

STANOVENÍ MNOŽSTVÍ TEPELNÉ ENERGIE V DENDROMASE POROSTŮ PŘÍPRAVNÝCH DŘEVIN



Ing. ONDŘEJ ŠPULÁK, Ph.D.

Ing. JAKUB ČERNÝ, Ph.D.

Ing. JAN LEUGNER, Ph.D.



8/2024

Stanovení množství tepelné energie v dendromase porostů přípravných dřevin

Certifikovaná metodika

Ing. Ondřej Špulák, Ph.D.

Ing. Jakub Černý, Ph.D.

Ing. Jan Leugner, Ph.D.

Lesnický průvodce 8/2024

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

Strnady 136, 252 02 Jíloviště

www.vulhm.cz

Publikace vydané v řadě Lesnický průvodce jsou dostupné v elektronické verzi na:

http://www.vulhm.cz/lesnicky_pruvodce

Vedoucí redaktor: Ing. Jan Řezáč; e-mail: rezac@vulhm.cz

Výkonná redaktorka: Miroslava Valentová; e-mail: valentova@vulhmop.cz

Grafická úprava a zlom: Klára Šimerová; e-mail: simerova@vulhm.cz

ISBN 978-80-7417-280-9

ISSN 0862-7657

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE AMOUNT OF THERMAL ENERGY IN DENDROMASS OF PREPARATORY TREE SPECIES FOREST STANDS

Abstract

This methodology outlines procedures for assessing the combustion (fuel) energy of dendromass in preparatory forests, which are becoming increasingly important due to climate-related disturbances affecting primarily spruce populations. It emphasises the rapid use of pioneer tree species in restoration efforts on post-disturbance clearings, offering both ecological benefits and biomass energy production. By integrating species with natural resilience and rapid growth characteristics, this approach facilitates the ecological functions of such forests and increases their value as sustainable energy sources. The methodology describes process for quantifying the total above-ground biomass suitable for harvesting, using both direct measurement and estimation techniques to ensure an adequate assessment of energy potential. It will be beneficial for forest management practices aimed at optimising both environmental and economic outcomes from forest dendromass of preparatory tree species stands, rewarding particularly in regions vulnerable to climate impacts.

Key words: dendromass thermal energy; dendromass quantification; forest restoration; pioneer tree species; sustainable forestry

Oponenti: prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.
Česká zemědělská univerzita v Praze
Ing. Zdeněk Soušek
Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem
(od 1. 1. 2025 Národní lesnický institut), Pobočka Olomouc

Podíly autorů:

Ing. Ondřej Špulák, Ph.D. (70 %)

Ing. Jakub Černý, Ph.D. (15 %)

Ing. Jan Leugner, Ph.D. (15 %)

Adresa:

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

Výzkumná stanice Opočno

Na Olivě 550, 517 73 Opočno

e-mail:

spulak@vulhmop.cz

cerny@vulhmop.cz

leugner@vulhmop.cz

Fotografie:

Archiv autorů, VÚLHM, v. v. i., VS Opočno

Obsah

1 ÚVOD	7
2 ROZBOR PROBLEMATIKY	8
2.1 Porosty přípravných dřevin	8
2.1.1 Dřeviny přípravných porostů	9
2.1.2 Zakládání porostů přípravných dřevin	9
2.1.3 Pěstební péče o porosty přípravných dřevin a možnosti využití produkce	10
2.2 Energie dendromasy z hlediska jejího energetického využití	10
3 CÍL METODIKY	13
4 VLASTNÍ METODIKA	13
4.1 Výpočet spalitelné energie dendromasy	14
4.1.1 Stanovení zásoby hroubí porostů přípravných dřevin	16
4.1.2 Výpočet zásoby celkové nadzemní dendromasy	25
4.1.3 Stanovení cílového objemu na základě dílčího těžebního procenta	27
4.1.4 Stanovení sušiny dendromasy	27
4.1.5 Výpočet spalitelné energie v nadzemní dendromase	29
4.2 Základní možnosti využití energetické lesní štěpky	31
4.3 Ekonomické vyhodnocení využití porostů přípravných dřevin pro energetické účely	32
5 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ	34
6 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY	35
7 EKONOMICKÉ ASPEKTY	36
8 DEDIKACE	36
9 LITERATURA	37
9.1 Seznam použité související literatury	37
9.2 Práce autorů vztahující se k dané problematice	39
SUMMARY	41
PŘÍLOHA	43

1 ÚVOD

S nárůstem výměr holin kalamitního charakteru, ke kterému dochází vzhledem k urychlenému rozpadu zejména smrkových porostů oslabených v důsledku projevů klimatické změny a s nimi spojených biotických disturbancí (Hlásny, Turčáni 2013), se klade důraz na prostorovou, druhovou a výhledově i věkovou rozrůzněnost následných porostů. Jedním z perspektivních postupů, jak dosáhnout tohoto cíle, je také využívání přípravných dřevin s pionýrskou strategií růstu při obnově kalamitních holin. Jedním ze způsobů jejich uplatnění může být pěstování těchto porostů v kratším obmětí. Jejich ekologické efekty jsou pak podstatné pro zavádění některých cílových dřevin (Souček et al. 2016).

V závislosti na užitých pěstebních postupech vymezujících časový průběh obnovy dává přípravný porost, kromě ekologických efektů, odpovídající předpoklad pro zhodnocení v něm akumulované dřevní nadzemní biomasy (dendromasy). Při rychlejším postupu obnovy cílovými dřevinami může být návratnost ekonomického využití problematická a těžbou dendromasy přípravného porostu je vhodné plně ponechat jako prostředek recyklace živin. Naproti tomu v případě dlouhodobé péče o porosty přípravných dřevin mohou být tyto dřeviny využity pro produkci kvalitních výřezů (Briceño-Elizondo et al. 2006). Parametry těžené nadzemní dendromasy a/nebo ekonomické souvislosti pak často vytvářejí podmínky pro uplatnění této dendromasy pro energetické účely (Špulák et al. 2016). Zároveň bývá energetická štěpka nebo palivové dřevo dřevin přípravných porostů (zejm. břízy) regionálně žádaným produktem. Podpora uplatnění lesní dendromasy pro energetické využití vyplývá také z Národního lesnického programu II (NLP 2008). Zastřešujícím předpisem, který v současné době vymezuje pravidla pro využití energie z obnovitelných zdrojů, je směrnice Evropské unie na podporu využívání obnovitelných zdrojů energie, tzv. RED (Renewable Energy Directive), revidovaná v roce 2003 (Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2023/2413). Do konce roku 2025 bude implementována do právních předpisů všech států EU.

Metodika představuje **vhodné postupy pro posouzení energetického potenciálu porostů přípravných dřevin** podle jejich charakteru, převažující dřeviny, věku i způsobu jejich těžby – s cílem optimálního využití pro obnovu dřevin cílových. Uživatelé této metodiky umožní posoudit předpokládanou výnosovost využití dendromasy konkrétního přípravného porostu na energetickou štěpku.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Porosty přípravných dřevin

Přípravný les je typ druhotného lesa, který vzniká buď sukcesí nebo umělou obnovou po zániku původního lesního porostu způsobeném disturbancí (např. vývraty větrem, požárem) nebo záměrným pěstebním zásahem (těžba, odlesnění). V průběhu přirozené sukcese se v tomto prostředí uplatňují světlomilné druhy dřevin mající pionýrský charakter. Jsou to dřeviny, které jsou díky své široké ekologické valenci relativně odolné vůči extrémním podmínkám prostředí a zároveň mají nižší nároky na půdní podmínky. V případě nízkého potenciálu jejich přirozené obnovy bývají zaváděny nebo doplňovány uměle (síje, výsadba) v rámci kombinované obnovy, zvláště na kalamitních plochách (Martiník 2014).

Hospodářským cílem využití přípravného lesa v rámci obnovy je rychlé vytvoření porostu tvořícího stínící kryt, který bude snižovat klimatické extrémy holých ploch. Mezi očekávané pozitivní efekty z hlediska (mezo-)klimatu patří zejména omezení přímého slunečního záření, teplotních výkyvů a snížení rychlosti větru. Dále mají za cíl omezit konkurenci plevelných rostlin (buřeně), udržet nebo zlepšit podmínky povrchového půdního horizontu (úprava vodního režimu, prokořenění, snížení erozního rizika, úprava fyzikálních, chemických i biologických vlastností půdy; Frouz et al. 2008, Souček et al. 2016). Snížením vitality a hustoty buřeně vlivem zastínění půdního povrchu se zároveň snižuje atraktivita prostředí pro výskyt hloдавců. Při vhodném obhospodařování mohou porosty přípravných dřevin zároveň s těmito mimoprodukčními efekty plnit také funkci produkční (Briceño-Elizondo et al. 2006; Špulák et al. 2016).

Výše uvedené změny růstového prostředí následně zvyšují úspěšnost obnovy/zavádění cílových klimaxových dřevin majících nižší toleranci k extremitám holin a větší nároky na stabilitu růstového prostředí. Ty se do porostů dřevin přípravných mohou šířit buď z přirozené obnovy, nebo mohou být vnášeny výsadbou, jako podsadby či do maloplošných obnovních prvků.

