupný P
Zdikov – spruce stand II; exchangeable cations determined in 1 M NH_4Cl and available P

Horizont/Horizon	Rok/Year	pH	KCl	Cox	C : N	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	P	T	V
cm		H_2O		%					mg kg^{-1}					$\text{mmol l}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$	%
L	2006	4,47	3,88	49,3	41,08	10,7	401	231	1 695	<0,7	2,86	594	95,6	158,61	77,81
F		4,42	3,52	47,5	25,27	7,25	678	374	3 751	<0,7	15,1	1 294	74,4	314,33	75,21
H		4,16	3	38,5	23,48	25,4	414	322	2 416	340	134	390	32,9	240,03	66,13
0 - 10		4,21	3,58	5	18,73	5,1	40,8	27,1	37,4	918	14,9	49,6	<5,49	111,6	4,8
10 - 20		4,45	3,99	20,1	15,58	4,8	30,1	11,8	40,3	422	0,97	34,5	<5,49	53,04	7,47
20 - 30		4,48	4,04	1,68	14,74	3,76	25	7,78	40,4	355	0,39	20	<5,49	44,24	7,82
30 - 40		4,52	4,18	1,52	15,54	4,41	15,9	4,74	34,4	240	0,41	8,6	<5,49	30,9	9,01
40 - 50		4,69	4,24	1,13	17,12	3,41	17,5	4,26	43,6	188	0,36	4,09	<5,49	24,42	12,82
50 - 70		5,14	4,14	0,98	33,77	10,9	23,9	51,6	173	179	0,43	3,14	<5,49	34,11	40,9
70 - 100		5,26	3,73	0,75	33,9	26,7	61,1	93,8	470	176	0,54	3,27	<5,49	53,68	63,11

Tab. 9.
Zdikov - porost buku; obsahy přístupných a výměnných prvků
Zdikov - beech stand; contents of available and exchangeable elements

Obsah přístupných prvků ve výluhu 1% kyseliny citrónové/Content of available elements in leach of 1% citric acid															
Horizont/ Horizon	Rok/Year	pH	Cox	C : N	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Mn	P	T	V	
cm		H ₂ O	KCl	%	mg.kg ⁻¹					mmol ⁻¹ .kg ⁻¹					%
H	1989	4,25	3,6	15,5	15,7	39,8	252	168	1 115	1 344	1 249	367	169		
0 - 10		4,35	3,75	3,32	12,8	10,5	58,4	47,4	185	1 466	1 443	88,4	64,2		
10 - 20		4,45	3,9	2,86	18,5	12,9	31,6	22,6	107	1 991	915	56,4	56		
20 - 30		4,5	3,9	1,71	17,5	9,2	19,5	18,4	89,5	1 605	966	32,8	32		
30 - 40		4,55	3,95	1,65	16,3	11,5	19,3	14,9	70,5	1 653	675	34,8	28,5		
40 - 55		4,7	4,15	1,25	12,6	16,8	23	16	60,3	1 891	877	63	31		
55 - 70		4,7	4,2	1,13	20,9	11,1	19,8	7,4	64	2 196	525	9,9	18		
Obsah výměnných prvků ve výluhu 1 M NH ₄ Cl/Content of exchangeable elements in leach of 1 M NH ₄ Cl															
H	1993	4,2	3,6	14	15,2	19,6	263	195	1 154	923	3,5	82,7	42	191,09	30,14
	2000	4,54	3,3	24,3	15,5	21,7	634	307	1 985	240	54,6	418	204,96	73,2	
	2006	4,16	3,14	30,1	20,6	26,6	662	485	1 947	170	146	325	32	208,86	74,27
0 - 10	1993	4,35	3,7	4,54	12,5	11,1	81,8	34,3	200	530	7,5	51,2	37	78,55	19,58
	2000	4,58	3,59	2,93	11,7	4,2	41,6	20,6	45,5	464	10,3	38,4	9,5	60,05	9,61
	2006	4,43	3,57	3,6	15,5	6,1	65,2	24	21,9	438	17,4	52,4	9,5	61,22	8,17
10 - 20	1993	4,4	3,9	2,45	17,3	12	92,4	52,8	127	335	2,6	47,8	31	54,32	24,96
	2000	4,62	3,64	3,09	20,5	2,9	30	13,8	39,3	576	12,4	18,1	70,05	5,37	
	2006	4,41	3,73	3,18	18,1	7,4	32,1	13	14,3	777	13,3	15,4	<5,46	91,36	3,2
20 - 30	1993	4,8	4,15	2,12	16,6	12,2	35,8	13,9	118	262	0,2	8,7	66	33,65	25,2
	2000	4,76	4,1	1,73	17,3	2,2	12,2	3,1	22	348	3,3	12,8	41,55	4,24	
	2006	4,54	4,01	2,62	18,5	6,1	22,1	7,2	11,6	483	2,6	7,2	<5,44	56,51	3,36
30 - 40	1993	5	4,2	1,64	14,4	11,5	38,8	20,3	181	337	1,6	6,5	88	50,43	24,14
	2000	4,82	4,2	1,99	16,6	1,8	11,2	4,2	18	259	<2	7,7	31,03	5,13	
	2006	4,58	4,08	2,1	18,8	5,8	19,1	4,9	14,5	393	2,4	3,8	<5,44	46,12	4,06
40 - 55	1993	5,15	4,3	1,19	14,6	13,6	57,4	37,6	199	278	5,9	2,5	145	47,05	32,54
	2000	4,85	4,22	1,88	18,3	<1,5	19,3	3,9	20,5	254	<2	8,2	30,93	6,18	
	2006	4,59	4,1	1,2	18,9	4,8	18,1	3,8	14,7	203	1,5	2,7	<5,44	27,14	7,31
55 - 70	1993	5,3	4,4	0,59	15,3	17,7	50,9	40,8	168	187	2,6	2,3	38,14	36,2	
	2000	5,08	4,32	0,74	12,8	1,7		2,7	16,5	129	<2	4	17,55	15,38	
	2006	4,61	4,08	0,69	19,3	2,9	14,7	3,2	8,3	164	1,6	1,3	19,65	5,98	
70 - 100	1993	5,6	4,6	0,32	12,8	19,2	48,7	123	433	100	16	1,3	46,61	72,52	
	2000	4,84	4,19	0,28	9,33	1,5	16	2,5	14,4	160	<2	1,33	19,59	10,74	
	2006	5,23	3,74	0,17	13,8	8,4	61,4	87,4	157	582	<0,1	3,07	24,06	69,06	

EVALUATION OF DEVELOPMENT OF SOIL PROFILE CHEMISTRY ON PLOTS ZDÍKOV IN THE AREA OF THE ŠUMAVA MTS.

SUMMARY

Chemistry of throughfall, soil water as well as chemistry of soil profiles were investigated on experimental plots with mature stands of spruce (spruce I and spruce II) and beech. Plots lie in the experimental catchment of the Institute of Hydrodynamics of the Academy of Sciences „U Lizu“ in the Šumava Mts. Foothills at Zdíkov. Plot in spruce I was established in 1986 and plot in beech in 1989. Deposition measurement of substances and chemistry of soil water on plot spruce I was finished in 1997 and in the same year investigation began on plot spruce II.

Since the beginning of investigation deposition of SO_4^{2-} , F^- , Cl^- , Fe^- , Al and NH_4^+ had been decreasing in throughfall on both plots in stands spruce I and spruce II. After 2000 fallout of Na, Mg, Ca stopped and amount of K and Mn increased.

Total fallout of H^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , Fe , Al , NH_4^+ decreased on plot in beech between years 1990 to 2005, and after 2000 also total annual fallout of Na, Mg and Ca was lower. Amount of K caught in throughfall was increasing.

Changes in deposition of observed substances were reflected also in concentrations of these substances in soil water caught under humus horizon.

Changes in total content of elements in forest floor during the investigation are concerning above all content drop of Pb and Cr.

Available elements in soil samples taken in stand spruce I in year 1986 were determined in 1% citric acid. During another sampling in 1993 with leach 1 N NH_4Cl for determining the content of exchangeable cations higher contents of exchangeable Na, Mg, Ca were found than contents of available forms of these elements in 1986. Between 1993 and 2000 pH in humus horizon increased and content of exchangeable cations K, Mg, Ca, Mn was higher. In mineral soil pH and content of basic cations decreased. Saturation of adsorption soil complex V (BS) did not reach 10 %. In 2006 contents of exchangeable cations were defined for the new plot in spruce II. Content of available elements was investigated in beech stand in 1% citric acid during the first sampling in 1989. Samples taken in 1993 showed the increased pH in deeper horizons. Content of exchangeable basic cations in forest floor (H) approached to the content of available forms from sampling in 1989. In 1993 a little higher content of exchangeable basic cations was found than of those in 1989. During analyses of samples from year 2000 enhanced content of exchangeable cations was found in the layer H of forest floor and this state continued until 2006. In 2000 content of exchangeable cations Na, K, Mg, Ca suddenly dropped to very low values. During analyses from year 2006 growths of exchangeable Na, K, Mg and Ca were found in the depth of 70 to 100 cm. Zone of enhanced content of these cations in adsorption complex occurs in soil profile on plot spruce II already from depth of 50 cm; thus being influenced by rhizosphere of the stands.

Solubility of phosphorus compounds shows great fluctuation depending on reaction of pH environment. This explains great differences in content of available P among individual samplings. In 2006 available phosphorus content was minimal on plot in stand spruce II and in soil of beech stand.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Václav Lochman, CSc., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.
Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Česká republika
tel.: 257 892 206; e-mail: admin@vulhm.cz

ODRŮSTÁNÍ KRYTOKOŘENNÉHO SADEBNÍHO MATERIÁLU BUKU NA EXTRÉMNÍCH STANOVIŠTÍCH

CONTAINERIZED BEECH PLANTING STOCK PROSPERITY UNDER EXTREME SITE CONDITIONS

JAN BARTOŠ - ANTONÍN JURÁSEK - JARMILA NÁROVCOVÁ

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

ABSTRACT

Artificial planting has still been an important regeneration method used to increase proportion of European beech in tree species composition. Moreover, containerized planting stock has an advantage even under extreme site conditions. As far as root system of containerized stock is concerned, there is a risk of insufficiently developed roots when intensive nursery methods including application of slowly-soluble fertilizer are used. The article deals with both growth and health of containerized beech stock. The experiment was designed as 4 variants of diversely fertilized substrates and control stock treated with foliar dressing before planting. In addition to health and growth, the study was focused on root system analysis. Despite different fertilization, there were found no significant differences in survival among variants and even intensive fertilization did not lead to more frequent occurrence of root deformation in 4 years after planting.

Klíčová slova: buk lesní, hnojení, krytokořenný sadební materiál, kořenový systém

Key words: European beech, fertilization, containerized planting stock, root system

ÚVOD

S opakujícími se větrnými kalamitami a narůstajícími extrémními výkyvy počasí se stále zvyšuje význam a uplatnění listnatých dřevin pro stabilizaci stávajících smrkových porostů. Mimo jiné to platí i pro extrémnější polohy, tj. stanoviště s nedostatkem vláhy (vysychavá stanoviště, na kterých mělce kořenicí smrk mívá problémy v době přísušků) a stanoviště na horní hranici ekovalence rozšíření buku, které popisuje např. JANOUŠ (2006), KUPKA (2006). Právě na tyto extrémnější typy stanovišť jsme se zaměřili v následujícím příspěvku.

Použití krytokořenného sadebního materiálu (KSM) má v podmínkách České republiky dlouhodobou tradici (DUŠEK et al. 1985). Moderní technologie intenzivního pěstování tohoto sadebního materiálu přináší i další výhody, např. pro vypěstování výsadby schopného sadebního materiálu listnáčů v řadě případů postačuje jedno vegetační období. Lze tak operativněji zajistit jeho potřebné množství pro obnovu lesa. U buku tím lze rychleji řešit i zvyšující se poptávku po kvalitním sadebním materiálu.

V případě technologicky správného pěstování KSM na vzduchovém polštáři dochází k zastavení růstu kosterních kořenů na rozhraní obalu a vzduchového polštáře a k následnému zmnožení jemných kořenů uvnitř obalu. Vytváří se tak kompaktní nedeformovaný kořenový systém, který má předpoklady dobrého růstu po výsadbě na trvalá stanoviště, neboť větší podíl jemných kořenů u těchto výpěstků je velice příznivým východiskem z hlediska ujmутí výsadeb (NÁROVCOVÁ 2003). V systému ověřování biologické nezávadnosti pěstebních obalů pro KSM buku lesního je v České republice doporučen dostatečný počet vhodných typů obalů (JURÁSEK et al. 2006).

Příspěvek uvádí výsledky sledování morfologických parametrů výsadeb buku lesního čtyři roky po výsadbě na méně příznivá

stanoviště, kdy k výsadbě byly napěstovány krytokořenné semenáčky ve třech variantách intenzity hnojení ve školce. Dlouhodobějším cílem těchto pokusů je mimo jiné posoudit, zdali se intenzivní hnojení tohoto sadebního materiálu ve školce neprojeví negativně na růstu a zdravotním stavu po výsadbě stromků do nepříznivých podmínek lesního prostředí. Za důležitý parametr považujeme průběh rozrůstání kořenů z prostoru kořenového balu, který byl ve školce intenzivně vyhnojen pomalu rozpustným hnojivem.

MATERIÁL A METODIKA

Jednoleté krytokořenné semenáčky buku lesního byly pěstovány v kontrolovaných podmínkách fóliového krytu ve školce Výzkumné stanice v Opočně. Pěstební obaly HIKO V 265 byly plněny výsev-ním substrátem ve třech úrovních hnojení: 1) doporučená dávka dlouhodobě působícího hnojiva v substrátu (dále označená jako „normální hnojení do substrátu“), 2) luxusní hnojení substrátu dvojnásobnou dávkou pomalu rozpustného hnojiva (dále označená jako „luxusní přihnojení substrátu“), 3) pěstební substrát není vyhnojen, během vegetace je aplikována pouze listová výživa v doporučené dávce (dále označena jako „kontrola – výživa jen na list“). V rámci těchto hlavních variant bylo použito hnojivo Plantacote s různou dobou uvolňování živin, bližší specifikace těchto variant je uvedena v tabulce 1. Hnojivo Plantacote je kombinované hnojivo (hlavní prvky N, P, K, Mg) s regulovanou dobou uvolňování živin, které se běžně používá při pěstování dřevin. Všechny sadební materiál buku byl pěstován jako jednoletý (fk 1 + 0).

Pro testování sadebního materiálu ve výsadbových pokusech byla vybrána dvě stanoviště s relativně extrémními stanovištními podmínkami pro růst buku lesního. První trvalá výzkumná plocha (dále TVP) Kamzík byla založena v horské poloze Jeseníků

(1 160 m n. m.), lesní typ 7S1. Druhá TVP Farský les se nachází na náhorní plošině Krušných hor v nadmořské výšce (700 m n. m.), lesní typ 6K. Extrémnost obzvláště první lokality (TVP Kamzík) na horní hranici ekovalence buku dokládá i skutečnost, že několik metrů nad plochou prochází hranice 8. lesního vegetačního stupně. Výsadba na TVP s použitím jednoletých krytokořenných semenáčků buku lesního byla provedena v podzimním období roku 2003.

Na výše uvedených výzkumných plochách jsou pravidelně vyhodnocovány morfologické parametry (výška nadzemní části a průměr kořenového krčku) těchto výsadeb a hodnocen jejich zdravotní stav. V roce 2007 byly odebrány vzorníky stromků pro destrukční analýzy. Z TVP Kamzík bylo odebráno od variant hnojených do substrátu po 10 ks a 12 ks kontrolních jedinců (hnojení ve školce „na list“). Z TVP Farský les bylo odebráno od hnojených variant po 10 ks a 9 ks jedinců kontroly. Destrukční analýzy byly zpracovány v akreditované laboratoři VS Opočno, kde byla měřena výška nadzemní části, délka kořene, tloušťka kořenového krčku a dále byl zjišťován objem nadzemní části, objem silných a jemných kořenů, sušina nadzemní části a silných a jemných kořenů a výskyt deformací kořenů.

Pro statistické vyhodnocení získaných veličin byla použita metoda ANOVA a Bonferroni Multiple-Comparison Test (With Control) v programovém vybavení MS Excel a CNSS. Chybové úsečky v grafech znázorňují intervaly konfidence na hladině významnosti 0,05.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Morfologické parametry sadebního materiálu buku ve fázi jeho dopěstování ve školce jsou uvedeny v tabulce 2.

Z uvedených morfologických parametrů je zřejmé, že sadební materiál hnojený do substrátu měl oproti kontrole hnojené pouze na list statisticky průkazně větší výšku a tloušťku kořenového krčku.

Ukázka sadebního materiálu varianty „luxusně“ hnojené do substrátu a kontrolní varianty před výsadbou na výzkumné plochy je znázorněna na obrázku 1.

Po výsadbě pokusného materiálu na obnovní TVP Kamzík se extrémní stanovištní podmínky pro růst buku a lokální přemnožení škůdců výrazně projeví na zhoršeném zdravotním stavu výsadeb. Největší ztráty byly ve sledovaném období způsobeny myšovitými hlodavci. Ty dosáhly na TVP Kamzík za první dva roky řádově 50 %. Obdobně vysoké ztráty na výsadbách buku při přemnožení myšovitých udává např. KRIEGL (2002). Celkové ztráty po čtyřech letech růstu činí u variant hnojených do substrátu v průměru 55 % a u kontrolní varianty 65 %. Výrazněji se ve výsadbových pokusech projeví výhoda většího sadebního materiálu, který měl lepší konkurenční postavení k buzení v extrémních stanovištních podmínkách, kde není prováděno vyžínání.

Výsledky sledování výškového růstu v prvních čtyřech letech po výsadbě na TVP Kamzík ukazují, že statisticky významné rozdíly ve vstupní výšce sadebního materiálu při výsadbě přetrvávají během celého sledovaného období (obr. 2). Při výsadbě činily rozdíly průměrné výšky mezi semenáčky intenzivně hnojenými do substrátu (varianty PL 4-4 a PL 6-4) a kontrolní variantou řádově 70 %. Po čtyřech letech růstu jsou rozdíly v průměrné výšce stále vysoce statisticky průrazné, ale relativní rozdíl mezi variantami hnojenými do substrátu a kontrolou se snížil na 46 %. Z níže uvedeného obrázku je také velmi dobře patrná výrazná stagnace výškového růstu, která byla přerušena až ve čtvrtém roce po výsadbě. Tento jev byl pozorován u všech variant pokusu včetně kontroly, tedy bez závislosti na intenzitě vyhnojení substrátu. Podobně KRIEGL, BARTOŠ (2004) uvádí, že u sadebního materiálu buku na TVP v Krušných horách, v LT 7K3 se projeví první dva roky po výsadbě stagnace výškového růstu.

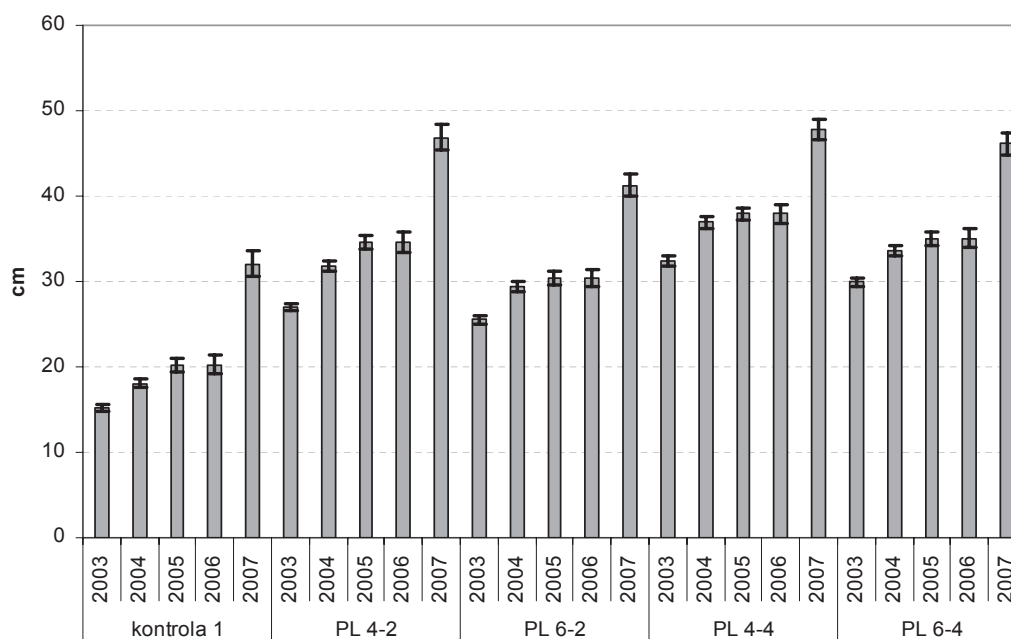
Z výsledků měření na TVP Farský les vyplývá, že vzhledem k příznivějším růstovým podmínkám (6. LVS) oproti TVP Kamzík



Obr. 1.

Ukázka sadebního materiálu buku lesního s luxusní dávkou pomalu rozpustného hnojiva v substrátu v porovnání s kontrolní variantou (pouze výživa na list) před výsadbou na výzkumnou plochu

Plugs of European beech treated with the increased dose of slow-release fertilizer in the substrate (treatment B) compared to control treatment C (only recommended foliar nutrition) before planting onto research plot

**Obr. 2.**

Vývoj hodnot průměrné výšky jednotlivých variant pokusu na TVP Kamzík. Popis variant viz tabulka 1. Chybové úsečky znázorňují intervaly konfidence na hladině významnosti alfa 0,05.

The development of average height values of European beech plants with different fertilization treatments on research plot Kamzík. The description of treatments see Table 1. Vertical bars demonstrate intervals of confidence.

Tab. 1.

Přehled variant hnojení při pěstování jednoletých semenáčků buku lesního

An overview of fertilization treatments for the growing of one-year old plantable plugs of European beech

Variety/ Treatments	Intenzita hnojení/ Intensity of fertilization	Hnojivo použité ve školce/ Fertilizer used in nursery	Dávkování hnojiva/ Fertilizer dosage (kg.m ⁻³)
PL 4-2	doporučená dávka hnojiva v substrátu/ recommended dose of fertilizer in substrate	PLANTACOTE 4 měsíce/months	2
PL 6-2		PLANTACOTE 6 měsíců/months	2
PL 4-4	luxusní dávka hnojiva v substrátu/ increased dose of fertilizer in substrate	PLANTACOTE 4 měsíce/months	4
PL 6-4		PLANTACOTE 6 měsíců/months	4
Kontrola/ Control	bez hnojiva v substrátu (kontrola)/ no fertilizer in substrate (control)	foliární výživa/foliar nutrition (Kristalon)	-

(7. LVS) měl zde výškový přírůst jednotlivých variant pokusu jiný trend (obr. 3). I na této lokalitě přetrvávají 4 roky po výsadbě statisticky významné rozdíly mezi variantami hnojenými do substrátu a kontrolou, přesto však výškový přírůst byl obnoven plynuleji bezprostředně po výsadbě. Pokusné výsadby zde v roce 2007 dosahují v průměru o 80 % větší průměrné výšky oproti extrémní lokalitě TVP Kamzík.

Výsledky sledování tloušťkového růstu sadebního materiálu potvrzují obdobný růstový charakter jako u výškového růstu. Na lokalitě s extrémnějšími podmínkami (TVP Kamzík) přetrvávají i po čtyřech letech růstu statisticky významně větší průměry

kořenových krčků u variant s použitím pevných hnojiv v substrátu oproti kontrolní variantě hnojené pouze na list (obr. 4).

Podobné trendy má růst výsadeb na relativně příznivější lokalitě (TVP Farský les); zde po čtyřech letech růstu přetrvávají statisticky významné rozdíly v tloušťce kořenového krčku pouze mezi kontrolou a variantami PL 4-2 a PL 4-4. Vývoj tloušťky kmínků v kořenovém krčku u jednotlivých variant pokusů je zachycen na obrázku 5.

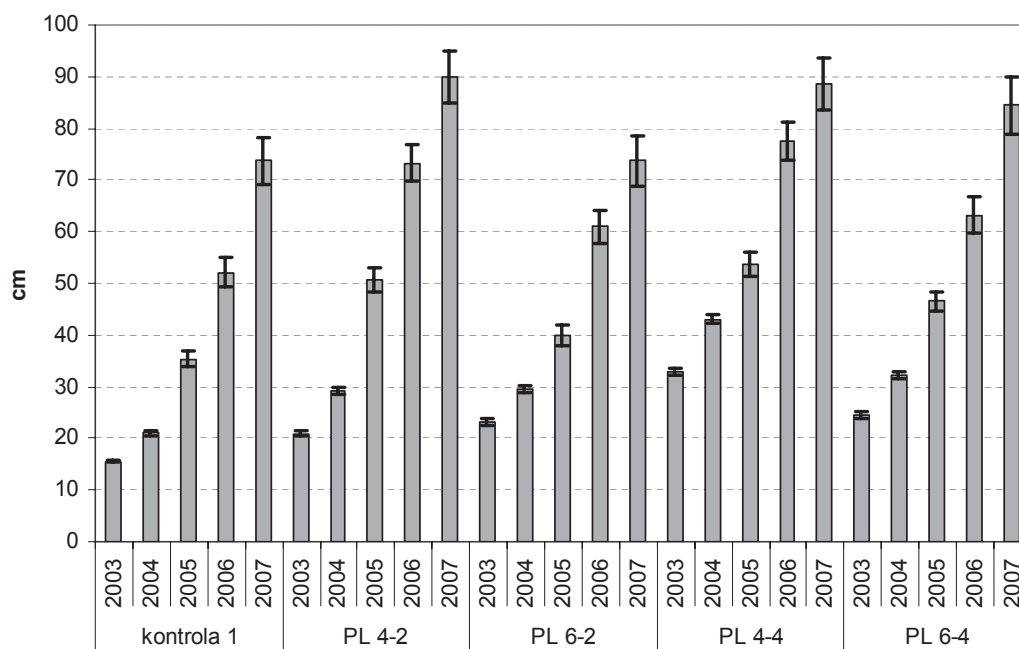
Z výsledků destrukčních analýz vyzvednutých vzorníků z TVP Kamzík je nejvýznamnější to zjištění, že z celkového počtu 52 vzorníků se vyskytla deformace kořenového systému pouze ve 2 případech

Tab. 2.

Morfologické parametry jednoletého krytokořenného sadebního materiálu buku lesního před výsadbou

Morphological parameters of the subtreatments of European beech plugs before planting to regeneration experimental plots

Označení varianty/ Treatment	Výška nadzemní části rostliny/Shoot height (cm)	Průměr kořenového krčku/ Root collar diameter (mm)	Poměr objemu kořenů k nadzemní části/ Root to shoot ratio	Deformace kořenů/ Proportion of deformed roots (%)
PL 4-2	22,3 b	4,2 b	1,6	2
PL 6-2	25,0 b	4,2 b	1,0	3
PL 4-4	30,2 c	4,4 b	1,1	6
PL 6-4	23,7 b	4,8 b	1,6	5
Kontrola/Control	15,9 a	3,5 a	2,0	1

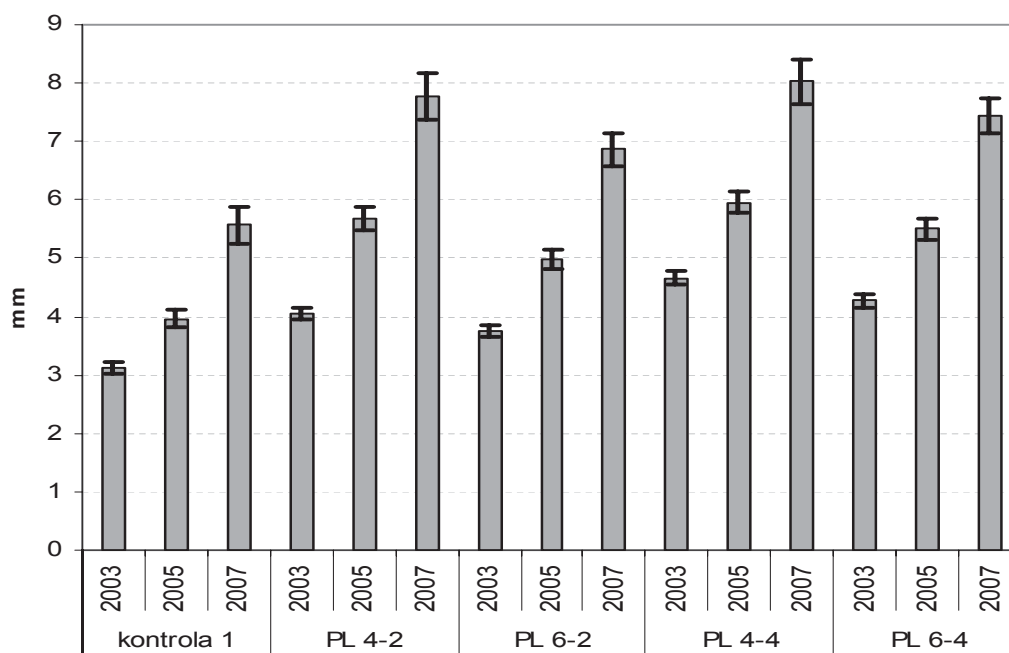
**Obr. 3.**

Vývoj hodnot průměrné výšky různě hnojeného sadebního materiálu buku lesního na TVP Farský les. Popis variant viz tabulka 1. Chybové úsečky znázorňují intervaly konfidence na hladině významnosti alfa 0,05.

Development of height values of European beech plants with different fertilization treatments on research plot Farský les. The description of treatments see Table 1. Vertical bars demonstrate intervals of confidence.

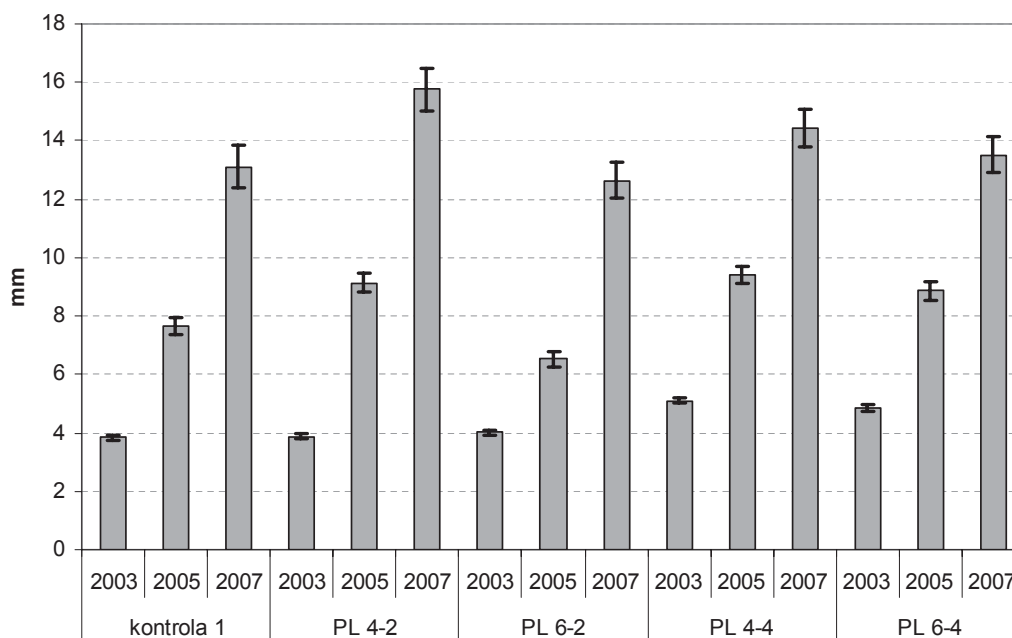
(necelá 4 %), navíc se jednalo pouze o méně závažnou deformaci, ohyb hlavního kořene do L, jejíž příčinou bývá nekvalitní výsadba nebo pro kořeny neprostupná překážka. Jednotlivé výsledky destruktivních analýz se znázorněním statisticky významných rozdílů jsou uvedeny v tabulce 3. Čtyři roky po výsadbě přetrvávají statisticky významné rozdíly v objemu a sušině nadzemní části sadebního materiálu a objemu silných kořenů mezi kontrolou hnojenou pouze na list a variantami hnojenými ve školce pevným hnojivem do substrátu. Objem jemných kořenů byl výrazně nižší u kontroly oproti variantám s pevným hnojivem, ale statisticky byly rozdíly průkaz-

né pouze při porovnání sušiny u variant PL 4-4 a PL 6-4. Vlivem extrémních stanovištních podmínek na TVP Kamzík je růst sadebního materiálu velmi pomalý a ani po čtyřech letech růstu nejsou vyvinuty silné kosterní kořeny, na nichž by byl patrný vznik druhotných deformací. Vzhledem k relativně pomalému růstu kořenů není ještě možné úplně vyloučit vznik druhotných deformací vlivem omezeného rozrůstání kořenů z původních kořenových balů, předpokládáme proto opakované odběry vzorků pro destruktivní analýzy v časovém horizontu 2 až 4 let v závislosti na dalším odrůstání výsadeb.

**Obr. 4.**

Vývoj tloušťky kmínku v kořenovém krčku u jednotlivých variant pokusu na TVP Kamzík. Popis variant viz tabulka 1. Chybové úsečky znázorňují intervaly konfidence na hladině významnosti alfa 0,05.

Values of diameter at root collar of European beech plants with different fertilization treatments on research plot Kamzík. For the detail description of treatments see Table 1. Vertical bars demonstrate intervals of confidence.

**Obr. 5.**

Vývoj tloušťky kmínků v kořenovém krčku u různě hnojeného sadebního materiálu buku lesního na TVP Farský les. Popis variant viz tabulka 1. Chybové úsečky znázorňují intervaly konfidence na hladině významnosti alfa 0,05.

Values of diameter at root collar of European beech plants with different fertilization treatments on research plot Farský les. For the detail description of treatments see Table 1. Vertical bars demonstrate intervals of confidence.

Tab. 3.

Výsledky destrukčních analýz sadebního materiálu vyzvednutého po čtyřech letech růstu na TVP Kamzík. Popis variant viz tabulka 1. Rozdílná písmena ve sloupcích označují statisticky významné rozdíly.

Root system parameters four years after establishment of permanent plots Kamzík

Varianta ¹	Objem nadzemní části ² (ml)	Objem silných kořenů ³ (ml)	Objem jemných kořenů ⁴ (ml)	Sušina nadzemní části ⁵ (g)	Sušina silných kořenů ⁶ (g)	Sušina jemných kořenů ⁷ (g)	Poměr sušiny kořenů k nadzemní části ⁸
Kontrola ⁹	2,42 a	3,33 a	0,48 -	0,95 a	0,12 a	1,05 a	1,234
PL 4-2	5,65 b	5,70 b	0,94 -	2,46 b	0,24 -	1,81 -	0,835
PL 6-2	4,95 b	4,50 -	0,82 -	1,88 -	0,16 -	1,50 -	0,887
PL 4-4	6,80 b	5,45 b	0,82 -	3,05 b	0,27 b	2,25 b	0,829
PL 6-4	6,30 b	5,55 b	0,91 -	2,74 b	0,24 -	2,08 b	0,848

¹ - Treatment, ² - Aboveground volume, ³ - Skeletal roots volume, ⁴ - Fine roots volume, ⁵ - Aboveground dry matter, ⁶ - Roots dry matter, ⁷ - Fine roots dry matter,

⁸ - Roots/aboveground dry matter ratio, ⁹ - Control

Tab. 4.

Výsledky destrukčních analýz sadebního materiálu vyzvednutého po čtyřech letech růstu na TVP Farský les v Krušných horách. Popis variant viz tabulka 1

Root system parameters four years after establishment of permanent plots Farský les

Varianta ¹	Sušina nadzemní části ² (g)	Sušina kořenů ³ (g)	Suma průměrů kořenů v nasazení ⁴ (mm)	Celkový počet kořenů v hloubce ⁵ 5 cm	Suma průměrů kořenů v hloubce ⁶ 25 cm (mm)	Poměr sušiny kořenů k nadzemní části ⁷
Kontrola ⁸	28,18 a	16,87 a	75,02 a	90 a	7,16 a	0,599 a
PL 4-2	25,43 a	15,72 a	63,5 a	93 a	3,86 a	0,618 a
PL 6-2	22,60 a	14,07 a	66,05 a	102 a	2,22 a	0,623 a
PL 4-4	24,96 a	16,46 a	65,88 a	94 a	3,79 a	0,659 a
PL 6-4	24,19 a	16,48 a	80,81 a	117 a	3,68 a	0,681 a

¹ - Treatment, ² - Aboveground dry matter, ³ - Roots dry matter, ⁴ - Roots average sum, ⁵ - Number of skeletal roots in 25 cm depth, ⁷ - Roots/aboveground dry matter ratio, ⁸ - Control

Výsledky destrukčních analýz vyzvednutých vzorníků z TVP Farský les zachycuje tabulka 4. Ve všech porovnávaných parametrech nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi kontrolou a variantami hnojenými pevným hnojivem do substrátu. Rozdílné morfologické parametry sadebního materiálu způsobené různým způsobem pěstování ve školce (tab. 1) byly tak během čtyřech let růstu ve výše specifikovaných podmínkách eliminovány. Také vypočtený poměr sušiny kořenů k nadzemní části vykazuje neprůkazné rozdílné hodnoty pro varianty s pevným hnojivem a kontrolou.

