Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra lesnických technologií a staveb

Stanovení množství zbytkové dendromasy smrku ztepilého (Picea abies [L.], Karst.) ve vybraných porostech v České republice

Bakalářská práce

Autor: Stanislav Pluhař

Vedoucí práce: Ing. Václav Štícha Ph.D.

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Stanislav Pluhař

Lesnictví

Název práce

Stanovení množství zbytkové dendromasy smrku ztepilého (Picea abies [L.], Karst.) ve vybraných porostech v České republice

Název anglicky

Determining the amount of residual dendromass in selected spruce (Picea abies [L.], Karst.) forests in the Czech Republic

---

Cíle práce

Stanovit množství zbytkové dendromasy smrku ztepilého ve vybraných porostech v ČR.

Metodika

Zpracování literární rešerše. Stanovení množství zbytkové dendromasy smrku ztepilého ve vybraných porostech pomocí vážení vzorků a stanovení obsahu vody. Zpracování dat, zhodnocení výsledků.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

zbytková dendromasa, smrk ztepilý, objem dřeva

Doporučené zdroje informací

ALEXANDR, P., ROČEK, I. Technika a technologie výroby lesních štěpek. Praha: Vysoká škola zemědělská, 1991. 132 s.

FROMM, J. H., et al. Xylem water content and wood density in spruce and oak trees detected by high-resolution computed tomography. Plant Physiology, 2001, 127: 416-425.

CHYTRÝ, M. The potential of forest dendromass suitable for energy utilization and energy policy in the Czech Republic. Zprávy Lesnického Výzkumu, 2007,52, Special Issue: 21-25.

KRAVKA, M., KREJZAR, T., ČERMÁK, J. Water content in stem wood of large pine and spruce trees in natural forests in central Sweden. Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 98: 555-562.

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Václav Štícha, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra lesnických technologií a staveb

Elektronicky schváleno dne 30. 4. 2016

doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2017

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 05. 03. 2019

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Stanovení množství zbytkové dendromasy smrku ztepilého (Picea abies [L.], Karst.) ve vybraných porostech v České republice“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Václava Štíchy, Ph.D. a použil k tomu pramenů řádně citovaných.

Dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.“

V Praze dne…… ……

Stanislav Pluhař

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Václavu Štíchovi, Ph.D. za odbornou pomoc a nedocenitelnou ochotu při zhotovování této práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům za podporu a poskytnutí důležitých kontaktů a dat. Nemohu zapomenout na firmu STANEST s.r.o., které náleží veškerá potřebná mechanizace, ke které jsem dostal přístup a za umožnění různých organizačních změn a ochotu spolupracovat i přes mé velké nároky.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo stanovení množství zbytkové dendromasy smrku ztepilého (*Picea abies)* z vybraných porostů v České republice. Teoretická část se zabývá obecně biomasou, která je dále specifikována pod termínem dřevní biomasa. Praktická část se zaměřuje na jednotlivé porosty, kde zbytková dendromasa získávala a zpracovávala. Tyto porosty jsou poté mezi sebou následně porovnávány.

Klíčová slova: zbytková dendromasa, smrk ztepilý (*Picea abies* (L.), Karst.), lesní štěpka

Abstract

The aim of this bachelor thesis was to determine volume of residual dendromass of Norway spruce from selected stands in the Czech Republic. The theoretical part deals with biomass in general, which is further specified to the term wood biomass. The practical part focuses on individual stands, where residual dendromass was gained and processed. These stands are subsequently compared with each other.

Key words: residual dendromass, Norway spruce (*Picea abies* (L.), Karst.), forest woodchips