2.1.1 Dřeviny přípravných porostů

Jako přípravné dřeviny se nejlépe uplatňují druhy mající nižší nároky na živiny, rychlý růst zejména v mládí, schopnost přirozené obnovy a odrůstání na holých plochách. Podstatná je rovněž jejich hojnost a pravidelná plodivost. Nejčastějšími dřevinami přípravných porostů v podmínkách ČR jsou bříza bělokorá, dále olše lepkavá, topol osika, jeřáb ptačí a vrba jíva. Zejména bříza se přirozeně vyskytuje v širokém areálu klimatických a stanovištních podmínek, přičemž širší škála stanovišť je typická i pro jiné pionýrské listnáče (Úradníček et al. 2009). Uplatňují se i další druhy uvedených rodů. Dřeviny, které jsou jako přípravné méně využívány, ale jsou na řadě stanovišť také vhodné, jsou modřín opadavý, borovice lesní a smrk ztepilý. I ty mohou v relativně krátkém čase upravit růstové podmínky kalamitní holiny, a umožnit tak vnášení citlivých dřevin cílové druhové skladby (např. buk lesní a jedle bělokorá).

2.1.2 Zakládání porostů přípravných dřevin

Tam, kde je dostatečný potenciál pro přirozenou obnovu dřevin s pionýrskými vlastnostmi – mateřské stromy v dosahu obnovované plochy i vhodné podmínky stanoviště – se pro založení přípravného porostu přednostně využívá přirozená obnova (sukcese). Realizací přípravy půdy lze částečně ovlivnit vlastnosti svrchních půdních vrstev, dočasně omezit negativní vliv buřeně, a zlepšit tak podmínky pro klíčení a odrůstání obnovy přípravných dřevin. V případě nedostatečného zastoupení mateřských stromů lze při jinak vhodných podmínkách stanoviště využít i siji (Martiník 2014).

I na takovýchto plochách je často vhodné vznik přípravného porostu podpořit výsadbou přípravných dřevin ve snížených hektarových počtech – na úrovni 60 % minimálního počtu dle přílohy č. 4 vyhlášky 456/2022 Sb. (o podrobnostech přenosu reprodukčního materiálu lesních dřevin, o evidenci o původu reprodukčního materiálu a podrobnostech o obnově lesních porostů a o zalesňování pozemků prohlášených za pozemky určené k plnění funkcí lesa). Založená kostra porostu zabezpečí základ pro následnou sukcesi a vznik přípravného porostu.

Blíže k zakládání porostů přípravných dřevin viz metodiky „Dvoufázová obnova lesa na kalamitních holinách s využitím přípravných dřevin“ (Souček et al. 2016) a „Obnova kalamitních holin přes přípravný les“ (Leugner et al. 2023).

2.1.3 Pěstební péče o porosty přípravných dřevin a možnosti využití produkce

Pěstební postupy hospodaření v porostech přípravných dřevin se volí s ohledem na stav porostů i záměr jejich využití pro vnášení cílových dřevin. Z hlediska pionýrských listnatých dřevin jsou postupy nejlépe rozpracované pro břízu.

Přípravné dřeviny mají rychlý růst v mládí, proto v porostních směsích nejčastěji tvoří horní etáž. Způsoby hospodaření v těchto porostech závisí na konkrétní směsi druhů dřevin a cíli hospodaření, který může zahrnovat dvě základní strategie: přípravná dřevina je těžena jednorázově či postupně poté, co splní svou úlohu, nebo je zahrnuta do dlouhodobého plánu hospodaření.

Při rychlejším způsobu využití přípravných dřevin pro obnovu další generace lesa s významným zastoupením cílových dřevin, kdy je obnovní doba přípravného porostu plánována na 20–30 let, lze předpokládat významnější produkci energeticky využitelné dřevní hmoty. Pro vytěžení a využití této produkce je nutné rozčlenění porostů linkami, které může být využito i pro pěstební péči o porosty cílových dřevin, jež vznikly pod clonou přípravného porostu.

Blíže k pěstební péči o porosty přípravných dřevin viz připravovaná metodika „Hospodaření v porostech přípravných dřevin pro vyvážené využití jejich ekologického efektu a produkčního potenciálu“ (Leugner et al. 2024).

2.2 Energie dendromasy z hlediska jejího energetického využití

K popisu tepelné energie uložené v dřevní biomase se, stejně tak jako ostatních paliv, používají veličiny spalné teplo a výhřevnost.

Spalné teplo vyjadřuje množství energie uvolněné při dokonalém spálení jednotkového množství paliva s následným ochlazením produktů spalování na 20 °C, přičemž vodní pára ze spalin zkondenzuje, a tím uvolní skupenské teplo (Filipi 2003; Petránková Ševčíková et al. 2022). Vyjadřuje se v různých jednotkách (např. kJ/mol, kJ/m³), výhodné je jeho vyjádření v MJ/kg. V laboratorních podmínkách lze přesně změřit, proto se používá také ve fyzikální chemii a termochemii.

Výhřevnost je množství energie uvolněné při spalení jednotkové hmotnosti (nejčastěji kilogramu) paliva o určité vlhkosti s navazujícím ochlazením produktů spalování na 20 °C bez následné kondenzace páry obsažené ve spalínách, a tak je nižší než hodnota spalného tepla (Filipi 2003; Petránková Ševčíková et al. 2022). Uvádí se v megajoule nebo kilojoule na kilogram (MJ/kg nebo kJ/kg). Udává, kolik tepla lze získat ze spalení daného množství paliva o dané vlhkosti v ideálním topeništi.

Při znalosti přesných chemických vlastností paliva lze výhřevnost vypočítat ze spalného tepla odečtením výparného tepla vody Q_v , kdy voda uvolněná spalováním je součtem vody obsažené v palivě (vlhkosti) a vody vzniklé spaláním paliva, která odpovídá obsahu vodíku v palivu.

Výpočet výhřevnosti se tak zjistí ze vztahu:

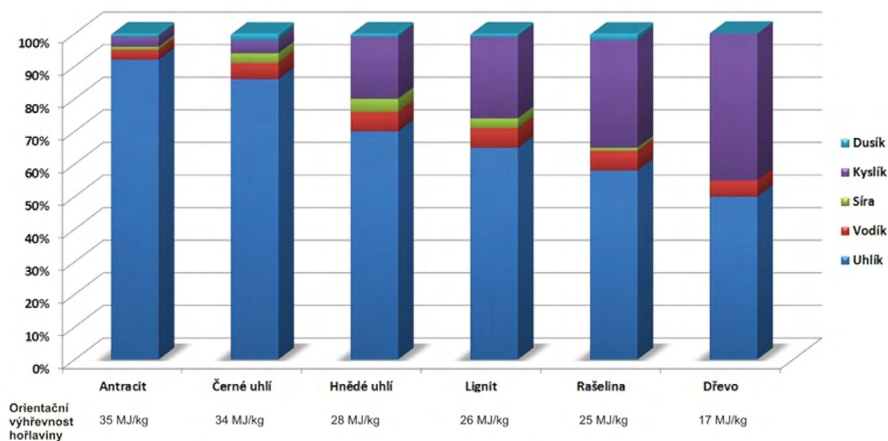
$$Q_i = Q_s - 2,453 \times (w + 9 \times H_2) \quad (1)$$

kde Q_i je výhřevnost v [MJ/kg], Q_s je spalné teplo v [MJ/kg], w je relativní vlhkost paliva v [kg/kg] a H_2 je obsah vodíku v palivu [kg/kg].

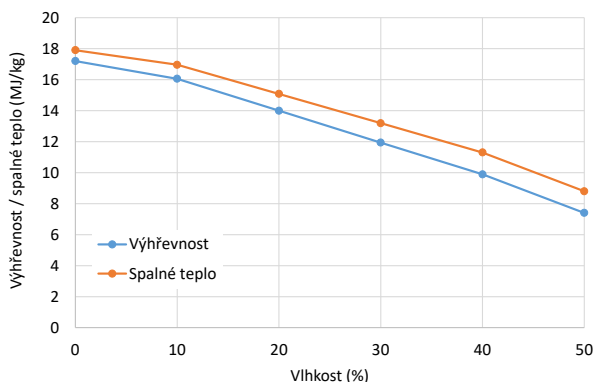
Fytomasa z různých druhů rostlin má v suchém stavu velmi podobné chemické složení, co se týče prvků přímo se účastnících hoření. Je tvořena přibližně ze 44–48 % uhlíkem, ze 44 % kyslíkem a z cca 5,5–6,5 % vodíkem. Další prvky jsou podstatné z hlediska úživnosti stanoviště, cyklu živin i vlastností následného popela, ale nemají přímý vliv na spalování. Z podobného složení C, O a H vyplývá skutečnost, že se spalné teplo fytomasy různých plodin výrazně neliší a obvykle se v zcela suchém stavu pohybuje mezi 17,5–19,5 MJ/kg (Tlustoš et al. 2014).