U obou sledovaných výzkumných ploch je zajímavým výsledkem porovnání poměru sušiny kořenů k nadzemní částem v časové řadě hodnocení. Při výsadbě byly zjištěny výrazné rozdíly v poměru mezi variantami s pevným hnojivem a kontrolou. U varianty PL 6-2 byl tento koeficient oproti kontrole dokonce poloviční (tab. 2). Čtyři roky po výsadbě na TVP Kamzík, kde sadební materiál přirůstal velmi pomalu, činí rozdíl ještě přibližně 45 %, kdežto na TVP Farský les se tento poměr takřka vyrovnal.

Kořenové deformace byly na TVP Farský les zjištěny u 10 % jedinců hnojených ve školce hnojivem do substrátu, u kontroly zjištěny nebyly. Ve všech případech se však jednalo o méně závažné deformace hlavního kořene v místě vyrůstání z bývalého koře-

nového balu. Z analýz odebraných vzorníků z jednotlivých variant pokusů dále vyplývá, že na obou sledovaných plochách tvoří v 96 % kostru kořenových systémů křídlové kořeny, zbývající 4 % mají charakter srdčitého kořenového systému. Obdobné výsledky o křídlovém kořenovém systému u mladých listnáčů semenného původu uvádí i PEJCHALA (2004). Nevyskytují se tedy žádné výrazné anomálie v charakteru růstu dominantních kosterních kořenů, které mají v převážné většině přirozený pozitivně geotropický směr růstu. I když poznatky z našich pokusů prozatím svědčí o dobrém růstu kořenů i u sadebního materiálu buku s relativně intenzivním hnojením ve školce, bude nutné tyto pokusy ještě opakovaně vyhodnotit v delší časové řadě. Na nebezpečí tvorby kořenových deformací v důsledku nesprávného hnojení upozorňuje MAUER a PALÁTOVÁ (2004). Podobně například WILLIAMS a HANKS (1994) uvádějí, že velké semenáčky listnáčů pěstované za pomoci silných dodávek hnojiv mají často měkká pletiva a jiné nevhodné vlastnosti, které mohou nepříznivě ovlivnit vývoj po výsadbě. Na nutnost vyvážené výživy pro dosažení dobré ujmavosti a odolnosti upozorňují i BARNES (1994), ALDHOUS a MASON (1994), GRASSI (1996), PRASAD (1996) a LIBUS (2006).

ZÁVĚRY

Z prvních výsledků sledování různě hnojeného intenzivně pěstovaného sadebního materiálu buku rostoucího v stanovištně extrémních podmínkách pro buk vyplývá, že:

- způsob pěstování a intenzita hnojení ve školce se u tohoto typu sadebního materiálu ani v extrémních podmínkách výsadbové plochy výrazněji neprojevovaly na výši ztrát.
- čtyři roky po výsadbě přetrvávají statisticky významné rozdíly ve výšce nadzemní části a tloušťce kořenového krčku mezi variantami hnojeným do substrátu pomalu rozpustným hnojivem a kontrolou (hnojení pouze na list). Komplexnější zhodnocení růstu těchto výsadeb bude vzhledem k pomalejšímu růstu buku v těchto extrémních podmínkách možné až po více letech.
- na TVP Kamzičí skála v Jeseníkách, která svými stanovištními podmínkami představuje horní hranici ekvalence buku lesního, přetrvávala tři roky po výsadbě stagnace růstu u krytokořenného sadebního materiálu bez závislosti na intenzitě a způsobu předchozího hnojení ve školce. Ve čtvrtém roce po výsadbě již bylo u všech variant pozorováno výraznější zvýšení výškového růstu.

Z výsledků destrukčních analýz odebraných vzorníků sadebního materiálu buku po čtyřech letech růstu v extrémních stanovištních podmínkách vyplývá, že:

- po sledovaném období nebyly u odebraných vzorníků zjištěny žádné závažné deformace kořenového systému. Na TVP Kamzičí byla po čtyřech letech růstu zjištěna deformace u 4 % a na TVP Farský les u 10 % jedinců, přičemž se ve všech případech jednalo o méně závažné deformace (vybočení hlavního kořene).
- s růstem a vyspíváním výsadeb se vyrovnává poměr objemu kořenového systému ku nadzemní části rostliny mezi variantami hnojenými do substrátu a kontrolou. V době výsadby dosahoval rozdíl až 100 % a po čtyřech letech růstu na TVP Farský les se poměr takřka vyrovnal. To svědčí o relativně dobrém rozrůstání kořenů z původního kořenového balu i u variant pokusů hnojených ve školce pomalu rozpustným hnojivem.

Poděkování:

Výsledky byly získány v rámci řešení výzkumného záměru „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“ (MZE 0002070201).

LITERATURA

- ALDHOUS, J. R., MASON, W. L. Forest Nursery Practice. Forestry Commission Bulletin, 111. London: HMSO, 1994. 268 s.
- BARNES, H. W. Fertilizers: interactions and overwintering - a review. In International Plant Propagators' Society Combined Proceedings. 1994, vol. 43, s. 475-479.
- DUŠEK, V., MARTINCOVÁ, J., JURÁSEK, A. Zvýšení kvality obalené sadby. Opočno: VÚLHM-VS, 1985. 6 s.
- GRASSI, G. Influenza della luce e del substrato sullo sviluppo di semenzali di faggio (*Fagus sylvatica*). Monti e Boschi, 1996, vol. 47, no. 4, s. 54-62.
- JANOŠ, D. Změna klimatu a globální oteplování. Lesnická práce, 2002, č. 1, s. 12-14.

JURÁSEK, A. Vliv kvality obalené sadby na zdravotní stav výsadeb v horských podmínkách. In Lesnické hospodaření v imisní oblasti Orlických hor. Sborník referátů z celostátního semináře. Opočno, 31. 8. – 1. 9. 2000. Sest. M. Slodičák. Opočno: VÚLHM-VS, 2000, s. 161-163.

JURÁSEK, A., NÁROVCOVÁ, J., NÁROVEC, V. Průvodce krytokořeným sadebním materiálem lesních dřevin. [Containerised planting stock of forest species guidebook.] Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2006. 56 s.

KRIEGL, H. Vývoj cílových dřevin v průběhu přeměny stávajícího porostu ve sledovaných imisně ekologických podmínkách Krušných hor (plocha Fláje). In Výsledky lesnického výzkumu v Krušných horách v roce 2001. Teplice, 14. 2. 2002. Sest. M. Slodičák, J. Novák. VÚLHM, 2002, s. 125-134.

KRIEGL, H., BARTOŠ, J. Přeměna porostu náhradních dřevin a sledování imisně ekologických podmínek na dlouhodobé výzkumné ploše Fláje v Krušných horách. In Výsledky lesnického výzkumu v Krušných horách v roce 2003. Sborník z celostátní konference. Teplice, 22. 4. 2004. Sest. J. Novák a M. Slodičák. Opočno, VÚLHM 2004, s. 158-166.

KUPKA, I. Vliv možných klimatických změn na zastoupení dřevin v našich lesích. Lesnická práce, 2002, č. 1, s. 18-19.

LIBUS, J. Vliv přehnojení dusíkem a hořčíkem na růst sadebního materiálu buku lesního a smrku ztepilého. http://www.zeus.cz/pdf/pudy/zkBrno_VlivPrihnojeni_N_Mg.pdf, 2006. 59 s.

MAUER, O. Kvalita služeb školkařských provozů. [Nursery services quality.] Zprávy lesnického výzkumu, 1997, roč. 42, č. 1, s. 17-18.

MAUER, O., PALÁTOVÁ, E. Deformace kořenového systému a stabilita lesních porostů. [Root system deformations and stability of forest stands.] In Možnosti použití sadebního materiálu z intenzivních školkařských technologií pro obnovu lesa. Sborník přednášek z mezinárodního semináře. Opočno, 3. a 4. 6. 2004. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2004, s. 22-26.

NÁROVEC, V. 100x o hnojení v lese. Zásady zlepšování lesních půd a výživy lesních porostů hnojením. [Hundredfold about forest fertilization. Principles of forest soils improvement and forest stands nutrition by fertilizing.] 2. vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2001. 31 s.

NÁROVCOVÁ, J. Úloha akreditované laboratoře školkařská kontrola při ověřování biologické vhodnosti obalů krytokořenného sadebního materiálu lesních dřevin: některé zkušenosti s kvalitou kořenových soustav testovaných technologií. In Perspektivy pěstování krytokořenného sadebního materiálu v podmínkách České republiky po vstupu do EU. [Proceedings from an international colloquium.] Dlouhá Loučka, 3. 9. 2003. S. 1. [2003].

PEJCHAL, M. Architektura kořenového systému stromů. [Root system architecture in trees.] In: Kořenový systém – základ stromu. Sborník referátů z konference. 25. 8. 2004 Křtiny. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita Lesnická a dřevařská fakulta – Ústav zakládání a pěstění lesů, 2004, s. 21-36.

PRASAD, M. Nutrient survey of nursery stock in Ireland and U. K. including nutrient reserve analysis in controlled-release fertiliser and leaf analysis. International Plant Propagators' Society, Combined Proceedings, 1996, vol. 46, s. 183-189.

CONTAINERIZED BEECH PLANTING STOCK PROSPERITY UNDER EXTREME SITE CONDITIONS

SUMMARY

Nowadays, an increase of broadleaves proportion in a tree species composition has been required even under harsh site conditions. Especially in case of artificial planting of European beech, a containerized, intensively grown stock is used in order to avoid an excessive mortality on these sites.

This article deals with growth and health of containerized beech stock planted under less favourable conditions. The former research plot was established in summit part of the Jeseníky Mts., NW Moravia at the altitude of 1,160 m a. s. l. on nutrient-medium site. The latter one is situated on upper plateau in the Krušné hory Mts., NW Bohemia at the altitude of 700 m a. s. l. on acidic site. Four variants of container-substrate fertilization (slowly soluble fertilizer Plantacote) were compared to control which was fertilized in a nursery using foliar dressing (Kristalon) only.

In addition to health and growth increment, we focused our study on root system analysis. First results show that there were found no differences in beech survival between investigated variants. Lower survival of control variant situated within the plot in the Jeseníky Mts. was related to an increased mice-induced mortality. There were statistically significant differences between substrate-fertilized (Plantacote substrate) and control (foliar application of Kristalon) variants in terms of height of above-ground part and root collar diameter. At the higher altitude (1,160 m) representing harsh site conditions near upper beech limit, a growth retardation of all planted variants including control endured for three years after planting; the growth increased in the fourth year.

No serious root deformations of individuals sampled four years after outplanting were found; only slight shift of main root growth direction occurred (4% at 1,106 m and 10% in 700 m respectively). Also a ratio of above-ground part and root system volumes between substrate-fertilized and control variants changed within the plot situated at 700 m in the Krušné hory Mts.; difference of the initial ratio between Plantacote-treated variant and control one was nearly 100% while the ratio almost equalized in the fourth year after planting. Of course, in order to reveal complex beech stock prosperity under such conditions, a further investigation is needed.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Jan Bartoš, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno
Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika
tel.: 494 688 391-2; e-mail: bartos@vulhmop.cz

VLIV RŮZNÝCH ZPŮSOBŮ MELIORACE PŮDY V HORSKÉM POVODÍ NA POČÁTEČNÍ RŮST BUKU LESNÍHO, JAVORU KLENU A JEDLE BĚLOKORÉ

AMELIORATING MEASURES IMPROVING SOIL CONDITIONS WITHIN A MOUNTAIN WATERSHED TO PROMOTE INITIAL GROWTH RESPONSE OF EUROPEAN BEECH, SYCAMORE MAPLE AND SILVER FIR

VLADIMÍR ČERNOHOUS - DUŠAN KACÁLEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno

ABSTRACT

An artificial regeneration of mountain forest stands situated on water-logged sites has been solved for 9 years within experimental watershed in a summit part of the Orlické hory Mts., north-eastern Bohemia. Not only watershed management leading to decrease of groundwater table level, but also a proper plantation establishment including care of young plantations are important measures to succeed in regeneration there. The article concludes results from investigation dealing with modified mound planting, addition of ameliorative materials (ground limestone and amphibolite, mineral soil) and using fertilizer (Silvamix) to support growth of following tree species: European beech, sycamore maple and silver fir planted into Norway spruce thicket.

Klíčová slova: kopečková výsadba, meliorace, bazické moučky, tabletované hnojivo, vnášení MZD

Key words: mound planting, soil amelioration, ground rocks, tablet fertilizer, European beech, sycamore maple, silver fir, composition treatment

ÚVOD

Obnova porostů na vodou ovlivněných stanovištích vždy vyžadovala větší úsilí lesníků než běžné zalesňování a není tomu jinak ani dnes. Pro úspěšnost obnovy na těchto stanovištích nestačí jen úprava vodního režimu a snížení hladiny podzemní vody, ale je důležitý i způsob a pečlivé provedení výsadby a následná péče o kultury. Technologie vyvýšené výsadby a přihnojování je obecně známá. Samotná kopečková výsadba může přinést problémy s prosycháním nebo promrzáním kopečků a s následnou redukcí růstu (BASSMAN 1989, LINDSTRÖM, TROENG 1995). Dobré zkušenosti s aplikací tabletovaného hnojiva Silvamix (KUBELKA 2001) byly dokumentovány u jehličnanů z pohledu vyrovnávání deficitu výživy projevujícího se barevnými změnami jehlic a zastavením defoliace u smrku (PODRÁZSKÝ et al. 2003) nebo pozitivního vlivu na výškový růst smrku (KUNEŠ et al. 2004) a jedle (KUPKA 2005). O modifikované kopečkové výsadbě kombinované s meliorací bazickými moučkami a s přihnojením tabletami Silvamix na podporu ujmavosti a růstu sazenic listnáčů není dostatek poznatků ani zkušeností. Cílem příspěvku je prezentovat výsledky aplikace zmíněných postupů u významných melioračních a zpevňujících dřevin (MZD zajímavých i hospodářsky) buku lesního, javoru kleny a jedle bělokore v 7. lvs na stanovištích ovlivněných vodou.

METODIKA

Problematika obnovy porostů na vodou ovlivněných stanovištích pomocí melioračních opatření je řešena na malém experimentálním povodí U Dvou louček ve vrcholové partii Orlických hor, v katastru

ru obce Říčky, na pozemcích Správy Kolowratských lesů. Vějířovitě povodí o rozloze 32,6 ha se nachází v nadmořské výšce 880 m až 950 m. Povodí vykazuje proměnlivý sklon, v dolní části 7,5°, ve střední 8,5° a v horní 4,3°. Jihozápadní expozice povodí přechází v okrajových částech v jihovýchodní a západní. Čtvrtina rozlohy je ovlivněna vysokou hladinou podzemní vody (protékající svahová voda a prameniště). Typologicky je zájmové území zařazeno do souborů lesních typů 7K, 7P a 7T. Na povodí byla vytvořena dvě oplocená jádra mikrobiocentra, každé o velikosti 1 ha. Na prvním je prováděna umělá obnova smíšeného porostu (SM, BK, KL, JD) na imisní holině (7P) a na stanovišti ovlivněném vodou (7T) a na druhém je sledována přirozená obnova buku lesního (7K). Před výsadbou byl v zamokřené části povodí ručně proveden hydromeliorační zásah na ploše 5 ha s celkovou délkou otevřených kanálů ca 500 m.

S experimentálními výsadbami bylo započato v roce 1997, rok po ručním provedení hydromelioračního zásahu. V oplocené ploše byl v části neovlivněné vodou prosázen buk lesní do pěti až sedmileté kultury smrku ztepilého v celkovém množství 1 077 kusů. Dvouleté krytokořenné sazenice (1 + k1, RCK kelímky, objem 700 ml) byly vysázeny do jamky a přihnojeny tabletami Silvamix (KUBELKA 2001, NÁROVEC 2001) v dávce dvě, respektive čtyři tablety na jamku. Tablety byly umístěny do hloubky 10 cm v rozích jamky 30 x 30 cm. V roce 1999 výsadba pokračovala na ploše ovlivněné vodou. Na odvodněné ploše byl vysázen buk lesní (1 + k2, RCK kelímky, objem 700 ml) a javor klen (1 + k2, PVC sáček, objem ca 1 000 ml) s použitím meliorace vápencovou a amfibolitovou bazickou moučkou (Meliorační materiály KROSIL 1994) v dávce 2 kg na kopeček (obr. 1). Dále byla v roce 2000 do kopečků vysazena jedle bělokora (2 + k3, PVC sáček, objem ca 1 000 ml) meliorovaná

Tab. 1.

Počty vysazených sazenic a varianty meliorace

The initial number of seedlings planted in particular ameliorative treatment variants

Přihnojení tabletami Silvamix ¹	Dřevina/Tree species	2 tablety/pellets	4 tablety/pellets	Kontrola/No treatment
	buk lesní/European beech	180	179	718
Meliorace vápennou a amfibolitovou moučkou ²	vápenec/limestone		amfibolit/amphibolite	kontrola/no treatment
	buk lesní/European beech	135	245	402
	javor horský/sycamore maple	151	230	400
Meliorace vápennou moučkou a minerální zeminou ³	vápenec/limestone		zemina/mineral soil	kontrola/no treatment
	jedle bělokorá/ silver fir	286	202	399

Superscripts used: ¹pellets of Silvamix fertilizer; ²addition of finely ground rocks; ³addition of finely ground limestone or mineral soil**Tab. 2.**

Obsah živin v použitých melioračních hmotách v procentech

Contents of nutrient elements in used ameliorative materials (%)

Tablety Silvamix ¹	Nt	P	K	Ca	Mg
	10,3	7,2	5,2		3
Amfibolitová moučka ²		0,1	0,8	7,9	4,2
Vápená moučka ³				19,0	11,0

¹artificial fertilizer (Silvamix pellets)²finely ground amphibolite and ³limestone

vápenec nebo dodáním místní minerální zeminy, obojí v dávce 2 kg. Počty vysazených jedinců v jednotlivých variantách meliorace udává tabulka 1. Po výsadbě byla změřena počáteční výška sazenic a pak byl každoročně měřen výškový přírůstek, tloušťka kmínku u povrchu půdy a sledován zdravotní stav a mortalita výsadeb. Obsah živin v jednotlivých melioračních hmotách je uveden v tabulce 2.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Výsledky přihnojení buku lesního naznačují, že větší dávka tablet Silvamix (4 tablety) neměla na výškový růst sazenic výraznější vliv než dávka menší (2 tablety). Střední výška obou variant byla po 6 letech od aplikace prakticky stejná (tab. 3). Rozdíl 1,6 cm

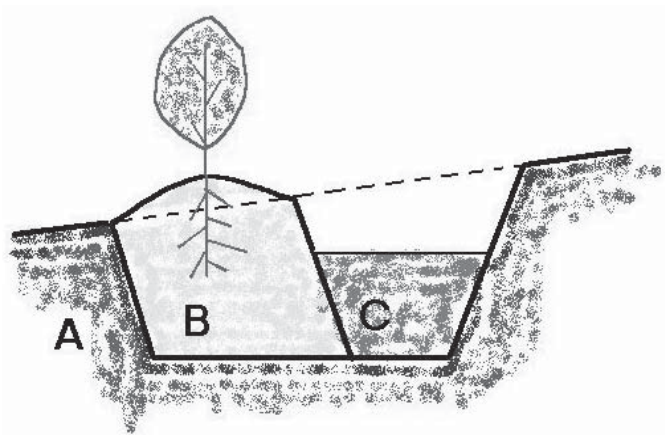
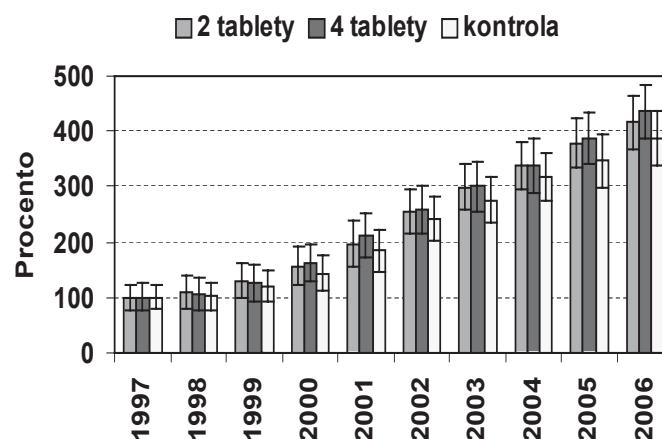
**Obr. 1.**

Schéma modifikované kopečkové výsadby: A - rostlá půda, B - nakypřená půda promísená s humusem, popřípadě s bazickou moučkou, C - retenční prostor pro akumulaci přebytečné půdní vody, využitelné sazenicí v době sucha

A modified design of mound planting: A - intact soil, B - mound of hoed soil mixed with humus or finely ground rocks respectively, C - a hole accumulating surplus water; it provides an extra water supply during periods of drought

**Obr. 2.**

Průměrné výšky buku lesního přihnojeného tabletami Silvamix vyjádřené v procentech ve vztahu k počáteční výšce v roce 1997

Mean heights of European beech after application of fertilizer Silvamix into planting hole in 1997. The heights express per cent values in relation to initial ones in 1997; Y axis - per cent; 2 nebo 4 tablety - 2 or 4 pellets; kontrola - no treatment

Tab. 3.

Výškový přírůst dřevin podle variant meliorace od výsadby do roku 2003

Height growth of particular tree species according to ameliorative treatment from year of plantation to 2003

Dřevina ¹	Meliorace ²	Rok ³	Výška (cm) ⁴	Procento ⁵	Rok ⁶	Výška (cm) ⁷	Procento ⁸	Přírůst (cm) ⁹
buk lesní/beech	2 tablety	1997	35,7	100	2003	106,5	298,3	70,8
	4 tablety	1997	34,5	100	2003	103,7	300,6	69,2
	kontrola	1997	37,7	100	2003	104,0	275,9	66,3
buk lesní/beech	vápenec	1998	22,0	100	2003	70,6	320,9	48,6
	amfibolit	1998	18,3	100	2003	37,8	206,6	19,5
	kontrola	1998	17,3	100	2003	38,3	221,4	21,0
javor horský/maple	vápenec	1998	13,0	100	2003	41,1	316,2	28,1
	amfibolit	1998	19,4	100	2003	42,0	216,5	22,6
	kontrola	1998	26,8	100	2003	45,7	170,5	18,9
jedle bělokorá/fir	vápenec	2000	17,7	100	2003	35,1	198,3	17,4
	zemina	2000	16,6	100	2003	31,9	192,2	15,3
	kontrola	2000	17,8	100	2003	30,2	169,7	12,4

Explanation of column titles: ¹tree species; ²treatment (see tab. 1); ³year of plantation; ⁴initial height; ⁵per cent; ⁶year of investigation; ⁷advanced height in 2003; ⁸per cent; ⁹height increment

Tab. 4.

Výsledky Studentova T-testu výškových přírůstů dřevin podle variant meliorace v roce 2003

Results of comparison of tree species height increments using T-test according to treatments in year 2003

Dřevina ¹	Meliorace ²	Výška (cm) ³	Přírůst (cm) ⁴	Statisticky průkazný rozdíl ⁵	
				k druhé variantě 5a	ke kontrole 5b
buk lesní/beech	2 tablety	106,5	70,8	A	A
	4 tablety	103,7	69,2	A	A
	kontrola	104,0	66,3		
buk lesní/beech	vápenec	70,6	48,6	AAA	AAA
	amfibolit	37,8	19,5	AAA	A
	kontrola	38,3	21,0		
javor horský/maple	vápenec	41,1	28,1	AA	AAA
	amfibolit	42,0	22,6	AA	AA
	kontrola	45,7	18,9		
Jedle bělokorá/fir	vápenec	35,1	17,4	AA	AAA
	zemina	31,9	15,3	AA	AA
	kontrola	30,2	12,4		

Statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti (statistically significant difference at significance level) $\alpha = 0,05$ (AA); $\alpha = 0,01$ (AAA) a neprůkazný rozdíl (insignificant difference) (A). Explanation of column titles: ¹tree species; ²treatment (see Tab. 1); ³height in 2003; ⁴height increment; ⁵statistically significant difference (5a - compared to the other variant; 5b - compared to no-treatment plot)

ve prospěch sazenic přihnojených menší dávkou byl statisticky neprůkazný (tab. 4). Také vliv na tloušťku báze kmínku byl neprůkazný a průměrné hodnoty 18 až 19 mm dosáhly všechny varianty pokusu (tab. 5). Neprokázaný jednoznačný vliv hnojení v roce 1999 byl patrně zapříčiněn nedostatečně se rozrůstajícím kořenovým systémem sazenic mimo obal (RCK kelímky), který se prozatím zřejmě nedostal do kontaktu s živinami z pomalu se rozkládajících tablet Silvamixu. Tuto domněnku potvrzuje i jarní měření v roce 2000

a 2001, kdy byl vliv přihnojení na výškový přírůst sazenic ve vztahu k dávce již zaznamenán (obr. 2). Vliv rozdílné dávky hnojiva na přírůst se v roce 2003 setřel. Celková výška přihnojených jedinců obou variant však nedosáhla statisticky významného rozdílu ani mezi sebou, ani proti kontrole (tab. 3 a 4).

Z výsledků získaných u buku lesního a javoru klenu s modifikovanou kopečkovou výsadbou a meliorovaných bazickými moučkami vyplývá pozitivní vliv vápencové a amfibolitové moučky na ujíma-

Tab. 5.

Tloušťkový přírůst dřevin podle variant meliorace od výsadby do roku 2003

Diameter growth of particular tree species according to ameliorative treatment from year of plantation to 2003

Dřevina ¹	Meliorace ²	Rok ³	Tloušťka (mm) ⁴	Procento ⁵	Rok ⁶	Tloušťka (mm) ⁷	Procento ⁸	Přírůst (mm) ⁹
buk lesní/beech	2 tablety	1997	5,8	100	2003	19,0	327,6	13,2
	4 tablety	1997	5,8	100	2003	18,2	313,8	12,4
	kontrola	1997	5,1	100	2003	17,9	350,0	12,8
buk lesní/beech	vápenec	1998	6,0	100	2003	13,1	218,3	7,1
	amfibolit	1998	4,6	100	2003	7,7	167,4	3,1
	kontrola	1998	4,5	100	2003	8,3	184,4	3,8
javor horský/maple	vápenec	1998	4,6	100	2003	8,1	176,1	3,5
	amfibolit	1998	5,6	100	2003	8,9	158,9	3,3
	kontrola	1998	6,2	100	2003	9,5	153,2	3,3
jedle bělokorá/fir	vápenec	2000	6,0	100	2003	12,3	205,0	6,3
	zemina	2000	5,4	100	2003	10,0	185,2	4,6
	kontrola	2000	5,8	100	2003	10,4	179,3	4,6

Explanation of column titles: ¹tree species; ²treatment (see Tab. 1); ³year of plantation; ⁴initial diameter; ⁵per cent; ⁶year of investigation; ⁷advanced diameter in 2003; ⁸per cent; ⁹diameter increment

Tab. 6.

Mortalita podle druhů dřeviny a varianty meliorace

Mortality according to both tree species and ameliorative treatment

Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Σ	vysazeno	%
Buk kontrola	68	67	46	41	5	17	20	1	2	267	718	37,2
Buk 2 tablety	21	14	16	12	0	2	5	2	0	72	180	40,0
Buk 4 tablety	36	9	24	8	0	2	3	5	1	88	179	49,2
Javor kontrola		5	67	56	39	7	9	23	2	208	400	52,0
Javor vápenec		0	24	14	16	0	12	5	0	71	151	47,0
Javor amfibolit		1	31	27	6	12	11	11	0	99	230	43,0
Buk kontrola		18	35	5	0	3	4	18	5	88	402	21,9
Buk vápenec		16	16	36	15	9	5	3	1	101	135	74,8
Buk amfibolit		20	29	32	2	4	7	15	6	115	245	46,9
Jedle kontrola				35	44	15	6	15	6	121	399	30,3
Jedle vápenec				19	52	0	5	10	7	93	286	32,5
Jedle zemina				40	33	17	0	5	0	95	202	47,0

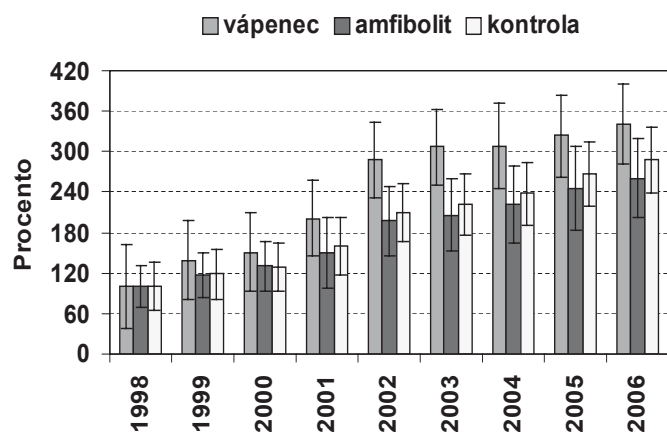
Explanation of row titles: buk - beech; javor - maple; jedle - fir; kontrola - no treatment; 2 (4) tablety - 2 (4) pellets; vápenec - limestone; amfibolit - amphibolite; zemina - mineral soil; Explanation of column titles: 1998 - 2005 - years; Σ - cumulative number of dead individuals; vysazeno - total number of planted trees; % - expression of relative mortality

vost a výškový přírůst sazenic (zvláště javoru). Buk lesní kladně reagoval na aplikaci vápence, vliv amfibolitu u něho nebyl výrazný patrně z důvodu menší úpravy pH půdy. Potvrzuje se tak předpoklad z literatury (NÁROVEC, ŠACH 1994), že bazické moučky vylepšují fyzikální a upravují hydričké vlastnosti půd nejen pro jehličnany. U vápence bylo navíc dosaženo většího přírůstu než u amfibolitu vzhledem k jeho schopnosti zintenzivnit mineralizaci humusu a podnítit vznik přístupných forem dusíku.

Výsledky jarních šetření z let 1999 až 2006 prezentují obrázky 3 a 4. Statisticky byly v roce 2003 u obou dřevin prokázány významné

rozdíly výšek mezi variantami meliorace: u vápencové moučky i vůči kontrole, u amfibolitové moučky jen u javoru klenu (tab. 3 a 4).

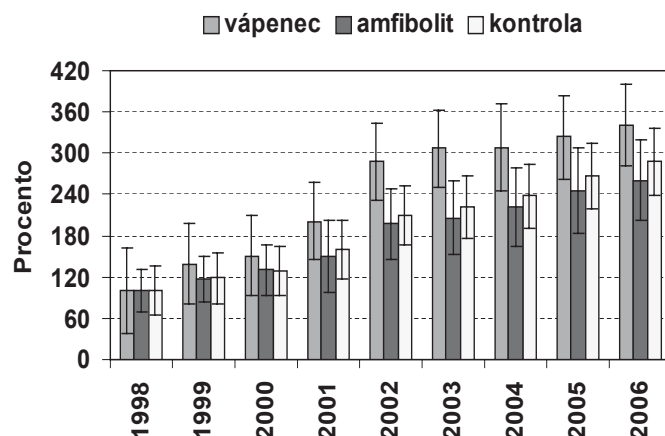
Výškový přírůst jedle bělokoré vysazené do kopečku a meliorované vápencem a dodáním minerální zeminy ilustruje obrázek 5. Výsledky měření opět ukazují pozitivní vliv vápence na ujímavost sazenic (jen 7 % ztrát). Obdobné údaje mortality (do 10 %) uvádí i BALCAR s PODRÁZSKÝM (1995). U varianty s dodanou minerální zeminou bylo dosaženo mírně vyššího přírůstu oproti vápencové moučce jen první rok po výsadbě (2001). V tomto případě předpokládáme, že zemina s různou zrnitostí půdních agregátů lépe



Obr. 3.

Průměrné výšky buku lesního meliorovaného vápencem a amfibolitem vyjádřené v procentech ve vztahu k počáteční výšce v roce 1998

Mean heights of beech treated with both the limestone and amphibolite expressed as per cent of initial heights in 1998; Y axis - per cent; vápenec - limestone; amfibolit - amphibolite; kontrola - no treatment



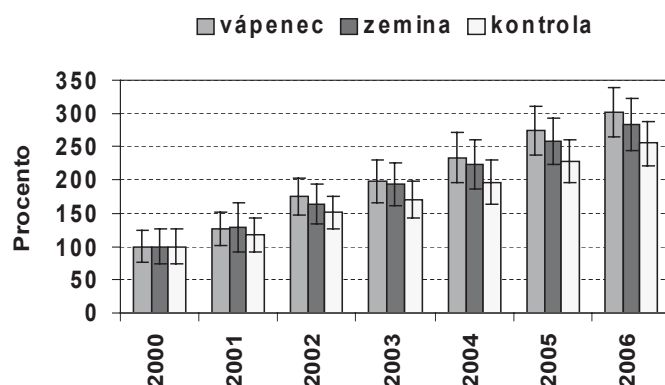
Obr. 4.

Průměrné výšky javoru kleny meliorovaného vápencem a amfibolitem vyjádřené v procentech ve vztahu k počáteční výšce v roce 1998

Mean heights of sycamore maple treated with both the limestone and amphibolite expressed as per cent of initial heights in 1998; Y axis - per cent; vápenec - limestone; amfibolit - amphibolite; kontrola - no treatment

upravila fyzikální vlastnosti původní rašelinné půdy a dodala větší spektrum živin než zrnitostně homogenní jemně mletý vápenec. Výraznější přírůst u varianty s vápencovou moučkou v pozdějších letech lze opět přičítat zlepšení výživy dusíkem z mineralizované rašeliny. Také u jedle bělokoré byly prokázány statisticky významné rozdíly v růstu mezi variantami meliorace i vůči kontrole (tab. 3 a 4). Na základě dosažených výsledků navrhuje k podpoře ujmavosti a počátečního růstu jedle na rašelinných půdách současné dodání minerální zeminy i vápencové moučky do výsadbového kopečku.

Pozitivní vliv melioračních hmot na tloušťku báze kmínku byl zjištěn u všech dřevin s větším úspěchem při použití mletého vápence než amfibolitu (tab. 5), který méně upravuje pH půdy. Zdravotní stav výsadby byl dobrý. Poškození listů buku pozdním jarním mrazem v roce 1999 a 2000 bylo značné, ale nebylo příčinou úhynu ani snížení přírůstu a vitality sazenic. Zaznamenaný úhyn jedinců byl důsledkem škod myšovitými hlodavci a ojediněle důsledkem oseknutí sazenic při ožínání buřeně. K zamezení škod hlodavci byly na plochu umístěny jedové pasti. I přes učiněná opatření způsobili hlodavci úhyn, větší u buku, menší u javoru kleny. Vlivem sněhové pokrývky došlo u několika jedinců javoru kleny k vrcholovým zlomům v letech 2000, 2001, 2003 a značně v roce 2005. U jedle bělokoré byly zaznamenány zlomy, vyřezávání větví a poškození terminálu v zimě 2001/02 a 2004/05. Jedle bělokorá zdárně prosperuje na pokusných dílcích pod melioračním kanálem vedeným podél vrstevnice, kde se snížila hladina podzemní vody. Na dílcích nad kanálem, kde snížení hladiny není vlivem stálého příronu svahových vod tak výrazné, došlo k rozplavení kopečků a jedle zde v letech 2001 a 2002 zaznamenala až 20% úhyn. Počty uhynulých jedinců buku, javoru kleny a jedle podle variant meliorace v letech 1998 až 2004 dokumentuje tabulka 6. Úhyn listnáčů byl převážně způsoben okusem hlodavci a jedle vysokou hladinou podzemní vody.



Obr. 5.

Průměrné výšky jedle bělokoré meliorované vápencem a minerální zeminou v procentech ve vztahu k počáteční výšce v roce 2000

Mean heights of silver fir treated with both the limestone and amphibolite expressed as per cent of initial heights in 1998; Y axis - per cent; vápenec - limestone; amfibolit - amphibolite; kontrola - no treatment

ZÁVĚR

Dosud získané poznatky při zakládání kultur na zamokřených lokalitách lze předběžně shrnout do několika doporučení. Před výsadbou dřevin je nutné nejprve provést úpravu vodního režimu půd: pročištění hydrografické sítě, popřípadě pomístné odvodnění. Tam, kde není druhová skladba dostatečně zabezpečena přirozenou cestou, je možné ji zajistit uměle. Jedná se převážně o dosadbu listnáčů (buk, javor klen, jasan, olše, bříza, jeřáb) a jedle. Při výsadbě lze doporu-

čít modifikovanou kopečkovou výsadbu, kdy je vedle kopečku vyhlouben dostatečně velký akumulací prostor pro přebytečnou půdní vodu. Dále je vhodné vpravovat do jamky nebo kopečku zeminu a jemně mletý dolomitický vápenec nebo jiné bazické moučky v dávce 1 až 2 kg. Přidáním zeminy a mouček do půdního substrátu docílíme lepší ujmavosti a odrůstání vysazených sazenic. Aplikace daného vápence nebo bazické moučky je však podmíněna atestem pro použití v lesním hospodářství podle zákona o hnojivech č. 156/1998 Sb. a jejich schválením k uvádění do oběhu (NÁROVEC 2001). Výsledky našeho pokusu s přihnojením buku lesního Silvamixem nesvědčí jednoznačně o výrazné podpoře vitality jeho krytokořenných sazenic.

Z popisu technologie je zřejmé, že náklady na obnovu se promícháním melioračních materiálů v jamce a použitím kopečkové sadby oproti běžným praktikám zvýší. Vzhledem k dosadbě listnáčů a jedle (MZD) do již zajištěné kultury smrku ztepilého, jsou zvýšené náklady odůvodněné. Počty sazenic totiž budou významně nižší než při celoplošné obnově na holině.