Obsah

1 Úvod ... 12

2 Cíle práce ... 13

3 Literární rešerše ... 14

3.1 Smrk ztepilý (Picea abies) ... 14

3.2 Biomasa ... 16

3.2.1 Využití biomasy ... 16

3.2.2 Výhody a nevýhody biomasy ... 18

3.3 Dřevní biomasa (dendromasa) ... 19

3.3.1 Legislativní rámec ... 19

3.3.2 Zdroje dřevní biomasy ... 19

3.3.3 Druhy dřevní biomasy pro energetické využití ... 21

3.3.4 Využití dendromasy v tuzemsku a ve světě ... 26

3.3.5 Technologie pro zpracování dendromasy ... 27

3.3.6 Vlhkost dřevní hmoty ... 33

3.3.7 Vytápění a výhřevnost ... 33

3.4 Spalování dendromasy ... 35

3.4.1 Podstata spalování ... 35

3.4.2 Emise ze spalování dendromasy ... 36

3.4.3 Spalovací zařízení ... 37

4 Metodika ... 38

4.1 Výběr porostů ... 38

4.2 Charakteristika jednotlivých porostů ... 39

4.3 Výrobní proces ... 48

4.3.1 Rozbor problematiky výrobního procesu ... 48

4.3.2 Pracovní činnosti na lokalitě „Pařez“ (P) ... 48

4.3.3 Soustřeďování zbytkové dendromasy ... 48

4.3.4 Pracovní činnosti na lokalitě „Odvozní místo“ (OM) ... 49

4.3.5 Transport ... 49

4.4 Použitá technologie ... 49

4.5 Stanovení množství zbytkové dendromasy z vybraných porostů ... 53

5 Výsledky ... **54**

6 Diskuze ... **58**

7 Závěr ... **59**

8 Seznam literatury a použitých zdrojů ... **60**

Seznam obrázků

Obrázek 1: Podíl vyprodukované biomasy smrku ztepilého 15
Obrázek 2: Způsoby využití biomasy dle vyhlášky 477/2012 Sb. 17
Obrázek 3: Klasifikační schéma dřevních paliv podle původu a zdrojů 20
Obrázek 4: Konstrukční popis mobilního štěpkovače 28
Obrázek 5: Schéma sekacího ústrojí diskové sekačky 28
Obrázek 6: Dřevní štěpka vyrobená nožovým štěpkovačem 28
Obrázek 7: Dřevní štěpka vyrobená kladivovým drtičem 29
Obrázek 8: Schéma sekacího ústrojí bubnové sekačky 29
Obrázek 9: Schéma šroubové sekačky 29
Obrázek 10: Schéma nizkootáčkového drtiče 30
Obrázek 11: Briketovací pístový lis 32
Obrázek 12: Technický popis kotle na dřevní štěpku 37
Obrázek 13: Lokalizace porostu č. 1 na přehledové mapě 39
Obrázek 14: Lokalizace porostu č. 2 na přehledové mapě 40
Obrázek 15: Lokalizace porostu č. 3 na přehledové mapě 41
Obrázek 16: Lokalizace porostu č. 4 na přehledové mapě 42
Obrázek 17: Lokalizace porostu č. 5 na přehledové mapě 43
Obrázek 18: Lokalizace porostu č. 6 na přehledové mapě 44
Obrázek 19: Lokalizace porostu č. 7 na přehledové mapě 45
Obrázek 20: Lokalizace porostu č. 8 na přehledové mapě 46
Obrázek 21: Lokalizace porostu 9 a 10 na přehledové mapě 47
Obrázek 22: Mýtní harvestor Rottne H20 49
Obrázek 23: Vyvážení klestu vyvážecím traktorem Rottne F12 50
Obrázek 24: Štěpkovač 850 HR poháněný traktorem JCB Fastrac 51
Obrázek 26: Kamiony s vysokoobjemovými kontejnery 52
Obrázek 25: Štěpkovač MAXIM 1050 HR před příjezdem na OM 52
Obrázek 26: Kamiony s vysokoobjemovými kontejnery 52