Obsah vodíku ve dřevě se obvykle pohybuje kolem 6–7 % hmotnostního podílu, řada dalších běžných paliv ho má vyšší. Spalitelná energie paliv je pak závislá na obsahu uhlíku, proto je také výhřevnost dřeva v porovnání s dalšími palivy nižší (obr. 1).

Energie získatelná spaláním dendromasy je výrazně závislá na její vlhkosti (obr. 2). Významným parametrem určujícím měrnou výhřevnost dřeva konkrétní dřeviny (druhu) je jeho hustota: stejný objem tvrdého dřeva má vyšší výhřevnost než dřevo měkké.



Obr. 1: Příklad srovnání složení vybraných paliv včetně jejich výhřevnosti.
Převzato z: <https://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>



Obr. 2: Příklad závislosti mezi vlhkostí a výhřevností, resp. spalným teplem dřeva buku.
Modifikováno z: <https://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>

3 CÍL METODIKY

Cílem metodiky je formulovat odpovídající **postup pro vyhodnocení energetického potenciálu konkrétních porostů přípravných dřevin**, tvořených nejčastějšími druhy těchto porostů, umožňující zpřesnění ekonomických úvah využití jejich dřevní biomasy (dendromasy) pro energetické účely.

4 VLASTNÍ METODIKA

Rozvahy o využití příslušné části dendromasy přípravného porostu pro energetické účely by měly vycházet nejen z hlediska ekonomické bilance předpokládaných nákladů a výnosů, ke které poskytuje podklady postup rozpracovaný v následujících kapitolách. Podstatným kritériem pro rozhodování by mělo být i posouzení vlivu zásahu na následnou živinovou bilanci stanoviště, zejména v případě, kdy se uvažuje o využití nejen hmoty hroubí, ale celé nadzemní dendromasy stromů přípravného porostu. Nejvíce živin je akumulováno v kůře a asimilačních orgánech, nehroubí tak představuje jejich významnou zásobárnu.

K uvážení dopadu odvozu dendromasy dřevin konkrétního přípravného porostu na stanoviště slouží metodika „Doporučené metody nakládání s těžebními zbytky v lesních porostech s významnou produkční funkcí z hlediska udržitelnosti bilance hlavních živin“ (Šrámek et al. 2021). Tuto metodiku doporučujeme zevrubně prostudovat. Souhrnné hodnocení rizika využívání těžebních zbytků podle této metodiky je uvedeno v obr. 3.

	CHS 21	CHS 31	CHS 41	CHS 51	CHS 71	CHS 01
CHS 13	CHS 23		CHS 43	CHS 53	CHS 73	CHS 02
	CHS 25	CHS 35	CHS 45	CHS 55	CHS 75	CHS 03
	CHS 27		CHS 47	CHS 57	CHS 77	
CHS 19	CHS 29	CHS 39		CHS 59	CHS 79	

Využívání těžebních zbytků z hlediska bilance živin

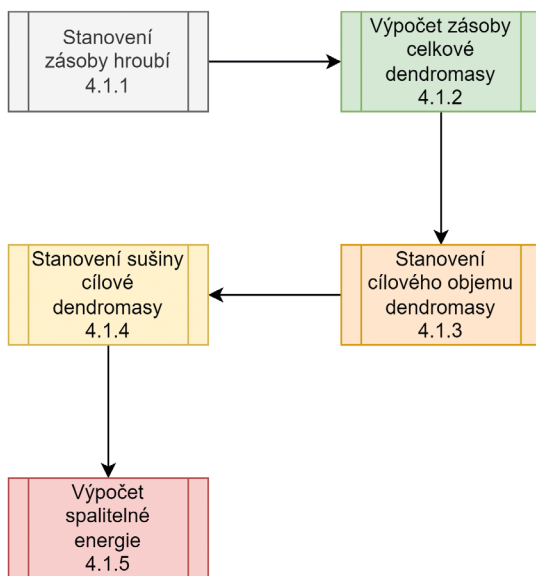
	mírné riziko
	střední riziko
	vysoké riziko
	nevhodné

Obr. 3: Riziko využívání lesních těžebních zbytků podle cílových hospodářských souborů z hlediska bilance živin (podle Šrámek et al. 2021).

4.1 Výpočet spalitelné energie dendromasy

Doporučený postup stanovení spalitelné energie v dendromase přípravného porostu určené k těžbě zahrnuje následující kroky (obr. 4): Nejprve se stanoví zásoba hroubí cíleného porostu (kapitola 4.1.1). Tento údaj slouží pro následný výpočet celkové nadzemní dendromasy (4.1.2), z něhož je na základě dílčího těžebního procenta vypočten cílový objem dendromasy plánované k těžbě (4.1.3). Následně je vypočtena sušina této dendromasy (4.1.4), která je základním údajem pro samotný výpočet spalitelné energie v ní obsažené (4.1.5).

Průběh činností, které vedou k určení spalitelné energie v dendromase porostu podle této metodiky (obr. 4), je provázen řadou zjednodušení a přibližných výpočtů. Zvýšit přesnost odhadu je možné zejména ve fázi stanovení zásoby hroubí porostu, což je, jak lze očekávat, spojeno s nárůstem pracnosti venkovních šetření. Další zpřesnění by pak bylo možné s využitím cílených laboratorních rozborů vzorků odebraných podle statisticky odpovídajícího schématu. Tento přístup pro svou náročnost, a tím i neočekávané uplatnění v praxi, však není předmětem této metodiky, však není předmětem této metodiky. Pro přesné zhodnocení energetického potenciálu již vytěžené suroviny – lesní štěpky – se lze inspirovat v metodice Štorek et al. (2017).



Obr. 4: Schéma průběhu zjišťování a výpočtu spalitelné energie dendromasy s označením kapitol v metodice.

4.1.1 Stanovení zásoby hroubí porostů přípravných dřevin

Pro získání adekvátního odhadu spalitelné energie obsažené v dendromase přípravného porostu je v první řadě potřebné stanovení současné zásoby nadzemní dendromasy porostu určeného k těžbě. Ta se většinou nejprve stanovuje jako hmota hroubí v kůře na 1 hektar porostu. Tato hodnota slouží k přepočtu na zásobu celkové nadzemní dendromasy (viz následující kapitola 4.1.2). Zásoba těžené dendromasy konkrétní porostní části se pak vypočítá vynásobením hektarové zásoby výměrou porostu a těžebním procentem (4.1.3).

V závislosti na původu porostu (přirozená obnova, výsadba) i režimu jeho předchozí výchovy mohou mít porostní charakteristiky různou míru prostorové variability. Podle konkrétního stupně rozrůzněnosti porostu i požadavků na přesnost stanovení zásob je třeba zvolit vhodnou metodu jejich zjištění. Současně je vždy třeba uvážit také náročnost dané metody v porovnání s konečným účelem – odhadem rentability využití (části) porostu pro energetické účely a jednání s dodavatelem prací či odběratelem.

Pro zjišťování zásob porostu přípravných dřevin se nabízejí následující metody. V částečném zjednodušení představují výběr vhodných dendrometrických postupů. Jsou seřazeny podle narůstající náročnosti, která s sebou, na druhou stranu, většinou přináší i větší přesnost stanovení zásob.

4.1.1.1 Převzetí údajů z hospodářské knihy

V případě, že je LHP/LHO pro příslušný LHC na počátku období platnosti, porostní skupina tvoří celek obdobného charakteru (není složena z několika odlišných částí sloučených pouze na základě věku) a aktuálně nedošlo k nahodilému poškození dotčené porostní skupiny, které by nekontrolovaně snížilo její porostní zásobu, je možné údaje o zásobě převzít z hospodářské knihy. Tento způsob je nejrychlejší, jeho spolehlivost závisí na přesnosti stanovení zásob při přípravě LHP/LHO. V součinnosti s hospodářskou evidencí je využitelný i pro odhad zásoby v několika následujících letech platnosti LHP/LHO.

4.1.1.2 Metody odhadu

Metody odhadu jsou využitelné pro stejnověké, stejnorodé, plně zakmeněné a homogenní, tzn. shodně obhospodařované přípravné porosty smrku ztepilého, borovice lesní, břízy bělokoré a olše lepkavé (důvod viz níže). V případě porostů přípravných dřevin jsou tyto podmínky, zejména plné zakmenění, splněny jen výjimečně. Zásoba je stanovena na základě růstových tabulek uvádějících předpokládanou zásobu v závislosti na věku a bonitě dřeviny. Může být odečtena jak zásoba hroubí, tak celého porostu. Bonita je vyjádřena pomocí střední výšky porostu, která se zjistí měřením jako výška středního kmene. Vhodný postup pro její zjištění je změření výšek cca 20 sousedících stromů dané dřeviny ve střední části porostu, z hodnot je následně vypočítán průměr reprezentující střední výšku.