Poznámka:

Výsledky prezentované v příspěvku vznikly v rámci institucionální podpory výzkumu a vývoje z veřejných prostředků - výzkumného záměru MZe ČR č. 0002070201 „Stabilizace funkcí lesa v biotopech narušených antropogenní činností v měnících se podmínkách prostředí“.

LITERATURA

- BALCAR, V., PODRÁZSKÝ, V. Zvýšení vitality kultur lesních dřevin aplikací horninových mouček při obnově lesa na kalamitních holinách Jizerských hor. Zprávy lesnického výzkumu, 1995, roč. 40, č. 3/4, s. 44-49.
- BASSMAN, J. H. Influence of two site preparation treatment on eco-physiology of planted *Picea Engelmannii* x *glauca* seedlings. Canadian Journal of Forest Research, 1989, vol. 19, no. 11, s. 1359-1370.
- KUBELKA, L. Silvamix - moderní hnojivo. Samostatná příloha časopisu Lesnická práce č. 7/2001. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2001. 40 s.
- KUNEŠ, I., BALCAR, V., ČÍŽEK, M. Influence of amphibolite powder and Silvamix fertilizer on Norway spruce plantation in conditions of air-polluted mountains. Journal of Forest Science, 2004, vol. 50, no. 8, s. 366-373.
- KUPKA, I. Reaction of silver fir (*Abies alba* MILL.) plantation to fertilization. Journal of Forest Science, 2005, vol. 51, no. 3, s. 95-100.
- LINDSTRÖM, A., TROENG, E. Temperature variations in planting mounds during winter. Canadian Journal of Forest Research, 1995, vol. 25, no. 3, s. 507-515.
- Meliorační materiály KROSIL. Propagační materiály fy KROSIL, s. r. o. Čáslav: KROSIL, 1994. 6 s.
- NÁROVEC, V., ŠACH, F. Meliorace lesních půd pomocí bazických silikátových hornin. Zprávy lesnického výzkumu, 1994, roč. 39, č. 3, s. 17-20.
- NÁROVEC, V. Stokrát o hnojení v lese. Zásady zlepšování lesních půd a výživy lesních porostů hnojením. Samostatná příloha časopisu Lesnická práce. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2001. 31 s.
- PODRÁZSKÝ, V. Počáteční růst vápněných kultur smrku ztepilého v imisních oblastech. Zprávy lesnického výzkumu, 1994, roč. 39, č. 2, s. 8-10.
- PODRÁZSKÝ, V. Meliorace lesních půd vápněním. Studie. Opočno: Výzkumná stanice pěstování lesa, 1993. 74 s.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., KRATOCHVÍL, J. Výsledky aplikace hnojiv řady Silvamix. Lesnická práce, 1999, roč. 78, č. 2, s. 70-72.
- PODRÁZSKÝ, V., VACEK, S., ULBRICHOVÁ, I. Effect of fertilization on Norway spruce needles. Journal of Forest Science, 2003, vol. 49, no. 7, s. 321-326.

AMELIORATING MEASURES IMPROVING SOIL CONDITIONS WITHIN A MOUNTAIN WATERSHED TO PROMOTE INITIAL GROWTH RESPONSE OF EUROPEAN BEECH, SYCAMORE MAPLE AND SILVER FIR

SUMMARY

The article concludes results from investigation dealing with a modified mound planting, addition of ameliorative materials (ground limestone and amphibolite, mineral soil) and using fertilizer (Silvamix) to support growth of following tree species: European beech, sycamore maple and silver fir planted into Norway spruce thicket. Prior to reforestation, locally water-logged soils had been drained to decrease ground-water table level within experimental mountain watershed in the Orlické hory Mts. Of course, not only drainage, but properly conducted planting including both soil amelioration and following care of young plantations are important to succeed in artificial regeneration there. The experiment was established in 1997 when two-year old balled (peat pots) European beech transplants were planted into 5 to 7-year old Norway spruce thicket. In addition, pellets of Silvamix fertilizer (two variants: 2 or 4 pellets) were put into each of planting holes to support growth of beeches situated under relatively poor soil conditions. Prosperity investigations were extended in 1999 when three-year old balled beeches (peat pots) and sycamore maples (polyvinylchloride bags) were planted using mound planting under conditions of drained soil. Finely ground limestone or amphibolite were added and mixed (2 kg per mound) with the dug soil, and then the mound was shaped and planted with balled stock. In 2000, five-year old silver fir transplants (polyvinylchloride bags) were planted into mounds including addition of ground limestone or local mineral soil.

Concerning efficiency of Silvamix (KUBELKA 2001), which is used to support growth or vigour of plantations, the positive influence with regard to conifers was reported (PODRÁZSKÝ et al. 2003, KUNEŠ et al. 2004, KUPKA 2005). On the other hand, the results of the beech growth investigation suggest that fertilizer did not influence height growth of beech in the same way. Although a part of planted individuals was treated with only smaller amount of pellets (2), their heights were insignificantly higher in 1999. We have attributed this difference to insufficiently formed root systems. This assumption seemed to be confirmed in 2000 – 2001 when height-growth dependence upon amount of fertilizer pellets occurred, but in 2003 the differences between variants came to be insignificant again. As regards soil amendment by ground rocks (limestone and amphibolite) and their influence upon growth of broadleaves (beech, sycamore maple), the height growth was positively affected via applications of mentioned ameliorative materials. An improving effect upon growth conditions confirms assumptions reported by NÁROVEC and ŠACH (1994). Furthermore, the limestone seems to be more efficient in supporting the height growth (especially maple); perhaps the reason can be attributed to releasing more available nitrogen due to mineralization of humus. The silver fir planted into mounds mixed with limestone proved good survival and height growth as well as BALCAR and PODRÁZSKÝ (1995) reported. The mounds of peaty soil mixed with local mineral soil affected silver fir growth during 2001 only, and then the heights of firs treated with limestone exceeded them significantly. In conclusion, the artificial regeneration of broadleaves treated with ground limestone improving inherent soil properties is quite efficient way how to convert a tree species composition of pure spruce thicket into mixed stand. Of course, the water-logged sites have to be drained prior to mound planting.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Vladimír Černohous, Ph.D., Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., VS Opočno
Na Olivě 550, 517 73 Opočno, Česká republika
tel.: 494 688 3912; e-mail: cernohous@vulhmop.cz

VLIV PŘIHNŮJENÍ NA VÝŠKOVÝ RŮST KULTURY JEDLE OBROVSKÉ

EFFECT OF FERTILIZATION ON THE HEIGHT GROWTH OF GRAND FIR PLANTATION

VILÉM PODRÁZSKÝ - JIŘÍ REMEŠ

FLD ČZU Praha

ABSTRACT

The article documents the fertilization effects on the plantation of Grand fir in the area of the Czech-Moravian Highland (area the Žďárské vrchy Mts.), on typical poor sites (forest site group 5K - acid fir-beech site). The plantations were between 7 and 16 years old. The forest stands belong to the estate Lesy of Dr. Radoslav Kinský, they are located in the altitude 580 m a. s. l., the site is characterized by the forest type 5K8. As the amelioration matter, the slow-release fertilizer SILVAMIX® was used in the tablets as well as in powdered form. Despite relatively low amount of nutrients applied, the plantations showed considerable increment effect in the case of both fertilizer forms. On these poor sites, the favourable fertilization effects can be expected introducing and re-introducing more site-demanding tree species, including the species studied.

Klíčová slova: jedle obrovská, Českomoravská vrchovina, hnojení, růst, přírůst, pomalu rozpustná hnojiva

Key words: Grand fir, Czech-Moravian Highland, fertilization, growth, increment, slow-release fertilizers

ÚVOD

Jedle obrovská (*Abies grandis* (DOUGL. ex D. DON) LINDL.) patří ke dřevinám s nejvyšším potenciálem produkce v podmínkách střední Evropy. Vyznačuje se rychlým růstem, produkcí značného množství hodnotného dříví a výrazným krajinářským a parkovým využitím. Rovněž hynutí domácí jedle bělokore (*Abies alba*) v minulém století přispělo k zájmu o tuto dřevinu jako druh substituční. Třebaže je tento aspekt ve světle určité revitalizace jedle bělokore a při současných environmentalistických požadavcích v současné době méně aktuální, důsledkem minulých aktivit je existence řady porostů jedle obrovské. Jedle obrovská je po stránce růstu a produkce sledována v řadě experimentů a provenienčních pokusů, které dokládají její růstové možnosti a produkční potenciál, především v mladším věku (HOFFMAN 1963, ŠIKA 1983, VANČURA 1990). Tyto práce jsou však většinou staršího data a vesměs chybějí údaje z novější doby, nebo jsou značně neúplné a nedostatečně dostupné (BERAN 2006). To je způsobeno i minimálním zájmem praktické sféry o pěstování introdukovaných dřevin, nezájmem zpracujících odvětví o jinou surovinu, než jsou úzce vymezené sortimenty několika málo dřevin, i legislativními problémy a neschopností státní správy začlenit biotechnologie a problematiku introdukovaných dřevin do kontextu trvale udržitelného a polyfunkčního lesního hospodářství. Na druhé straně, pro komplexní zhodnocení téměř všech introdukovaných dřevin chybějí až na výjimky údaje o jejich vlivu na životní prostředí (např. PODRÁZSKÝ 2003, PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005a).

Problematika odpovídající výživy lesních porostů pro zajištění trvale udržitelného hospodaření v lesích je v současnosti zejména ve spojení s negativními antropogenními vlivy (depozice) velmi aktuální a týká se i porostů do Evropy introdukovaných dřevin (SVERDRUP et al. 2006). Vnášení náročnějších druhů na chudší sta-

noviště naráží na řadu problémů spojených s odrůstáním a prosperitou výsad. Jednou z možností je podpora zakládaných porostů vhodným přihnojením deficitními živinami (SICARD et al. 2006). Zejména znovuzavádění náročnějších dřevin, jako je buk a jedle, popřípadě javory, na lokality ovlivněné dlouhodobým pěstováním jehličnatých monokultur bude vyžadovat zvýšenou péči o tyto dřeviny na (pro ně) extrémnějších stanovištích. K dispozici jsou již předběžné výsledky (např. PODRÁZSKÝ, REMEŠ 2005b, REMEŠ et al. 2005). Jedním z nejslibnějších postupů je využití pomalu rozpustných hnojiv řady SILVAMIX®, která jsou testována v nejrůznějších podmínkách (PODRÁZSKÝ 2006, PODRÁZSKÝ et al. 2005, REMEŠ et al. 2005).

Předkládaný příspěvek se proto zabývá vlivem přihnojení hnojivy tohoto typu na vývoj kultury jedle obrovské v podmínkách Českomoravské vrchoviny.

METODIKA

V rámci představovaného výzkumu probíhala šetření v letech 1997 – 2006 na výzkumné ploše s pracovním názvem Babín 3. Jedná se o výsadbu jedle obrovské, založenou v letech 1990 – 1991 ve clonné pozici pod porostem smrku, borovice a individuálně přimíšené jedle, nyní probíhá postupné odcloňování. Porost s touto výsadbou je označen jako 330C12, lokalita je v nadmořské výšce 580 m n. m. a stanoviště je charakterizováno LT 5K8. Půdní typ byl určen jako dystriická kambizem. Hnojiva SILVAMIX byla aplikována na jaře 1997 v dávkách: 4 tablety po 10 g SILVAMIX FORTE ke každé sazenici, anebo 40 g práškového hnojiva SILVAMIX MG. V případě tabletového hnojiva tak bylo aplikováno zhruba o 10 % více živin (v první řadě takřka dvojnásobná dávka dusíku). V jednotlivých letech pak byla zjišťována mortalita a výškový přírůst sazenic a odrůstajících

Tab. 1.

Vliv různých forem hnojiva SILVAMIX na růst výsadby jedle obrovské na ploše Babín 3 - vývoj počtu jedinců

Effect of different SILVAMIX fertilizers on the Grand fir plantation on the Babín 3 locality - dynamics of individuals number on the plots

Varianta/Variant	Počet jedinců/No. of individuals		
Rok/Year	1997	2003	2006
Kontrola/Control	89	87	86
SILVAMIX tabl.	85	67	65
SILVAMIX práš./powder	89	74	72

Pozn: v r. 2002 na hnojených variantách prořezávka/Note: thinning on fertilized variants in 2002

Tab. 2.

Vliv různých forem hnojiva SILVAMIX na růst výsadby jedle obrovské na ploše Babín 3 - vývoj výškového přírůstu

Effect of different SILVAMIX fertilizers on the Grand fir plantation on the Babín 3 locality - dynamics of height increment

Varianta/Variant	Výškový přírůst - cm/Height increment - cm				
Rok/Year	1997	2003	2004	2005	2006
Kontrola/Control	19 a	37 a	45	41	36
SILVAMIX tabl.	25 b	49 b	59	50	41
SILVAMIX práš./powder	24 b	49 b	55	46	39

Pozn: různé indexy označují statisticky rozdílné varianty/Note: different indexes indicate statistically significant differences

Tab. 3.

Vliv různých forem hnojiva SILVAMIX na růst výsadby jedle obrovské na ploše Babín 3 - vývoj výškový

Effect of different SILVAMIX fertilizers on the Grand fir plantation on the Babín 3 locality - dynamics of height

Varianta/Variant	Výška výsadby - cm/ Height of plantations - cm				
Rok/Year	1996	2003	2004	2005	2006
Kontrola/Control	59 a	276 a	321 a	362 a	398 a
SILVAMIX tabl.	66 a	377 b	436 b	486 b	527 b
SILVAMIX práš./powder	64 a	380 b	435 b	481 b	520 b

Pozn: různé indexy označují statisticky rozdílné varianty/Note: different indexes indicate statistically significant differences

mlazin standardními biometrickými postupy (výškoměrné latě). Krnící stromky byly vyloučeny z výpočtů dalších charakteristik. Důvodem bylo většinou zastínění plotem a poškození srnčí zvěří. Z výšek dvou následujících let byly počítány výškové přírůsty. Výsledky byly zpracovány pomocí statistického programu S-plus, využita byla jednofaktorová analýza variance při využití metody Scheffého intervalů vícenásobného porovnávání.

VÝSLEDKY A DISKUSE

Jedle obrovská na ploše Babín 3 reagovala na aplikaci hnojiva SILVAMIX velice rychle a pozitivně. Mortalita výsadby byla vzhledem k tomu, že kultura byla v době aplikace již poněkud starší, minimální. V roce 2002 byla na přihnojených variantách provedena prořezávka, neboť jedinci dosahovali výšky a dimenzí, které zásah vyžadovaly (tab. 1). I nadále pak byla mortalita minimální, na ploše se vyskytly dva případy krádeže stromku.

Výškový přírůst varianty kontrolní i variant přihnojených se lišil statisticky významně již v prvním roce, tj. v roce přihnojení (tab. 2), až do roku 2004 rozdíl mezi kontrolou a hnojenými variantami výrazně rostly. V roce 2005 a 2006, po odeznění efektu hnojení, se rozdíl snížily na úroveň roku 1997. Celkový trend minimálního rozdílu mezi hnojenými variantami a statisticky významného rozdílu vzhledem ke kontrole zůstal zachován po celou dobu sledování. Velikost výškového přírůstu je vzhledem k nízké úrodnosti stanoviště a ke clonné pozici porostu značně vysoká. Trend poněkud vyššího přírůstu u varianty s aplikací tablet vůči variantě s práškovou formou je neprůkazný, ale stabilní a zajímavý. Varianta tabletová (S-FORTE) obsahovala totiž o 10 % vyšší obsah makroelementů, zejména dvojnásobnou dávku dusíku. Ten může být na dané lokalitě limitujícím prvkem, což bylo prokázáno na sousední výsadbě buku (PODRÁZSKÝ 2006).

Výsledkem rozdílných trendů přírůstu je o více než 30 % větší výška hnojených výsadby v roce 2006. Hnojení tak výrazně urychlovalo přírůst jedlí, a to i ve clonném postavení. Podstatně tak zkrátilo kritické období nutnosti ochrany před zvěří. U dřeviny tak náročné na výživu lze tedy přihnojení jednoznačně doporučit. Přitom se účinnost hnojiva projevuje velice významně i po 10 letech, a to i přes poměrně malou dávku hnojiva vzhledem k dnešní biomase porostu - navíc lze předpokládat i konkurenční tlak clonícího borového a smrkového porostu (s příměsí jiných dřevin). Živiny z této formy hnojiva tedy byly velice efektivně využity a jsou intenzivně recyklovány. Hnojení je v podobných případech bez pochyby vhodným opatřením podpory výsadby stanovištně náročnějších dřevin. To bylo prokázáno rovněž v případě výsadby buku a javoru klenu na pro ně extrémnější a marginálnější stanoviště. Rovněž v těchto případech se často prokázala výhoda využití hnojiv řady SILVAMIX® (REMEŠ et al. 2005). Pozitivní efekt aplikace pomalu rozpustných hnojiv (SRF) na vyšší produkci biomasy a stav výživy dřevin u sazenic ve školkách a ve výsadbách v lesních porostech byl prokázán i z jiných zemí (HAASE et al. 2006, SICARD et al. 2006). Pro delší a rovnoměrnější účinnost melioračních opatření se jako velmi pozitivní a cenné ukazuje pomalé uvolňování živin z těchto typů (SRF) hnojiv (ARNOTT, BARDETT, 1988, HAASE et al. 2006, MALIK, TIMMER 2006, TIMMER 1997).

ZÁVĚR

Aplikace hnojiva SILVAMIX® se na dané experimentální ploše projevila jako vhodný pěstebně-meliorační zásah a přes nízké množství aplikovaných látek přinesla pozitivní růstový efekt. Prokazatelně zvýšila výškový přírůst sazenic a později mladých stromků a urychlila významně odrůstání výsadby vlivu srnčí zvěře. Také produkční funkce není zanedbatelná, výška se během 10 let zvýšila o více než 30 %. Hnojiva řady SILVAMIX® tak lze v podobných případech doporučit jako šetrná k životnímu prostředí a přitom velice efektivní. Příznivý vliv trval 10 let (s výraznější účinností prvních sedm let po aplikaci) a pravděpodobně ještě není zcela ukončen. Meliorace relativně nepříznivého stanoviště při introdukci a reintrodukci stanoviště náročnějších dřevin je tedy významným objektem výzkumu i již přímo praktického využití.

Poznámka:

Příspěvek vznikl jako součást řešení výzkumného projektu NAZV č. 1G58031 „Význam přírodě blízkých způsobů pěstování lesů pro jejich stabilitu, produkční a mimoprodukční funkce“. Autoři děkují zaměstnancům i vedení majetku Lesy Dr. Radslava Kinského za pomoc a umožnění terénních prací.

LITERATURA

- ARNOTT, J. T., BURDETT, A. N. Early growth of planted western hemlock in relation to stock type and controlled-release fertilizer application. *Can. J. For. Res.*, 1988, vol. 18, s. 710-717.
- BERAN, F. Některé poznatky z hodnocení mezinárodního provenienčního pokusu s jedlí obrovskou - *Abies grandis* (DOUGLAS) LINDL. In *Douglaska a jedle obrovská - opomíjené giganty*. Sborník referátů konference v Kostelci nad Černými lesy 12. - 13. 10. 2006. Praha: ČZU, 2006. s. 17-27.
- HAASE, D. L., ROSE, R., TROBAUGH, J. Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests*, 2006, vol. 3, s. 1-24.
- HOFMAN, J. Pěstování jedle obrovské. 1. vyd. Praha: SZN, 1963. 116 s.
- MALIK, V., TIMMER, V. R. Growth, nutrient dynamics, and inter-specific competition of nutrient-loaded black spruce seedlings on a boreal mixed-wood site. *Can. J. For. Res.*, 1996, vol. 26, s. 1651-1659.
- PODRÁZSKÝ, V. Effects of Giant fir cultivation on the humus form. *Scientia agriculturae bohemia*. 2003, vol. 34, no. 3, s. 63-66.
- PODRÁZSKÝ, V. Fertilization as an ameliorative measure – examples of the research at the Faculty of Forestry and Environment CUA in Prague. *Journal of Forest Science*, 2006, vol. 52, Special Issue, s. 58-64.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J. Retenční schopnost svrchní vrstvy půd lesních porostů s různým druhovým složením. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2005a, roč. 50, č. 1, s. 46-48.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J. Effects of the canopy environment and of the nutrition improvement on the beech plantation prosperity. *Scientia agriculturae bohemia*, 2005b, vol. 36, no. 8, s. 108-112.
- PODRÁZSKÝ, V., VACEK, S., REMEŠ, J., ULBRICHOVÁ, I. Application of Mg-fertilizers to prevent and to decrease Norway spruce yellowing. *Journal of Forest Science*, vol. 51, Special Issue, 2005, s. 43-48.
- REMEŠ, J., ZAHRADNÍK, D., PODRÁZSKÝ, V., KUBÍČEK, J., NÁROVEC, V. Działanie wolno rozpuszczalnych tabletek nawozowych na plantacjach świerka i buka. *Las polski*, 2005, roč. 85, č. 12, s. 26-28.
- SICARD, C., SAINT-ANDRE, L., GELHAYE, D., RANGER, J. Effect of initial fertilisation on biomass and nutrient content of Norway spruce and Douglas-fir plantations at the same site. *Trees*, 2006, vol. 20, s. 229-246.
- SVERDRUP, H., THELIN, G., ROBLES, M., STJERNQUIST, I., SÖRENSEN, J. Assessing nutrient sustainability of forest production for different tree species considering Ca, Mg, K, N and P at Björnstorp Estate, Sweden. *Biogeochemistry*, 2006, vol. 81, s. 219-238.
- ŠIKA, A. Introdukce jedle obrovské v ČR. *Zprávy lesnického výzkumu*. 1983, roč. 28, č. 2, s. 1-3.
- TIMMER, V. R. Exponential nutrient loading: a new fertilization technique to improve seedling performance on competitive sites. *New For.*, 1997, vol. 13, s. 279-299.
- VANČURA, K. Provenienční pokus s jedlí obrovskou série IUFRO ve věku 13 let. *Práce VÚLHM*, 1990, roč. 75, s. 47-66.

EFFECT OF FERTILIZATION ON THE GROWTH OF GRAND FIR PLANTATION

SUMMARY

Increase of biodiversity is among the main targets of the forestry today. Re-introduction of the site-demanding tree species is an important part of the restoration strategies for the close-to-nature species composition and diversity upgrade. Use of fertilization can represent an efficient way of support for more demanding tree species on sites, degraded by long-term even-aged monocultures cultivation. The presented article documents the fertilization effects on the plantation of Grand fir in the area of the Czech-Moravian Highland (area the Žďárské vrchy Mts.), on typical poor sites (forest site group 5K - acid fir-beech site). The plantation experiment was established in 1997, the plantations were from 7 to 16 years of age during the experimental study. The forest stands belong to the estate Lesy of Dr. Radoslav Kinský, they are located in the altitude 580 m a. s. l., the site is characterized by the forest type 5K8. As the amelioration matter, the slow-release fertilizer SILVAMIX® was used in tablets as well as in powdered form. Three replications of individuals were used for each variant. Despite relatively low amount of nutrients applied, the plantations showed considerable increment effect in the case of both fertilizer forms. The height increment was significantly higher in the whole study period, by 5 - 15 cm annually. The total height reached 398 cm for the control variant, 527 cm and 520 cm for both fertilized ones. On these poor sites, the favourable fertilization effects can be expected introducing and re-introducing more site-demanding tree species, including the species studied.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc., Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská universita,
Kamýcká 1176, 165 21 Praha 6-Suchbát, Česká republika
tel.: 22438 3403; e-mail: podrazsky@fld.czu.cz

VYUŽITÍ ZRÁŽKOVO-ODTOKOVÉHO MODELU KINFIL NA POVODÍ HUČAVY

USE OF RAINFALL-RUNOFF MODEL KINFIL ON HUČAVA CATCHMENT

VÁCLAV KADLEC - PAVEL KOVÁŘ
LF TU Zvolen; FZP ČZU Praha

ABSTRACT

The paper reports on flood events on the forested Hučava catchment. It shows a practical implementation of the rainfall-runoff model KINFIL. This model has been used for the reconstruction of the rainfall-runoff events on this catchment. Then the model was used to simulate the design discharges with event duration $t_d = 30, 60, 90, 120$ and 300 min in time recurrence of 100 years and scenario simulation of land use change when 30% and 50% of forest in the catchment have been cut. Implementation of the KINFIL model supported by GIS has been found as a proper tool for the runoff assessment on small catchments when using different scenarios of land use changes.

Klíčové slová: zrážkovo-odtokový model, GIS, návrhové prietoky, zmena využitia krajiny
Key words: rainfall-runoff model, GIS, design discharges, land use changes

ÚVOD

Jedným zo základných problémov hydrológie je odvodenie vzťahu medzi zrážkami a z nich vytvoreným odtokom. Tento problém narastá na svojej dôležitosti hlavne z dôvodov možných významných globálnych zmien klímy. Tieto zmeny sú postupne čoraz viac vyvolávané negatívne pôsobiacimi antropogénnymi vplyvmi - predovšetkým emisiou skleníkových plynov v atmosfére, následným zhoršovaním zdravotného stavu lesov a tým aj znižovaním ich hydrickej účinnosti, čo má za následok zvyšovanie odtoku z povodí. Globálne klimatické zmeny sa čiastočne prejavujú už aj v tomto období a to hlavne vo zvyšovaní intervalu medzi extrémami počasia - na jednej strane sú to dlhotrvajúce suchá a na strane druhej čoraz ničivejšie príválové povodne, ktorých periodicita sa zvyšuje.

HALMOVÁ (2000) definuje príválovú povodeň, čiže prudký nástup narastania povodňovej vlny, ako jav spôsobený kombináciou extrémnych meteorologických, fyzicko-geografických a hydrologických podmienok v určitom čase a oblasti. Špecifiká príválových povodní charakterizuje nasledovne: relatívne malý plošný rozsah, enormná intenzita javu a minimálny časový odstup medzi príčinou a dôsledkom, vplyv lokálnych povrchových činiteľov na intenzitu účinkov príválovej povodne, ktorý je často výraznejší v porovnaní s vplyvom primárneho impulzu - príváloveho dažďa.

Všeobecne môžeme povedať, že hydroklimatické situácie, charakteristické pre vznik povodňových situácií, sa vyznačujú (GREŠKOVÁ 2001):

1. extrémne výdatnými zrážkami, ktoré spadnú vo veľmi krátkom čase počas búrkovej činnosti alebo lokálnych príválových dažďov,
2. dlhšie trvajúcou regionálnou zrážkovou činnosťou, ktorá je často spojená s prechodom viacerých frontálnych systémov, zriedkavejšie náhlým topením snehu a ľadovcami na tokoch.

S rozvojom výpočtovej techniky nastal pomerne veľký rozvoj matematického modelovania, ktoré sa v súčasnosti stále viac uplatňuje takmer vo všetkých oblastiach hydrológie a vodného hospodárstva. Súčasný rozvoj metód matematického modelovania, podporený možnosťami výpočtovej techniky, poskytuje nové, moderné spôsoby prognózovania hydrologických systémov ovplyvnených ľudskou činnosťou, určovaní návrhových veličín i spätne overenie parametrov, navrhnutých v minulosti.

Základným hydrologickým podkladom pre návrh opatrení proti povodňiam sú návrhové hodnoty N-ročných prietokov, spôsobených príválovými dažďami rovnakej periodicity výskytu. Predložená štúdia slúži k prevereniu možnosti určenia návrhových prietokov na malých povodiach modelom KINFIL (KOVÁŘ 1992a).

Simulácia povrchového odtoku je riešená modelom kinematickej vlny pri rešpektovaní podrobnej topografie povodia. Topografické vlastnosti terénu sú spracované softwarom ARC/INFO. Spolahlivosť týchto moderných metód matematického modelovania a ich prepojenia so systémami GIS je úmerná vernosti matematického popisu fyzikálneho procesu a rozsahu i spoľahlivosti dátového súboru.

CHARAKTERISTIKA MODELU KINFIL

Model KINFIL je založený na kombinácii teórie infiltrácie a transformácie priameho odtoku „kinematickou vlnou“. Tento model používa fyzikálno-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametre povodia, ktoré sa dajú určiť z mapových a iných podkladov pri absencii priamych pozorovaní a pri zohľadnení dôsledkov antropogénnej činnosti v povodí. Model je určený prednostne pre stanovenie návrhových prietokov pre rôzne „scenárové situácie“, dané touto činnosťou, ako je zmena kultúr, odlesnenie, urbanizácia at.

Súčasná verzia modelu KINFIL je založená na infiltračnej teórii Greena a Ampta zo zavedením koncepcie „výtopy“ podľa Morel-Seytoux (MOREL-SEYTOUX 1982):

$$K_s \left(\frac{z_f + H_f}{z_f} \right) = (\theta_s - \theta_i) \frac{dz_f}{dt} \quad (1)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i) H_f \quad (2)$$

$$t_p = \frac{S_f}{i \left(\frac{i}{K_s} - 1 \right)} \quad (3)$$

kde: K_s	nasýtená hydraulická vodivosť	(m.s^{-1})
z_f	hlbka infiltračnej fronty	(m)
θ_s	nasýtená pôdna vlhkosť	(-)
θ_i	počiatočná pôdna vlhkosť	(-)
H_f	sací tlak pod infiltračnou frontou	(-)
i	intenzita dažďa	(m.s^{-1})
S_f	retenčný súčiniteľ sacieho tlaku	(m)
t_p	doba výtopy	(s)
t	čas	(s)

Základnou úlohou je určenie parametrov K_s a S_f (pri stave poľnej vodnej kapacity - PVK). Riešením bolo využitie vyššie odvodených vzťahov medzi týmito parametrami a hodnotami čísiel odtokových kriviek CN (Curve Number), vo svete široko používanej metódy (U.S.SCS 1986). Indexové hodnoty CN korešpondujú s konceptuálnymi hodnotami pôdných parametrov K_s a S_f (PVK): $CN = f(K_s, S_f)$

Druhým komponentom modelu KINFIL je transformácia priameho odtoku. Rovnica popisuje neustálený pohyb, aproximovaný kinematickou vlnou (po zanedbaní nevýznamných rýchlostných členov dynamickej Saint Venantovej rovnice) po ploche sklonenej rovinnej dosky (CPLANE). Druhý člen pravej strany rovnice (v hranatej zátvorke) popisuje prúdenie po konvergentnom segmente (CONVER), ktorý býva často používaný pri geometrizácii topografických plôch povodia:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \alpha m h^{m-1} \frac{\partial h}{\partial x} = r_e(t) \dots + \left[\frac{\alpha h^m}{L - x} \right] \quad (4)$$

kde: h, t, x	súradnice hĺbky, času a polohy (m, s, m)
α, m	hydraulické parametre (-)
$r_e(t)$	intenzita efektívneho dažďa (m.s^{-1})
L	polomer konvergentného segmentu (m)

Kinematická rovnica bola prevedená do tvaru konečných diferencií a riešená explicitným numerickým schématom Laxe-Wendroffa (L-W, KOVÁŘ 1992b). Pre praktické riešenie je povodie rozdelené na jednotlivé subpovodia do kaskád dosiek o približne rovnakých sklonoch, prípadne konvergentných segmentov tak, aby simulácia topografických plôch povodia bola dostatočne verná. Počiatočné podmienky riešenia L-W schématu sú dané, ak $h(x,0) = 0$ pre všetky x . Horná

okrajová podmienka je daná polohou každej rovinnej dosky v kaskáde, prípadne hornou hranou segmentu. Pre sústredené neustálené prúdenie v koryte je možné použiť submodelu Muskingum-Cunge (KOVÁŘ 1992b), kde autori zaviedli zjednodušujúce predpoklady do rovnice kinematickej vlny transformované korytom toku.

IMPLEMENTÁCIA GIS

Geograficko informačné systémy umožňujú ako získavanie a správu priestorových dát, tak aj ich účinnú analýzu a odvodzovanie ďalších informácií modelovaním a následnou vizualizáciou výsledkov. V predkladanej štúdii boli nástroje GIS využité pre identifikovanie povodia, vytvorenie digitálneho modelu terénu, sklonitostných pomerov územia, pre získanie vrstiev hydrologických skupín pôd, „land-use“ a následnému rozdeleniu riešeného povodia na subpovodia. Pomocou zonálnych štatistických operácií mapovej algebry boli v prostredí GIS pre celé povodie aj jednotlivé subpovodia odvodené geometrické charakteristiky a charakteristiky sklonových pomerov uvedené v tabuľke 3.

Priestorové vlastnosti povodia sú charakterizované rastrovými mapami. Podkladom nám boli mapy mierky 1 : 25 000 od NLC Zvolen a GKÚ Bratislava. Na vytvorenie grafických vstupov a vizualizáciu výstupov sme využili prostredie vybranej GIS aplikácie - ArcView a ArcGIS. Tieto mapy boli spracované v S-JTSK súradnicovom systéme.

Pretože odvodenie uvedených vstupných veličín je komplexná a pomerne zložitá úloha, boli na jej riešenie použité štatistické a špecializované analytické nástroje systému ArcGIS (verzia 9.0). Z georeferencovaných máp záujmového územia (zdroj: GKÚ, mierka 1 : 25 000) bola vektorizáciou vytvorená samostatná vektorová vrstva vodných tokov. Z vektorovej reprezentácie vrstevníc bol interpoláciou vytvorený digitálny model reliéfu (DMR), viď obrázok 2. Pomocou špecializovaných hydrologických nástrojov uvedeného GIS prostredia bolo na základe hydrologických charakteristík DMR (smer odtoku, akumulácia odtoku) identifikované povodie k vodnému toku Hučava. To bolo následne rozdelené na subpovodia (obr. 1 a 2).

Ďalším parametrom vstupujúcim do modelu sú hodnoty súčiniteľov drsnosti povrchu jednotlivých spôsobov využívania krajiny. Digitálna mapa „land-use“ bola vytvorená v programe ArcGIS vektorizáciou nad rastrom základnej mapy 1 : 25 000. Rozlišované boli tieto typy využitia územia: les (ihličnatý, listnatý, zmiešaný, kroviny), trvalé trávne porasty, orná pôda, vodné plochy, zastavané územie vrátane cestnej siete (obr. 3).

Ďalším krokom bolo odvodenie typu a čísla odtokovej CN krivky. Typ CN krivky bol odvodený na základe predchádzajúcich vlhkostných podmienok v povodí. Odvodenie týchto kriviek pre lesné pôdy je vo fáze upresňovania, kde sa berú do úvahy aj hydraulické vlastnosti geologických substrátov, na ktorých sa vytvorili príslušné lesné pôdy (ČHMÚ 2006).

Vo vektorovej vrstve pôdných predstaviteľov (zdroj: NLC - ULZI Zvolen) sa na základe ich číselného kódu identifikujú jednotlivé bonitované pôdno-ekologické jednotky (BPEJ). Pre jednotlivé subpovodia sa odvodila priemerná hydrologická skupina pôd (HSP) váženým priemerom podľa plošného zastúpenia jednotlivých HSP s využitím buď súčiniteľov filtrácie alebo kódu BPEJ. Pre odvodenú HSP sa vypočítala hodnota CN váženým priemerom podľa plošného zastúpenia jednotlivých spôsobov využívania krajiny v jednotlivých subpovodiach.

CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTÁLNEHO POVODIA HUČAVY

Výskum bol realizovaný na toku Hučava, ktorý podľa vypočítaného koeficientu bystrinnosti spadá do kategórie stredne silnej bystriny. Povodie sa rozprestiera v orografickom celku Slovenské stredohorie v masíve Chránenej krajiny oblasti Poľana, ktorej južná a juhozápadná časť povodia je súčasťou biosférickej rezervácie.

Z hľadiska hydrologického začlenenia patrí skúmaný tok (hydrologické číslo 4-23-03-070) do hlavného povodia SVP-IX-Hron, čiastkového povodia Slatina. Uzavierajúci profil územia je v nadmorskej výške 522 m (riečny kilometer 13,8), najvyššou kótou je Poľana (1 458 m n. m.), ktorá sa nachádza na rozvodnici. Z absolútneho výškového rozdielu (936 m) vyplýva aj rôznorodosť prírodných pomerov povodia. Priemerný sklon svahov v povodí je 32,08 %.

Hlavnou zložkou polygénneho stratovulkánu Poľana sú neovulkanity. Na stavbe vulkánu sú prevládajúcim typom hornín rôzne petrografické variety andezitov, ktoré prevládajú nad ryodacitmi a dioritmi. Najrozšírenejším pôdnym typom je kambizem (78,66 %). Dominantným pôdnym druhom je v povodí hlinitá pôda so zastúpením 94,46 %.

Do nadmorskej výšky 700 - 800 m možno územie zaradiť do mierne teplej oblasti. Vyššie položené oblasti Poľany spadajú do oblasti chladnej - C1. Priemerné ročné teploty sa pohybujú od 6 °C do 2,5 °C. Priemerný ročný úhrn zrážok sa pohybuje od 957 mm do 1 300 mm.

Lesné porasty sa v povodí vyskytujú v štyroch lesných vegetačných stupňoch: 4. lvs (bukový); 5. lvs (jedľovo-bukový); 6. lvs (smrekovo-jedľovo-bukový) a 7. lvs (smrekový). Z drevín má prevahu v zastúpení smrek (45,36 %), nasleduje buk (35,61 %); javor horský (6,79 %); jedľa (4,97 %). Ostatné dreviny (prevažne listnáče) tvoria spolu 7,27 %.

Plocha povodia je 41,36 km². Lesnatosť povodia je 81,33 % (33,63 km²), lúky a TTP zaberajú 18,48 %, orná pôda a zastavané územie spolu 0,19 %.