V podmínkách ČR jsou základní růstové tabulky pro odhad zásob všeobecně k dispozici pro hlavní dřeviny – smrk ztepilý, borovice lesní, buk lesní a dub (letní i zimní; Černý et al. 1996). Z nich se jako dřeviny přípravné mohou uplatnit smrk a borovice. Pro břízu a olši lepkavou mohou být využity hodnoty z interních růstových tabulek Černý, Pařez (1998), které byly upravené na základě měření na výzkumných i poloprovozních plochách (tab. 1, 2). Původní tabulky byly vypracovány jako výzkumná zpráva pro MZe a nejsou běžně dostupné. Úprava proběhla na základě vyhodnocení růstu a stanovení zásob na 47 výzkumných plochách na různých stanovištích v nižších až středních polohách. Porosty na těchto výzkumných plochách jsou ve věkovém rozpětí 15–85 let.

Tab. 1: Základní taxační charakteristiky **nesmíšených porostů břízy** – upraveno podle Černý, Pařez (1998)

Věk (roky)	Hustota porostu (ks/ha)			Zásoba porostu (m³/ha)			Běžný přírůst (m³/ha/rok)		
	bonita		1 (28)	bonita		1 (28)	bonita		1 (28)
	5 (20)	9 (12)		5 (20)	9 (12)		5 (20)	9 (12)	
15	-	-	151	-	-	15	-	-	-
20	-	-	200	-	-	14	-	-	-
30	2000	-	287	104	-	13	5	-	-
40	1200	-	358	142	-	11	5	-	-
50	500	1500	414	173	82	9	4	2	2
60	400	1000	456	197	97	7	4	2	2
70	400	800	487	215	108	5	3	1	1
80	400	700	509	228	116	4	2	1	1
90	400	700	525	238	121	3	1	1	1
100	400	700	537	244	125	2	1	1	1

Tab. 2: Základní taxační charakteristiky nesmíšených porostů olše lepkavé – podle Černý, Pařez (1998)

Věk (roky)	Hustota porostu (ks/ha)			Zásoba porostu (m³/ha)			Běžný přírůst (m³/ha/rok)		
	bonita			bonita			bonita		
	1 (28)	5 (22)	9 (16)	1 (28)	5 (22)	9 (16)	1 (28)	5 (22)	9 (16)
15	1703	-	-	54	-	-	7	-	-
20	1340	1741	-	72	29	-	7	3	-
30	906	1187	1620	106	51	23	7	4	2
40	660	859	1204	137	73	39	7	4	2
50	511	660	897	165	94	54	7	4	2
60	410	529	699	191	114	69	7	4	2
70	337	439	568	216	133	59	7	4	2
80	281	374	477	238	150	97	7	4	2

4.1.1.3 Metody přímého měření

Metody reprezentativní (inventarizační)

Jsou založeny na měření inventarizačních zkusných ploch, na kterých se zjišťuje výčetní kruhová základna a střední výška. Tyto plochy mají buď pevný tvar a známou velikost, nebo se může jednat o plochy relaskopické.

Pro dosažení odpovídající přesnosti zjišťování zásob těmito metodami by v obou případech nejprve bylo vhodné stanovit **vytyčovací údaje**, tzn. počet potřebných ploch (relaskopických stanovišť), jejich velikost a odstupovou vzdálenost.

Minimální počet zkusných ploch se vypočítá podle vztahu

$$n = \frac{t_{\alpha} \times S_x^2}{x^2} \quad (2)$$

kde S_x [%] je variační koeficient odpovídající stupni rozrůzněnosti zásob porostu (R_v), který se odhaduje v terénu (tab. 3); x [%] je požadovaná přesnost určení zásoby porostu, nejčastěji $x = \pm 10$ %; t_{α} značí koeficient spolehlivosti, většinou $P = 95$ %, kdy $t_{\alpha} = 2,0$.

Tab. 3: Stupně rozrůzněnosti zásob (R_v) stanovené v terénu a jim odpovídající hodnoty variačních koeficientů (S_x).

R_v	+1	1	1/2	2
S_x	11 %	16 %	21 %	27 %

Velikost pevných kruhových zkusných ploch se u porostů přípravných dřevin nejčastěji volí 0,03 ha, což je typizovaná velikost. Doporučené typizované velikosti se řídí následujícími kritérii (Simon, Kadlec 2014):

- 0,03 ha ($r = 9,77$ m) pro hektarový počet stromu $N \geq 650$ nebo pro $d \leq 27$ cm
- 0,05 ha ($r = 12,62$ m) pro $N = 376$ –650 nebo $d = 27$ –32 cm
- 0,10 ha ($r = 17,84$ m) pro $N \leq 375$ nebo $d \geq 32$ cm

Pro určení **odstupové vzdálenosti** platí tyto vztahy:

$$s = 100 \times \sqrt{\frac{p}{n}} \quad [\text{m}] \quad \text{pro rovnoměrné rozmístění,}$$

$$s_1 = 100 \times \frac{p}{n \times s_2} \quad [\text{m}] \quad \text{pro nerovnoměrné obdélníkové rozmístění,}$$

kde p je celková výměra porostu, n je počet zkusných ploch a s , s_1 , s_2 značí vzdálenost mezi zkusnými plochami.

Pro účely přibližného odhadu zásob však lze přistoupit k zjednodušenému přístupu, který je následující:

Inventarizace na pevných zkusných plochách

Pro jednoduchost výpočtů lze pro účely této metodiky doporučit zkusnou plochu o výměře 0,01 ha, a to buď čtvercovou (10 × 10 m), obdélníkovou, nebo kruhovou (poloměr 5,64 m). Plochy čtvercové a obdélníkové se vytyčují pomocí pásma nebo dálkoměru a optického hranolu pro určení pravého úhlu. Pravý úhel lze ověřit také úhlopříčným měřením pásmem nebo dálkoměrem (v případě čtvercové plochy 10 × 10 m je úhlopříčka 14,1 m). Kruhovou plochu lze úspěšně vytyčit pomocí provázku a středového kolíku. Podle odhadnuté rozrůzněnosti zásob se rovnoměrně vytyčí 5 (pro málo rozrůzněné) až 10 (pro více rozrůzněné zásoby) relaskopických ploch.

Na každé zkusné ploše se odděleně pro jednotlivé dřeviny změří tloušťky všech stromů ležících středem kmene uvnitř plochy, pro každou dřevinu se stanoví střední tloušťka (jako průměrná tloušťka) a k ní se změří příslušná výška stromu (střední výška).

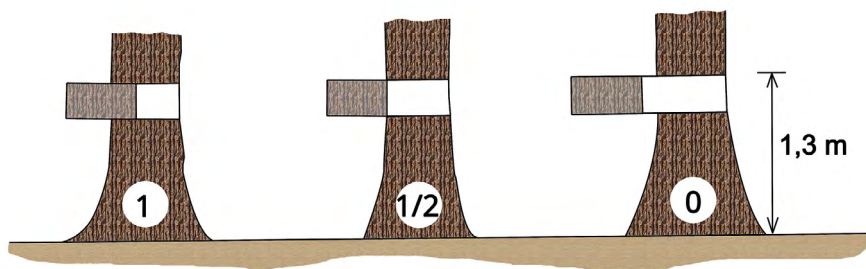
Relaskopická metoda

Jedná se o výběrovou reprezentativní metodu založenou na principu „úhlového měření stromů“ Bitterlich (1948). Je založena na měření kruhové výčetní základny na hektar s využitím záměrného úhlu vytvořeného relaskopickou pomůckou (Šmelko 2000). Tou nejčastěji bývá relaskopická (Bitterlichova) hůl nebo optický klín (relaskopické sklíčko; obr. 5), složitějším zařízením je pak zrcadlový relaskop. Uplatnění této metody je možné pouze v porostech, v kterých je umožněna dostatečná viditelnost pro započítání zaujatých stromů, tedy většinou v porostech starších.

Sčítáním zaujatých (jako 1) a hraničních (jako 0,5) stromů (obr. 6) jednotlivých dřevin se na kruhové relaskopické ploše se stabilizovaným středem, která je umístěna dle odstupové vzdálenosti (v reprezentativní části porostu), vypočítá jejich výčetní kruhová základna na ha. Pro každou dřevinu se určí střední tloušťka (např. pomocí odhadního vzorce $\bar{d} = \frac{d_{max} - d_{min}}{2} - c$, kde c je korekční faktor relaskopického sklíčka (obr. 5) aplikovaného na zaujaté a hraniční stromy, pro strom se střední tloušťkou se změří výška (střední výška). Další způsob zjištění střední výšky může být změření výšek cca 20 sousedících stromů dané dřeviny ve střední části porostu, kdy je z hodnot vypočítán aritmetický průměr.



Obr. 5: Pomůcky pro relaskopování – optický klín (vlevo) a relaskopická hůl (vpravo)



Obr. 6: Měření kruhové výčetní základny pomocí optického klínu (podle Šmelko 2000)

Podle odhadnuté rozrůzněnosti zásob se rovnoměrně vytyčí 5 (pro málo rozrůzněné) až 10 (pro více rozrůzněné zásoby) relaskopických ploch.

Stanovení zásoby z inventarizačních dat

Pro dosažení optimální přesnosti inventarizační metody (ať již prováděné měřením na pevné nebo relaskopické ploše), která může dosahovat až $\pm 10\%$, by bylo nutné dodržet kompletní postup venkovních i kancelářských prací (např. Šmelko 2000; Simon, Kadlec 2014).

Zjednodušený, méně přesný, avšak pro účely odhadu dostačující způsob vyhodnocení dat získaných základním měřením inventarizačních ploch nabízí využití výpočetních modulů pracujících s daty podkladových tabulek pro hospodářskou úpravu lesů.

Údaje o dřevině získané měřením (výčetní kruhová základna a střední výška) spolu s výměrou (redukované plochy dřeviny v porostu) stačí k vyhodnocení **zásoby hroubí v kůře** (Vorratsfestmeter (Vfm)) u porostu břízy (Birke), olše (Schwarzerle), smrku (Fichte), borovice (Kiefer) a modřínu (Lärche) (aj.) na stránce:

<https://www.forst-rast.de/Formhoehentarif.html> (obr. 7).

Průměrkování naplno

Tato metoda poskytuje nejpodrobnější údaje o stavu porostu (přesnost $\pm 5\%$), ale je velmi časově, a tedy i finančně náročná. Její využití se proto většinou omezuje pouze na hospodářsky nejvýznamnější porosty v mýtném věku, s výměrou do 3 ha, řídké a velmi rozrůzněné, kde by jiné metody neposkytovaly dostatečnou přesnost.

Při této metodě se změří průměry ($D_{1,3}$) všech stromů v porostu podle dřevin, stanoví se tak četnost stromů ve 2- nebo 4cm tloušťkových stupních. K nim se změří výškové křivky. Zásoba se pak zjistí pomocí metody objemových tabulek nebo jednotných objemových křivek (blíže viz např. Simon, Kadlec 2014). Matematicky erudovaní uživatelé mohou pro její zjištění využít i přesnější, ale výrazně složitější metody založené na alometrických vztazích (Zianis et al. 2005) nebo expanzních faktorech (Lehtonen et al. 2004).

[Bestandesdaten](#)[Bestandesbeschreibung](#)[Forstrechner](#)[Pflanzenrechner](#)[Abstände Z-Bäume](#)[Rindenabzug](#)[liegender Stamm](#)[stehender Stamm](#)[Raum-, Massenmaße](#)[Holzliste erstellen](#)[Schlankheitsgrad](#)[Baumdurchmesser](#)[WZP-Grenzbaum](#)[Der virtuelle Baum](#)[Vorratsschätzung
mittels Formhöhentarif](#)[Bestandesvorrat](#)[Bestandesvorrat Pappel](#)[Holzmerkmale](#)[Standortkunde](#)[Waldschutz](#)

Vorratsschätzung mittels Formhöhentarif

Im Folgenden kann eine Vorratsschätzung eines Bestandes mittels Formhöhentarif nach v. LAER und SPEIDEL (1959) durchgeführt werden. Dazu wird folgende Formel verwendet:

$$V = G \times FH$$

Benötigt werden die Baumart, die [Bestandesmittelhöhe](#) und die [Bestandesgrundfläche](#) (nähere Erklärung über die Links). Der Vorteil ist, dass das Alter bei dieser Vorratsschätzung nicht benötigt wird. Die Formhöhe wird aus der unten stehenden Tabelle ermittelt und ggf. interpoliert. Das Ergebnis wird in Vorratsfestmeter (Vfm) ausgegeben, d.h. Derbholz mit Rinde, und auf 1/10 gerundet.

Baumart:

Mittelhöhe: m

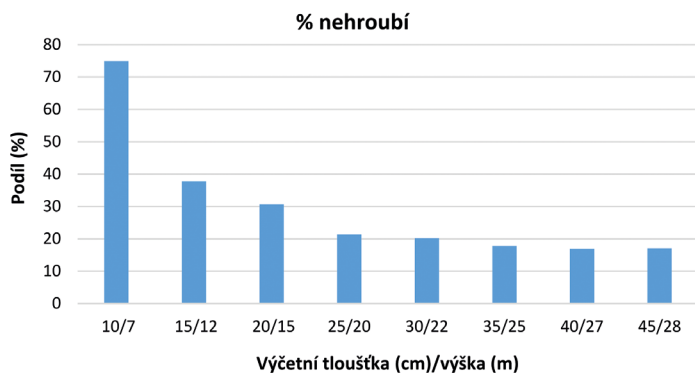
Grundfläche: m²

Bestandesfläche: ha

Obr. 7: Webový formulář pro stanovení zásob porostu ze základních porostních parametrů (dřevina, střední výška, výčetní kruhová základna, plocha porostu) na základě německé databáze tarifů výškových tvarů stromů (Formhöhentarif), <https://www.forst-rast.de/Formhoehtarif.html>

4.1.2 Výpočet zásoby celkové nadzemní dendromasy

Pokud bylo pro určení zásoby porostu využito metody odhadu (kapitola 4.1.1.2), získané údaje mohou zahrnovat zásobu celé nadzemní dendromasy. V jiném případě je třeba provést přepočet zásoby hroubí na celkovou dendromasu. Převod zásoby hroubí na přibližný objem celkové nadzemní dendromasy se provádí na základě předpokládaného podílu nehroubí porostů jednotlivých dřevin. Podíl nehroubí klesá s věkem porostu a mění se i v souvislosti s postavením stromu určujícím jeho dimenze v rámci porostu (obr. 8). V porostním měřítku však lze uvažovat o vyrovnaném podílu nehroubí. Rámcový odhad podílu nehroubí spolu s koeficientem převodu zásoby hroubí na celkovou zásobu nadzemní dendromasy pro účely této metodiky je uveden v tabulce 4.



Obr. 8: Podíl sušiny nehroubí na celkové sušině borovice podle dimenzí stromu v dospělém porostu borovice (podle Remeš et al. 2016).

V případě záměru využít kompletní nadzemní dendromasu pro energetické účely se přepočte zásoba hroubí zjištěná metodami uvedenými v kapitole 4.1.1 na celkovou dendromasu vynásobením příslušným násobným koeficientem podle dřeviny a věku dle tab. 4.

Tab. 4: Odhad vývoje podílu nehroubí (%) na celkové nadzemní dendromase přípravného porostu s věkem a koeficient pro přepočet zásoby hroubí na celkovou zásobu dendromasy.

	% nehroubí					násobný koeficient přepočtu zásoby hroubí na celkovou dendromasu				
	věk					věk				
	<20	20-40	40-60	>60 let		<20	20-40	40-60	>60 let	
Listnáče a MD	55	40	30	15		1,55	1,40	1,30	1,15	
SM	70	60	40	18		1,70	1,60	1,40	1,18	
BO	60	55	35	15		1,60	1,55	1,35	1,15	

Přesnější, avšak pracné zjištění násobného koeficientu, specifického pro podmínky daného porostu, lze provést na základě těžby a analýzy vzorníkových kmenů s dimenzemi středního kmene. Koeficient se stanoví například pomocí hmotnostního poměru nehroubí vůči hmotnosti hroubí.

4.1.3 Stanovení cílového objemu na základě dílčího těžebního procenta

V případě plánu jiného než holosečného způsobu obnovy/těžby přípravného porostu se podle plánované intenzity zásahu stanoví jeho dílčí těžební procento, tedy poměr těžené dendromasy k dendromase celkové.

$$\{těžební\ procento\} = \frac{\{objem\ dřeva\ k\ těžbě\}}{\{celkový\ objem\ dřeva\ porostu\}} \times 100 \quad (3)$$

Zamýšlený objem těžené dendromasy je pak vypočten jako procentní podíl příslušné zásoby (hroubí nebo celé nadzemní části) vůči celkové zásobě porostu.

4.1.4 Stanovení sušiny dendromasy

Dalším krokem ke stanovení spalitelné energie v dendromase je převod příslušné zásoby (objemu hroubí či celkové nadzemní dendromasy, v množství podle záměru těžby, viz předchozí podkapitola) na hmotnost sušiny, a to přes objemovou hmotnost. Skutečná objemová hmotnost konkrétního stromu závisí nejen na dřevině, ale i na charakteru jeho růstu daném stanovištními i porostními podmínkami konkrétního porostu. Pro přepočtení pro účel metodiky je však vhodné použít přibližné střední hodnoty. S ohledem na přirozenou variabilitu objemové hmotnosti lze tyto hodnoty shodně použít pro převod objemu (zásoby) hroubí i celkové nadzemní dendromasy (tab. 5).

Tab. 5: Obvyklé rozpětí objemové hmotnosti suchého dřeva a doporučená reprezentativní hodnota pro výpočet sušiny hroubí i celé nadzemní dendromasy dřevin připrav-
ných porostů = koeficient převodu objemu na sušinu

Dřevina	Objemová hmotnost (kg/m ³)	
	rozpětí	koeficient převodu objemu na sušinu
borovice lesní	490–543	510
bříza	550–673	590
modřín opadavý	520–590	550
olše	523–530	490
smrk ztepilý	440–470	430
topol osika	400–500	420

Hmotnost sušiny dendromasy porostu se vypočítá vynásobením zásoby (objemu) porostu dané dřeviny uvedenou reprezentativní objemovou hmotností (tj. koeficientem).