Pre hydrologickú štúdiu boli použité zrážkové dáta zo staníc: Hrochoť (652 m n. m.), Kyslinky (770 m n. m.) a Poľana (1 264 m n. m.). Tieto dáta boli pripravené pre výpočet plošného pokrytia povodia váženým priemerom (Thiessenove polygóny). V uzavierajúcom profile toku sa nachádza limnigraf.

Zdrojom pre určenie fyzikogeografických charakteristík povodia Hučavy bol lesný hospodársky plán z NLC - ULZI Zvolen. Základné charakteristiky povodia sú uvedené v tabuľke 1 (a, b, c, d).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Rekonštrukcia pozorovaných prípadov a kalibrácia parametrov modelu

V dobe vzniku obidvoch povodňových vĺn bolo povodie mierne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami za posledných 5 dní na stav IPZ II podľa metodiky CN (vlna 1 - 44,8 mm, vlna 2 - 27,2 mm). Povodie bolo v tom čase i napriek nepriaznivým topografickým podmienkam (vysoké sklony svahov) dostatočne chránené existujúcim zdravým alebo mierne poškodeným lesným porastom (lokálne poškodenie kôrovcom) o rozlohe 81,33 %. Mierne nasýtenie povodia predchádzajúcimi zrážkami, teplé obdobie (vysoký výpar) a vysoký stupeň zalesnenia malo priaznivý vplyv pri týchto

extrémnych zrážkových situáciách s úhrnom 107,2 mm, resp. 71,4 mm za 12 hod. Tieto náhle intenzívne dažde vyvolali povodňové odtoky, ktoré svojimi kulmináčnymi prietokmi 19,220 m³.s⁻¹, resp. 5,140 m³.s⁻¹ je možné zaradiť do kategórie prietokov o dobe opakovania N = 3 až 4, resp. N = 1 rok (podľa výpočtov SHMÚ). Tabuľka 2 uvádza základné charakteristiky týchto povodňových vĺn.

Jednotlivé subpovodia boli rozlíšené predovšetkým podľa sklonových, pôdných a „land use“ pomerov. V nich boli určené pomocou GIS kaskády o 2 – 3 elementoch. Celkom bolo rozlíšene do odtokových procesov 17 základných subpovodí, v ktorých sa odtokový proces rozlíšil v 42 odtokových elementoch, tj. v 42 podrobných subpovodiach.

Pri geometrizácii topografických plôch platí zásada, že transformácia základných geomorfologických vlastností do odpovedajúcich geometrických útvarov (kaskáda dosiek, konvergentné alebo divergentné segmenty a charakteristické úseky koryta) by nemala ísť do prílišných podrobností, avšak sklonovým a drsnostným pomerom by mala byť venovaná pozornosť. Potvrdila to aj citlivostná analýza modelu KINFIL (KOVÁŘ et al. 2002). Všetky subpovodia boli prevedené na rovnoploché obdĺžnikové prvky kaskády. Táto schématická na jednotlivé útvary je dobre zreteľná z obrázku 1 a tabuľky 3, ktorá prehľadne uvádza geometrické parametre jednotlivých subpovodí. Výsledky rekonštrukcie sú vyhodnotené v tabuľke 4 a grafoch 1 a 2.

Simulácia povodňových odtokov z N-ročných prívalových dažďov

Po rekonštrukcii riešených zrážkovo-odtokových prípadov a nakalibrovaní parametrov modelu bolo pristúpené k simulácii scenárov povodňových odtokov z N-ročných návrhových dažďov periodicity výskytu p = 1,0 (N = 100 rokov).

Návrhové dažde rôznej doby trvania a periodicity výskytu boli zisťované metódou redukcie denných maximálnych zrážok podľa Gumbelovej štatistiky extrémov (ŠAMAJ et al. 1983). Pre výpočty bola vybraná zrážkomerná stanica Kyslinky v povodí toku Hučava. Z maximálnych jednodenných zrážkových úhrnov ($P_{1d,N}$) vo vybranej zrážkomernej stanici boli vypočítané zrážkové úhrny ($P_{t,N}$) a náhradné intenzity dažďov ($i_{t,n}$) pre rôzne doby trvania dažďa a rôzne doby opakovania podľa vzorcov (HRÁDEK, KOVÁŘ 1994):

$$P_{t,N} = P_{1d,N} \cdot a \cdot t^{1-c} \quad (5)$$

$$i_{t,n} = P_{1d,N} \cdot a \cdot t^{-c} \quad (6)$$

kde a, c sú redukčné súčinitele náhradných prívalových dažďov (tab. 5).

Scenárové simulácie pri zmene využívania územia

Ďalším krokom implementácie modelu KINFIL po rekonštrukčných výpočtoch bolo vytvorenie scenára využitia pozemkov, kedy 30 resp. 50 % lesných pozemkov bolo nahradených trvalým trávnyim porastom (TTP). Pri súčasnej lesnatosti povodia 81 % to činí 50 resp. 30% lesnatosť. Zmena „land use“ bola graficky spracovaná v GIS. Z mapových podkladov bolo tradičnou metódou vypočítané priemerné číslo CN (U.S. SCS 1986) na povodie s hodnotou 56,53 pre IPZ II a aktuálnu lesnatosť 81 %. Pri simulovaní hypotetickej redukcie „land use“ sme vychádzali z predpokladu, že povodie bolo výrazne nasýtené predchádzajúcimi zrážkami,

čo odpovedalo stavu IPZ III, čo je stupeň nasýtenia. Vypočítaná priemer-
ná hodnota CN 56,53 sa nám zmenila na hodnotu 75,25 a následne sme
dostali aj hodnoty pre situácie so zníženou lesnatosťou, a to 75,91
pre 50% lesnatosť, resp. 76,11 pre 30% lesnatosť. Výsledky sú
prehľadne znázornené v tabuľke 7 a grafe 4.

Tento scenár zmeny „land use“ (zníženie lesného porastu na úkor
TTP) spôsobil zvýšenie prietoku o 20,4 % (50% lesnatosť), resp.
35,3 % (30% lesnatosť) pri dobe trvania dažďa 60 min, kedy bol
pri všetkých scenároch dosiahnutý najvyšší kulminačný prietok.

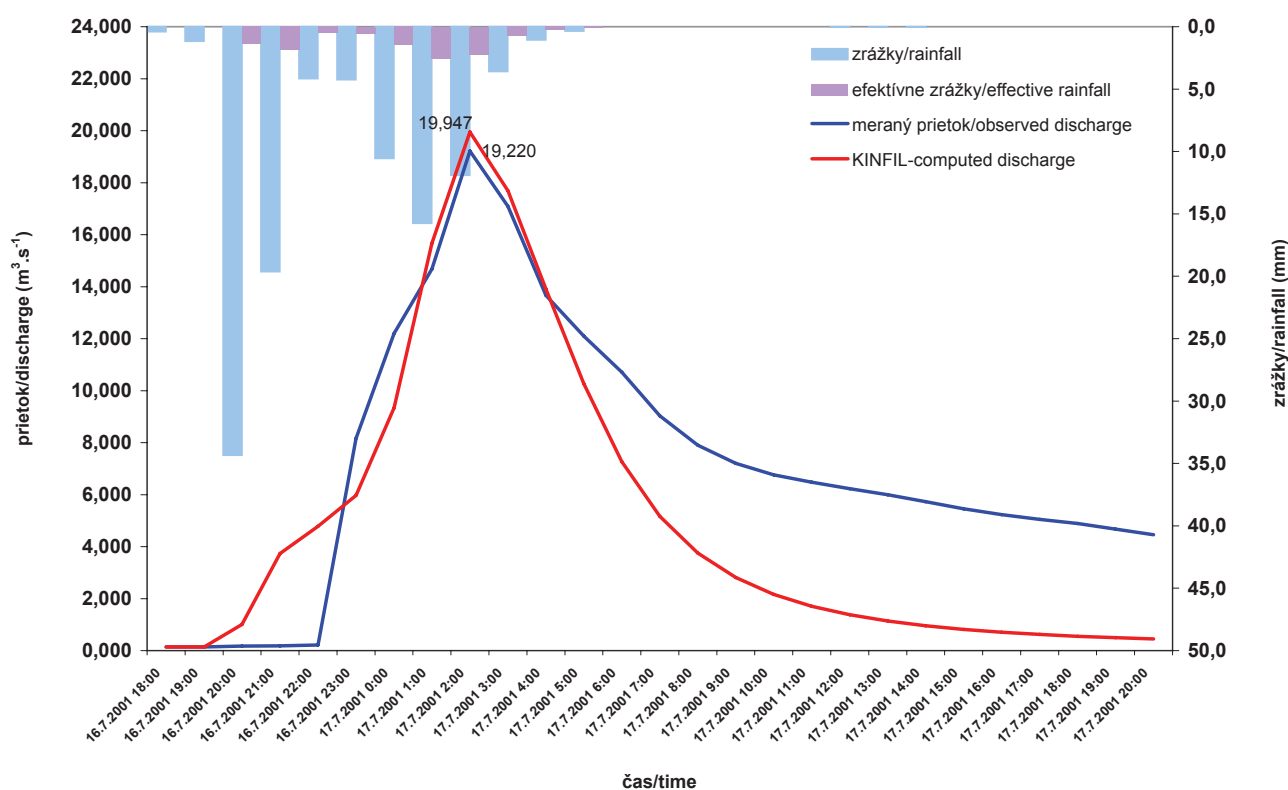
Problematickou vplyvu lesnatosti na odtok sa zaoberalo mno-
ho autorov. Na tomto povodí konkrétne prevádzali výskum Valtýni
a Závacká s podobnými výsledkami pri použití CN – metódy (VALTÝNI
1998, VALTÝNI, ZÁVACKÁ 2000, ZÁVACKÁ, MERGANIČ 2003), na ktorej
je založený model KINFIL.

Z výsledkov ďalej vyplýva, že najnebezpečnejšia doba trvania
dažďov pre periodicitu výskytu $N = 100$ je okolo 60 až 90 minút.
Rozdiely medzi 30min a 120min dobou trvania dažďov pri súčas-
nej lesnatosti však nie sú veľmi veľké a so znižovaním lesnatosti
(les nahradený TTP) sa tento stav stále zvyšuje.

ZÁVER

Zrážky rôznej intenzity, dĺžky trvania a miesta výskytu spôsobujú
rozsiahle škody na majetku, nezriedka aj na životoch a zdraví oby-
vateľov obcí a miest pozdĺž vodných tokov, na ktorých dochádzalo
k prudkému vzostupu hladín, vybrežovaniu vody a zaplavova-
niu okolitých území. Metódy zrážkovo-odtokového modelovania
umožňujú simulovať nielen skutočný hydrologický proces, ale s ich
pomocou môžeme aproximatívne predpovedať správanie povodí
v rôznych extrémnych situáciách.

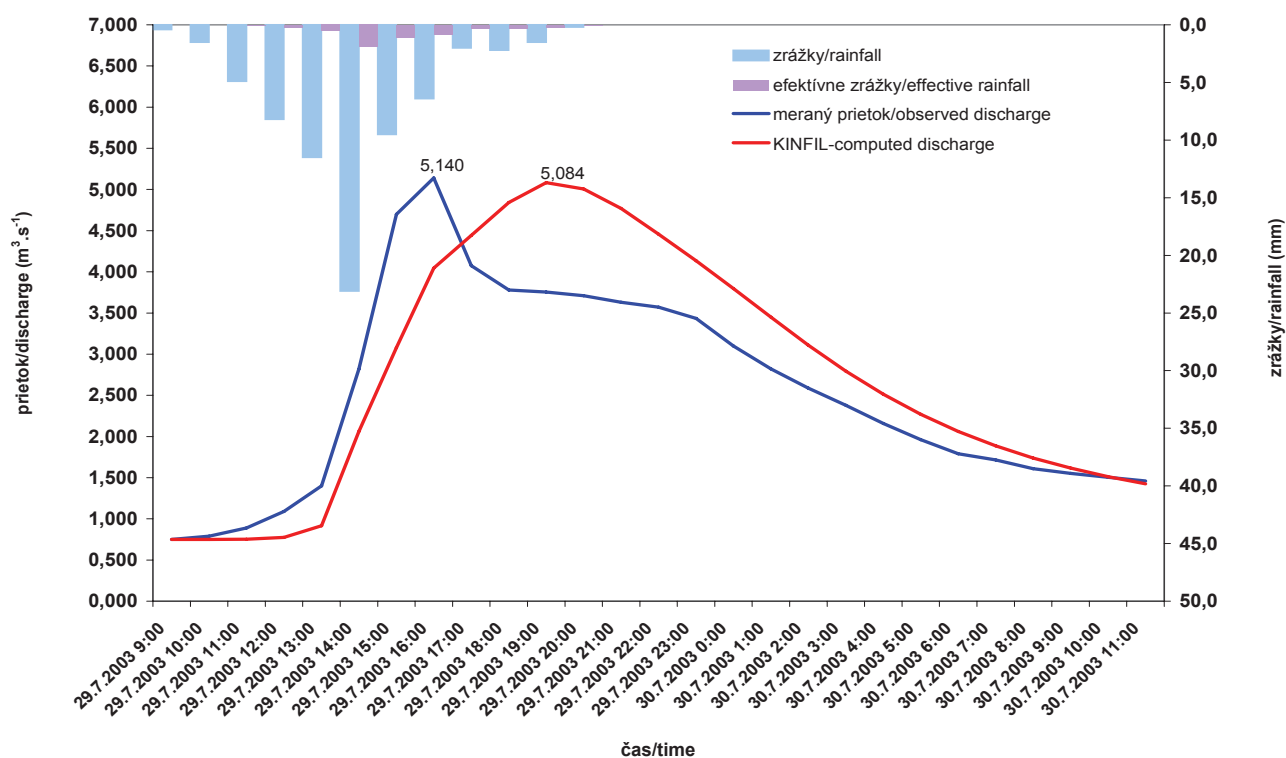
Model KINFIL, ktorý je fyzikálne založeným distribuovaným
deterministickým zrážkovo-odtokovým modelom, je osvedčeným
modelom pre účely simulačné (scenárové), rekonštrukčné i návrho-
vé. Model KINFIL je vo svojej infiltračnej časti založený na vyššie
odvođených vzťahoch modelových parametrov nasýtenej hydraulice-
kej vodivosti a sorptivity pri retenčnej vodnej kapacite a hodnotách
CN kriviek, ktorá bola odvodená prevažne pre poľnohospodársky
využívané povodia a z toho dôvodu sú odtoky a scenárové situá-
cie lepšie simulovateľné práve pre tieto podmienky. V posled-
nej dobe, kedy sa aplikácia CN kriviek rozširuje aj na lesné pôdy
(klasifikácie geologických substrátov), sa i výskum na použitie mode-
lu KINFIL zameriava na vylepšenie modelových simulácií pre lesné
povodia. V spojení s technikou GIS, ktorá taktiež rešpektuje ploš-
nú heterogenitu povodia, tvorí výkonný a pomerne dômyselný



Graf 1.

Merané a vypočítané prietoky modelom KINFIL, povodie Hučava, vlna 16. 7. 2001

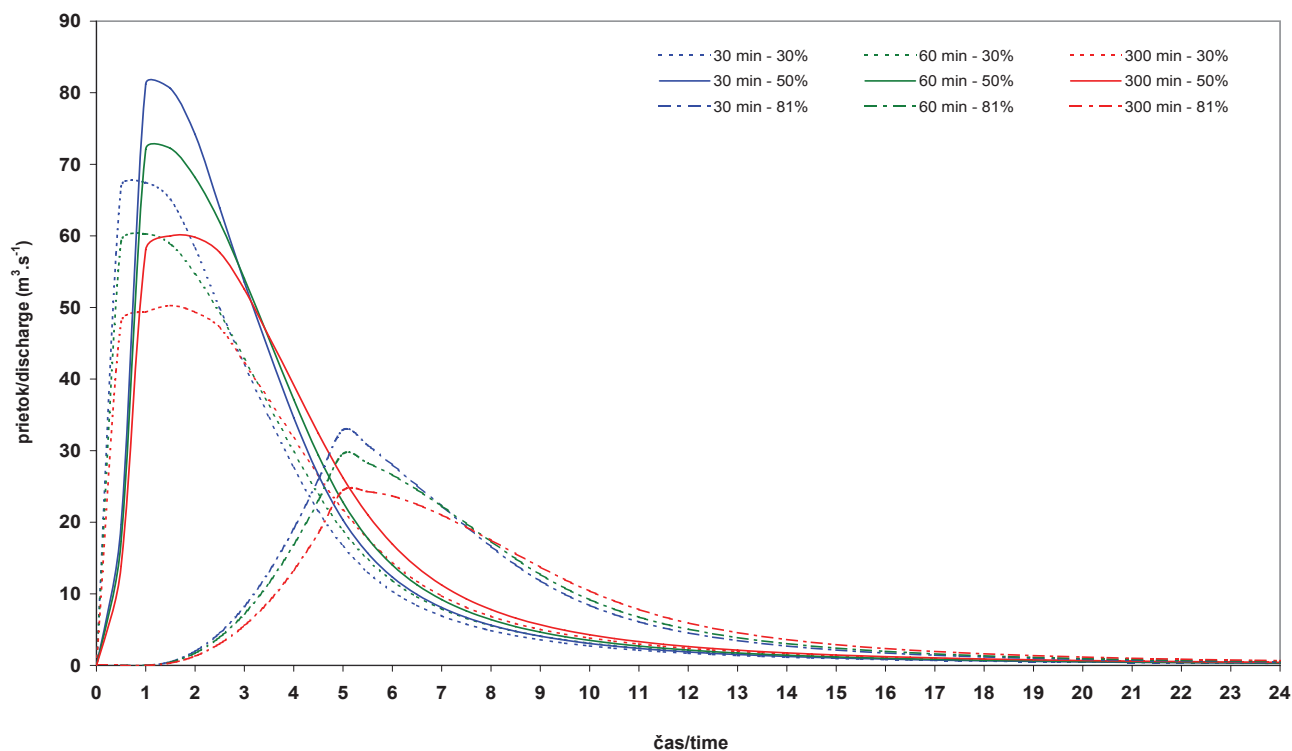
Measured and computed discharges of model KINFIL, Hučava catchment, wave 16. 7. 2001



Graf 2.

Merané a vypočítané prietoky modelom KINFIL, povodie Hučava, vlna 29. 7. 2001

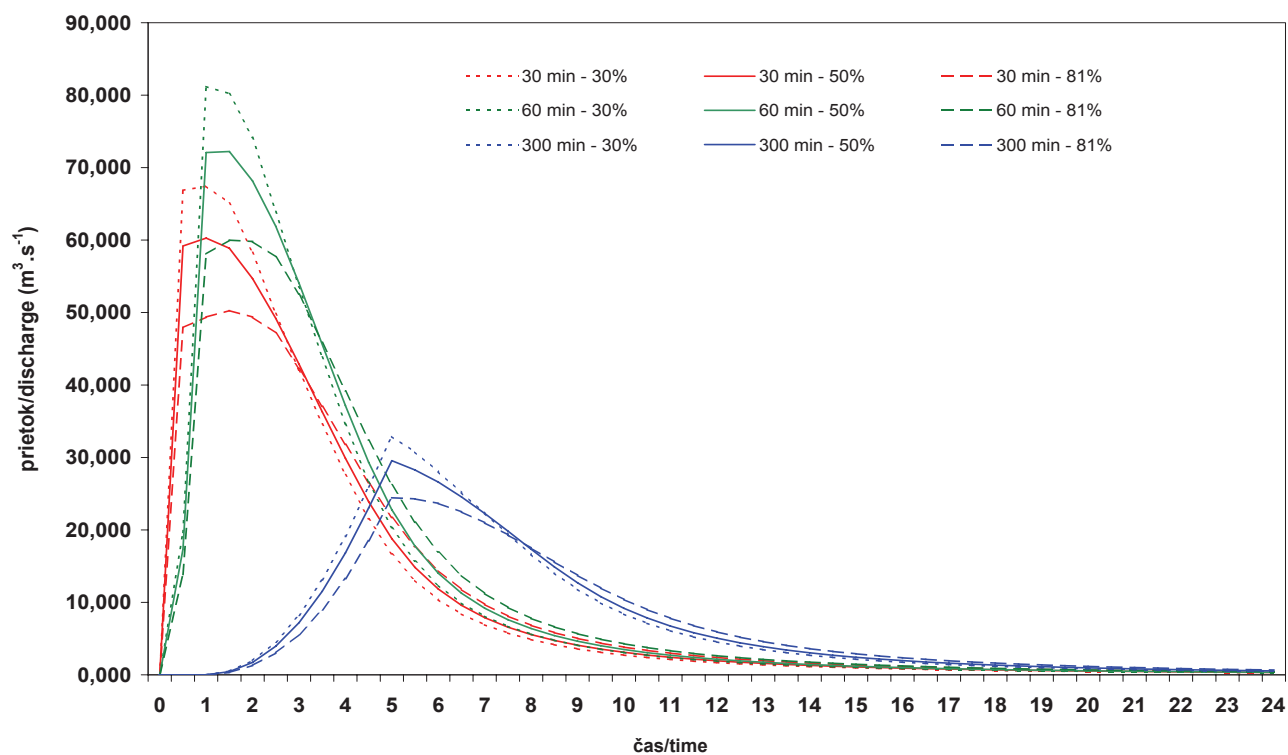
Measured and computed discharges of model KINFIL, Hučava catchment, wave 29. 7. 2001



Graf 3.

Výšky ($P_{t,N}$) a intenzity ($i_{t,N}$) privalových dažďov pre stanicu Kyslinky

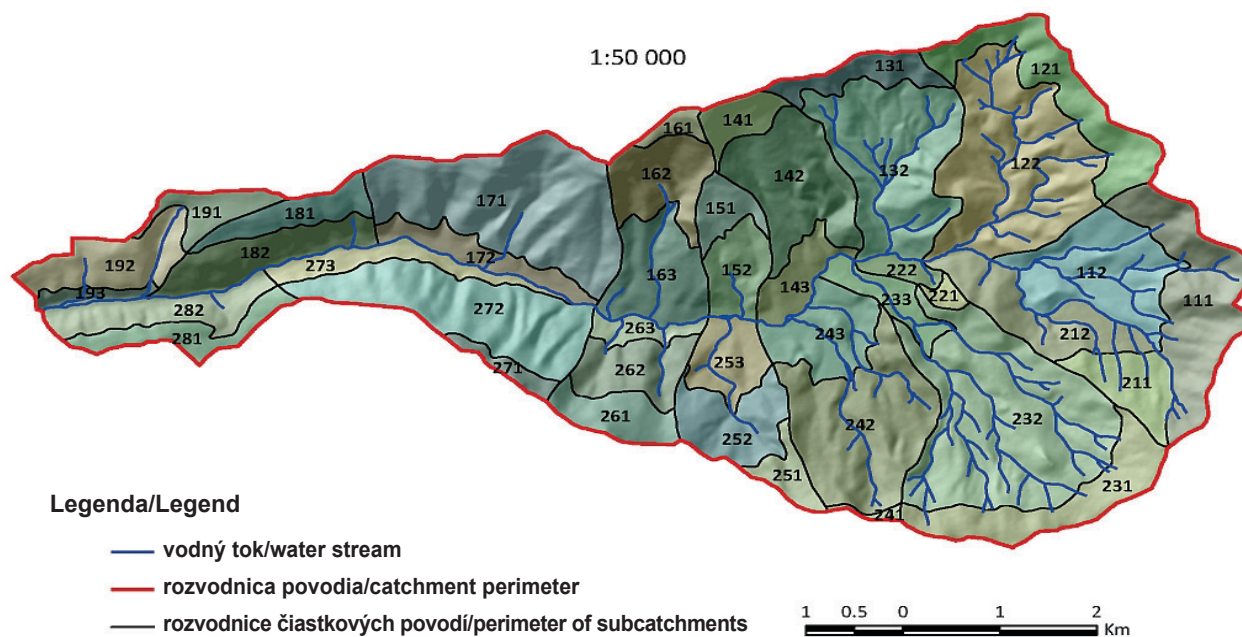
Design rainfall depths ($P_{t,N}$) and intensities ($i_{t,N}$) for the Kyslinky station



Graf 4.

Scénárová simulácia zmeny „land use“ pre návrhové dažde $N = 100$, $t_d = 30, 60, 300$ min

Scenario simulation of change land use for design rainfall $N = 100$, $t_d = 30, 60, 300$ min

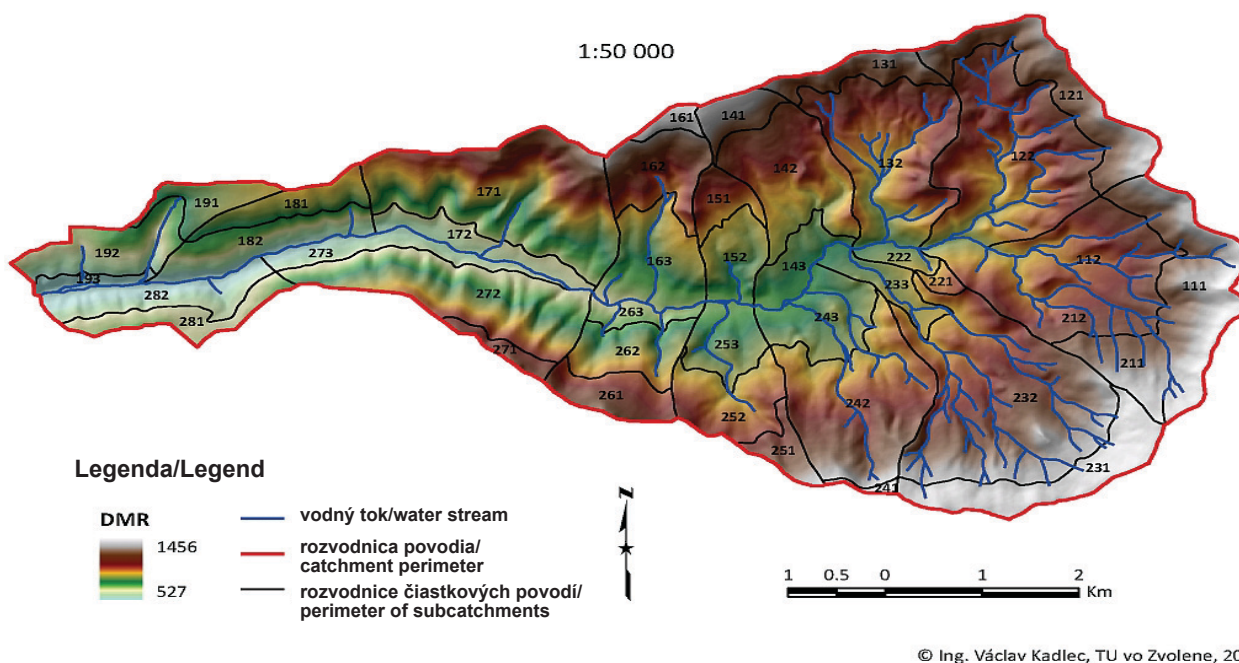


© Ing. Václav Kadlec, TU vo Zvolene, 2007

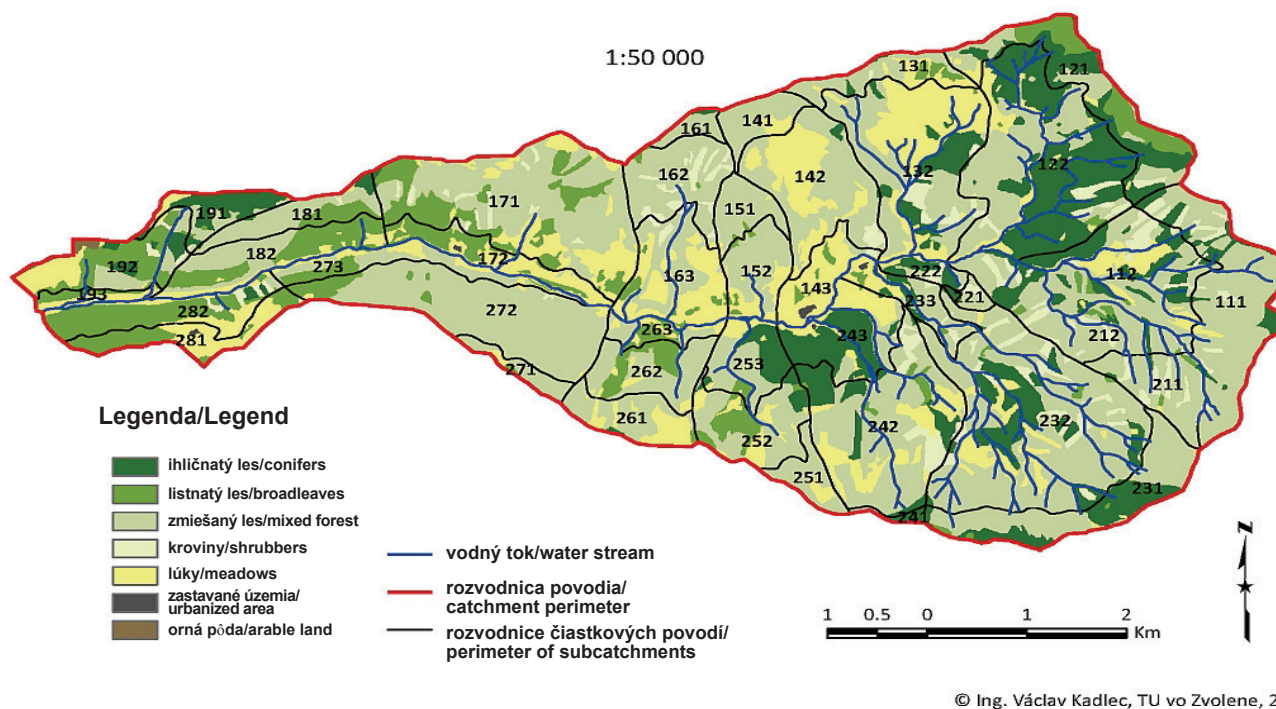
Obr. 1.

Rozdelenie na subpovodia – schématická odtoku Hučavy

The Hučava sub-catchments



Obr. 2.
Digitálny model reliéfu povodia Hučavy s rozdelením na subpovodia
Digital elevation model of the Hučava catchment with division into sub-catchments



Obr. 3.
„Land use“ na povodí Hučavy s rozdelením na subpovodia
Land use on the Hučava catchment with division into sub-catchments

Tab. 1.

Základné fyzickogeografické charakteristiky povodia Hučavy
 Basic of physiographic characteristics of Hučava catchment

a) Charakteristiky povodia/Catchment characteristics

Plocha povodia/Catchment area	km ²	41,36
Zalesnená plocha povodia/Forested catchment area	km ²	33,63
Lesnatosť povodia/Forestation	%	81,33
Dĺžka hlavného toku/Length of river	km	14,97
Dĺžka prítokov/Length of inflows	km	60,87
Dĺžka rozvodnice/Catchment perimeter	km	33,45
Dĺžka údolnice/Length of talweg	km	15,23
Min. nadmorská výška povodia/Min. catchment altitude	m n. m.	522
Max. nadmorská výška povodia/Max. catchment altitude	m n. m.	1458
Absolútny spád povodia/Absolute catchment gradient	m	936
Priemerná nadmorská výška povodia/Average catchment altitude	m n. m.	929,27
Stredná šírka povodia/Average width catchment	km	2,716
Priemerný sklon toku/Average river slope	%	10,94
Priemerný sklon údolnice/Average talweg slope	%	5,83
Stredný sklon svahov povodia/Average catchment slope	%	32,08

b) Zastúpenie pôdných druhov v povodí/Representation of soil classes

Pôdny druh/Soil class	Rozloha/Area (km ²)	Procentuálne zastúpenie/Percentage
Hlinitá pôda/Loam	39,07	94,46
Piesočnato-hlinitá pôda/Sandy loam	1,31	3,16
Hlinito-piesočnatá pôda/Loamy Sand	0,02	0,05
Ílovito-hlinitá pôda/Clay loam	0,96	2,33

c) Zastúpenie pôdných typov v povodí/Representation of soil types

Pôdny typ/Soil type	Rozloha/Area (km ²)	Procentuálne zastúpenie/Percentage
Kambizem/Cambisols	32,53	78,66
Andosolová pôda/Andosols	4,02	9,73
Rankrová pôda/Regosols	2,15	5,20
Glejová pôda/Gleysols	2,65	6,41

d) Využitie územia/Use of area

Land use	Rozloha/Area		Procentuálne zastúpenie/Percentage
	km ²	ha	
Ihličnatý les/Coniferous forest	6,12	611,53	14,79
Listnatý les/Deciduous forest	4,37	436,53	10,56
Zmiešaný les/Mixed forest	21,16	2116,40	51,18
Kroviny/Shrubbery	1,78	177,81	4,30
Lúky a trvalé trávne porasty/Meadows and permanent grasslands	7,34	734,40	17,75
Zastavané plochy/Urbanized areas	0,04	3,45	0,08
Orná pôda/Arable land	0,05	4,62	0,11
Cestná sieť/Road network	0,50	50,40	1,23

Tab. 2.

Základné informácie zrážkovo-odtokových prípadov na povodí Hučavy
Basic information on rainfall-runoff events on the Hučava catchment

Hučava	Vlna 1/Wave 1	Vlna 2/Wave 2
Začiatok príčinného dažďa/Beginning of causal rainfall	16. 7. 2001 18:00 hod	29. 7. 2003 9:00 hod
Koniec príčinného dažďa/End of causal rainfall	17. 7. 2001 5:00 hod	29. 7. 2003 20:00 hod
Kulminačný prietok/Peak flow	19,220 m ³ .s ⁻¹	5,140 m ³ .s ⁻¹
Celková výška príčinného dažďa/Total depth of causal rainfall	107,20 mm	71,40 mm
Celková výška efektívneho dažďa/Total depth of effective rainfall	11,46 mm	5,44 mm

Tab. 3.

Schématisácia povodia Hučavy (podľa obrázka 1)

Scheme of the Hučava catchment (according to figure 1)

Kaskáda/Cascade	Plocha/Area (km ²)	Doska/Plane no.	Plocha/Area (km ²)	Priem. šírka/Average width (km)	Dĺžka/Length (km)	Sklon/Slope (-)
DP 11	3,453	111	1,846	3,758	0,491	0,433
		112	1,607		0,428	0,234
DP 12	4,278	121	1,332	3,647	0,365	0,339
		122	2,946		0,808	0,284
DP 13	2,825	131	0,514	2,446	0,210	0,419
		132	2,311		0,945	0,307
DP 14	1,941	141	0,395	1,614	0,245	0,452
		142	1,546		0,958	0,305
		143	0,511		0,317	0,182
DP 15	1,013	151	0,391	1,570	0,249	0,323
		152	0,622		0,396	0,239
DP 16	2,171	161	0,163	2,249	0,072	0,313
		162	0,902		0,401	0,451
		163	1,106		0,492	0,243
DP 17	5,688	171	2,932	2,504	1,171	0,419
		172	0,585		0,234	0,236
DP 18	1,495	181	0,563	2,629	0,214	0,318
		182	0,932		0,355	0,456
DP 19	1,566	191	0,442	1,175	0,376	0,139
		192	0,943		0,803	0,327
		193	0,181		0,154	0,441
DP 21	1,810	211	0,677	4,557	0,149	0,302
		212	1,133		0,249	0,249
DP 22	0,312	221	0,110	0,753	0,146	0,282
		222	0,202		0,268	0,209
DP 23	7,245	231	1,200	4,242	0,283	0,366
		232	3,758		0,886	0,304
		233	0,477		0,112	0,175
DP 24	3,307	241	0,059	2,918	0,020	0,395
		242	2,302		0,789	0,301
		243	0,946		0,324	0,197
DP 25	1,873	251	0,326	2,746	0,119	0,348
		252	0,905		0,329	0,273
		253	0,642		0,234	0,210
DP 26	1,640	261	0,599	1,390	0,431	0,346
		262	0,759		0,546	0,362
		263	0,282		0,203	0,217
DP 27	0,985	271	0,215	3,791	0,057	0,308
		272	0,199		0,525	0,436
		273	0,571		0,151	0,265
DP 28	1,431	281	0,568	2,517	0,226	0,200
		282	0,863		0,343	0,359

Tab. 4.

Štatistické vyhodnotenie zhody meraných a vypočítaných prietokov
Statistical evaluation of correlation of measured and computed discharges

Vlna č./Wave no.	Koeficient determinácie/ Efficiency coefficient RE (-)	Koeficient variácie/ Variation coefficient PE (-)	Chyba v kulminácii PEAK/ Error peak (%)	Chyba v objeme TVOL/ Error volume (%)
16. 7. 2001	0,50	0,50	-3,78	31,58
29. 7. 2003	0,73	0,28	1,09	-6,91

Poznámka: Pre najlepšiu zhodu prietokových poradníc platí RE = 1,0; PE = 0,0/Note: For the best correlation of discharge coordinates is valid RE = 1.0; PE = 0.0

Tab. 5.

Hodnoty redukčných súčiniteľov náhradných prívalových dažďov
The reduction coefficient values for design rainfalls

N (roky/years)	t (min)	10 - 40	40 - 120	120 - 1 440	t (min)	10 - 40	40 - 120	120 - 1 440
2	a	0,166	0,237	0,235	c	0,701	0,803	0,801
5	a	0,171	0,265	0,324	c	0,688	0,803	0,845
10	a	0,163	0,280	0,380	c	0,656	0,803	0,867
20	a	0,169	0,300	0,463	c	0,648	0,803	0,894
50	a	0,174	0,323	0,580	c	0,638	0,803	0,925
100	a	0,173	0,335	0,642	c	0,625	0,803	0,939

Tab. 6.