Vzhledem k těsnému vztahu mezi čerstvou vlhkostí (vlhkostí živé dendromasy) a sušinou lze v tomto kroku odhadnout i **hmotnost dendromasy těžného porostu v době těžby**. Při těžbě mimo vegetační období lze počítat s 50% vlhkostí dendromasy, bez ohledu na to, o jakou dřevinu (BR, OS, OL, SM, MD) se jedná a jestli se jedná pouze o odběr hroubí nebo celkové nadzemní dendromasy. Celková okamžitá hmotnost těžené dendromasy se proto bude pohybovat kolem dvojnásobku hmotnosti sušiny.

4.1.5 Výpočet spalitelné energie v nadzemní dendromase

V tomto kroku již máme dostatek údajů pro výpočet spalitelné energie dendromasy. Celý postup výpočtu navazuje na výpočty provedené v předchozích krocích: Hektarová zásoba hroubí dřeviny přípravného porostu určeného k zásahu (viz kapitola 4.1.1) nebo její celkové nadzemní dendromasy (4.1.2; v závislost na záměru) je vynásobena plochou porostu nebo jeho části určené k těžbě a dílčím těžebním procentem (4.1.3), následně je tato hodnota přepočítána na hmotnost sušiny (4.1.4).

Pro výpočet **spalného tepla** je pak sušina nadzemní dendromasy určené k těžbě a realizaci vynásobena příslušnou měrnou hodnotou spalného tepla (tab. 6).

Tab. 6: Měrné spalné teplo hroubí (MJ/kg) a celkové nadzemní dendromasy těžené v zimě dřevin přípravných porostů. Hodnoty spalného tepla celkové dendromasy mladších porostů břízy a osiky jsou uvedeny také při jarní a letní těžbě.

Dřevina	Porosty do 20 let věku				Porosty starší
	Jen hroubí	Celková dendromasa			Jen hroubí
	Termín těžby				Termín těžby
	zima	zima	jaro	léto	zima
BO	17,7				19,6
BR	18,1	17,3	17,0	15,5	19,8
MD	17,9	17,5			19,1
OL	15,5	14,4			19,9
OS	17,7	17,1	15,1	15,2	20,0
SM	16,7	16,0			18,6

Celý postup lze vyjádřit následujícím vzorcem:

$$\{spalné\ teplo\ v\ dendromase\} = \{sušina\ dendromasy\} \times \{měrné\ spalné\ teplo\} \quad (4)$$

kde sušina dendromasy (kg) je vypočítána podle:

$$\{sušina\ dendromasy\} = (\{zásoba\ dendromasy\} \times \{plocha\} \times \{těžební\ procento\} \times \{koeficient\ převodu\ objemu\ na\ sušinu\}) \quad (5)$$

Údaj o **výhřevnosti** dendromasy pak lze z hodnoty spalného tepla získat pomocí přibližného vzorce (při předpokládaném obsahu vodíku v dendromase 6,5 %), který dle vztahu (1)

pro **absolutně suchý materiál** platí v tomto znění:

$$\{výhřevnost\ dendromasy\} = \{spalné\ teplo\ v\ dendromase\} - 2,453 \times (9 \times 0,065) \times \{sušina\}$$

tzn.:

$$\{výhřevnost\ dendromasy\} = \{spalné\ teplo\ v\ dendromase\} - 1,435 \times \{sušina\} \quad (6)$$

a pro **materiál proschlý v běžných podmínkách** (mající vlhkost okolo 18–20 %):

$$\{výhřevnost\ dendromasy\} = \{spalné\ teplo\ v\ dendromase\} - 2,453 \times (0,19 + 9 \times 0,065) \times \{sušina\}$$

tedy:

$$\{výhřevnost\ dendromasy\} = \{spalné\ teplo\ v\ dendromase\} - 1,9 \times \{sušina\} \quad (7)$$

Výsledné hodnoty spalného tepla i výhřevnosti jsou v **megajoulech [MJ]**. Zjištěné hodnoty lze převést na další v energetice běžně užívané jednotky (tab. 7).

Tab. 7: Energetické převodní koeficienty. MJ – megajoule; GJ – gigajoule; kWh – kilowatthodina

	MJ	GJ	kWh
MJ	1	0,001	0,278
GJ	1000	1	278
kWh	3,6	0,0036	1

4.2 Základní možnosti využití energetické lesní štěrky

Energetická (lesní) štěrka, zahrnující dřevo, kůru, jehliční s častou příměsí dalších nečistot (půda), je v současnosti žádaným produktem pro provoz řady elektráren, centrálních tepláren (příp. kogeneračních jednotek) i vytápění domácností lokálními topeništi. Spolu s vedlejším produktem pilařské a jí podobné dřevozpracující výroby je často zpracovávána do formy pelet nebo briket, umožňující automatické dávkování materiálu do topeniště (MZe 2013). Při výrobě dřevní štěrky se u nás uplatňují tři technologie zpracování dendromasy, a to štěpkování, drcení (dezintegrace) a svazkování s následným štěpkováním. Bližší informace k technologii výroby je např. v metodice „Využití a pěstování biomasy lesních dřevin pro další zpracování a energetické účely“ (Soušek et al. 2020).

Poptávka po dendromase je podpořena dotacemi, které snižují náklady na pořízení technologie spalování (kotlů; SFŽP 2024) a výrobu elektrické energie z tohoto zdroje (ERU 2023).

Zásoba dendromasy porostů přípravných dřevin (především břízy a topolu osiky) díky rychlému růstu v mládí rychle přibývá. Po využití jejich „přípravné funkce“ budou tyto porosty jednorázově nebo postupně těženy pro uvolnění cílových dřevin nebo jejich vnášení ve věku 20 až 50 let od vzniku těchto přípravných porostů. Na základě podkladů z růstových tabulek a měření na výzkumných a poloprovozních plochách lze předpokládat produkci těchto porostů ve 30 letech v rozmezí 180 až 250 m³/ha hroubí v závislosti na stanovištních podmínkách, což znamená celkovou produkci biomasy ve výši 216 až 300 m³/ha.

4.3 Ekonomické vyhodnocení využití porostů přípravných dřevin pro energetické účely

Rentabilita využití porostů přípravných dřevin pro energetické účely vychází z posouzení nákladů a výnosů spojených s těžbou, soustředováním, štěpkováním a dopravou energetické štěpky. Kromě smluvních položek vyplývajících z přímé nákladovosti vstupů se na tvorbě obchodní ceny energetické štěpky projevují také dotace na instalace a provoz zařízení na využívání obnovitelných zdrojů energie (viz aktuální přehled dotačních programů Ministerstva průmyslu a obchodu).

V **modelovém příkladě** předpokládáme přípravný porost břízy 3. bonity o celkové výměře 2 ha, rostoucí na stanovišti CHS 43. Na tomto stanovišti je vysoké riziko využívání lesních těžebních zbytků z hlediska bilance živin (obr. 7). Porost ve věku 20 let o zjištěné zásobě hroubí 58 m³/ha, což přibližně odpovídá celkové dendromase 90 m³/ha, bude na závěr zimy rozpracován formou pruhových sečí. Celkové těžební procento bylo stanoveno na 70 %. Těžba proběhne přenosnou řetězovou pilou (PRP). Z důvodu živinové šetrnosti ke stanovišti bude přistoupeno k částečnému ponechání neroubí na ploše (formou selektivního krácení korun) v množství cca 30 % nehroubí. Hmota k realizaci bude soustředěna pomocí univerzálního kolového traktoru (UKT) na odvozní místo (OM), kde bude štěpkována a předána odběrateli.

Zásoba obchodovatelné dendromasy na 1 ha porostu tak bude:

$$\{zásoba\ dendromasy\} = (90 - (90 - 58) \times 0,3) = 80,4\ m^3$$

Z celého porostu (2 ha) pak $80,4 \times 2 = 160,8\ m^3$.

Při uvažovaných jednotkových nákladech na těžbu a přibližování ve výši 400 Kč/m³ (uplatnitelné na hmotu hroubí) a štěpkování 210 Kč/m³ (uplatnitelné na celkovou dendromasu) by pak celkové náklady na odvozním místě činily cca 80 tis. Kč. Při ceně štěpky ve výši 800 Kč/m³ by výnos na OM dosáhl přibližně 128 tis. Kč, což představuje čistý zisk 48 tis. Kč.

Sušina obchodované dendromasy tohoto porostu se následně vypočítá podle vztahu (4) jako:

$$\{sušina\ dendromasy\} = (80,4 \times 2 \times 0,7 \times 590) = 66\ 410,4\ kg \cong 66\ tun$$

Spalné teplo se podle vztahu (5) vypočítá:

$$\{spalné\ teplo\ v\ dendromase\} = \{66\ 410,4\} \times 17,3 \cong 1\ 148\ 890\ MJ \cong 1\ 148\ GJ \cong 319\ MWh$$

Podle vztahu (7) pro materiál proschlý v běžných podmínkách to představuje výhřevnost:

$$\{výhřevnost\ dendromasy\} = \{1\,148\,890\} - 1,9 \times \{66\,410,4\} \cong 1\,022\,710\,MJ \cong 1\,022\,GJ \cong 284\,MWh$$

Tato výhřevnost rámcově odpovídá výhřevnosti 40 tun ideálně vyschlého (na 10 % vlhkosti) hnědého uhlí, 37 tun černého uhlí (shodné vlhkosti) nebo 30 tun zemního plynu (srovnej Petránková Ševčíková 2022).

5 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Problematika hodnocení energetického využití porostů přípravných dřevin dosud nebyla komplexně řešena. V obecné rovině byly zpracovány pouze metodiky: „Metodika stanovení potenciálu biomasy v zájmových územích při zajištění potravinové bezpečnosti“ a „Metodika stanovení potenciálu biomasy pro energetické využití v krizových situacích“, které zpracovával kolektiv pracovníků Výzkumného ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Průhonice a České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. V těchto metodikách je rozpracován potenciál zemědělské a lesnické biomasy pro energetické využití při standardních způsobech pěstování. Dále je k dispozici metodika „Využití a pěstování biomasy lesních dřevin pro další zpracování a energetické účely“ (Soušek et al. 2020) sumarizující postupy a technologie pro využití lesních těžebních zbytků i cílené pěstování porostů rychlerostoucích dřevin na zemědělské půdě včetně legislativního rámce. Metodika „Stanovování množství zbytkové dendromasy na konkrétní pracoviště – těžební prvek v porostní skupině“ (Štorek et al. 2017) se pak zabývá možnostmi využití lesních těžebních zbytků z mýtních stejnověkových porostů pro výrobu energetické dřevní štěpky a přesným zjišťováním spalitelné energie lesní štěpky.

Předkládaná metodika hodnotí energetický potenciál porostů přípravných dřevin, které mají velký potenciál uplatnění zejména při obnově rozsáhlých kalamitních holin. U těchto porostů se předpokládá, že po splnění jejich přípravné funkce budou přípravné dřeviny jednorázově nebo postupně z porostů odstraněny ve zkrácené době obmýtí.

6 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Tato certifikovaná metodika je určena zejména pro lesní hospodáře, vlastníky a správce lesů, energetiky a projekční kanceláře, dále pro lesnické školy, univerzity a výzkumné instituce zaměřené na lesnictví. Své uplatnění může najít také u pracovníků orgánů státní správy lesů, ochrany přírody apod.

Metodika nabízí postupy pro efektivní využití biomasy dřevin přípravných porostů zakládáných zejména v oblastech postižených velkoplošným rozpadem porostů. Aby tak podpořila rozhodování v oblasti lesního managementu a energetiky s ohledem na principy udržitelnosti lesního hospodářství, a to bez ohrožení ekologické odolnosti lesních ekosystémů. Tím přispívá k efektivnímu využití a rozvoji obnovitelných energetických zdrojů, čímž se stane cenným nástrojem pro odborníky v lesnictví a energetice.

7 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomický význam uplatnění metodiky spočívá zejména v argumentační podpoře rozhodování v oblasti lesního managementu a energetiky při hospodaření s porosty přípravných dřevin. Využití dřevní hmoty z lesní štěpky přípravných porostů může v závislosti na stanovištních a porostních podmínkách představovat ekonomicky výhodnou strategii, která zajistí krátkodobé zisky, diverzifikaci příjmů a podporu regionální ekonomiky. Výnos z těžby přípravných porostů může kompenzovat ekonomické ztráty spojené s kalamitami nebo dlouhodobou obnovou lesů. Dendromasa je považována za obnovitelný zdroj energie: díky opětovné akumulaci uhlíku v následné generaci lesa pomáhá snižovat emise CO₂, které by se uvolnily při spalování fosilních paliv. Její energetické využití má tedy také ekologické přínosy, jako je podpora obnovitelných zdrojů energie a zmírnění klimatické změny. Na živinově chudých lokalitách je však potřebné dendromasu v příslušné míře na stanovišti ponechat, a to například i formou štěpky, což snižuje nutnost externí aplikace hnojiv.

Cena lesní štěpky v ČR se pohybuje podle regionu, kvality a vlhkosti. Při průměrné ceně kolem 800–1200 Kč/m³ může výnos z hektaru porostu dosáhnout desítek až stovek tisíc korun v závislosti na zásobě dendromasy a těžebních nákladech. Přípravné porosty mají vysoký potenciál výhřevnosti, což zajišťuje jejich atraktivitu na trhu obnovitelných zdrojů energie.

8 DEDIKACE

Certifikovaná metodika byla vypracována v rámci řešení projektu NAZV QK22020008 „Komplexní vyhodnocení plnění produkčních a mimoprodukčních funkcí lesa u porostů přípravných dřevin“ a institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace MZE-RO0123.

9 LITERATURA

9.1 Seznam použité související literatury

- Aniszewska, M., Gendek, A. (2014) Comparison of heat of combustion and calorific value of the cones and wood of selected forest tree species. *Lesne Práce Badawcze* 75(3): 231-236
- Bartolucci, B., Rosa, A., Bertolin, C., Berto, F., Penta, F., Siani, A. et al. (2020) Mechanical properties of the most common European woods: a literature review. *Frattura ed Integrità Strutturale* 14: 249-274.
- Briceño-Elizondo, E., Garcia-Gonzalo, J., Peltola, H., Kellomäki, S. (2006) Carbon stocks and timber yield in two boreal forest ecosystems under current and changing climatic conditions subjected to varying management regimes. *Environmental Science & Policy* 9(3): 237-252. DOI: 10.1016/j.envsci.2005.12.003
- Černý, M., Pařez J. (1998) Růstové tabulky dřevin České republiky. Modřín, jedle, jasan, bříza, olše černá, topol, habr, akát, douglaska. Jílové u Prahy, Ústav pro výzkum lesních ekosystémů: 119 s.
- Černý, M., Pařez J., Malík, Z. (1996) Růstové a taxační tabulky hlavních dřevin České republiky (smrk, borovice, buk, dub). Jílové u Prahy, IFER, 244 s.
- ERU (2023) Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu 3/2023, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie.
- Filipi, B. (2003) Nauka o materiálu. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 124 s.
- Frouz, J., Prach, K., Pižl, V., Háněl, L., Starý, J., Tajovský, K., Materna, J., Balík, V., Kalčík, J., Řehounková K. (2008) Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology* 44(1): 109-121. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2007.09.002
- Günther, B., Gebauer, K., Barkowski, R., Rosenthal, M., Bues, C-T. (2012) Calorific value of selected wood species and wood products. *European Journal of Wood and Wood Products* 70: 755-757. DOI: 10.1007/s00107-012-0613-z

- Hlásny, T., Turčáni, M. (2013) Persisting bark beetle outbreak indicates the unsustainability of secondary Norway spruce forests: A case study from Central Europe. *Annals of Forest Science* 70: 481-491. DOI: 10.1007/s13595-013-0279-7
- Horák, J., Kubesa P. (2012) O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (1), aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy. 21.5.2012, VŠB, TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum. Dostupné na: <https://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>
- Lehtonen A., Mäkiä R., Heikkinen J., Sievänen R., Liski J. (2004) Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188(1-3): 211-224.
- Martiník, A. (2014) Obnova lesa sítí břízou – zkušenosti ze smrkového porostu po větrné kalamitě. *Zprávy lesnického výzkumu* 59(1): 35-39.
- MZe (2013) Možnosti energetického využití biomasy. Ukázka praktických opatření z Akčního plánu pro biomasu v ČR na období 2012–2020. 67 s.
- Petránková Ševčíková, S., Koloničný, J., Kubesa, P., Molchanov, O., Pánková R., Holubčík, M. (2022) Paliva a jejich vlastnosti. Ostrava: VŠB-TUO, Výzkumné energetické centrum, 86 s., ISBN 978-80-248-4624-8
- Porankiewicz, B., Tylman, M., Wieczorek, D., Bocho-Janiszewska, A., Klimaszewska, E., and Wieloch, G. (2016) The combustive heat of thirteen deciduous wood species. *BioResources* 11(2): 4402-4414.
- Remeš, J., Bílek, L., Zahradník, D. (2016): Metody stanovení množství nadzemní biomasy borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) v podmínkách hospodářského souboru 13 a 23. Strnady, VÚLHM: 27 s. Lesnický průvodce 18/2016.
- SFŽP (2024) Kotlíkové dotace. Dostupné na: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky/kotlikove-dotace/> Cit.: 2024-07-12
- Simon, J., Kadlec, J. (2014) Zjišťování stavu lesa (klasické metody zjišťování zásob). Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, 70 s.
- Soušek, Z., Nikl, M., Remešová, M. et al. (2020) Využití a pěstování biomasy lesních dřevin pro další zpracování a energetické účely. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, 47 s.
- Šmelko, Š. (2000) *Dendrometria*. Vysokoškolská učebnica. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 399 s.

- Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Novotný, R. (2021) Doporučené metody nakládání s těžebními zbytky v lesních porostech s významnou produkční funkcí z hlediska udržitelnosti bilance hlavních živin. Certifikovaná metodika. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Lesnický průvodce 3/2021, 45 s.
- Štorek, V., Štícha, V., Skoupý, A., Kondělka, P., Mikulenčák, J. (2017) Stanovování množství zbytkové dendromasy na konkrétní pracoviště - těžební prvek v porostní skupině. Certifikovaná metodika. ČZU v Praze, Foresta SG, Vsetín, 32 s.
- Tlustoš, P., Száková, J., Zárubová, P., Břendová, K., Habart, J., Punčochář, M., Šyc, M. (2014) Skladování, přeprava a úprava kontaminované biomasy. Certifikovaná metodika, Praha, Česká zemědělská univerzita, 40 s. ISBN: 978-80-213-2520-3
- Trávníček, P. (2015) Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 210 s. ISBN 978-80-7509-206-9.
- ÚHÚL (2009) Analýza a výsledná kvantifikace využitelné lesní biomasy s důrazem na těžební zbytky pro energetické účely při zohlednění rizik vyplývajících z dopadu na půdu, koloběh živin a biologickou rozmanitost. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesa, 50 s.
- Úradníček, L., Maděra, P., Tichá, S., Koblížek, J. (2009) Dřeviny České republiky. 2. přepracované vydání. Kostelec nad Čenými lesy, Lesnická práce, 367 s.
- Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. (2005) Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4: 63 s.

9.2 Práce autorů vztahující se k dané problematice

- Leugner, J., Dušek, D. (2021) Využití modřínu jako přípravné dřeviny při obnově kalamitních ploch. *Lesnická práce* 100(8): 526–527.
- Martiník, A., Knott, R., Krejza, J., Černý, J. (2018) Biomass production of *Betula pendula* stands regenerated in the region of allochthonous *Picea abies* dieback. *Silva Fennica* 52(5): 9985. DOI: 10.14214/sf.9985
- Polách, R., Špulák, O. (2021) Vliv věku a úpravy zakmenění listnatých přípravných porostů na prosperitu podsadeb buku lesního. [Impacts of age and different stocking of preparatory deciduous stands on the performance of underplanted *Fagus sylvatica*]. *Zprávy lesnického výzkumu* 66(1): 1–10.

- Polách, R., Špulák, O. (2022) Prosperita jedle v podsadbách pod přípravnými porosty listnatých dřevin o různém zakmenění a věku. [Prosperity of silver fir planted under preparatory stands of pioneer broadleaves of different stocking and age]. *Zprávy lesnického výzkumu* 67(4): 269–277.
- Prouza, J., Černý, J. (2022) Sezónní dynamika indexu listové plochy přípravných porostů břízy bělokoré. In: Belko, M., Štefančík, I., Mačejovský, V. (eds.) *Proceedings of Central European Silviculture*, Zvolen, s. 159–166.
- Souček, J., Špulák, O., Leugner, J., Pulkrab, K., Sloup, R., Jurásek, A., Martiník, A. (2016) Dvoufázová obnova lesa na kalamitních holinách s využitím přípravných dřevin. [Two-phase regeneration of forest stand on large calamity originated clear-cuts with utilisation of nurse stand]. *Certifikovaná metodika*. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. *Lesnický průvodce* 10/2016, 35 s.
- Souček, J., Špulák, O. (2010) Vliv přípravného porostu břízy na průběh teploty vzduchu. [Influence of birch nurse stand on air temperature development]. In: *Bříza - strom roku 2010. Birch - tree of the year 2010. Sborník z konference*. Kostelec nad Černými lesy, 23. září 2010. Praha, Česká zemědělská univerzita, Katedra pěstování lesů 2010, s. 93–98. ISBN 978-80-213-2098-7
- Špulák, O., Kacálek, D. (2020) How different approaches to logging residues handling affected retention of nutrients at poor-soil Scots pine site after clear-cutting? A case study. *Journal of Forest Science* 66(11): 461–470. DOI: 10.17221/143/2020-JFS
- Špulák, O., Souček, J., Leugner, J. (2016) Nadzemní biomasa, živiny a spalné teplo v mladém sukcesním porostu přípravných dřevin. [Aboveground biomass, nutrients and combustion heat of young successional forest stand of pioneer species]. *Zprávy lesnického výzkumu* 61(2): 132–137.
- Špulák, O. (2017) Obnova lesa na kalamitních holinách s využitím přípravných dřevin. In: *Obnova a výchova porostů po kalamitách na severní Moravě. Sborník příspěvků*. 23. 11. 2017, Hotel Akademie, Hrubá Voda 59, Hlubočky. [Praha], Česká lesnická společnost, s. 15–20.

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE AMOUNT OF THERMAL ENERGY IN DENDROMASS OF PREPARATORY TREE SPECIES FOREST STANDS

Summary

This methodology has been developed to assess the thermal energy in the dendromass of pioneer tree species forest stands, recently becoming a critical issue due to climate-related disturbances significantly affecting mainly spruce populations. It highlights the increasing use of pioneer species for restoration on disturbed clearings, with the aim of both ecological restoration and dendromass energy production. This approach not only supports the ecological functions of these forests but also increases their sustainability as an energy resource.

The methodology is intended for a wide range of stakeholders, including forest managers, owners, engineering firms, forestry schools, universities and forestry research institutes. It can be also beneficial for government forestry and conservation agencies. It provides detailed procedures for quantifying the total above-ground biomass (dendromass) available for harvesting, using both direct measurement and estimation techniques to ensure an adequate assessment of heating energy potential.

The methodology highlights the strategic importance of using pioneer tree species in restoration efforts, particularly in areas cleared by natural disturbances. Preparatory forest stands, which develop through natural succession or artificial regeneration of pioneer tree species especially following disturbance, are characterised by their rapid establishment. They provide shade, reduce the impact of climatic extremes on cleared areas, improve soil conditions and suppress forest weeds, which are crucial for the successful establishment and growth of climax species that are less tolerant to extreme conditions. They can also offer economic benefits.

The main objective of this methodology is to provide a reliable framework for assessing the energy potential of dendromass of preparatory forest stands. By focusing on the Gross and Net Calorific Values (GCV and NCV) of the dendromass of pioneer tree species, it provides detailed energy potential assessments that are critical for optimising the use of biomass of the forests for energy production. This information supports economic decision-making regarding the utilization of these forests for energy production.

To achieve this, the methodology at the beginning emphasizes the importance of accurately determining the dendromass volume. It outlines steps for usable volume assessment of the aboveground dendromass of the preparatory stand, methods range from simple approximations to detailed field measurements and laboratory analyses. Calculation of total aboveground dendromass from the volume of merchantable wood is also present. Planned biomass harvesting techniques delineate expected exploitation percent, and procedures for calculating dry weight and energy content are proposed. It also integrates modelling techniques ensuring that assessments are applicable to different forest conditions. Exemplar cost-efficiency calculations are included, focusing on maximizing the economic return from biomass utilization without compromising the long-term ecological stability of forest stands.

In practical terms, this methodology serves forestry professionals by providing a standardised approach to quantifying the potential thermal energy output of pioneer species, facilitating strategic decision-making in forest management and bioenergy production. It balances environmental sustainability with economic efficiency by maximising the benefits of biomass resources for energy production. It also supports the development of policies and practices that promote renewable energy sources, thereby contributing to broader environmental and sustainability goals.

In summary, the methodology promotes the use of forest biomass as a renewable energy source concerning optimal employment of ecological functions of pioneer preparatory forest stands, thereby reconciling economic and environmental objectives in forest management. This comprehensive approach ensures that the dual benefits of ecological restoration and biomass utilisation are optimised, providing a valuable tool for promoting sustainable forestry practices and energy security.

PŘÍLOHA



Obr. A: Výsadbou založené přípravné porosty ve věku 6 let na kalamitní holině na severní Moravě (výzkumná plocha Huzová): bříza bělokorá (nahore) a olše lepkavá (dole). Foto J. Černý.



Obr. B: Modřín opadavý (nahore; foto J. Černý) a topol osika (dole; foto O. Špulák) na shodné výzkumné ploše.



Obr. C: Přípravný porost s převahou olše ve věku cca 20 let vzniklý přirozenou obnovou. Foto O. Špulák.



Obr. D: Přípravný porost břízy ve věku cca 18 let vzniklý přirozenou obnovou. Foto O. Špulák.



Obr. E: Přípravný porost břízy s příměsí borovice vzniklý přirozenou obnovou ve fázi podsadeb. Foto O. Špulák.



Obr. F: Energetická štěpka dřevní biomasy (foto: <http://agrokont.webmium.com>).



Obr. G: Porost z přirozené obnovy ve věku cca 30 let, ve kterém je bříza ponechána jako cílová a zároveň výchovná dřevina. Foto O. Špulák.



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

www.vulhm.cz

LESNICKÝ PRŮVODCE 8/2024