Výšky ($P_{t,N}$) a intenzity ($i_{t,N}$) prívalových dažďov pre stanicu Kyslinky
Design rainfall depths ($P_{t,N}$) and intensities ($i_{t,N}$) for the Kyslinky station

Kyslinky			t (min)				
N (roky/years)	P1d,N (mm)		30	60	90	120	300
2	46,6	Pt,N	21,39	24,74	26,80	28,39	34,07
		it,N	0,71	0,41	0,30	0,24	0,11
5	61,2	Pt,N	30,24	36,33	36,35	41,65	48,00
		it,N	1,01	0,61	0,44	0,35	0,16
10	70,6	Pt,N	37,08	44,29	47,97	50,71	57,29
		it,N	1,24	0,74	0,53	0,42	0,19
20	80,4	Pt,N	44,99	54,03	58,53	61,83	68,14
		it,N	1,50	0,90	0,65	0,52	0,23
50	92,4	Pt,N	55,07	66,86	72,42	76,74	82,20
		it,N	1,84	1,11	0,80	0,64	0,27
100	101,8	Pt,N	63,05	76,40	82,75	87,52	92,55
		it,N	2,10	1,27	0,92	0,73	0,31

Tab. 7.

Návrhové prietoky pre dobu trvania dažďa $t_d = 30, 60, 90, 120, 300$ min, s dobou opakovania 100 rokov a rôznej lesnatosti povodia
Design discharges with event duration $t_d = 30, 60, 90, 120, 300$ min, time period of 100 years and scenario changes of forestation

KINFIL	Návrhové kulminačné prietoky ($m^3 \cdot s^{-1}$) z povodia Hučavy pri 100ročnej zrážke/ Design discharges on the Hučava catchment, time period of 100 years (101.8 mm)				
	Doba trvania dažďa t_d /Rain period (min)				
Lesnatosť/Forestation	30	60	90	120	300
30 %	67,439	81,196	80,749	79,577	32,891
50 %	60,279	72,224	71,681	68,470	29,559
81 %	50,269	59,990	59,170	55,845	24,434

aparát pre povodňové analýzy. Scénarové simulácie N-ročných prietokov (pri zmene „land use“ a rôznej doby trvania prívalového dažďa) poskytujú pomerne spoľahlivé prognostické predstavy o týchto povodňových vlnách – ich tvaru, kulminácii a dobe trvania. Na zalesnených povodiach bolo modelom KINFIL dosiahnutých veľmi dobrých výsledkov, predovšetkým na povodiach Jizerských hôr, experimentálnych povodiach Kamenice, Smědce, Černé Desné, Černé Nisy. Hlavné na Černé Desné (plocha povodia 4,75 km² so zalesnením 91,7 %) a Mumlavě (51,0 km² so zalesnením 90,0 %) bolo dosiahnutých taktiež solídnych výsledkov (KOVÁŘ 1992a).

LITERATÚRA

- ČHMÚ. Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Výzkumný úkol MZe QD 1368, 2006. 127 s.
- GREŠKOVÁ, A. Identifikácia rizikových oblastí a rizikových faktorov vzniku povodní v malých povodiach. Geografický časopis, 2001, roč. 3, s. 247-268.
- HALMOVÁ, D. Porovnanie modelovaných odtokov z povodia Malej Svinky. Acta hydrologica Slovaca, 2000, s. 5-14.
- HRÁDEK, F., KOVÁŘ, P. Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů. Vodní hospodářství, 1994, roč. 11, s. 49-53.
- KOVÁŘ, P. Možnosti určování návrhových průtoků na malých povodích. Doktorská disertační práce. Praha: SIC ČZU, 1992a.
- KOVÁŘ, P. Possibilities of determining design discharges on small catchments using the KINFIL model. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 1992b, vol. 40, no. 2, s. 197-220.
- KOVÁŘ, P., CUDLÍN, P., HERMAN, M., ZEMEK, F., KORYTÁŘ, M. Analysis of flood events on small river catchments using the KINFIL model. Journal Hydrology nad Hydromechanics, 2002, vol. 2, s. 157-171.
- MOREL-SEYTOUX, H. J. Analytical results for prediction of variable rainfall infiltration. Journal of Hydrology, 1982, no. 59, s. 209-230.
- ŠAMAJ, F., BRÁZDIL, R., VALOVIČ, J. Denné úhrny zrážok s mimo-riadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901 - 1980. In Zborník prác SHMÚ. Bratislava: Alfa, 1983. s. 9-112.
- U.S. SCS. Urban hydrology for small watersheds. U.S. Soil Conservation. Technical Release 55(13), SCS, Washington. 1986.
- VALTÝNI, J. Vplyv lesa na retenčnú kapacitu povodia. Povodne a protipovodňová ochrana (zpk), 1998, s. 262-265.
- VALTÝNI, J., ZÁVACKÁ, M. Výsledky 4ročného monitoringu kulminálnych prietokov vo dvoch malých povodiach v BR Poľana. In Zborník referátov Biosférické rezervácie na Slovensku III. Zvolen: Technická univerzita, 2000, s. 57-60.
- ZÁVACKÁ, M., MERGANIČ, J. Vplyv lesa na odtok vody z malého povodia Zvolen: Acta facultatis forestalis, 2003, s. 101-111.

USE OF RAINFALL-RUNOFF MODEL KINFIL ON HUČAVA CATCHMENT

SUMMARY

The paper provides a practical implementation of the hydrological model KINFIL which is used for the reconstruction of the rainfall-runoff events on the Hučava catchment and then for the simulation of design discharges with event duration $t_d = 30, 60, 90, 120$ a 300 min in time recurrence of 100 years and scenario simulation of changed land use. This scenario simulation has reflected extreme runoff processes with non-structural measures in the catchment.

The simulation has been performed for the mountainous catchment of the Hučava creek, the Poľana Mountains. The catchment area is 41.36 km², elevations range between 522 and 1,458 m a. s. l. Average slope of the catchment is 32.08 %. Soil classes are the most represented by Loam (94.5 %) and soil types by Cambisols (78.7 %). The forestation is 81 %, meadows and permanent grasslands occupy 17.8 %.

The KINFIL model, based on an infiltration approach computing net design rainfall to be transformed into direct runoff by a kinematic wave mechanism, has been implemented. The infiltration part of the model is based on the Morel-Seytoux equations, derived from the Green/Ampt concept distinguishing pre- and post-ponding infiltration from constant or variable rainfall. The second basic component of the KINFIL model is a simulation of runoff which is based on a kinematic flow approximation. All the topographical and morphological data were analysed and prepared for the KINFIL model using GIS facilities.

Thus model was implemented for design discharge assessment ($N = 100$ years) and it has been shown again that land use changes (substitute 30% and 50% of forest by permanent grassland) do not affect peak flood discharges by more than 20 and 35 percent at most.

Implementation of the KINFIL model supported by GIS has been found as a proper tool for the runoff assessment on small catchments when using different scenarios of land use changes.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Václav Kadlec, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i.,
Žabovřeská 250, 156 27, Praha 5 - Zbraslav, Česká republika
tel.: 257027 111; e-mail: kadlec@vumop.cz

ANALÝZA ZDROJOV BIOMASY A LOGISTIKA ICH ZABEZPEČENIA PRE SPOLOČNÉ SPAĽOVANIE S HNEDÝM UHLÍM VO ZVOLENSKEJ TEPLÁRENSKEJ, A. S.

ANALYSIS OF BIOMASS RESOURCES AND LOGISTICS OF ITS PROCUREMENT FOR CO-FIRING WITH BROWN COAL IN THE ZVOLEN CHP PLANT

¹JÁN ILAVSKÝ - JUHA LAITILA - TIMO TAHVANAINEN, ²JÁN TUČEK - MILAN KOREŇ - VLADIMÍR PAPAJ,

³JÚLIUS JANKOVSKÝ, ⁴MÁRIA ŽIAKOVÁ

Finnish Forest Research Institute, Joensuu¹⁾, Lesnícka fakulta TU Zvolen²⁾, Zvolenská teplárenská, a. s., Zvolen³⁾, Ústav lesných zdrojov a informatiky NLC Zvolen⁴⁾

ABSTRACT

This paper presents results of the study of the whole chain from biomass resources, creation of business opportunities and contribution to the regional development in Banská Bystrica region, up to the technical solutions for boilers reconstruction. The first part of the study was focused on identification of biomass resources for energy use from forestry, wood processing industry and agriculture with the use of GIS tools. Ecological, economical and operational factors limiting utilization of potential biomass resources were identified (protected forests, forests in the 5th category of IUCN nature protection, sensitive and poor soils, regions with slopes over 50%), factored into calculations and inaccessible biomass was excluded from further calculations. The precise analysis of the logistics of the wood supply was prepared. The total forest land area of the Banská Bystrica Region is 453,000 ha. When the limiting criteria referring to the forests categories, their nature protection and site fertility were applied, the forest area for calculation of the total wood resource and energy biomass has decreased to 258.3 ths. ha (57.0 %) and the growing stock of biomass to 1,245.1 mil. m³. Application of other limiting factors of technical nature (especially slope inclination), resulted in the potential volume of biomass for energy generation of 302.4 mil.m³, what equals to 18.3 % of the planned annual cut and 24.3 % of the region's total available biomass resources.

Kľúčové slová: biomasa, obnoviteľné zdroje energie, logistika, spoluspaľovanie, geografický informačný systém

Key words: biomass, renewable energy sources, logistics, co-firing, geographical information system

ÚVOD

Využívanie obnoviteľných zdrojov energie sa stáva významným nástrojom rozvoja regiónov. Okrem priaznivých environmentálnych vplyvov vytvárajú sa tiež podmienky pre intenzifikáciu ekonomického rozvoja. Využívanie doteraz nevyužitých lokálnych zdrojov obnoviteľných surovín podporuje rozvoj malého a stredného podnikania, vytváranie nových pracovných príležitostí a zvyšovanie príjmov obyvateľstva, obzvlášť v regiónoch s vysokou mierou nezamestnanosti. Banskobystrický región je jedným z najlesnatejších regiónov na Slovensku (48,9 %). Je tu tiež rozvinutý drevospracujúci priemysel. Vzniká tu teda vysoká akumulácia druhotných zdrojov dreva a ostatných zdrojov biomasy, ktoré sú vhodné na energetické využitie. V regióne sa v poslednom období vybuďovalo niekoľko kotolní a pripravujú sa ďalšie projekty kotolní na spaľovanie dreva. Najväčšou realizovanou akciou je rekonštrukcia dvoch kotlov vo Zvolenskej teplárenskej, a. s., na spoločné spaľovanie dreva s hnedým uhlím.

Takéto veľké rozvojové zámery vyžadujú vysoké investičné náklady. Investori sa však obávajú investovať do inštalácií nákladných spaľovacích technológií bez podrobných informácií o zdrojoch dreva, ktoré môžu byť v regióne dostupné na energetické využitie. S ohľadom na skutočnosť, že na Slovensku nie je doteraz vytvo-

rený pravidelne fungujúci trh s palivovou biomasou, je pri každej investícii potrebné dôkladne analyzovať aj technologické, technické a ekonomické podmienky pre ťažbu a dlhodobé dodávky energetickej biomasy z lesov a ich najvhodnejšie logistické zabezpečenie. Tieto aspekty významne ovplyvňujú pravidelnosť dodávok biomasy, jej kvalitu, náklady na výrobu a tým aj jej cenu a celkovú efektívnosť využívania biomasy na výrobu energie.

Preto sa pred realizáciou investičného zámeru vo Zvolenskej teplárenskej, a. s., vypracovala podrobná štúdia o dostupných zdrojoch biomasy, najvhodnejších technológiach jej získavania, logistického zabezpečenia, ekonomiky výroby, ekonomických a environmentálnych vplyvov (ILAVSKÝ et al. 2006).

METODIKA A POSTUP RIEŠENIA

Štúdia je vypracovaná pre zbernú oblasť Zvolenskej teplárne, ktorá bola teritoriálne vymedzená administratívnym územím Banskobystrického kraja. Východiskovou údajovou základňou pre odvodenie celkového objemu biomasy v regióne boli výmera porastovej pôdy, zásoby dreva a plánovaná ročná ťažba. Ďalej sa do úvahy brala veková štruktúra lesov, zastúpenie drevín, plánovaná a skutočná výťažnosť sortimentov dreva, kategórie lesov, vlastnícka a uží-

vateľská štruktúra lesov. K plánovanému objemu ťažby hrubiny s kôrou bol pripočítaný objem tenčiny, ktorý bol stanovený jednotne na 18 % ako priemer pre všetky dreviny a druhy ťažby.

V ďalšom sa definovali kritéria, ktoré obmedzujú možnosti využívania biomasy. Na základe týchto kritérií boli z celého súboru porastov vylúčené:

- porasty zaradené do kategórie ochranných lesov, v ktorých sa z dôvodov ochrany prírody s odberom biomasy neuvažuje,
- porasty zaradené do piateho stupňa ochrany prírody - bezzásahové porasty,
- porasty, ktoré sú zaradené podľa stanovištných podmienok do hospodárskych skupín lesných typov, v ktorých sa z dôvodov acidít pôd, alebo naopak z nepomeru živín na karbonátových pôdach, skeletnosti a p., s odberom biomasy nad rámec hrubiny nemôže uvažovať. Na základe dostupných poznatkov výskumu (ILAVSKÝ, BUBLINEC 2005) boli zo spracovania vylúčené stanovištia, ktoré sú prirodzene veľmi chudobné na živiny, najmä Ca, Mg a K. Ďalej sú to stanovištia, na ktorých sú pôdy textúrou, skeletnosťou, alebo vodným režimom extrémne, ale aj tie, ktoré síce majú dostatok až nadbytok niektorých živín (Ca a Mg), ale majú vysoký deficit K a P.
- porasty so sklonom terénu nad 50 %, v ktorých je obmedzený prístup za účelom sústreďovania celkovej biomasy z porastu vplyvom ekologických faktorov (v týchto terénoch je väčšina porastov ochranných a s vyššími stupňami ochrany prírody), ako aj technických a ekonomických faktorov (lanovkové terény, malý podiel lanovkového sústreďovania a neúmerne vysoké náklady).

Pre podporu analýz bola navrhnutá a vytvorená geografická databáza. Obsahuje tieto rastrové a vektorové tematické vrstvy (KOREŇ et al. 2007):

- digitálny model reliéfu (DMR) s priestorovým rozlíšením 10 m
- cesty a ostatné prvky polohopisu
- hranice lesných porastov
- obmedzujúce prvky

Dostupnosť biomasy a ekonomické náklady sú výrazne ovplyvnené dopravnými vzdialenosťami a nákladmi (TUČEK et al. 2003). Pre určenie dostupnosti a nákladovosti boli pre každý lesný porast vypočítané najkratšie dopravné vzdialenosti k Zvolenskej teplárni. Vstupná vrstva cestnej siete obsahovala všetky kategórie ciest: diaľnice, cesty 1., 2. a 3. triedy, poľné a lesné lesty. Výsledné dopravné vzdialenosti aproximujú súčet vzdialeností sústreďovania a odvozu dreva. Výsledný raster obsahujúci najkratšie cestné dopravné vzdialenosti bol klasifikovaný na 10 km vzdialenostné zóny. Výsledná geografická databáza obsahuje všetky údaje potrebné na záverečné analýzy a vypracovanie finálnych výstupov: digitálna mapa lesných porastov, dopravné vzdialenosti a obmedzujúce prvky. Výsledky boli prepojené s vrstvou lesných porastov a vytvorené výstupné zostavy a mapy s údajmi o reálne využiteľných zdrojoch biomasy v regióne podľa dopravných vzdialeností s odstupňovaním po 10 km zónach z porastu do teplárne (KOREŇ et al. 2007).

Pri hodnotení vhodnosti rôznych metód ťažby energetického dreva v podmienkach Banskobystrického kraja boli analyzované tri hlavné technologické schémy podľa miesta výroby energetických štiepok (ILAVSKÝ et al. 2006):

- štiepkovanie na odvoznom mieste,
- štiepkovanie na centrálnom sklade dodávateľa štiepok,
- štiepkovanie u spotrebiteľa štiepok (v teplárni).

V štúdiu sa analyzovali technologické postupy pre výchovné a obnovné ťažby. Výchovné ťažby boli rozdelené podľa priemerného veku na ťažby do 50 rokov a nad 50 rokov. Ďalšími kritériami bola dostupnosť biomasy podľa dopravných vzdialeností a sklonu terénu. V sklonoch terénu do 40 % sa počítalo s ťažbou biomasy vo všetkých porastoch, ktoré neboli vylúčené z ekologických dôvodov. V sklonoch 40 – 50 % sa kalkulovalo, že biomasa sa môže ťažiť v 35 % porastov. Porasty so sklonom nad 50 % boli vylúčené z kalkulácie z dôvodu technickej nedostupnosti pre traktory a vývozné súpravy. Po stanovení prevádzkových nákladov pre každý stroj a ťažbovú metódu boli údaje kombinované s údajmi o porastoch a akumulácii biomasy. Analýzy ťažbových nákladov sa vykonali pre triedy sklonu reliéfu odstupňované po 10% sklonu a dopravné vzdialenosti po 10 km.

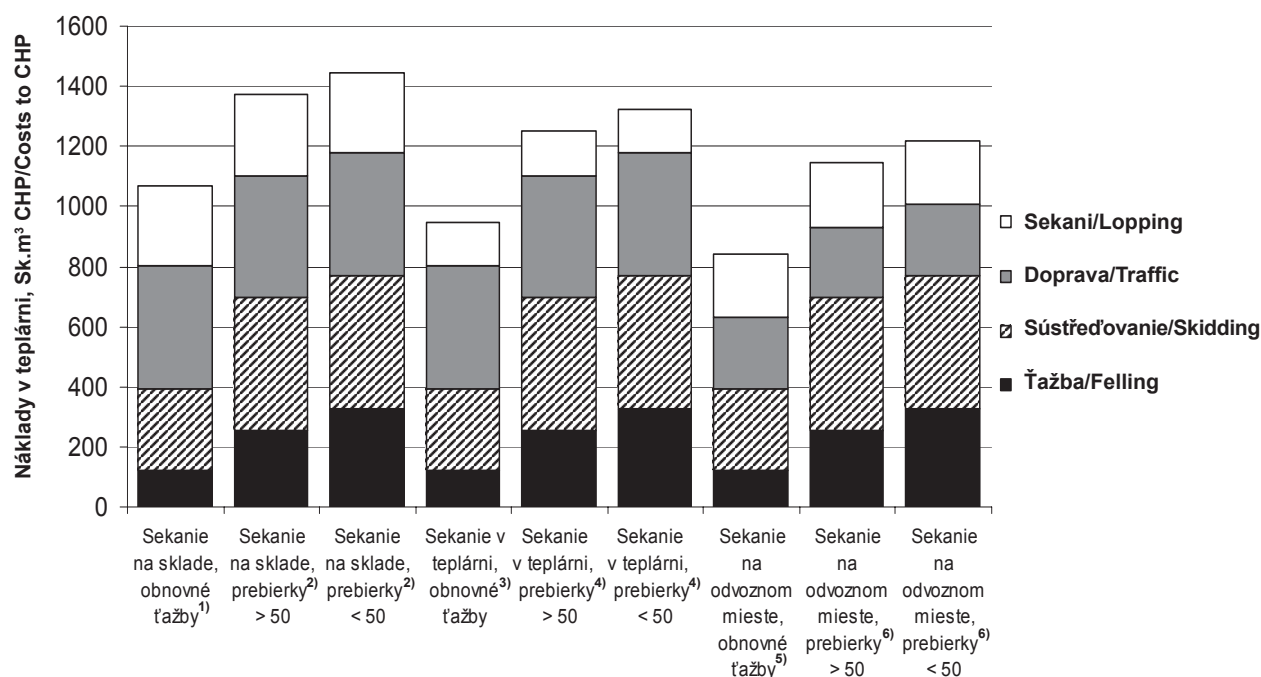
CELKOVÉ A ENERGETICKY VYUŽITEĽNÉ ZDROJE LESNEJ BIOMASY V REGIÓNE

Celková výmera porastovej pôdy Banskobystrického kraja je 453 000 ha. Po uplatnení obmedzujúcich kritérií sa výmera porastovej plochy, z ktorej sa počítali celkové a využiteľné zdroje biomasy, zredukovala na 258 300 ha (57,0 %), s objemom 1 245,1 mil. m³ celkových zdrojov biomasy. Uplatnením ďalších obmedzujúcich faktorov, uvedených v metodike, sa vykalkuloval potenciálny objem energeticky využiteľnej biomasy na 302,4 mil.m³, t.j. 18,3 % z celkovej plánovanej ročnej ťažby v kraji a 24,3 % z celkových zdrojov biomasy. Najvyšší predpokladaný objem energeticky využiteľnej biomasy je v okresoch Rimavská Sobota (47,9 tis. m³), Zvolen (34,3 m³) a Lučenec (31,7 tis. m³). Najnižší predpokladaný objem je v okrese Brezno (5,8 tis. m³).

Celková a energeticky využiteľná biomasa bola vykalkulovaná pre každý porast podľa kritérií uvedených v metodike. Výsledky boli potom agregované podľa vekovej štruktúry do vekových stupňov, drevinovej skladby (ihličnaté a listnaté), vlastníckych a užívateľských vzťahov podľa okresov a sumárne za kraj. Celkové a energeticky využiteľné zdroje biomasy podľa okresov a sumárne za kraj sú uvedené v tabuľke 1.

VYHODNOTENIE VHODNOSTI ŤAŽBOVÝCH TECHNOLOGIÍ A LOGISTIKY VÝROBY A DODÁVOK BIOMASY

Celkove boli hodnotené náklady na výrobu a dopravu energetickej biomasy spotrebiteľovi pri použití 9 základných výrobných technológií (ASIKAINEN et al. 2000, LAITILA et al. 2004a, b). V základnom členení sa kalkulovali očakávané náklady pri využití biomasy z obnovných ťažieb, výchovných ťažieb do 50 rokov a výchovných ťažieb nad 50 rokov. Ďalej sa tieto tri základné technologické schémy členili podľa miesta výroby energetických štiepok na výrobu štiepok na odvoznom mieste, na centrálnom sklade dodávateľa a na sklade u odberateľa. Na obrázku 1 sú znázornené náklady a ich štruktúra na jednotlivé operácie pri výrobe štiepok rôznymi technologickými postupmi. Zobrazené náklady charakterizujú priemerné podmienky a sú kalkulované pri sústreďovaní dreva z porastov so sklonom svahu 20 – 30 % a pri dopravnej vzdialenosti 40 km.



Obr. 1.

Štruktúra nákladov na výrobu a dopravu štiepok pri rôznych technológiach

Structure of production and transportation costs of chips by the usage of various technological schemes

¹⁾Lopping in timberyard, regeneration felling; ²⁾Lopping in timberyard, thinning; ³⁾Lopping in CHP plant, regeneration felling; ⁴⁾Lopping on roadside, regeneration felling; ⁵⁾Lopping on roadside, thinning

Najnižšie náklady sú pri výrobe štiepok z obnovných ťažieb na odvoznom mieste a ich priamej doprave odberateľovi. Náklady na výrobu štiepok z výchovných ťažieb sú o 50 – 60 % vyššie v dôsledku vyšších nákladov na ťažbu a sústreďovanie dreva. Najväčšie rozdiely medzi analyzovanými technologickými schémami sú v nákladoch na dopravu. Najnižšie náklady sú pri doprave vo forme štiepok. Náklady na štiepkovanie sú síce nižšie pri štiepkovaní na centrálnom sklade dodávateľa, alebo priamo u odberateľa, ale to nevyváži vyššie náklady na dopravu neposekaného dreva. Dôvodom je nízka merná hmotnosť neposekaného dreva a tým aj nízke využitie nosnosti odvozných prostriedkov a vysoké náklady na odvoz mernej jednotky. Pri štiepkovaní na centrálnom sklade dodávateľa štiepok sú tiež zvýšené náklady na manipuláciu s neposekaným drevom a so štiepkami (ILAVSKÝ et al. 2006).

Na obrázku 2 sú zobrazené náklady na výrobu lesných štiepok z obnovných ťažieb z porastov so sklonom svahov 20 – 30 % a ich dodávku do teplárne pri použití analyzovaných technologických schém a na rozličné dopravné vzdialenosti. Aj tu je vidieť, že najnižšie náklady sú pri výrobe štiepok na odvoznom mieste a ich priamej doprave spotrebiteľovi. Z údajov je tiež vidieť, že čím je dopravná vzdialenosť väčšia, tým sú tiež rozdiely v nákladoch väčšie (ILAVSKÝ et al. 2006).

Výsledné podrobné kalkulácie koncentrácie dostupnej biomasy, vykonané podľa viacerých kritérií (napríklad druhu ťažby, sklonitosti, dopravných vzdialeností, požadovanej ročnej spotreby v teplárni, nákladov a pod.), boli spracované v tabuľkovej aj grafickej forme. Ako príklad jedného z výstupov, sú na obrázku 3 znázornené využiteľné množstvá biomasy podľa dopravných vzdialeností k teplárni v 10 km krokoch.

DISKUSIA A ZÁVERY

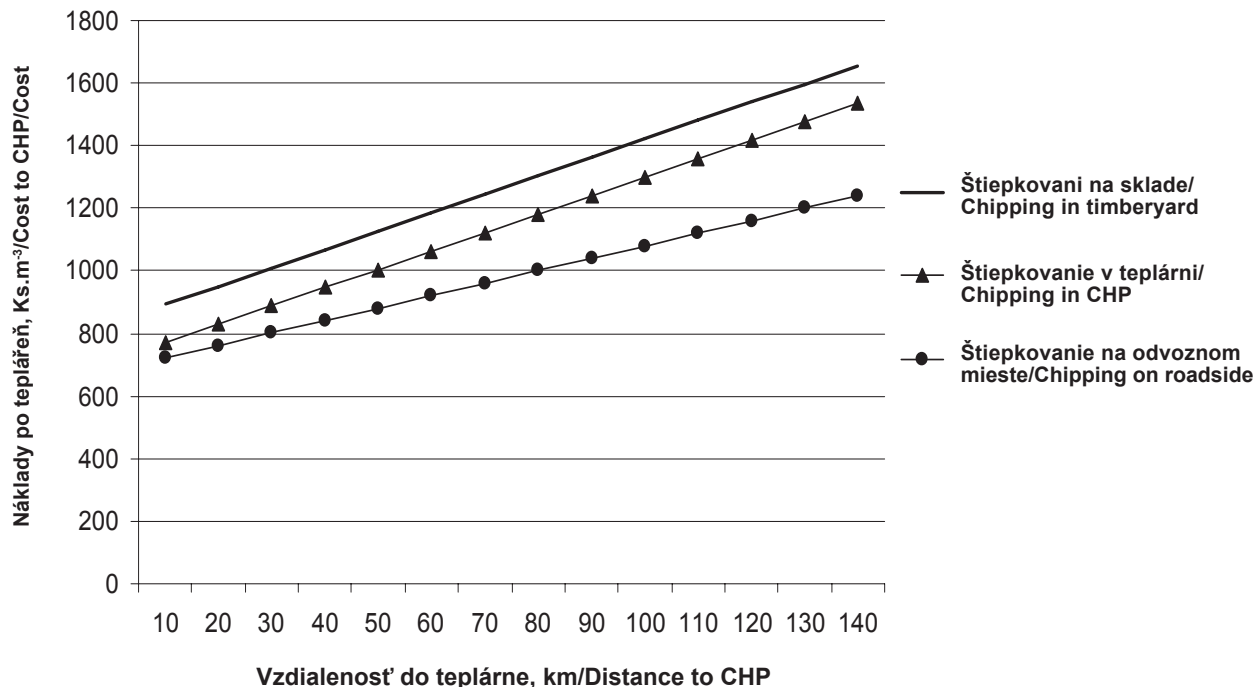
Cieľom štúdie bolo analyzovať celkové, ako aj pre energetické využitie dostupné, zdroje biomasy z lesov v okolí Zvolenskej teplárne, kde sa vykonala rekonštrukcia kotlov na spoločné spaľovanie dreva a hnedého uhlia. Ďalej bolo cieľom analyzovať najvhodnejšie technológie na výrobu a dopravu biomasy, logistické zabezpečenie dodávok a predpokladané náklady na výrobu. Očakávaná ročná spotreba dreva v teplárni je okolo 30 000 ton.

Celkové zdroje biomasy, ktoré sú súčasťou plánovanej ročnej ťažby (klasické palivové drevo a zvyšky hrubiny vznikajúce pri ťažbe), ako aj tie, ktoré vznikajú ako druhotné zdroje pri ťažbe dreva (konáre a vrchovce stromov, celé tenké stromy) v lesoch na zbernom území, vymedzenom územím Banskobystrického kraja, sú viac ako 1, 2 mil. m³ ročne. Po redukciiach, v dôsledku uplatnenia ekologických, ekonomických a prevádzkových limitujúcich faktorov, bol celkový objem biomasy ročne dostupnej na energetické využitie vyčíslovaný na 302 000 m³. Po zohľadnení technologických faktorov, obmedzujúcich používanie najvhodnejších technológií výroby a dopravy biomasy do teplárne, bol výsledný objem dostupnej biomasy v kraji vyčíslovaný na necelých 230 000 m³ ročne, čiže menej ako 25 % z celkových zdrojov. Tento fakt je veľmi dôležitý z hľadiska častých diskusií o tom, či ťažba celej nadzemnej biomasy môže ohroziť produkčnú schopnosť lesov. Ak sa pri plánovaní využitia biomasy na energiu dôsledne zohľadnia prírodné podmienky v danom území a z využitia sa vylúčia tie lesné porasty, kde by mohlo dôjsť k zhoršeniu stanovištných podmienok alebo k zvýšeniu erózie, využívanie biomasy na energiu by nemalo mať negatívne dôsledky.

Tab. 1.

Celkové a energeticky využiteľné zdroje biomasy podľa okresov a sumárne za Banskobystrický kraj
Total and exploitable sources of biomass by districts and totally for the Banská Bystrica region

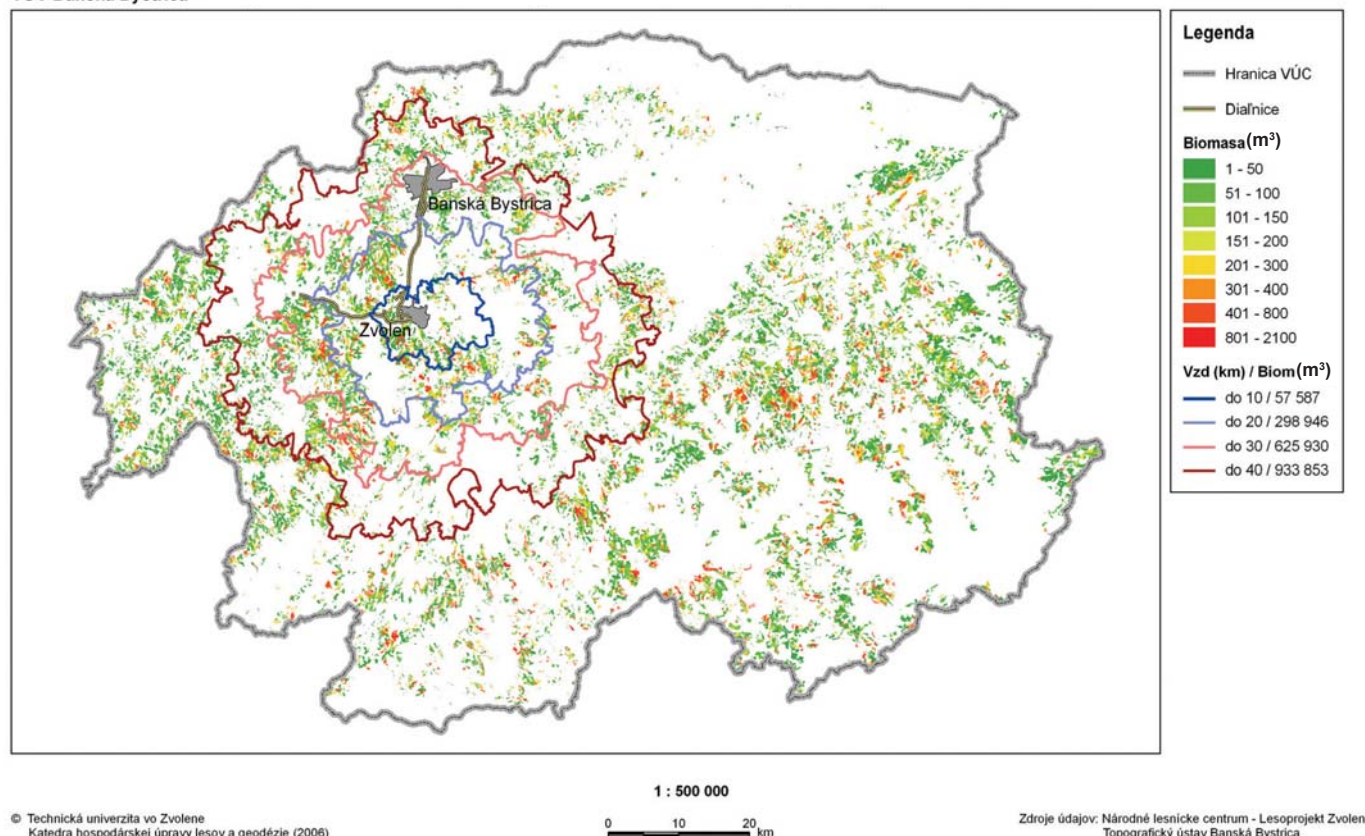
Okres/District	Energeticky využiteľná/Exploitable biomass(103 m ³)	Celková/Total biomass (103 m ³)	%
B. Bystrica	24,0	126,6	18,96
B. Štiavnica	20,3	85,1	23,85
Brezno	5,8	32,0	18,13
Detva	15,4	84,2	18,29
Krupina	19,4	63,4	30,60
Lučenec	31,7	100,2	31,64
Poltár	26,7	106,5	25,07
Revúca	20,5	85,2	24,06
R. Sobota	47,9	192,8	24,84
V. Krtíš	26,1	78,9	33,08
Zvolen	18,8	84,3	22,30
Žarnovica	11,5	52,2	22,03
Žiar n. Hronom	34,3	153,2	22,39
Kraj spolu/Region summary	302,4	1244,6	24,30



Obr. 2.

Porovnanie nákladov na výrobu a dodávky energetických štiepok rozličnými technológiami na rôzne dopravné vzdialenosti
Comparison of costs of energetic wood chips production and transportation by different technologies and transportation distances

VÚC Banská Bystrica



Obr. 3.

Dostupné zdroje biomasy podľa dopravných vzdialeností do teplárne
Available resources of biomass in distance zones from the CHP plant

Po podrobnejšej lokalizácii uvedených zdrojov biomasy využitím geografických informačných metód vyšlo, že požadovaný objem biomasy je možné získať zo zberného územia v okruhu do 50 km od teplárne. Najnižšie náklady sú pri využívaní korunovej časti biomasy z obnovných ťažieb.

Z hľadiska používaných technológií prípravy biomasy sa analýzy vykonali so zohľadnením praxou dlhodobo overených strojových sústav používaných vo Fínsku v kombinácii s prevádzkovými podmienkami na Slovensku. Ako najvhodnejšia sa odporúča takáto technológia:

- ťažba a manipulácia dreva v poraste motorovou pílou
- sústreďovanie dreva vývoznými súpravami (forwardermi)
- štiepkovanie dreva na odvoznom mieste sekačkami na podvozku nákladného auta
- priamy odvoz štiepok odberateľovi

Technologicky aj ekonomicky je menej vhodné dopravovať neposekaný materiál do teplárne. Náklady na dopravu neposekaného dreva sú veľmi vysoké pre malé využitie nosnosti nákladných áut a potrebu špeciálnych nadstavieb s kompresným zariadením. Zvýšená výkonnosť pojazdnej sekačky pri práci na sklade teplárne nevyrovná zvýšené náklady na dopravu neposekaného dreva. Pre pomerne malý objem spotrebovaného dreva nie je efektívne budovať stacionárny drviaci alebo štiepkovací uzol v teplárni.

Pri ekonomických analýzach sa ukázalo, že energetickú biomasu pre Zvolenskú teplárenskú, a. s., je možné zabezpečiť s nákladmi, ktoré dávajú predpoklad výslednej ceny dreveného paliva konkurencieschopnej s ostatnými druhmi palív a výhodnej pre tepláreň.

V súčasnosti je celkový inštalovaný výkon kotlov v Zvolenskej teplárenskej, a. s., 311 MW na výrobu tepla a 44,3 MW na výrobu elektrickej energie. V posledných troch rokoch dodávala spoločnosť odberateľom okolo 800 000 GJ tepelnej energie a 103 000 GJ elektrickej energie. Okolo 60 % z dodanej energie boli dodávky tepla a teplej úžitkovej vody pre viac ako 9 000 bytov a súkromných domov a 40 % priemyselným odberateľom.

V dvoch najväčších kotloch, každý s výkonom 108 MW tepelných, sa používal lignit s vysokým obsahom síry. V dôsledku toho tepláreň emitovala do ovzdušia väčšie množstvo znečisťujúcich látok, ako sú limity platné pre budúce roky. Vypracované štúdie ukázali, že alternatíva ekologizácie týchto dvoch kotlov na báze spoluspaľovania dreva a nízkosírnateho hnedého uhlia je po všetkých stránkach najvhodnejšia. Pri 30% podiele dreva bude tepláreň ročne spaľovať okolo 30 000 ton biomasy. Celkové množstvo tepla vyrobeného z dreva dosiahne cca 350 TJ. Mesto Zvolen sa tak stane unikátnym nielen z pohľadu Slovenska.

Súhrn efektov dosiahnutých implementáciou navrhnutého riešenia je nasledovný

- zníženie emisií SO₂ o 1 000 t/rok (47 %) oproti súčasnému stavu,
- zabezpečenie dodržiavania limitu pre emisie SO₂ podľa platnej legislatívy,
- zníženie množstva vypúšťaného CO₂ o cca 37 000 t/rok (17 %) oproti r. 2004,
- kontinuálna kontrola emisných hodnôt a celkového množstva emisií,
- zníženie produkcie popola cca o tretinu (z 25 000 t/rok na 16 700 t/rok),
- znížením tvorby emisií SO₂ prispieva k zlepšeniu kvality ovzdušia vo Zvolene,
- udrжанím únosnej ceny tepla pre obyvateľstvo sa zabezpečí efektívna výroba a dodávka tepla pre Zvolen,
- zvýšenie zamestnanosti v regióne a rozvoj malého a stredného podnikania.

LITERATÚRA

- ASIKAINEN, A., RANTA, T., LAITILA, J. Large scale forest fuel procurement. Woody Biomass as an Energy Source - Challenges in Europe. European Forest Institute. 25 - 28 September 2000, Joensuu, Finland.
- ILAVSKÝ, J., BUBLINEC E. Ecological impact of wood residues harvesting for energy production. In 14th European Biomass Conference, 2005, Paris, France. www.etaflorence.it
- ILAVSKÝ, J., LAITILA, J., TAHVANAINEN, T., ŽIAKOVÁ, M., BAVLŠÍK, J., TUČEK, J., KOREŇ, M., PAPAĽ, V. Štúdiá o dostupných zdrojoch biomasy a ich efektívnom zabezpečení na výrobu energie vo Zvolenskej teplárenskej, a. s. Štúdiá. Joensuu: Finnish Forest Research Institute, 2006, 72 s., nepublikované
- KOREŇ, M., PAPAĽ, V., TUČEK J. Vzdialenosťné analýzy pre trojrozmerné dynamické modelovanie. In Mezinárodní symposium GIS Ostrava 2007, 28. - 31. 1. 2007. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta hornícko-geologická, Institut geoinformatiky. Dostupné na internete http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/
- LAITILA, J., ASIKAINEN, A., SIKANEN, L., NUUTINEN, Y. Harvesting technology and cost of fuel chips from early thinings. In Uusitalo, J., Nurminen, T. & Ovaskainen, H. (eds.): NSR Conference on Forest Operations 2004 - Proceedings. Hyytiälä Forest Field Station, Finland, 30 - 31 August 2004. Silva Carelica, 2004a, vol. 45, s. 99-105.
- LAITILA, J., ASIKAINEN, A., SIKANEN, L., KORHONEN, K. T., NUUTINEN, Y. Pienpuuhakkeen tuo-tannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. [Cost factors of the production of small-sized wood chips and supply logistics.] Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 2004b, no. 3.
- TUČEK, J., SUCHOMEL, J. Geoinformatika v sprístupňovaní lesov a optimalizácii ťažbovo-dopravných technológií – možnosti, stav a perspektívy. Vedecké štúdie 5/2003/B. Zvolen: Technická univerzita. 166 s. ISBN 80-228-1315-X.

ANALYSIS OF BIOMASS RESOURCES AND LOGISTICS OF ITS PROCUREMENT FOR CO-FIRING WITH BROWN COAL IN THE ZVOLEN CHP PLANT

SUMMARY

The sources of biomass in Banská Bystrica region were identified and the total volume of biomass estimated. The growing stock, planned fellings, assortments structure, forests age structure, ownership and other factors were taken into account. Smallwood (under 7 cm in diameter) volume was set to 18% for all tree species and felling types. The limiting factors were defined (protected forests, level 5 of IUCN nature protection, sensitive and poor soils, regions with slope over 50%) and inaccessible biomass was excluded from further calculations.

The total forest land area of the Banská Bystrica region is 453,000 ha. When the limiting criteria referring to the forests categories, nature protection and site fertility were applied, the forest area for calculation of the total wood resource and energy biomass has decreased to 258.3 ths. ha (57.0 %) and the growing stock of biomass to 1,245.1 mil. m³. Application of other limiting factors of technical nature (especially slope inclination), resulted in the potential volume of biomass for energy generation of 302.4 mil.m³, what equals to 18.3 % of the planned annual cut and 24.3 % of the region's total available biomass resource.

Geographical information system (GIS) was used for data processing and spatial analysis. Geographical database containing all thematic layers was built (forest stands, road network, digital elevation model, slope, environmental protection, etc.). The mean transportation distance was calculated for each forest stand, the total volume of biomass was linked to forest stands and restricted by overlay with thematic layers of limiting factors. Finally the amount of exploitable biomass in distance zones was estimated and map outputs created.

After the application of technical limiting factors, according to which all above ground biomass was considered available in forest compartments with slope inclination less than 40 %, only 35 % of it on slopes from 40 to 50 %, and no biomass on slopes over 50%, the total available biomass resource was reduced from original 302.4 ths. m³ to 228 307 m³.

The overall installed output in Zvolen CHP (Central Heat Powerplant) plant is 311 MW in heat production and 44.3 MW in power. Average annual supply to consumers was 800,000 GJ of heat and 103,000 GJ of electricity during last three years. It used pulverized lignite with up to 1 % of sulphur content as fuel. The content of sulphur in emitted flue gas was as high as 3,500 - 4,000 mg SO₂.m⁻³. It caused serious environmental problems in the region. CHP was not able to achieve new emission limits without substantial improvement of technology. Shift from lignite to low-sulphur content brown coal with co-firing of biomass has been identified economically most feasible and environmentally acceptable solution. Two boilers, each with the output of 108 MWt, were reconstructed for co-firing of pulverized low sulphur brown coal and biomass. Biomass will share up to 30% of the combusted fuel. Annual chips consumption will be up to 30,000 tons. Also environmental issues have been analyzed. Emissions after the reconstruction will be within the limits in force after 1 January 2008, i. e. 1,400 mg SO₂.m⁻³, 600 mg NO_x.m⁻³, 250 mg CO.m⁻³ and 50 mg fly ash.m⁻³.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Ján Ilavský, Finnish Forest Research Institute, Joensuu Research Unit
Yliopistokatu 6, PL 68, Fin - 80101 Joensuu, Finland
e-mail: jan.ilavsky@metla.fi

BIOCHEMIE EKOLOGICKÝCH PROCESŮ V ZONÁLNÍCH LESNÍCH PŮDÁCH. REVIEW

BIOCHEMISTRY OF ECOLOGICAL PROCESSES IN THE ZONAL FOREST SOILS. REVIEW

PAVEL SAMEC

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, pobočka Frýdek-Místek

ABSTRACT

Composition, dynamics and functions of aboveground and/or belowground biomass are integral needs to interest in forest ecological processes. We derived forest ecosystem to macrosystem, composed from many microsystems. The macrosystem comprises attendance of all spheres including biosphere of forest ecotope. The microsystem comprises scale of microspheres (leaves, bark, litter-fall, soil). Macrospheres and microspheres are the most interactive in soil rhizosphere. There are not known in same rate. We deduced some questions: First, what way is true for separation of activity of particular groups of the soil microorganisms and plants to identify their real potential in nutrient cycles and forest ecological stability? Second, how soil microorganisms participate in total forest resilience when they build species-specifically linkages in plant rhizosphere and induce coevolution. The equivocation of the answers is caused by absence of runtime methods for soil microsystems observing. Analysis of DNA can provide any explicit conclusion but some runtime methods are concentrated only to total effects of biological activity or enzymatic activity. Specifically, research in biological activity of particular functional groups of the soil microorganisms based on DNA is aimed to get clear results. Another true interpretation for forest ecology is to define limits by closeness of root biomass measurement.

Klíčová slova: půdní biochemie, mikrosféry, geobiocenóza, rhizosféra, respirace**Key words:** soil biochemistry, microspheres, geobiocoenosis, rhizosphere, respiration

ÚVOD

Živá příroda udržuje principy rovnováhy s neživým prostředím tak, aby při své adaptaci na změny mohla stále existovat v rovnováze s okolím. Největší stability dosahují vždy ta společenstva, která s okolím vyměňují nejméně energie. Protože ekotop je heterogenní, uplatňují se v něm i heterogenní společenstva. Vlastnosti ekotopu se mění i v čase, proto se v čase mění i potenciální uplatnění jednotlivých společenstev.

Popis růstových nároků evropských temperátních lesů se děje zohledněním mnoha činitelů. Tyto činitele se projevují jako endogenní nebo exogenní. Endogenní činitelé bývají hodnoceny na základě sledování fyziologie dřevin, jejich produkce a kompetice. Exogenní činitelé bývají sledovány jako množina klimatických, orografických, hydrických a půdních vlivů, které působí na růst nejen hlavních druhů lesních dřevin, ale i na celkovou dynamiku lesa. Metody studia ekologických nároků lesů se dělí na ekofyziologické, dendroekologické a fytocenologické (DAVI et al. 2005).

Popis lesa jako makrosystému poskytuje jiné možnosti pro interpretace, než jaké lze získat popisem různých mikrosystémů uvnitř studovaného makrosystému. Většina poznatků o ekologii lesa pochází z nadzemních šetření. Vypracováno bylo ale poměrně málo studií, které by jednotně vyhodnocovaly nadzemní a podzemní složky lesů. GRIFFITHS et al. (2000) ukázali, že půdní mikrosystémy významně ovlivňují celý makrosystém. Změny v biodiverzitě půdních mikrobů se odrazily ve změnách chodu celého ekosystému. Přístupy k řešení této problematiky se opírají o popisné studie definující geobiocenózu (ZLATNÍK 1976, SUKAČEV 1945), i o studie ekologické, popi-

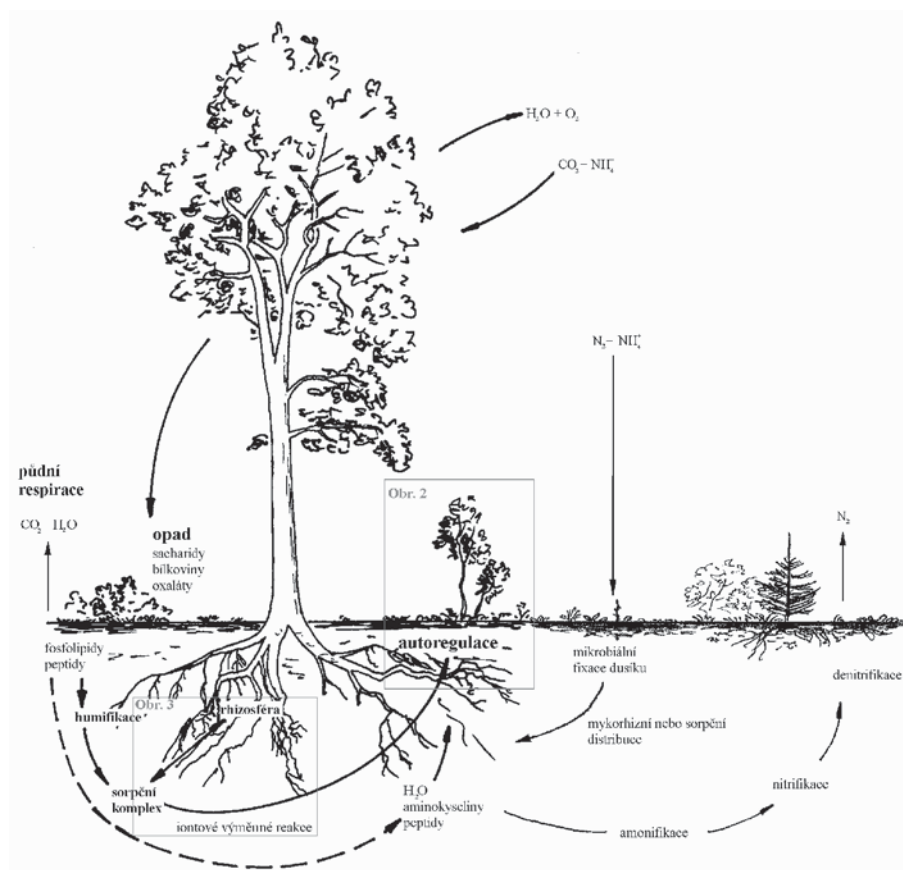
sující koloběh látek v prostředí lesa (KÁŠ 1964, KONONOVA 1963, KLIMO 1985). Studium látkových koloběhů umožnilo exaktní rozdělení lesa na množinu mikrosystémů.

Cílem této studie je představit poznatky o principech zpětných vazeb mezi neživými a živými složkami lesů (FINZI et al. 1998, BARDETT, SHINE 1999, GRIFFITHS et al. 1997). Z nich vyplývají dva okruhy otázek: (1) Jakým způsobem oddělit působení jednotlivých skupin půdních organismů a rostlin, aby mohl být zjištěn jejich skutečný potenciál v látkových kolobězích a ekologické stabilitě lesa? (2) Jak se na celkové resilienci lesa podílejí půdní mikroorganismy, když vytvářejí druhově specifické vazby v rhizosféře rostlin a indukují koevoluci? Problematika experimentálního spojení lesních mikro- a makrosystémů je v tomto příspěvku nastíněna se zřetelem ke středoevropským bučinám, které zastupují hlavní zonální lesy celé středoevropské provincie (OLSON et al. 2001) s mnoha jedinečnými adaptacemi.

EKOLOGIE LESA

Makrosystém lesa

Při výzkumu ekologie lesů se uplatňuje několik modelů. Pro biometrický popis dřevinné složky bývají používány korelační funkce s interpretacemi významnosti výsledků pomocí různých indexů (SIMON 2003). Látkové toky v ekosystému bývají měřeny pomocí ekofyziologických metod, které sledují interakce látek na rozhraní půda – vegetace – atmosféra. Fyziologické procesy v rostlině mohou být analyzovány jako mnohorozměrné soubory parametrů, které mají



Obr. 1.

Zobecněný model vztahů v soustavě rostlina – půda – atmosféra ukazuje nenahraditelnou roli biologických látek v dekompozici, autoregulaci a půdní sorpci lesního ekosystému. Úspěšnost přirozené obnovy lesa závisí na schopnosti půdních organismů selektovat při dekompozici a humifikaci fytohormonální látky, které podporují klíčení semen (obr. 2). Proto i funkce kořenů těsně závisí na vlastnostech půdního sorpčního komplexu a jsou usměrňovány tak, aby je maximálně využívaly (obr. 3).

Generalized view on relationships in plant – soil – atmosphere order shows an unprecedented role of biological substances during decomposition, self-regulation and soil sorption in forest ecosystem. A success in forest natural regeneration depends on ability of soil organisms to select phytohormonal substances during decomposition and humification that support nut germination (Fig. 2). That is why root functions depend on soil sorption properties closely and its functions are regulated to maximum effectiveness (Fig. 3).

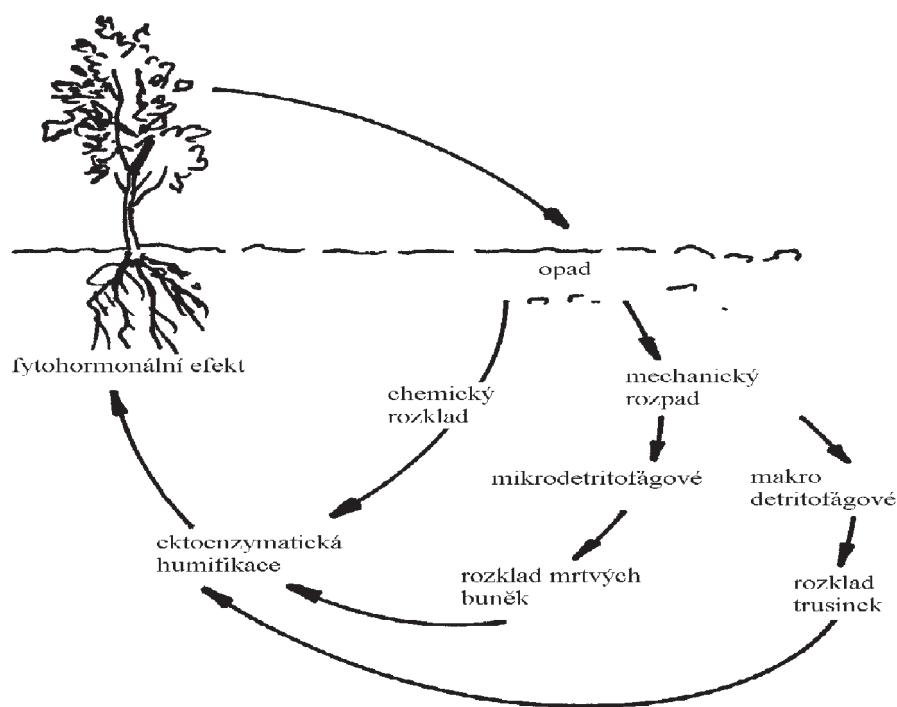
souvislost s látkovými toky v půdě a cykly uhlíku (energie) a vody. Toky látek a energie v soustavě rostlina – půda – atmosféra jsou vyjadřovány jako rozdíly mezi mírou fotosyntézy a celkovou respirační systémem. Pro modelování toků uhlíku (PAVELKA et al. 2003, NGAO et al. 2005) a vody (STŘELCOVÁ et al. 2004, ČERMÁK, KUČERA 1990) v bukových porostech byly jako neefektivnější využity kombinace dendrometrických růstových modelů a modelů látkových toků (DAVI et al. 2005). Metodicky vyhraněný problém představuje popis koloběhu dusíku, přestože se překrývá s hlavními toky energie v ekosystému (obr. 1).

Dendroekologické metody vycházejí z poznatků o dynamice lesa. Dynamika lesa je zjišťována na základě opakovaných dendrometrických měření, kdy se zjišťují změny zásoby dřevní hmoty v čase. Dávají se do souvislosti se zásobou nadložního humusu a změnami objemu mrtvého dřeva, které se specificky podílejí na přirozené obnově a humifikaci (CHRISTENSEN et al. 2005). Za optimálních podmínek se na zkracování délky života dřeviny aktivně podílejí zejména primárně parazitické a saproparazitické houby. Na účasti hub závisí látkové koloběhy. Zároveň jimi působená dekompozice dřevní hmoty je prostředkem k uvolnění nik pro následnou generaci lesa. Fluktuace objemu mrtvého dřeva v bučinách jsou

zpravidla výraznější v nižších polohách a naopak stabilnější v horských polohách, možná jsou i výsledkem rozdílné míry disturbance a rozdílné míry ohrožení porostů vichřicemi. V přírodních bučinách stromy zpravidla odumírají nastojato a vyvráceny bývají až později. Průměrně ovšem ležící mrtvé dřevo tvoří významnější složku celkového objemu mrtvé dřevní hmoty než stojící odumřelé kmeny. Procento mrtvého dřeva vzhledem k živým stromům roste v horských polohách až téměř na dvojnásobek oproti bučinám nížinným až podhorským.

Proměnné modelů toků uhlíku a vody v bukových lesích jsou závislé na globální radiaci, atmosférických srážkách, rychlosti větru, vlhkosti vzduchu a na teplotě. Důležité pro funkce lesa jsou zejména fotosyntéza, respirace vegetace a bilance půdní vody (DUFRÈNE et al. 2005). Tyto veličiny zároveň mají deterministickou neurčitelnost. Ani popis deterministické neurčitelnosti však nedokáže zcela vysvětlit rozdíly mezi modelovými simulacemi koloběhů látek a jejich skutečně měřenými hodnotami. Vypočítat okamžité hodnoty výměny sledovaných látek mezi rostlinou a atmosférou umožňuje např. metoda vířivé kovariance.

Kovariance je střední hodnota součinu odchylek několika náhodných veličin od jejich středních hodnot. Vířivá kovariance

**Obr. 2.**

Při rozkladu bukového opadu a jiných zbytků vznikají látky se selektivními hormonálními účinky, které indukují klíčení bukových semen a růst následné generace lesa

The components with selective hormonal effects are produced during the beech litter decomposition and induce a beech nuts germination as well as growth of new forest generation

počítá střední hodnotu ze součinů sumy parciálních středních hodnot a jejich kladných odchylek hustoty média, rychlosti výměny látky a poměru změn koncentrací sledovaných látek v médiu. Věřívá kovariance dokáže dobře detekovat rozdíly mezi simulovaným modelem a měřenými hodnotami. Snížení těchto rozdílů je možné při vyjádření roční bilance měřených látek ze sumy lokálních toků (DAVI et al. 2005).

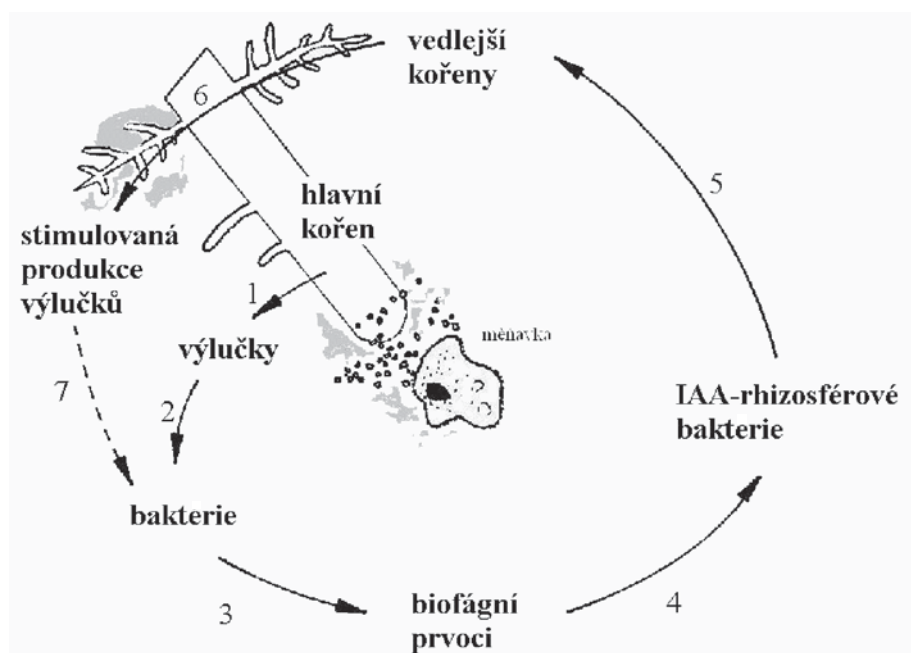
Látkové vstupy do půdy ovlivňují zpětné vazby ekosystému. Vegetační změny zákonitě souvisejí s dynamikou populací lesních dřevin. Při poklesu kruhové výčetní základny lesního porostu, rozvolnění zápoje a rozkladu mrtvého dřeva bývá vliv dřeviny na půdu částečně nahrazován jinými zástupci společenstva. Zpětný vliv půdy na stabilitu lesního porostu spočívá v působení minerální složky, především pak sorpčních schopnostech půdního jílu. To se odráží v přeměnách organo-minerálního matrix až do sloučenin tvořících půdní humus a půdní sorpční komplex, lišících se díky anizotropii listového nebo dřevního opadu (PATZEL, PONGE 2001). Listový opad má příznivější C/N a neobsahuje lignin, takže může být rychle humifikován. Je-li v půdě přirozeně dostatečná zásoba bází, jsou humusové látky stabilizovány a tím je i zvýšen účinek sorpčního komplexu na výživu dřevin. Zvláště buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) dokáže účinně využívat zpětných vazeb s půdou.

Mikrosystémy lesa

Lesní mikrosystémy jsou tvořeny mikrobiálními nikami. Významné mikrosystémy se nacházejí na listech v korunách stromů, na bázích kmenů, na opadu a především v půdě. Vázané mikroorganismy uplatňují pouze takové genotypy, schopné trvale snášet působení

daného stresoru. Tyto mikrosystémy jsou komplexně propojeny a dohromady tvoří celou geobiocenózu. Jsou strukturované, mají vysokou diverzitu, rychlou sukcesí a evoluci. V půdě jsou makrosystém a mikrosystémy spojeny díky rhizosféře. Její biofyzikální vlastnosti významně mění v kořenové výlučky (READ et al. 2003). Zvláštního významu v kořenových výlučkách dosahují mimobuněčné nenasycené mastné kyseliny. Tyto lipidy dokáží v rhizosféře snížit obsah vody až o 10 %. Tehdy lecitin uvolňuje organické fosfáty ze sorpčního komplexu do půdního roztoku. Také snižuje poměr spotřeby amoniaku a produkce nitrátů.

V bukových porostech dochází ke snížení fluktuací vnitropůdních procesů. Nižší intercepce srážek a vyplavování aniontů v listnatých porostech i nižší vyplavování organických kyselin do podloží půdních horizontů ovlivňují interakce půdních minerálních částic a humusových kyselin (FINZI et al. 1998). Schopnost asociace mezi organickými a jílovými koloidy klesá se snižující se hodnotou pH. V oligotrofních podmínkách se selektivně i horizontálním přenosem genů vyvíjí takové druhy, přizpůsobené na nízkou přístupnost živin (RENGER, MARSCHNER 2005). V bučinách dochází k efektivnější humifikaci a blokaci látek před jejich vyplavováním než ve smrkových nebo borových porostech. Půdní produkce huminových kyselin z přeměn bukového organického matrix vyvolává fytohormonální efekty u všech rostlin v bučinách (obr. 2). Tyto účinky se podobají působení auxinů nebo giberelinů a jsou umocňovány v interakci s rostlinným isoenzymatickým polymorfismem. Hormonální účinky huminových látek na růst lesa se různí v závislosti na pH a C/N stanoviště. V kyselém prostředí se hormonální účinek huminových kyselin podobá spíše auxinům, zatímco v neutrálním prostředí se tento



Obr. 3.

Rhizosféra je prostředím s řadou zpětnovazebných vztahů mezi rostlinou, bakteriemi a prvky. Rostlinné kořeny produkují výlučky (1), které slouží jako živný substrát pro různé mikroby (2), jejichž populace jsou následně konzumovány biofágními prvky (3). Selektivita dravých prvoků při vyhledávání kořisti se v půdním prostředí odráží v podpoře populací rhizosférových bakterií, produkujících indolyl-3-acetové kyseliny (IAA). IAA látky působí jako stimulatory růstu kořenového vlášení (5 - 6) a rovněž působí i na stimulaci kořenové exsudace. Zvýšená kořenová exsudace vede zpětně ke stimulaci růstu bakterií (7), aktivitě dravých prvoků a růstu IAA-rhizosférových bakterií (podle BONKOWSKI, BRANDT 2002)

Rhizosphere has a lot of feedbacks with plant, bacteria and protozoans. Plant roots produce exudates (1) that are nutrient medium for microorganisms (2) which populations are sequentially consumed by biophagous protozoans (3). Selectivity of the protozoans during hunting results in suggestion of rhizosphere bacteria producing indolyl-3-acetate acids (IAA). IAA induces fine root growth (5 - 6) such as root exudation. Induced root exudation leads back to further bacterial growth (7), activity of biophagous protozoans and IAA-bacterial population growth (after BONKOWSKI, BRANDT 2002)

efekt podobá spíše giberelinům (PIZZEGHELLO et al. 2001). Rovněž rhizosférové bakterie produkují látky (indolyl-3-acetové kyseliny) (IAA), vyvolávající hormonální efekty podobné působení auxinů na kořenové systémy. Produkce těchto látek bývá stimulována aktivitou samotných rostlinných kořenů, které produkují exsudáty, sloužící jako substrát pro bakterie, konzumované přednostně biofágními prvky (obr. 3 - 4). Následně se mohou poměrně nerušeně pomnožovat právě IAA-rhizosférové bakterie, jejichž metabolity hormonálně působí na rostliny (BONKOWSKI, BRANDT 2002).

Velmi rozšířenou adaptací lesních dřevin na nedostatek živin jsou mykorhizní symbiózy. Díky mykorhize je kořenový systém nejen rozšířen, ale jedinečným způsobem se mění jeho funkce (GRYNDLER et al. 2004). Mykorhizy zásadně mění dynamiku kořenů většiny rostlin. Mykorhizní symbiózy jsou důležitým fenoménem při všech hodnoceních výživy lesních dřevin a jejich změn. U temperátních lesních dřevin je dominantně přítomna ektomykorhizní symbióza. Tvorba ektomykorhiz silně závisí na stanovištních podmínkách a schopnosti rostliny vytvářet jemné kořeny. Tvorba jemných kořenů může být omezena nedostatkem vody i živin, proto se ektomykorhizy soustřeďují v nadložním humusu, příp. v organominerálním půdním horizontu (PEŠKOVÁ 2005). Houby jsou acidotolerantní a omezují růst bakteriálních kolonií, takže v oligobazických podmínkách omezují i blokaci živin v bakteriální biomase. Antagonismy mezi půdními houbami a bakteriemi jsou součástí

širokého spektra faktorů závislých na různém pH, které ústí i do rozdílné dynamiky bučin na živných a kyselých stanovištích (PATZEL, PONGE 2001, KENNEDY, PITMAN 2004). V živných bučinách jsou antagonismy mykorhizních hub částečně nahrazeny dynamickou rovnováhou mezi IAA-rhizosférovými bakteriemi a prvky.

FUNKČNÍ DIVERZITA PŮDY

Systém ekologické stability půdy

V půdních mikrosystémech jsou ekologické procesy a evoluce velmi těsně spjaty. Jejich konečné efekty ústí až do odezvy celého ekosystému na změnu vnějších podmínek. Ekologický výzkum skladby a funkcí jednotlivých půdních mikrobiálních společenstev však zatím stále nemá ucelené výsledky (NANNIPIERI et al. 2003). Výsledky dosažené při sledování funkcí jednotlivých půdních mikrosystémů zpravidla informují o mikrobiálně usměrňovaných reakcích, které mají vztah jen k obecnému projevu daného procesu.

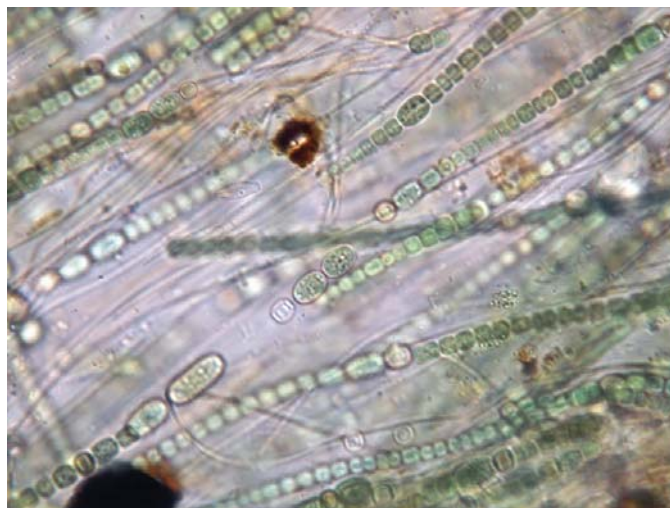
Pro biomasu i aktivitu většiny půdní mikroflóry ve svrchních půdních horizontech je důležitá dynamika kořenů. Nejrychlejší dynamický průběh má kořenové vlášení - vychlípeniny buněk kořenové epidermis aktivní jen 10 – 20 dní, které jsou bohatým zdrojem látek pro mnoho heterotrofních mikrobus. Ektomykorhizy zastavují tvorbu kořenového vlášení, takže snižují objem živných substrátů



Obr. 4.

Společenstva půdních prvoků z rodů *Colpoda* (vlevo a dole) a *Paramecium* (uprostřed) jsou typická pro nadložní humus v přirozených lesích

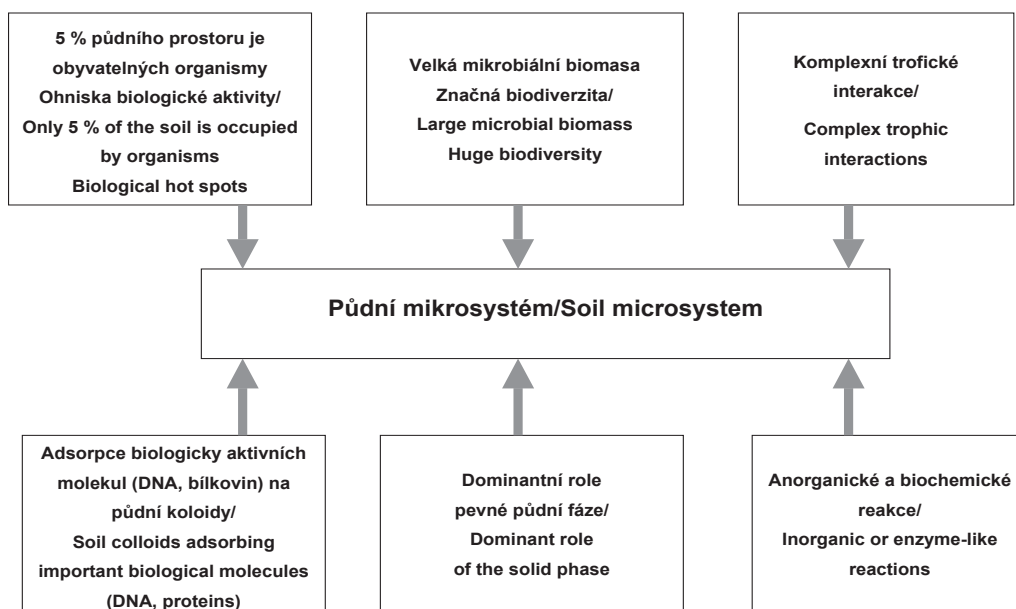
Communities of soil protozoans from genera *Colpoda* (left and down) and *Paramecium* (midway) are spread in surface humus of natural forests



Obr. 6.

Koloniální (*Cylindrospermum* sp.) i kokální (cf. *Synechococcus* sp.) sinice hojně osidlují prameniště a zarůstající tůň. Jsou konkurenčně zdatnější, takže snižují populační hustotu rozsivek

Colonial (*Cylindrospermum* sp.) and single cell (cf. *Synechococcus* sp.) cyanophytes substantially settle spring areas or forest invasion pools. They are more successful in competition and restrict population abundances of diatoms



Obr. 5.

Schéma uspořádání biologických a fyzikálně-chemických procesů v půdě (podle NANNIPIERI et al. 2003)

Organisation of biological and physicochemical processes in soil (after NANNIPIERI et al. 2003)

pro bakterie. Snížený růst kořenů ektomykorhizy vyrovnávají růstem hyfového pláště a dalších myceliálních struktur. Naopak, endomykorhizy podporují růst kořenového vlášení. Hlavní funkcí mykorhiz je, že dokáží přijaté minerální látky kumulovat a v období nedostatku je pak předávat hostitelské rostlině (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2006). Svými extracelulárními výlučky působí biochemický rozklad apatitu, z něhož váží vápník i fosfor, aniž by tyto prvky procházely přes sorpční komplex (BLUM et al. 2002). Tato schopnost mykorhizních symbióz významně ovlivňuje látkové toky a kumulaci bázi v organické hmotě, čímž mykorhizní soustavy ovlivňují stabilitu humusu i celkovou pufrací schopnost půd. Biochemické zvětrávání apatitu vyrovnává ztráty vápníku vyluhováním. Ale mykorhizní systém citlivě reaguje na acidifikaci, vápnění a hnojení, takže půdní pufrace je stabilní jen při ochraně symbióz a přirozených antagonismů uvnitř půdního subsystému. PEŠKOVÁ, SOUKUP (2006) shrnují tyto indikace narušených lesních prostředí:

- Poměr počtu mykorhizních druhů hub s nemykorhizními, kdy zejména v imisně zatížených lesích byl pozorován nárůst saprofytických hub a úbytek mykorhizních hub (PAVLÍK 1999).
- Poměr aktivních a neaktivních mykorhiz společně s počtem druhů mykorhizních hub záporně koreluje s podílem silně defoliovovaných stromů.
- Kladná korelace mezi indexem asimilační kapacity produkční části koruny stromu a počtem plodnic ektomykorhizních druhů hub dokumentuje poškození lesních porostů (CUDLÍN et al. 1999).
- Úbytek aktivních mykorhiz po vápnění nebo hnojení lesních půd nastává nejen v důsledku zvýšené hodnoty pH (omezující obecné výskyt hub), ale také díky zvýšené dynamice dusíku.

Koloběhu dusíku v lesích bývá věnována značná pozornost. Jeho zpřístupnění začíná rozkladem bílkovin a aminokyselin, které katalyzují specifické proteázy. Půdní proteázy zpřístupňují aminokyseliny pro rostlinné kořeny i detritofágy (obr. 1). Jejich aktivita závisí na obsahu vápníku, který je dokáže stabilizovat před autolýzou. Především ve zdevastovaných lesích a iniciálních lesních půdách souvisí zabezpečení toku dusíku a jeho zpřístupnění pro rostliny se zajištěním všech následných sukcesních, resp. regredačních procesů. To se projevuje ve schopnosti půdní bioty zpětnovazebně reagovat na stresové podmínky a podílet se tak na půdní resilienci. Některé půdní kvasinky dokáží pro zajištění trvalého dostatku volných aminokyselin měnit produkci a skladbu vylučovaných proteáz podle aktuálně dostupného substrátu, eventuálně dokáží přejít od rozkladu odumřelé hmoty k rozkladu živých tkání (DOSTÁL et al. 2005).

Separace zdrojů půdní biologické aktivity

Základním projevem biologické aktivity půdy je respirace. Tento projev přímo závisí na teplotě a indikuje míru dekompozičních procesů stejně jako limity vázání uhlíku v půdě. Obvykle bývá měřena celková půdní respirace. Pro určení míry půdní mineralizace se rozlišuje respirace bazální a respirace indukovaná (GRUNDA 1985). Problémem zůstává separace zdrojů půdní respirace, která dosud je většinou odhadována. Cílem je stanovit potenciální míru dekompozice hmoty jednotlivých funkčních skupin půdních organismů (SINGH, GUPTA 1977, EDWARDS 1991). V lesích a stepích se na celkové půdní respiraci významně podílí dýchání kořenů (HANSON et al. 2000). Dýchání kořenů je autotrofní respirací. Při tlení kořenů je pozorováno dýchání aerobních rozkladačů (heterotrofní respirace). Aby mohla být respirace kořenů vyjádřena z celkové respirace půdy, je kladen zvláštní důraz na vyšetření právě kořenové biomasy a míry její dekompozice (EDWARDS, HARRIS 1977). Lesnický uplat-

nitelné je zejména zjišťování kořenové biomasy z regresní funkce s výčetní tloušťkou (DO-HYUNG 2001). NAKANE (1978) navrhl, aby respirace kořenů byla odhadována pomocí exponenciálního vztahu s biomasou a potenciální rychlostí jejího rozkladu. Na základě tohoto předpokladu LEE et al. (2003) provedli pokus, kdy z rozdílu celkové respirace a respirace kořenů zjišťovali možnou respiraci půdních heterotrofů.

Půdní respirace bývá zpravidla korelována s aktivitou půdní katalázy. Pro zjištění jejího projevu v látkových kolobězích bývají hledány korelace s aktivitou různých hydrolytických enzymů. Na lesních stanovištích se jako indikačně důležité ukázaly vztahy půdní respirace a aktivity ureázy a fosfatáz (COHRAN et al. 1989). Mohou upozorňovat na změny v mikrobiálních společenstvech i resilienci lesa vlivem různých stresů (SPARLING et al. 1986).

Současně se separací zdrojů půdní respirace se předpokládá i separace jednotlivých funkčních skupin půdní bioty. Při popisu projevů a abundance jednotlivých funkčních skupin půdních mikroobů je nezbytné rozlišení aktivních a neaktivních buněk. Jedná se o odlišení DNA a RNA v živých buňkách a DNA v půdě. Taková analýza poukazuje na skutečné vazby živých buněk s prostředím na rozdíl od enzymů a DNA vázaných v půdním sorpčním komplexu (obr. 5). Zvláště je možné sledovat funkce nižších i vyšších taxonů v půdě.

Půdní mikrobiální společenstva a globální změna

Pozorování mikroevoluce bakterií ukazují, že i při značné mutabilitě a schopnosti vytvářet stále další druhy, maximálně zachovávají své metabolické strategie. V krajních případech (klimatická změna, změny půdního prostředí) je již předpokládán přechod saprofytů k parazitickým způsobům výživy (WILKE et al. 2001). Řasy a sinice naopak v reakci na klimatickou změnu vstupují do kvalitativně jiných symbióz s heterotrofy, čímž dokáží působit jako účinný faktor substituce, aniž by u heterotrofů docházelo k přechodu na patogenní strategii (ELSTER, BENSON 2004).

Je obtížné zjistit, zda půdní biota dokáže klimatické změně a jiným dlouhodobým stresům čelit jiným způsobem (např. změnou areálu) než změnami životních strategií. K potvrzení této domněnky chybí podrobné zprávy o mikrobiální biogeografii. U prvoků a hub byly zjištěny významné rozdíly v druhovém složení mezi jižní a severní polokoulí (FOISSNER 1999). Zejména parazitické druhy bývají zpravidla úzce vázány na areál hostitele (ČERNÝ 1970). Naopak, u sinic a bakterií je známo mnoho kosmopolitních rodů (obr. 6). Rychlá druhová diverzifikace ale vylučuje jednoduchou představu o jejich ubiquitní přítomnosti. Za předpokladu, že půdní mikroorganismy jsou v přírodě rozšířeny v omezených územích, celková mikrobiální diverzita může být obrovská. Ještě větší může být funkční diverzita daného biotopu, pokud v neopakovatelných celcích mikrobi a houby tvoří specifické vazby s rostlinami a živočichy. Aproximativně ani deskriptivně nebyla dosud úplná funkční diverzita žádného ekosystému popsána (NANNIPIERI et al. 2003), zato její neznámá složka je charakterizována jako funkční redundance (BIANCHI, BIANCHI 1995). Funkční redundance znamená, že celková funkční diverzita systému je větší, než je možné stanovit.

Při klimatické změně dochází k areálovým změnám zejména v horách (na horní hranici lesa) a na hranici polární tundry. V temperátních nebo i boreálních lesích k významným posunům vegetace nedochází. V souvislosti s tím lze předpokládat, že v oblastech vegetačních posunů se mohou měnit i životní strategie půdní bioty. Změny symbióz při zachování základních metabolických drah jsou

předpokladatelné hlavně v neexponovaných temperátních ekosystémech. Kriticky se mohou projevat zejména výchyly v produkci biomasy, kdy může hrozit i vyčerpání potravních zdrojů.

ZÁVĚR

Při studiu ekologických procesů vyvstává problém, zda je skutečně účelné pozorovat daný jev jako výsledek právě jednoho činitele, nebo zda jej chápat jako výsledek působení mnoha vlivů současně. První způsob předpokládá zjednodušení dané soustavy natolik, aby bylo možné sledovat přímou vazbu jedné veličiny na jinou. Je vhodný pro laboratorní řízené podmínky, v lesním prostředí nemusi fungovat spolehlivě. To řeší druhý přístup, který ale je náročný na přesné vyjádření všech působících faktorů.

Znamé ekologické faktory mají svérázné projevy v makrosystémech i mikrosystémech. Přesto je nelze hodnotit odděleně. Makrosystémy a mikrosystémy jsou vzájemně propojeny. Makrosystém lesa podmiňuje mikrosystémy opadem, výlučky a vytvářením mikroklimatu. Mikrosystémy ovlivňují makrosystém tvorbou a přeměnamí humusu, zpřístupňováním a transportem živin i produkcí látek s hormonálními účinky. Obě složky lesa se společně projevují respirací, růstem biomasy a produkcí řady enzymů.

Na úrovni lesního makrosystému se sledují druhové složení a ekologie makroskopických organismů, objem a změny biomasy, zásoba humusu, látkové koloběhy a vlastnosti ekotopu. Na úrovni mikrosystému se sleduje zejména druhové složení a ekologie mikrobů, respirace a půdní biochemie. Systémové spojení obou pozorovacích úrovní umožňuje studium respirace a půdní biochemie. Separace zdrojů půdní respirace nebo rozbor DNA jsou prostředky ke sledování a rozlišení jednotlivých funkčních skupin mikroorganismů.

Aktivita specifických půdních enzymů nabízí způsob pro vysvětlení příčinných vazeb nejen biologické aktivity půdní bioty, ale i pro pochopení širších vztahů mezi půdní živou a neživými fázemi. Užití nepřímých (numerických) metod k teoretickému oddělení jednotlivých funkčních skupin zdrojů půdní biologické aktivity je velmi složité a nejasné. Problematické je odlišení aktivit půdních enzymů uvolněných přímo z buněk od aktivit enzymů, které jsou poutány na půdních koloidech, a zjištění zdrojového druhu organismu těchto látek.

Přímé srovnání intenzity respirace s aktivitou biologicky uvolněných enzymů vybrané skupiny organismů je teoreticky bez redundancy, a tím je i lepší pro srovnání modelů měřených a teoretických jevů. Posuzování aktivity pouze půdně vázaných enzymů s fyzikálními a chemickými půdními vlastnostmi nabízí jednoznačný výsledek o vlivu půdního substrátu na biochemii.

Metody pro separaci půdní biochemické aktivity nejsou provozně zpracovány. Zvláštní využití půdní biochemie a půdní biologie pro kvantifikaci funkcí půdy je rovněž omežováno nejasnostmi o ekologické biogeografii půdních mikrobů, nestanovenou funkční diverzitou i nestanovenou dynamikou kořenové biomasy. Jasná projekce velikosti a významnosti biologické aktivity půdy v geografických měřítkách je ještě nemožná.

LITERATURA

- BARDETT, R. D., SHINE, A. Linkages between plant litter diversity, soil microbial biomass and ecosystem function in temperate grasslands. *Soil Biology & Biochemistry*, 1999, vol. 31, s. 317-321.
- BIANCHI, A., BIANCHI, M. Microbial diversity and ecosystem maintenance: an overview. In Allsopp, R. R., Colwell, R. R., Hawksworth, D. L. (eds.): *Microbial Diversity and Ecosystem Function*. Wallingford: CAB International, 1995, s. 185-198.
- BLUM, J. D., KLAUE, A., NEZAT, C. A., DRISCOLL, C. T., JOHNSON, C. E., SICCAMA, T. G., EAGAR, C., FAHEY, T. J., LIKENS, G. E. Mycorrhizal weathering of apatite as an important calcium source in base-poor forest ecosystems. *Nature*, 2002, vol. 417, s. 729-731.
- BONKOWSKI, M., BRANDT, F. Do soil protozoa enhance growth by hormonal effects? *Soil Biology & Biochemistry*, 2002, vol. 34, s. 1709-1715.
- COHRAN, V. L., ELLIOT, L. F., LEWIS, C. E. Soil microbial biomass and enzyme activity in subarctic agricultural and forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1989, vol. 7, s. 283-288.
- CUDLÍN, P., CHMELÍKOVÁ, E., MALENOVSKÝ, Z., ZEMEK, F., HEŘMAN, M. Zjišťování vztahů mezi fruktifikací ECM hub a stanovištními faktory na trvalých výzkumných plochách pomocí „MINI GIS“. In Jankovský, L., Krejčíř, R., Antonín, V. (eds.): *Houby a les*. Brno: MZLU, 1999, s. 27-30.
- ČERMÁK, J., KUČERA, J. Scaling up transpiration data between trees, stands and watersheds. *Silva Carelica*, 1990, vol. 15, s. 101-120.
- ČERNÝ, A. *Lesnická fytopatologie*. Praha: SZN, 1970. 274 s.
- DAVI, H., DUFRÈNE, E., GRANIER, A., LE DANTEC, V., BARBAROUX, C., FRANCOIS, C., BRÉDA, N. Modelling carbon and water cycles in a beech forest Part II: Validation of the main processes from organ to stand scale. *Ecological Modelling*, 2005, vol. 185, s. 387-407.
- DO-HYUNG, L. Relationship between above and below-ground biomass for Norway spruce (*Picea abies*): Estimating root system from breast height diameter. *Journal of Korean Forestry Society*, 2001, vol. 90, s. 338-345.
- DOSTÁL, J., DLOUHÁ, H., MALOŇ, P., PICHOVÁ, I., HRUŠKOVÁ, O. The precursor of secreted aspartic proteinase Sapp1p from *Candida parapsilosis* can be activated both autocatalytically and by a membrane-bound processing proteinase. *Biological Chemistry*, 2005, vol. 366, s. 791-799.
- DUFRÈNE, E., DAVI, H., FRANCOIS, C., LE MAIRE, G., LE DANTEC, V., GRANIER, A. Modelling carbon and water cycles in a beech forest Part I: Model description and uncertainty analysis on modelled NEE. *Ecological Modelling*, 2005, vol. 185, s. 407-436.
- EDWARDS, N. T. Root and soil respiration responses to ozone in *Pinus taeda* L. seedlings. *New Phytologist*, 1991, vol. 118, s. 315-321.
- EDWARDS, N. T., HARRIS, W. F. Carbon in a mixed deciduous forest floor. *Ecology*, 1977, vol. 58, s. 431-437.
- ELSTER, J., BENSON, E. E. Life in the polar terrestrial environment: a focus on algae. In Fuller, B., Lane, N., Benson, E. E. (eds.): *Life in the Frozen State*. Washington: CRC Press, 2004. s. 111-150.
- FINZI, A. C., CANHAM, C. D., VAN BREEMEN, N. Canopy tree soil interactions within temperate forests: Species effects on pH and cations. *Ecological Applications*, 1998, vol. 8, s. 447-454.

- FOISSNER, W. Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1999, vol. 74, s. 95-112.
- GRIFFITHS, B. S., RITZ, K., BARDGETT, R. D., COOK, R., CHRISTENSEN, S., EKELOUND, F. Ecosystem response of pasture soil communities to fumigation-induced microbial diversity reductions: an examination of the biodiversity-ecosystem function relationship. *Oikos*, 2000, vol. 90, s. 279-294.
- GRIFFITHS, B. S., RITZ, K., WHEATLEY, R. E. Relationship between functional diversity and genetic diversity in complex microbial communities. In Insam, H., Rangger, A. (eds.): *Microbial Communities. Functional versus Structural Approaches*. Berlin - Heidelberg: Springer Verlag, 1997, s. 1-9.
- GRUNDA, B. Activity of decomposers and processes of decomposition in soil. In Penka, M., Vyskot, M., Klimo, E., Vašíček, F. (eds.): *Floodplain Forest Ecosystem I. Before water management measures*. Praha: Academia, 1985, s. 389-414.
- GRYNDLER, M., BALÁŽ, M., HRŠELOVÁ, H., JANSÁ, J., VOSÁTKO, M. Mykorhizní symbióza. Praha: Academia, 2004. 362 s.
- HANSON, P. J., EDWARDS, N. T., GARTEN, C. T., ANDREWS, J. A. Source separating root and soil microbial contributions to soil respiration: A review of methods and observations. *Biogeochemistry*, 2000, vol. 48, s. 115-146.
- CHRISTENSEN, M., HAHN, K., MOUNTFORD, E. P., ÓDOR, P., STANDOVÁR, T., ROZENBERGAR, D., DIACI, J., WIJDEVEN, S., MEYER, P., WINTER, S., VRŠKA, T. Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 210, s. 267-282.
- KÁŠ, V. Zemědělská mikrobiologie. Praha: SZN, 1964. 463 s.
- KENNEDY, F., PITMAN, R. Factors affecting the nitrogen status of soils and ground flora in beech woodlands. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 198, s. 1-14.
- KLIMO, E. Cycling of mineral nutrients. In Penka, M., Vyskot, M., Klimo, E., Vašíček, F. (eds.): *Floodplain forest ecosystem I. Before water management measures*. Amsterdam: Elsevier Science Ltd. - Academia, 1985, s. 425-428.
- KONONOVA, M. M. Organičeskoe veščestvo počv. Moscow: AN SSSR, 1963. 315 s.
- LEE, M.-S., NAKANE, K., NAKATSUBO, T., KOIZUMI, H. Seasonal changes in the contribution of root respiration to total soil respiration in a cool-temperate deciduous forest. *Plant and Soil*, 2003, vol. 255, s. 311-318.
- NAKANE, K. A mathematical model of the behavior and vertical distribution of organic carbon in forest soils II. A revised model taking the supply of root litter into consideration. *Japan Journal of Ecology*, 1978, vol. 28, s. 111-119.
- NANNIPIERI, P., ASCHER, J., CECCHERINI, M. T., LANDI, L., PIETRA-MELLARA, G., RENELLA, G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 2003, vol. 54, s. 655-670.
- NGAO, J., EPRON, D., BRECHET, C., GRANIER, A. Estimating the contribution of leaf litter decomposition to soil CO₂ efflux in a beech forest using ¹³C-depleted litter. *Global Change Biology*, 2005, vol. 11, s. 1-9.
- OLSON, D. M., DINERSTEIN, E., WIKRAMANAYAKE, E. D., BURGESS, N. D., POWELL, G. V. N., UNDERWOOD, E. C., D'AMICO, J. A., ITOUA, I., STRAND, H. E., MORRISON, J. C., LOUKS, J., ALLNUTT, T. F., RICKETTS, T. H., KURA, Y., LAMOREUX, J. F., WETTENGEL, W. W., HEDAO, P., KASSEM, K. R. Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on Earth. *BioScience*, 2001, vol. 51, s. 933-938.
- PAVELKA, M., JANOUŠ, D., ACOSTA, M. Limitation of soil respiration during dry period. *Zpravodaj Beskydy - The Beskids Bulletin*, 2003, roč. 16, s. 47-52.
- PAVLÍK, M. Mykoflóra imisnej bučiny. In Jankovský, L., Krejčíř, R., Antonín, V. (eds.): *Houby a les*. Brno: MZLU, 1999, s. 209 - 215.
- PATZEL, N., PONGE, J.-F. The heterogeneity of humus components in a virgin beech forests. *European Journal of Soil Biology*, 2001, vol. 37, s. 117-124.
- PEŠKOVÁ, V. Dynamics of oak mycorrhizas. *Journal of Forest Science*, 2005, vol. 51, s. 259-267.
- PEŠKOVÁ, V., SOUKUP, F. Houby vázané na kořenové systémy: metodické přístupy ke studiu. Review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2006, roč. 51, s. 279-286.
- PIZZEGHELLO, D., NICOLINI, G., NARDI, S. Hormone-like activity of humic substances in *Fagus sylvaticae* forests. *New Phytologist*, 2001, vol. 151, s. 647-657.
- READ, D. B., BENGOUGH, A. G., GREGORY, P. J., CRAWFORD, J. W., ROBINSON, D., SCRIMGEOUR, C. M., YOUNG, I. M., ZHANG, K., ZHANG, X. Plant roots release phospholipid surfactants that modify the physical and chemical properties of soil. *New Phytologist*, 2003, vol. 157, s. 315-326.
- RENGEL, Z., MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. *New Phytologist*, 2005, vol. 168, s. 305-312.
- SIMON, J. (ed.) Monitorovací plochy soustavy NATURA 2000 v České republice. 1. část. Brno: Paido, 2003. 141 s.
- SINGH, J. S., GUPTA, S. R. Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems. *Botanical Reviews*, 1977, vol. 43, s. 449-528.
- SUKAČEV, V. N. Biogeocoenology and phytocoenology. *C. R. Academy of Science USSR*, 1945, vol. 47, s. 429-431.
- SPARLING, G. P., SPEIR, T. W., WHALE, K. N. Changes in microbial biomass C, ATP content, soil phospho-monoesterase and phospho-diesterase activity following air-drying of soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 1986, vol. 18, s. 363-370.
- STŘELCOVÁ, K., MATĚJKA, F., KUČERA, J. Beech stand transpiration assessment - two methodological approaches. *Ekológia (Bratislava)*, 2004, vol. 23, Supplement, s. 147-162.
- WILKE, C. O., WANG, J. L., OFRIA, C., LENSKE, R. E., ADAMI, C. Evolution of digital organisms at high mutation rates leads to survival of the flattest. *Nature*, 2001, vol. 412, s. 331-333.
- ZLATNÍK, A. Lesnická fytoecologie. Praha: SZN, 1976. 495 s.

BIOCHEMISTRY OF ECOLOGICAL PROCESSES IN THE ZONAL FOREST SOILS. REVIEW

SUMMARY

A problem rise about interest in ecological processes if it is really efficient to observe any feature as a result of the one factor or if it is possible to explain it as result of many present factors responsibility. The first way is assumed by simplification of the system to observe a single feedback between two qualities. This way is desirable for test-room controlled conditions. In forest conditions the way is not able to run on clear. The introduced problem is solved by the second way but the presented second way is demanding to clear mark in all engaged factors.

Known ecological factors have unprecedented effects in macrosystems or microsystems. Yet it is not able to evaluate separately. Macrosystems and microsystems are connected together. The macrosystem of forest qualifies microsystem by litter, exudates and microclimate. Microsystems influence macrosystem due to genesis and transformations of humus, availability and transport of nutrients and production of substances with hormonal effects. Both forest components display respiration, biomass growth and enzymes production.

Species composition or ecology of organisms, volume and changes in biomass, humus reserve, nutrient efflux and ecotope properties are observed on level of the forest macrosystem. Species composition or ecology of microorganisms, respiration and soil biochemistry are observed on microsystem level mainly. The study of respiration and soil biochemistry enables systematics connection of the both observing levels. Separation in soil respiration sources or DNA analysis is a factor for observing and adjustment of particular function microbial groups.

These methods are not runtime conducted. Extended knowledge about ecological biogeography of soil microorganisms as well as about root biomass dynamics is still missing to be used in soil biochemistry for studying particular microsystem functions. On the other hand, potential relations among cell's produced enzymes, respiration and biomass at particular function group of soil biota present a key for separations of its ecological significance in geobiocoenosis as well to quantify the feedbacks with inorganic spheres.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Pavel Samec, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem, pobočka Frýdek-Místek
Nádražní 2811, 738 25 Frýdek-Místek, Česká republika
tel.: 555 530 470; e-mail: Samec.Pavel@uhul.cz

POTENCIÁL A MOŽNOSTI DŘEVOSTAVEB VE VZTAHU K LESNÍMU HOSPODÁŘSTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY

POTENTIAL AND POSSIBILITIES OF WOOD STRUCTURES IN RELATION TO CZECH FORESTRY

JOSEF LENOCH
LDF MZLU Brno

ABSTRACT

Sustainable development is today a fundamental term in developing all important economic and human activities. The issue of wood structures is an area in which a blending and a mutual influencing of four sectors occur: forestry - wood engineering - civil engineering - regional development. On the one hand, the sufficient amount of wood in Czech forestry provokes low market prices. On the other hand, the share of wood structures in the total volume of building industry production is hardly four percent. In this parameter the Czech Republic lags far behind many advanced countries in which the indicator ranges between 10 - 80 %. Promotion to the manufacture and sales of wood structures and searching new ways for increased sales of wood structures represent a problem solution that would help the entire forestry and wood sector, improving at the same time housing policy and decreasing damage to environment and consumption of non-renewable natural resources.

Klíčová slova: lesnictví, dřevostavby, ekonomika dřevostaveb, marketing dřevostaveb, podpora dřevostaveb

Key words: forestry, wood structures, economics of wood structures, marketing of wood structures, promotion of wood structures

ÚVOD

České lesní hospodářství je hlavním dodavatelem dřevní suroviny pro celou řadu navazujících hospodářských odvětví, zejména pro dřevařský průmysl a stavebnictví. Podíl lesního hospodářství na hrubém domácím produktu se v posledních několika letech pohybuje okolo 0,6 %, dřevozpracujícího průmyslu a papírenství okolo 2,0 % a stavebnictví 6 - 8 %. Pouze ale u stavebnictví dochází k mírnému avšak pravidelnému meziročnímu růstu (ČSU 2006).

Evropa je jediný světadíl, kde se dlouhodobě zvyšuje rozloha, zásoba a přírůstek lesů. Lesy zde v minulosti prošly obdobím intenzifikace výroby za účelem zvýšení kvality i kvantity dřevní produkce. Tento proces probíhá neustále a to i především díky zalesňování zemědělských půd (FAO 2006).

V České republice na jedné straně narůstá rozloha lesů a produkce dřevní hmoty a na straně druhé existují problémy s odbytem dřeva a jeho nízkou cenou. Je ekonomicky nevhodné, aby vytěžené dřevo bylo vyváženo do zahraničí jako surovina bez další přidané hodnoty. Řešení tohoto problému spočívá zejména v hledání rezerv při výrobě a prodeji výrobků ze dřeva. Jednou z cest je podpora a zefektivnění výroby dřevěných staveb, tj. dřevostaveb.

Tento příspěvek se zaměřuje na zlepšení odbytu a prodeje dřevostaveb v České republice prostřednictvím zlepšení marketingu a public relations dřevostaveb.

SOUČASNÁ SITUACE V OBLASTI DŘEVOSTAVEB A POROVNÁNÍ SE ZAHRAŇIČÍM

Srovnání se zahraničím

Roční těžba dřeva na obyvatele je v ČR a v USA přibližně stejná. V USA však dřevostavby v bytové výstavbě zcela dominují (65 %), zatímco u nás představují zhruba 4 %. Například v Bavorsku je to 70 %, v Rakousku a ve Švýcarsku 10 %, ve Skotsku 50 % (přitom na britských ostrovech jsou vlastní zdroje dřeva malé), ve Finsku, Norsku a Dánsku přes 60 % a v Kanadě dokonce 80 % (Nadace dřevo pro život 2008).

Domácí výrobci dřevostaveb a dřevozpracující firmy si tuto situaci uvědomují a snaží se tento podíl zvyšovat, bohužel zatím ne příliš úspěšně. Nízký podíl dřevostaveb ve výstavbě rodinných domů v ČR bývá obecně v médiích zdůvodňován českou konzervativností. Náklonnost k tradičním hodnotám může být sice významná, na druhé straně si ale Češi nesporně umějí vybírat racionálně. K českému nezájmu o dřevostavby a nedůvěře k nim přispívá zatím malá zkušenost s bydlením v těchto stavbách a z ní plynoucí nedostatečná či zkreslená představa o jejich pořízení a využívání.

Stavební sektor České republiky je od roku 1989 dominantně zastoupen výrobcí stavebních materiálů z pálené hlíny, pórobetonu, betonů a dalších stavebních materiálů vyžadujících tzv. mokrou výstavbu (ČSÚ 2006). Výrobci těchto materiálů a stavební firmy používající jim odpovídající technologie výstavby se tvrdě brání zmenšování svého podílu na stavebním trhu na úkor dřevostaveb. Výrobcům a prodejcům staveb na bázi dřevostaveb se daří pouze pomalu svůj podíl na stavebním trhu zvyšovat.

Lesnictví - Dřevařství - Stavebnictví - Region

Dynamický model rozvoje stavebních technologií na bázi obnovitelných surovin a zdrojů je možný pouze v uceleném a vzájemně propojeném schématu: lesnictví - dřevozpracující průmysl - stavebnictví - region (LENOCH 2006), kde:

- les je z hlediska trvale udržitelného stavění základním zdrojem obnovitelné surovinové základny. Lesy v ČR pokrývají 2 647 000 ha, tj. více než jednu třetinu území. Nejrozšířenějšími dřevinnými druhy jsou jehličnany, jejich podíl na celkové zásobě hrubí b. k. je 76,5 %. Celkový běžný přírůst na území ČR za rok 2005 je 20,5 mil. m³. Těžba celkem je za rok 2005 15,5 mil. m³. Z pohledu udržitelného hospodaření v lesích představuje objem těžby v ČR 76 % celkového běžného přírůstu. To představuje těžbu 1,52 m³ dřeva na jednoho obyvatele ČR ročně, což je méně než v řadě vyspělých zemí světa (Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství za rok 2005, 2006).
- zpracování dřeva patří k proexportně orientovaným odvětvím zpracovatelského průmyslu ČR. Jedná se o odvětví příznivé vůči životnímu prostředí a využívající kvalitní obnovitelnou domácí surovinu - dřevní hmotu. Surové dřevní hmoty je v našich lesích dostatek a porostní zásoby se stále zvyšují. Přesto se ani v roce 2005 nepodařilo zastavit určité napětí a nejistotu v dodávkách dřevní hmoty zpracovatelským organizacím, což platí zejména pro malé a střední podniky. Pozitivně lze hodnotit zvyšování produkce výrobků s vyšší přidanou hodnotou, což dokládá pokles podílu pilařské výroby a impregnace dřeva a posílení výroby stavebně truhlářské a tesařské o 2 % na tržbách za prodej vlastních výrobků a služeb ve srovnání s rokem 2004. Odvětví je ziskové, i v roce 2005 si zachovalo proexportní charakter. V porovnání mezi roky 2005 a 2004 se zvýšily tržby za prodej vlastních výrobků a služeb o 7,5 % a zahraniční obchod dosáhl aktivní saldo 13,3 mld. Kč (Panorama zpracovatelského průmyslu a souvisejících služeb ČR 2005, 2006).
- stavebnictví patří v České republice, podobně jako ve většině ekonomicky vyspělých zemích, mezi nejvýznamnější národohospodářská odvětví, které dlouhodobě významně přispívá k celkovému růstu české ekonomiky. Stavebnictví lze proto považovat za jeden z pilířů ekonomiky, protože vytváří kolem 7 % hrubé přidané hodnoty, zaměstnává asi 9 % osob pracujících v civilním sektoru a dlouhodobě vykazuje v podstatě stabilizovanou zaměstnanost. Nezanedbatelný je jeho multiplikační efekt spočívající v ovlivňování poptávky po výrobcích ostatních odvětví a služeb spojených s údržbou stavebních děl (ve stavebnictví se ročně spotřebují výrobky a služby jiných odvětví za cca 200 mld. Kč). Stavebnictví také, zejména v delším horizontu, indikuje v předstihu další vývoj celé ekonomiky. V ekonomice stavebních podniků přetrvává nedostatek vlastního kapitálu, zvláště v malých a středně velkých podnicích, což znesnadňuje i jejich přístup k úvěrům a ztěžuje pozici v soutěži o zakázky, které vyžadují vysoké garance, příp. účast na financování. Ke slabým stránkám českého stavebnictví patří klesající počty kvalifikovaných řemeslníků a učňů, zejména některých oborů, nedostatečná kvalita prací na drobných stavbách, absolutně i relativně velký počet drobných stavebních firem ve srovnání se zahraničím (Stavebnictví České republiky 2007, 2008).

- region je organicky propojený sídelní územní útvar s hospodářským a kulturním centrem, základní urbanistický komplex územního a hospodářského plánování. Představuje jednotku životního prostoru obyvatel, kde se uskutečňuje ekonomický, pracovní, sociální a kulturní život společnosti. Mluvíme zde o regionálním rozvoji a využívání místních, dostupných surovin.

Typy moderních dřevostaveb

Dřevostavba může mít podobu zahradního domku, chaty, rodinného domu, vícepodlažního bytového domu či průmyslové stavby (tovární haly, kanceláře, skladů, sportovních a kulturních hal, mostů, apod.).

Nejčastěji se pro výstavbu dřevostaveb používá technologií: srubové stavby, roubené stavby, kombinace trámů a deskového řeziva, systémy montovaných panelů.

METODIKA

Průzkum veřejného mínění v oblasti znalostí a názorů na dřevostavby byl uskutečněn v měsících dubnu na území Jihomoravského kraje. Lidé v tomto období na začátku stavební sezony projevují větší zájem o stavební činnost. Před vlastním výzkumem byl zrealizován předvýzkum (pretest) na menším vzorku respondentů, aby tento test mohl být ověřen před realizací v terénu. Výběrový soubor byl náhodný a týkal se osob aktivně se zajímajících o nové bydlení. Vlastní výzkum byl prováděn formou osobního dotazování účastníků Stavebního veletrhu na BVV. Vytvoření a zpracování dotazníku pomohlo k získání potřebných informací o požadavcích zákazníků na vlastní bydlení a získaná data bylo možno dále zpracovat a statisticky vyhodnotit.

Výzkumným cílem bylo určit profil zákazníka, dozvědět se více informací o požadavcích na bydlení, aby se nabídka mohla cílevědomě zaměřit na příslušný segment obyvatelstva.

Dotazovaný vzorek obyvatelstva představoval 407 dotazovaných jednotek. Obecně se rozhodováním o stavbě zabývají a rozhodují více muži než ženy. Z hlediska věkového rozdělení nejčastěji dotazovanými osobami jsou lidé od 26 let do 40 let, protože se v tomto věku o bydlení nejvíce zajímají. Ze sociálních skupin se objevují zejména zaměstnanci, osoby samostatně výdělečně činné a jiní např. studenti.

POUŽITÝ DOTAZNÍK

Průzkum veřejného mínění v oblasti dřevostaveb (Správnou odpověď označte křížkem)

1. Uvažujete o pořízení nového bydlení v osobním vlastnictví?

- ☐ Ano ☐ Ne

2. Dáváte přednost?

- ☐ Bytu, a to z důvodu: ☐ Nižší cena ☐ Méně starostí ☐ Jiné
- ☐ Rodinného domu, a to z důvodu: ☐ Kvalitnější bydlení ☐ Větší soukromí ☐ Jiné
- ☐ Byt nebo rodinný dům, a to z důvodu: ☐ Je mi to jedno ☐ Rozhodnu se podle ceny ☐ Jiné

3. Víte o možnosti rodinného domu jako dřevostavby?

- ☐ Ano ☐ Ne

4. Dáváte přednost dřevostavbě nebo zděnému domu?

- ☐ Dřevostavba ☐ Zděný dům

5. Kolik znáte firem vyrábějící či dodávající dřevostavby?

- ☐ Žádnou ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3
- ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ více než 6

6. Rozdělte tyto hodnoty bodů (1, 2, 3, 4, 5, 6) mezi jednotlivé parametry a to 6 (nejdůležitější) až 1 (nejméně důležité), jak jsou tyto parametry rodinného domu pro vás důležité.

- ☐ Cena ☐ Kvalita ☐ Rychlost výstavby
- ☐ Tradice ☐ Reference ☐ Ekologie

7. Pořizovací náklady dřevostavby by při srovnatelném komfortu bydlení a provozních nákladech při srovnání se zděným domem měly být?

- ☐ Vždy levnější ☐ Přibližně stejné ☐ Mohou být i vyšší

8. Byla by pro vás přijatelná dřevostavba s vyššími pořizovacími náklady, ale zase s nižšími provozními náklady, takovými, že byste za život zaplatili v reálné hodnotě celkově za bydlení (tj. pořizovací náklady + provozní náklady) méně?

- ☐ Ano ☐ Ne

9. Kolik jste ochotni a schopni investovat (vč. případné hypotéky) do pořízení nového bydlení?

- ☐ do 0,5 mil. Kč ☐ do 1 mil. Kč ☐ do 2 mil. Kč
- ☐ do 3 mil. Kč ☐ do 4 mil. Kč ☐ 5 mil. Kč a více

10. Údaje o dotazované osobě:

- a) Pohlaví ☐ Muž ☐ Žena ☐ Dvojice
- b) Věk ☐ Méně jak 25 let ☐ 26 - 40 let ☐ 41 a více let

c) Měsíční čistý příjem domácnosti v tis. Kč

- ☐ do 15 Kč ☐ 16 - 20 Kč ☐ 21 - 30 Kč
- ☐ 31 - 40 Kč ☐ 41 - 50 Kč ☐ 51 Kč a více

Charakteristika vzorku osob dotázaných v rámci průzkumu veřejného mínění

Vzorek dotázaných osob se skládá z 234 samostatných mužů (57,7 %), 78 samostatných žen (19,2 %) a 95 dvojic muž a žena žijících spolu (23,3 %). Dvojice vyplňovaly dotazník společně. Během osobní konzultace při vyplňování bylo zjištěno, že muži mají větší přehled o tom, co existuje na trhu a jaké jsou reálné možnosti investování do bydlení. Vědí, co chtějí, a mají už zpravidla vytvořený názor. Samostatné ženy se pak mnohem déle rozmýšlí a spíše odhadují a tipují, než ví. Ve dvojici muž se ženou jsou tyto názory již z dřívějších zpravidla ujasněny a sladěny, protože lidé žijící spolu se otázkou bydlení často zabývají. Žena ve dvojici spoléhá v otázkách kolem bydlení více na muže a má k němu důvěru.

Věková skupina 26 – 40 let je zastoupena 195 dotázanými (47,9 %) a je nejvíce zastoupena. Jedná se o mladé ekonomicky aktivní lidi, kteří plánují pořízení nového bydlení. Mají zpravidla konkrétní představu, co chtějí a co si mohou finančně dovolit. Věkové kategorie dospělých do 25 let (24,8 %) či naopak nad 41 roků (27,3 %) jsou přibližně stejně početně zastoupeny. Nejmladší věková skupina se skládá z občanů, kteří zatím plánují a na bydlení tolik nespěchají. Nemají ještě dostatečnou ekonomickou sílu a finanční možnosti nové bydlení pořídit. Jsou to však budoucí zákazníci, které je potřeba sledovat a informovat. Nejstarší věková skupina jsou zpravidla lidé, kteří už mají rodinu a kteří plánují změnu bydlení. Požadují vyšší kvalitu a mají větší finanční možnosti. V několika případech se zajímali o bydlení už pro své potomky.

Domácnosti s příjmy do 15 tis. Kč čistého měsíčně tvoří 18,7 % dotazovaných osob, v kategorii 16 – 20 tis. Kč pak 12,5 %. Jedná se v obou případech o mladší občany s nižšími příjmy, kteří navíc zpravidla žijí v jednočlenné domácnosti. U smíšených dvojic jsou příjmy vyšší, což se projevuje jako zvýšení výskytu u kategorie 21 – 30 tis. Kč (25,3 %) a 31 – 40 Kč (23,6 %). Kategorie 41 – 50 tis. Kč (12,0 %) a poslední kategorie 51 tis. a více Kč čistého měsíčně (7,9 %) se už zase vyskytují méně.

VÝSLEDKY ZJIŠTĚNÉ POMOCÍ DOTAZNÍKU

Cílem marketingových výzkumů je zjistit povědomí lidí o dřevostavbách, jejich představy a požadavky na vlastní bydlení. Dílčím cílem je vytvoření profilu cílové skupiny zákazníků, na který se zaměřit a který naopak informovat o činnosti a výhodách firmy a jejích produktech.

Zájem o nové bydlení

Oslovení občané byli návštěvníky stavebního veletrhu, proto je vysoce pravděpodobné, že se zajímají o nové bydlení. Podíl 86 % dotázaných osob, kteří plánují nové bydlení, svědčí o tom, že se podařilo oslovit vzorek občanů, kteří jsou potenciálními spotřebiteli produktu dřevostaveb. Zbytek 14 % jsou lidé, kteří zpravidla také touží po novém a lepším bydlení, bohužel zatím pro ně není finančně dostupné. Z dotazníku vyplývá, že pro ženy je pořízení nového bydlení důležitější než pro muže. Ženy nové bydlení spojují s existencí své vlastní domácnosti a kvalitnějšího zázemí pro rodinu a děti. U smíšených párů je to podobné. Ženy ve dvojici zpravidla více touží po vlastním bydlení, v tomto směru působí na muže a na něm je, aby tento cíl zajistil. Dvojice mají na tuto otázku podobné názory jako samostatné ženy.

Zájem o byt či dům

Z dotázaných osob 49,7 % preferuje bydlení v bytě, 47,4 % v rodinném domku a 2,9 % není rozhodnuto. Na rozhodnutí, zda pořídit rodinný dům či byt, má vliv celá řada dalších okolností a vlivů. To, zda dotyčný jedinec vyrostl v bytě či domu, může mít podstatný vliv na to, jaké jsou jeho tzv. převzaté vzorce chování, tj. nároky na soukromí, potřeba většího životního prostoru, určitá pohodlnost a nenáročnost bydlení či naopak zájem kolem sebe něco budovat a udržovat. Mnohem větší význam má však cena bydlení, a zde vychází byty podstatně levněji než rodinné domy.

Důvod plánování bytu

U těch, co jsou rozhodnutí pro pořízení bytu, mají největší zastoupení ti, kteří jsou omezeni finančními zdroji a byt volí z důvodu nižší pořizovací ceny. Z celkového počtu dotázaných osob tuto skupinu tvoří 20,4 % osob. Mohli by to být potenciálně i zájemci o dřevostavby, kdyby firmy pro ně dokázaly vytvořit finančně stejnou alternativu dřevostavby rodinného domu, jako je cena bytu.

Ti, kteří volí byt z důvodu menších starostí na provoz vlastního bydlení, tj. vlastní pohodlnosti, finančně pro rodinný dům motivovat moc nelze. Z celkového počtu dotázaných osob tuto skupinu tvoří 16,0 % osob. Jsou to ti jedinci, pro které je pohodlnost důležitější než kvalitnější bydlení a více soukromí v rodinném domu. Také tyto osoby se mohou stát potenciálními zákazníky bytů v bytovkách postavených na principech dřevostaveb.

Kategorie těch, kteří volí byt z jiného důvodu, je poměrně rozmanitá. Z celkového počtu dotázaných osob tuto skupinu tvoří 13,3 % osob. Může to být důvod blízkosti zaměstnání, školy a jiných aktivit pro děti, blízkost sportovního, kulturního a společenského vyžití a trávení volného času. Jsou to lidé, kteří chtějí být tzv. v centru dění a nevyžadují větší soukromí. Také sem patří ti, kteří neplánují vlastní osobní auto a jsou tudíž závislí na městské hromadné dopravě. Dále to jsou důvody jako nižší provozní náklady bydlení v bytu, používání bytu zejména pro přespání, kombinace bydlení v bytu a přes víkend na chatě, apod. I oni se mohou stát zákazníky spíše bytů v bytových domech postavených na principech dřevostaveb.

Důvod plánování rodinného domu

Z dotázaných osob 27,7 % uvedlo, že si spojují bydlení v rodinném domku s větším soukromím, tj. větším vlastním životním prostorem - životním teritoriím, které se neomezuje pouze na interiér bytových místností (jako tomu je u bytů), ale požadují i určitý svůj životní prostor na zahradě, kde se rodinný dům nachází. Jedná se o uplatnění přirozené lidské potřeby pobytu v přírodě, v přirozené zeleni. Pro lidi je důležitější samotná existence kousku vlastní zahrady než požadavek na velikost tohoto teritoria. Požadavek většího soukromí může představovat i to, že dům má zpravidla více místností a tudíž i každý člen domácnosti má více vlastního životního prostoru.

O něco méně oslovených lidí, tj. 16,5 % považuje za důležitější vyšší kvalitu bydlení, kterou rodinné domy oproti bytům přinášejí. Jedná se o obecný fakt, že domy bývají prostornější, mají více místností a ty mají zpravidla větší obytnou plochu. Mohou mít v bezprostřední blízkosti garáž, technické zázemí pro trávení volného času a skladování věcí. Člověk může trávit více času s rodinou a přáteli doma v domku či na zahradě a nemusí k tomu účelu využívat cizí prostory. Souvisí to i s dnešním trendem životního stylu, budováním zahradních bazénů, používáním pergol, rožněním, apod.

Kategorie občanů, kteří se pro rodinný dům rozhodli z jiných důvodů, je poměrně málo zastoupená a tvoří ji 3,2 % dotázaných osob. Nejčastějším důvodem jsou špatné zkušenosti s fungováním tzv. bytových družstev a zájem o bydlení v osobním vlastnictví. Do této skupiny patří i lidé, kteří chtějí rodinný dům a nejsou schopni říci konkrétně z jakého důvodu.

Důvod nerozhodnosti plánování bytu či domu

Lidé, kteří uvedli, že ještě nejsou rozhodnutí, zda by chtěli raději rodinný dům nebo byt, představují většinou občany z věkové kategorie 18 – 25 let. Jsou velice mladí, ještě nemusí akutně řešit otázku bydlení a teprve si vybírají. Nemají představu, kolik budou v budoucnosti reálně vydělávat, protože většinou ještě studují. Jsou to ale i nositelé nových myšlenek, přístupů, názorů a životních stylů. Právě proto, že jsou ještě mladí, jsou i lehce ovlivnitelní a přístupní směrem k nastupujícím technologiím. I když netvoří početnou skupinu, měly by se na ně firmy v oboru dřevostaveb účinně zaměřit. Z celkového počtu dotázaných osob se 0,7 % osob ještě nerozhodlo, co by preferovaly, je jim to zatím jedno, 1,5 % osob by se rozhodlo podle ceny a 0,7 % osob mají jiné důvody, proč nesdělit, zda by preferovaly dům či byt.

Znalost možností dřevostaveb

Naprostá většina dotázaných osob (94,0 %) už někdy o dřevostavbách něco slyšela, mají však jen jakési obecné povědomí, že něco takového existuje. Většina občanů neví, co si má pod pojmem dřevostavba představit. Zda roubené stavení, srubovou stavbu, dříve používaný tzv. okál nebo třeba dům z panelů. Dřevostavba bývá obestřena většinou určitými mýty a pověrami. Nejméně jsou známy moderní technologie dřevostaveb, různé panely, kombinace materiálů, apod. Zde chybí základní informovanost, co vlastně dřevostavba představuje a umožňuje.

Preference dřevostavby či zděného domu

Z celkového počtu 407 dotázaných osob 83,0 % dává přednost zděnému domu a 17,0 % dřevostavbě. Člověk poznává svět často na základě zkušeností a doporučení osob, kterým důvěřuje. Proto většina lidí v okamžiku klíčových životních rozhodnutí spoléhá na ověřené a známé věci. Zděnou stavbu zná každý člověk, proto se těší velké oblibě. Dřevostavbu lidé chápou jako věc buď přežitou, to u těch starších technologií – srubových a roubených nebo naopak za neověřenou a tudíž do jisté míry pochybnou u technologií novějších – různých panelů, sendvičů, apod.

Znalost firem poskytujících dřevostavby

Z celkového počtu 407 dotázaných osob 26,8 % občanů nezná ani jednu firmu vyrábějící či dodávající dřevostavby, 32,9 % občanů zná jednu firmu, 23,0 % občanů zná dvě firmy, 8,4 % občanů zná tři firmy, 3,0 % lidí zná čtyři firmy, 3,2 % osob zná pět firem, 2,2 % občanů šest firem a více než šest firem pouhých 0,5 % dotázaných osob. Lidé mají většinou někde v podvědomí uložené názvy největších firem, které dodávají dřevostavby, protože byli zasaženi jejich masivní reklamou. O této firmě zpravidla už bližší informace nemají a nedokážou posoudit rozdíly v jejich nabízených produktech. Zdá se, že současná reklamní kampaň těchto firem má spíše dopad na podvědomé zafixování značky než na praktickou informovanost o firmě a produktech.

Důležitost parametrů pro výběr stavby

Kvalita jako nejdůležitější parametr v rozhodování o výběru bydlení získala v dotazníkové akci 31,0 % bodů. Lidé v současné době přikládají bydlení velkou důležitost a tím pádem i jeho kvalitě. Neustále se zvyšují nároky na životní úroveň a prostor, ve kterém se pohybujeme. Lidé jsou ochotni čím dál více investovat a utrácet peníze za kvalitu, pohodlnost, komfort, bezpečnost a prestiž svého bydlení.

Cena je druhý nejdůležitější parametr, získala 27,0 % bodů. Lidé si mohou pořídit pouze to, na co mají nebo co je pro ně reálně dostupné. V současné době se stále lidem nabízí široká nabídka různých hypoték a úvěrů na bydlení za stále ještě relativně výhodných podmínek. Také stát podporuje životní styl tzv. žití na dluh různými pobídkami a programy. Proto otázka ceny při pořízení bydlení se v podmínkách poměrně dobře dostupných cizích finančních zdrojů stává méně důležitou. Nicméně lidé musí být schopni dlouhodobě tyto závazky splácet, což představuje zase podstatné snížení jejich životní úrovně.

Reference se umístily na třetím místě se 14,0 % bodů. Pokud člověk nemá zkušenosti vlastní, spoléhá na cizí zkušenosti, protože jít do neověřených technologií je riskantnější. Zde hodně záleží na kvalitě a aktuálnosti předávaných zkušeností a referencí. Podstatnou roli hraje také fakt, jakou důvěru má osoba, která své zkušenosti předává dále jako reference.

Rychlost není pro většinu lidí rozhodující parametr, získala pouze 11,0 % bodů. Celkový čas na pořízení hrubé stavby klasickými zděnými technologiemi se od dřevostavby zase neliší o tolik, že by to lidé považovali za tak důležité. Etapa vytváření projektu a vyřizování administrativních záležitostí je stejně dlouhá. Budování stavebních základů mokrou cestou je u obou technologií časově stejně náročné. Vazba, střecha, elektroinstalace, voda, odpady, topení, okna, dveře, vnitřní a venkovní dokončovací práce jsou také stejně časově náročné. Rozdíl je pouze v rychlosti tzv. hrubé stavby a ten v celkovém čase výstavby domu tak významný není. Lidé jsou většinou ochotni tento rozdíl v řádu maximálně několika týdnů tolerovat.

Ekologie získala pouze 9,0 % bodů. Ekologie je důležitá pro určitou specifickou skupinu ekologicky smýšlejících lidí, a to hlavně u drobných a častějších investic či výdajů než u těch velkých částek. Zde se ukazuje jako důležitější parametr cena a kvalita. Lidé většinou chápou ekologii ve smyslu účinků bydlení na lidské zdraví než ekologický postup výroby vlastní stavby. A zde je zděná stavba někdy paradoxně brána i jako zdravější alternativa bydlení díky použití pouze přírodních materiálů – hlíny, vápna, písku, apod. než dřevostavba napuštěná chemickými látkami proti dřevokazným houbám a hmyzu. To, že zděná stavba potřebuje vysoké energetické vstupy a životnímu prostředí škodlivé postupy výroby silikátových materiálů a kovových částí, si lidé moc neuvědomují a do svého přístupu a rozhodování je zpravidla nezohledňují.

Tradice se umístila na posledním místě s 8,0 % bodů. Lidé si dnes plně uvědomují sílu technického pokroku, a proto bez problému opouští staré přežité technologie a přistupují bez problému na nové. Má to však háček v tom, že byt jsou technologie sebelepší, musí být ověřené a lidem známy, jinak k nim nemají důvěru. Problémem tedy není konzervativní či zpátečnický přístup našich občanů, ale dostatečná informovanost a znalost nových technologií.

Požadované pořizovací náklady dřevostavby oproti zděné stavbě

Většina dotázaných osob (70,5 %) očekává nižší pořizovací cenu dřevostavby oproti zděné stavbě. Cenové relace dnešních dřevostaveb na trhu však tuto představu nenaplní (LENOCH 2006). 20,4 % osob očekává přibližně stejnou cenu a 9,1 % osob by respektovalo i cenu vyšší. Lidé začínají zpravidla vnímat dřevostavbu jako rychlou a levnou alternativu bydlení. Lidé jsou ochotni preferovat dřevostavby zejména v případě nižší ceny a přijatelné kvality bydlení. Případná marketingová strategie přesvědčování občanů, že dřevostavba je kvalitnější a proto dražší, moc věrohodná být nemůže. Skupina, která očekává stejnou cenu dřevostavby jako srovnatelné zděné stavby, očekává současně i stejnou kvalitu. Pokud tato skupina si dřevostavbu pořídí a její očekávání nebude naplněno, může se stát zdrojem negativních zkušeností a referencí pro ostatní potenciální zájemce o dřevostavbu. Občané, kteří jsou toho názoru, že dřevostavba by měla být dražší než srovnatelná zděná stavba, se většinou rekrutují ze skupiny, kde se kombinují jejich lepší finanční možnosti s patřičným ekologickým akcentem.

Požadavek na pořizovací a provozní náklady

Z celkového počtu 407 dotázaných osob dává 56,0 % přednost vyšším pořizovacím nákladům a nižším provozním nákladům, pokud by to znamenalo celkově nižší náklady na celou dobu užívání stavby. Zbýlých 44,0 % uvažuje spíše krátkodoběji než dlouhodoběji, velkou váhu přikládají možnosti teď zaplatit méně, danou věc užívat a teprve později na ni i vydělat a zaplatit ji. Jeden z hlavních argumentů podpory dřevostaveb, tj. vyšší pořizovací a nižší provozní náklady (hlavně díky nižším nákladům na vytápění dané lepšími tepelně izolačními parametry dřevostaveb oproti zděným stavbám), které se v důsledku projeví nižšími celkovými náklady na bydlení v průběhu životnosti stavby, tak ztrácí na své síle. Je to však jen otázka informovanosti, výchovy a přesvědčení zákazníků.

Možnosti investování do bydlení

Kategorii občanů do 0,5 mil. Kč jako finanční možnosti na pořízení vlastního bydlení (18,7 %) je finančně dostupné bydlení v méně atraktivních lokalitách v bytech do 30 m² obytné plochy, které by mohly být řešeny jako bytové domy na principu dřevostaveb. Kategorie do 1 mil. Kč (43,7 %) poskytuje prostor pro nabídku malých bytů do 40 – 50 m² a nejlevnějších domků na bázi dřevostaveb. Kategorie do 2 mil. Kč a kategorie vyšší (celkem 37,6 %) představují potenciální zájemce o střední a větší rodinné domky či o větší byty řešené jako dřevostavby. Ukazuje se tedy, že pro všechny kategorie je možné nabídnout produkty dřevostaveb, jen je potřeba umět konkrétní skupinu vždy oslovit příslušnou nabídkou.

Marketing a public relations dřevostaveb

Z provedeného průzkumu veřejného mínění osob plánujících pořízení nového bydlení a na základě osobních rozhovorů lze formulovat tyto závěry:

- Kvalita života a s ní spojená kvalita bydlení je pro občany čím dál důležitější. Je tomu napomáháno i rostoucí životní úrovní.
- Při rozhodování mezi bytem či rodinným domem je nejdůležitějším parametrem kvalita a cena bydlení. Rodinný dům je považován za kvalitnější alternativu.
- Spousta lidí se musí spokojit s bydlením v bytě, protože jsou omezeni cenou. Je to nevyužitý segment zákaznického trhu dřevostaveb, je potřeba směřovat k vytvoření finančně stejných či nižších alternativ dřevostaveb rodinného domu, než je cena bytu.

- Dřevostavba nemusí být pouze rodinný domek, může to být i vícepodlažní bytový dům. Zde však zatím chybí zřejmě zkušenosti a odvaha do této oblasti proniknout. Nejslabším příjmovým skupinám, jejichž podíl na trhu je zajímavý, je třeba umět nabídnout byty na bázi dřevostaveb.
- Lidé mají zpravidla jen jakousi obecnou představu, že něco jako dřevostavba existuje. Nevědí už konkrétně, co si mají pod tímto termínem přesně představit a co od těchto moderních technologií mohou očekávat. Důležitá je tedy nejen mediální fixace značky, ale i hlubší informovanost případných zájemců.
- Je potřeba se zvláště zaměřit na cílovou skupinu mladých ještě nerozhodnutých občanů, kteří jsou teprve ve stadiu plánování a jsou současně i nositeli nových myšlenek, přístupů a jsou ochotni a nakloněni novým technologiím.
- Lidé považují dřevostavbu za méně kvalitní a podřadnější variantu bydlení než klasické zděné stavby a proto očekávají, že bude levnější. Dokud bude dřevostavba dražší než srovnatelná zděná stavba, lidé zvýšený zájem o dřevostavby projevovali nebudou. Měli by totiž pocít, že za více peněz získávají méně. Dřevostavby se musí stát levným způsobem bydlení. Pokud se nepodaří snížit náklady, pak je potřeba se orientovat na menší cílovou skupinu spíše mladších, bohatších zákazníků a prezentovat dřevostavbu jako životní styl.
- Za nejdůležitější parametr v rozhodování, jakou technologii zvolit, občané považují kvalitu, pak cenu, reference, rychlost, ekologii a nakonec tradici. Tomuto žebříčku je potřeba se přizpůsobit a zvýšit kvalitu dřevostaveb, snížit cenu a přesvědčit o tom zájemce.
- Lidé nedovedou ocenit, že dřevostavba má zpravidla nižší celkové náklady na bydlení v průběhu životnosti stavby. Má sice vyšší pořizovací, ale zase nižší provozní náklady než klasická zděná stavba. Současný životní trend jsou krátkodobé finanční propočty; spotřeba a užívání věcí předbíhá splácení závazků.
- Rozvíjet a podporovat zejména energeticky úsporné domy. Lidé dnes většinou finančně uvažují spíše krátkodoběji než dlouhodoběji, proto je potřeba umět zákazníkům vysvětlit výpočet celkových nákladů na životnost stavby a délku bydlení. Dobře tepelně izolované dřevostavby mají mnohem nižší provozní náklady. V konečném součtu pořizovacích a provozních nákladů pak celkový součet za období životnosti stavby je oproti zděné stavbě zpravidla nižší. Je to však otázka výchovy a přesvědčení lidí, aby si to tzv. uměli spočítat. Náklady na likvidaci stavby lidé většinou do tzv. životního cyklu stavby nezapočítávají, protože člověk, který pořizuje dům, se zcela přirozeně likvidaci svého domova nezabývá.
- Podstatnou nevýhodou dřevostaveb je nemožnost stavbu řešit částečnou svépomocí, která má v ČR dlouhou tradici a která zejména na venkově může často vést k úspoře finančních prostředků za práci. Naštěstí tento argument s nastupující mladou generací rychle slábne.
- Lidé si zatím velice málo pod pojmem dřevostavba představují průmyslové stavby. Nedoceněn a zatím nedostatečně využit je tedy sektor společenských staveb, např. stadionů, sportovišť, mostů, technických a provozních budov, atd.

ZÁVĚR

Pouze intenzivní marketingový tlak na zákazníky, aby si pořizovali dnešní relativně drahé a ne přiměřeně kvalitní dřevostavby, se může postupem času vrátit v podobě ztráty všeobecné důvěry veřejnosti pro bydlení v dřevostavbách. Dlouhodobým řešením jsou dvě možné cesty: buď výrazně levné dřevostavby s odpovídající kvalitou jako alternativa levného bydlení nebo se zděnými stavbami cenově srovnatelné dřevostavby, možná i trochu dražší, avšak výrazně kvalitnější pro nadstandardní bydlení a vyšší bytový komfort. Lidé chtějí a musí v něčem bydlet a záleží pouze na tom, co se jim nabídne a za jakých podmínek. Materiálový a výrobní potenciál pro dřevostavby je v České republice poměrně dobrý a má stále rostoucí prostor jak pro domácí produkci, tak i pro zahraniční export. Regiony s vyšší lesnatostí potřebují získat další pracovní místa a stát se ekonomicky silnějšími. Dřevostavby mohou částečně zvýšit odbyt velkého množství dřeva a tím i zlepšit finanční situaci vlastníků lesů. Současně mohou podpořit změnu životního stylu přechodem k přírodnímu a tradičnímu prostředí bydlení v dřevostavbách.

Poznámka:

Tento příspěvek vznikl při řešení výzkumného záměru č. 2103/ZA450/1552.

LITERATURA

- LENOCH, J. Dřevostavba – budoucnost našich lesů i domácností. I: Lesy a jejich příspěvek k rozvoji regionů. Jíloviště-Strnady: VÚLHM, 2006. s. 45-57. ISBN 80-86461-73-4.
- Panorama zpracovatelského průmyslu a souvisejících služeb ČR 2005. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2006. 144 s. Elektronická verze.
- Stavebnictví České republiky 2007. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2008. 184 s. Elektronická verze.
- Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství za rok 2005. 1. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2006. 135 s. ISBN 80-7084-550-3.
- Internetové zdroje:
www.czso.cz - Český statistický úřad.
www.fao.org/forestry/en/ - Organizace OSN pro výživu a zemědělství
www.drevoprozivot.cz - Nadace dřevo pro život.

POTENTIAL AND POSSIBILITIES OF WOOD STRUCTURES IN RELATION TO CZECH FORESTRY

SUMMARY

This article is focused on way leading to enhanced sales of wood structures in the Czech Republic, i. e. - marketing and public relations of wood structures. As methodology the analysis and the subsequent synthesis of acquired data and information are chosen. The chapter on marketing and public relations of wood structures was elaborated on the basis of a poll preceded by creation and testing of appropriately formulated questionnaire.

The acquired data were subsequently processed into outputs resulting in main principles for the promotion of manufacture and sales of wood structures in the Czech Republic:

- Wood structures must become a low-cost and adequately qualitative way of housing. Costs will have to be kept markedly below the price of brick structures.
- Technologies of wood structures must be permanently innovated in cooperation with science and research.
- Wood structure must be presented as a life style for a smaller target group of rather younger and well-to-do customers. Apartments based on wood structures must be offered to lower-income groups and wood-based industrial structures must be supported.
- Energy-saving houses must be developed and supported at a higher purchasing price but low operating costs.
- Government housing policy must be oriented on the form of construction saving, mortgages and loans at very favourable conditions.
- Small and medium-sized companies participating in the manufacture of wood structures in the form of clusters, associations, unions, etc. must cooperate, foundations and activities supporting wood and wooden products, environment protection and the related change of life style preferred.
- Effective competition on the market with the manufacturers and suppliers of structures based on "wet technologies" using bricks, concrete and metallurgical materials, which are energy-consuming and damaging environment, must be practiced.

Recenzováno

ADRESA AUTORA/CORRESPONDING AUTHOR:

Ing. Josef Lenocho, Ústav lesnické a dřevařské ekonomiky a politiky, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita
 Zemědělská 3, 613 00 Brno, Česká republika
 tel.: 545 134 076; e-mail: josef.lenoch@seznam.cz

MĚŘENÍ TVARU KORUNOVÉHO PLÁŠTĚ A MODELOVÁNÍ

Koruna je důležitým indikátorem zdravotního stavu stromu, jeho postavení v porostu a objemu biomasy v porostu. Její tvar zpracovaný do matematického modelu může být použit v lesním hospodářství jako podklad při odhadu produktivity lesa nebo při modelování jiných mimoprodukčních funkcí lesa (např. absorpce radiace).

Tvarem koruny stromu a jeho vývojem se zabýval výzkum prováděný ve středním Finsku v červnu a červenci 2005. Pro pokus byly vybrány relativně stejnověkové monokultury borovice lesní z 25 porostů (250 stromů) a smrku ztepilého z 18 porostů (180 stromů). Profily korun vybraných stromů byly získány měřením jejich distribuce do všech čtyř světových stran. Koruna byla měřena od první nejnížší větve, nad kterou rostly alespoň další dvě větve k nejvyššímu vrcholu stromu. Kromě toho byla též zaznamenávána hustota porostu a výčetní tloušťka stromů.

Model koruny, který vznikl na základě hodnocení délky koruny, jejího maximální rádia a výšky, vylíčil tři tvary koruny: elipsoidní, kuželovitý nebo válcovitý. Tvar korun borovic vykazoval mírný sklon ke kuželovitosti. Ze zpracování modelu se zdá, že tvar korun smrků je nepravidelnější. Oba druhy lesních dřevin vykazovaly poměrně silnou závislost na výčetní tloušťce a výšce stromu.

Na základě výsledků měření a zpracovaného modelu lze konstatovat, že základní údaje (maximální rádius, výška a šířka koruny) se lépe odhadují pro borovici, ale profil horního patra borovice je různorodější než u smrku. Také se ukázalo, že použití modelu pro odhad produktivity lesa ve formě kuželu sebou přináší podceňování objemu koruny, zatímco oba zbývající modely nevykazují podstatné rozdíly v tomto směru.

Silva Fennica, 2008, vol. 42, no. 1, s. 19-33.

Kp

PRAVDĚPODOBNOST SOUČASNÉHO LOUPÁNÍ KŮRY SMRKU ZTEPILÉHO JELENEM EVROPSKÝM V NĚMECKÉ VRCHOVINĚ - PŘEDBĚŽNÁ ANALÝZA

Jelen evropský (*Cervus elaphus*) může způsobit značné škody na lesních porostech loupáním kůry. Zatímco jeho okus ohrožuje především regenerační proces porostu, loupání ohrožuje jak listnaté, tak jehličnaté stromy mnohem vážněji.

V Německu jsou populace vysoké zvěře většinou vytlačeny do izolovaných lesních oblastí. Ačkoliv počet vysoké zvěře nelze spolehlivě odhadnout, zdá se, že v některých lokalitách i stoupá. Jednou z hlavních příčin poškozování porostů v Německu, kde převažuje v lesních porostech smrk ztepilý, je okus a loupání. Proto byl výzkum zaměřen na určení faktorů, které by snížily loupání kůry.

Pro výzkum byla vybrána plocha, která se nachází v západní části pohorí Harc. Plocha zabírá 55 lesních oblastí o rozloze 695 km² rozprostírajících se v nadmořské výšce mezi 200 až 971 m. Oblast je z 97 % zalesněna, převažující dřevinou je smrk, ostatní jehličnany jsou zastoupeny 10 % a listnaté dřeviny 19 %. Oblast se vyznačuje dlouhými zimami s trvalou sněhovou pokrývkou, jarní období je krátké, slunných dnů je málo, více se vyskytují mlhy.

Na ploše, která byla rozdělena na síť 400 m x 400 m, bylo sledováno loupání pouze na smrku. V letech 2002 a 2004 byla prováděna kontrola loupání kůry od dubna do července a byly zaznamenávány škody loupáním, které se objevily vždy během předešlé zimy, v měsících od listopadu do března.

Z matematicky vyjádřeného vyhodnocení (logistická regrese) vyplynulo, že loupání kůry zvěří je pravděpodobnější na strmých lokalitách, kde se jeleni při výstupu nahoru snadno prohrabávají k sazenicím. Ohrožení loupáním je na těchto lokalitách čtyřikrát větší než na méně strmých stráních. Sněhová pokrývka o výšce 61 – 150 mm zvyšuje riziko loupání až šestkrát, plochy se sněhovou pokrývkou vyšší než 150 mm jsou ohroženy až osmkrát. Stromy uvnitř porostu jsou předmětem loupání dvakrát více než stromy na kraji porostu, protože zvěř zde hledá úkryt jak před zimou, tak před člověkem. Stromy na severních stráních byly napadány více než na východních; pravděpodobně hustší porosty v této expozici chrání zvěř před studenými větry.

Další sledované možnosti vlivu na ohrožení smrkových porostů, jako je nadmořská výška, délka slunečního svitu, časové období sněhové pokrývky a věk porostu, nevykazovaly podstatný vliv na loupání zvěří.

Řešením tohoto problému je nejenom snižování stavu vysoké zvěře v západním Harcu, ale také v současnosti probíhající přeměna smrkových porostů na smíšené smrkové a bukové porosty. Očekává se, že loupání zvěří bude klesat vzhledem k tomu, že buková kůra není pro jelení zvěř tak atraktivní.

Silva Fennica, 2008, vol. 42, no. 1, s. 125-134.

Kp

VLIV KLIMATU A PRŮBĚH HOSPODAŘENÍ NA ROZŠÍŘENÍ A RŮST PLATANU V LESNÍ OBLASTI JIŽNÍ BRITÁNIE A SROVNÁNÍ S PŮVODNÍM POROSTEM

Platan (*Acer pseudoplatanus* L.) je invazivní dřevina, ve Velké Británii nepůvodní, která se zde objevila v období středověku. V dnešní době je považována za druh, který ohrožuje původní lesní porosty hlavně v těch oblastech, kde je dominantní dřevinou jasan.

Vztah těchto dvou dřevin byl studován v lesní oblasti Wytham Woods, která zahrnuje jak různé typy půd, tak i vegetace. Výzkumná plocha je vlastnictvím university v Oxfordu od roku 1940; od roku 1992 je součástí sítě ECN (Environmental Change Network), jejíž náplní je monitorování klimatu, imisí, půd a vybraných živočišných druhů.

Pro účely výzkumu bylo stanoveno 5 typů lesních porostů na základě historických záznamů o průběhu hospodaření: nenarušená částečně přírodní lesní oblast, tj. les s lesním porostem přibližně od roku 1600; lesní oblast narušená, kde se vyskytoval výmladkový les, který se později změnil na les vysoký; les rostoucí na původních pastvinách; holiny zalesněné v 19. století a výsadby ze 20. století.

Výzkum začal v roce 1993 (první olistění bylo zaznamenáno v roce 1994) a skončil rokem 2005. Výzkumné období bylo rozčleněno na 4 měřicí periody zahrnující úseky 3 let. Na každé ploše byly spočítány semenáčky (mladé stromy nebo keře s d.b.h. nižším než 0,5 cm) jednotlivých druhů dřevin.

Dlouhodobý monitoring výčetní tloušťky a výšky stromů probíhal na 294 plochách o rozloze 10 m x 10 m od léta 1993. Stromy byly rozříděny do 4 skupin: dominantní (koruna stromů je nad úrovní ostatních, stromy mají přístup ke světlu jak seshora, tak ze stran), podúrovňové (koruna v úrovni ostatních stromů s přísunem světla pouze seshora), vrůstavé (stromy nižší s korunou v úrovni stromů z prvních dvou skupin, ale s omezeným přístupem k přímému světlu) a podúrovňové (přístup ke světlu je velmi omezený).

Po jasanu se platan na výzkumné ploše vyskytoval nejčastěji. Převažoval v porostech znovuzalesněných pastvin, v narušených lesních oblastech a na holinách zalesněných v 19. století. Nejčastěji rostl platan společně s jasanem; ze 143 lokalit se na 56 vyskytovaly tyto dva druhy společně. Ostatními častěji doprovázejícími dřevinami byly bez (*Sambucus nigra* L.) a hloh *Crataegus monogyna* JACQ.).

Mezi roky 1993 a 2005 byla měřena výčetní tloušťka a výškový růst platanu a jasanu. Výčetní tloušťka platanu byla nižší ve srovnání s jasanem a dubem, naopak vyšší výškový růst vykazoval jasan. Platan, na který byl zaměřen výzkum, reagoval na klimatické poměry stanoviště a rostl lépe v období let 1999 až 2002, kdy bylo zaznamenáno více srážek. V období sucha jeho růst stagnoval, zatímco dub nevykazoval žádné podstatné změny. Výzkum neprokázal, že by semenáčky jasanu nebo platanu ovlivňoval typ zápoje.

Z vyhodnocení vyplynulo, že platan se vyskytuje velmi sporadicky v prvním typu lesních porostů, tj. v nenarušené části přírodní oblasti. Výzkum nepotvrdil, že by platan vytlačoval z porostu jasan. Kromě jiného může být pomalejší růst platanu způsobován ohryzem zvěře, hlavně veverky přemnožené v této oblasti. Semenáčky platanu jsou také mnohem více poškozovány ovce i jelení zvěří.

Platan přirozeně mizí v neobhospodařovaných porostech, daří se mu však dobře v oblastech s dostatkem vody. Přesto se zdá, že výskyt platanu se bude nadále snižovat vzhledem k předpokládanému zvyšování teplot a častějším obdobím sucha v létě.

Forestry, 2008, vol. 81, no. 1, s. 59-74.

Kp

ZPRÁVA O VÝSLEDKÁCH MONITORINGU LESA V EVROPĚ A JEJICH VYHODNOCENÍ

Monitoring lesních porostů se provádí ve všech zemích v určitých časových obdobích z důvodů zhodnocení kapitálu uloženého v lesích a jako podklad pro další plánování a vývoj lesního hospodářství. Kromě národní úrovně jsou výsledky monitoringu zpracovávány na základě směrnice Evropské unie (Forest Focus Regulation no. 2152/2003), která zajišťuje průběžné sledování ploch úrovně I a II.

Konsorcium složené z lesnických výzkumníků z Velké Británie a Finského lesnického výzkumného ústavu zpracovávalo během roku 2005 zprávu o objektech zahrnutých do monitoringu v Evropě. Zpráva hodnotila vědeckou úroveň a kvalitu hlavních závěrů vyvozovaných na základě hodnocení získaných dat včetně toho, kdo a jak využívá tyto výsledky monitorování.

Materiál pro tuto studii byl získáván na základě směrnic a mezinárodních úmluv států Evropské unie a dotazníkové akce zaměřené na zjištění, jak jednotlivé účastnické země, kde pracuje Národní

koordinace centrum (NFC), přistupují k monitoringu. Studie také hodnotila vědeckou stránku, důvěryhodnost a původnost závěrů a výsledků monitoringu.

Do studie bylo zahrnuto hodnocení relevantnosti informací pro různé druhy účastníků a možností využití výsledků monitoringu nejen organizacemi, ale i jednotlivci. Výroční zprávy, zpracovávající na základě výsledků monitoringu, jsou vědecky hodnotné, ale bohužel velmi málo využívané pro politické účely. V budoucnosti bude třeba tyto materiály více propagovat.

Forestry, 2008, vol. 81, no. 1, s. 75-90.

Kp

DYNAMIKA KOTLÍKŮ V PŘÍRODNÍ REZERVACI BUKU LESNÍHO V PRŮBĚHU 30 LET

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) je jednou z hlavních dřevin mírného klimatického pásma Evropy. V průběhu minulých 200 let až do poloviny 20. století byly bukové porosty, pokud nebyly nahrazovány z ekonomických důvodů jehličnatými lesy, obhospodařovány stejným intenzivním způsobem jako ostatní dřeviny.

Od 2. poloviny 20. století, kdy se začíná prosazovat přírodně blízké hospodaření, bylo třeba pro výzkum podmínek růstu a způsobu tohoto hospodaření najít původní porosty. V severním Maďarsku byla pro tyto účely v přírodní rezervaci Öserdő vyčleněna výzkumná 2,5ha plocha. Plocha leží v nadmořské výšce 830 až 900 m a je pokryta lesním porostem, v kterém převažoval buk doprovázený jasanem ztepilým, platanem a jilmem horským. Věk buku se pohyboval mezi 150 až 200 lety. Vzhledem k nestejnorodé porostní struktuře lze rezervaci rozdělit do dvou částí. V severně a severozápadně orientované části s mělkými půdami a strmějším terénem je k buku přimíšeno více ostatních dřevin, v druhé jižní a jihovýchodní části převažují statné buky. V minulosti se v rezervaci těžilo dřevo, od roku 1942 je oblast přírodní rezervací.

Pro výzkum dynamiky kotlíků byly využity archivní letecké snímky a mapy, které byly ověřovány přímo v terénu v létě 2005. Kromě toho bylo vybráno 27 kotlíků o rozloze 30 – 200 m² oválného tvaru; kritériem výběru byl věk a velikost plošky. V každém kotlíku byly spočítány semenáčky a odrostky, zaznamenán druh dřeviny, výška a škody okusem. Na základě získaných dat byly stromy klasifikovány do 6 výškových tříd. Cílem výzkumu bylo charakterizovat výskyt a charakter kotlíků v letech 1975, 1980, 2000 a 2005, analyzovat dynamiku kotlíků v průběhu 30 let a zjistit počet, složení a procento přežití stromů v kotlicích ve vztahu ke stáří kotlíků, bylinnému patru a škodám okusem.

Vyhodnocení výsledků ukázala, že více nových kotlíků se nachází v jihovýchodní části rezervace. Příčinou je rychlý růst stromů uvolněných těžbou prováděnou před vyhlášení rezervace. Důsledkem nedostatku podzemní vody kořeny zbylých stromů, které nepropíchnou tvrdým podloží, nezajišťují jejich stabilitu a stromy se snadno vyvrací nebo jsou napadány houbami. Vznik kotlíků také urychluje vytvoření zápoje. Byl pozorován celkový nárůst kotlíků v průběhu 30 let, rychlost vytváření kotlíků převyšovala zaplnění mezery. To dokazuje, že období 80 let bez zásahů je příliš krátké na vytvoření porostní dynamické rovnováhy. Více semenáčků se vyskytovalo v starší uvolněném porostu, ale hustota odrostků do 0,5 m výšky byla stejná v mladých i starších kotlicích. Je pravděpodobné,

že v starších kotlicích semenáčky podlehnou konkurenci bylinného patra. Také nedostatek světla a okus zvěře, který je v této oblasti velmi intenzivní, ovlivňují růst semenáčků.

Studie se zabývala dynamikou zápoje v přírodě blízkém bukovém lese střední Evropy v malé rezervaci. Nicméně její výsledky potvrzují možnost přeměny lesa přírodní regenerací za předpokladu redukce vysoké zvěře na únosnou míru nebo odlákáním zvěře do vhodně založených okolních lesů.

Forestry, 2008, vol. 81, no. 1, s. 111-123.

Kp