Seznam tabulek

Tabulka 1: Celková bilance biopaliv v ČR 16
Tabulka 2: Druhy tuhých dřevních paliv 21
Tabulka 3: Dřevní odpady u rozdílných dřevozpracujících podniků..... 22
Tabulka 4: Vlhkost čerstvého dřeva po pokácení 33
Tabulka 5: Srovnání výhřevnosti jednotlivých paliv 34
Tabulka 6: Porost č. 1 obecné údaje 39
Tabulka 7: Porost č. 1 údaje o těžbě 39
Tabulka 8: Porost č. 2 obecné údaje 40
Tabulka 9: Porost č. 2 údaje o těžbě 40
Tabulka 10: Porost č. 3 obecné údaje 41
Tabulka 11: Porost č. 3 údaje o těžbě 41
Tabulka 12: Porost č. 4 obecné údaje 41
Tabulka 13: Porost č. 4 údaje o těžbě 41
Tabulka 14: Porost č. 5 obecné údaje 42
Tabulka 15: Porost č. 5 údaje o těžbě 42
Tabulka 16: Porost č. 6 obecné údaje 43
Tabulka 17: Porost č. 6 údaje o těžbě 43
Tabulka 18: Porost č. 7 obecné údaje 44
Tabulka 19: Porost č. 7 údaje o těžbě 44
Tabulka 20: Porost č. 8 obecné údaje 45
Tabulka 21: Porost č. 8 údaje o těžbě 45
Tabulka 22: Porost č. 9 obecné údaje 46
Tabulka 23: Porost č. 9 údaje o těžbě 46
Tabulka 24: Porost č. 10 obecné údaje 47
Tabulka 25: Porost č. 10 údaje o těžbě 47

Seznam grafů

Graf 1: Závislost výhřevnosti dendromasy na obsahu vody 33
Graf 2: Množství zelené štěpky v jednotlivých porostech 54
Graf 3: Množství hnědé štěpky v jednotlivých porostech 55
Graf 4: Srovnání průměrného množství štěpky 55
Graf 5: Spojitost mezi věkem a množstvím zelené štěpky (prms/ha) 56
Graf 6: Vztah mezi AVB a množstvím zelené štěpky (prms/ha) 56
Graf 7: Vztah mezi zakmeněnín a množstvím zelené štěpky (prms/ha) 57
Graf 8: Spojitost nadmořské výšky k množství zelené štěpky 57

Použité zkratky a symboly

EJ – exa(10^{18}) joule

TJ – terajoule násobek jednotky práce

$\frac{MJ}{kg}$ – výhřevnost; megajoule na kilogram

MPa – megapascal

mm – milimetr

m - metr

m^3 – metr krychlový

t – tuna

kg - kilogram

m n. m. – metry nad mořem

ha – hektar

AVB – absolutní výšková bonita

plm – plnometr, $1m^3$ dřevní hmoty

prm – prostorový metr

prms – prostorový metr sypaný, $1m^3$ štěpky volně ležené, nezhutněné

RRD – rychle rostoucí dřeviny

P – lokalita pařez

OM – odvozní místo

VM – vývozní místo

LT – lesní typ

HS – hospodářský soubor

1 Úvod

Spotřeba energií se zvyšuje nejen v České republice a trh s fosilními palivy začíná sužovat vyčerpávání zásob v budoucnu. Alternativou pro výrobu tepelné a elektrické energie je využití obnovitelných zdrojů energie, kde dřevní biomasa zaujímá významné místo. Udává se, že za posledních 20 let se celosvětový podíl rostlinné biomasy (ve většině se jedná o dřevní biomasu) zvýšil o 8% na celkové spotřebě primárních energetických zdrojů.

Česká republika se zavázala navýšit podíl obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektrické energie do roku 2020 na 14 %. V roce 2017 dle údajů Ministerstva průmyslu a obchodu podíl energie z obnovitelných zdrojů činil 10,5 % (národní akční plán, 2012).

V sektoru lesního hospodářství lze za perspektivní energetické zdroje považovat zejména těžební zbytky a nekvalitní sortimenty dříví, které byly dříve spalovány přímo v lese bez jakéhokoliv jiného využití. V současné době v České republice roste zájem o využívání právě těžebních zbytků. Pro vlastníky lesů z toho plyne i potenciální ekonomický profit, který pro tuto část lesní produkce byl do nedávna ještě nemožný (Remeš a kol., 2015). Přitom v severských státech Evropy je tento trend zřejmý již delší dobu (Jacobson et al. 2000).

Česká republika má velice dobré podmínky k nahrazení fosilních paliv při výrobě tepla, případně teplé užitkové vody pro domácnosti. Roční spotřeba tepla v českých domácnostech, dle studie Vysoké školy báňské v Ostravě dosahuje necelých 47 milionů terajoulů (TJ). Přitom současná domácí produkce biomasy by dosáhla výhřevností 46 milionů TJ (výroční zpráva carthamus a.s., 2016).

Překážkou efektivního využívání těžebních zbytků stále představují náklady na těžbu, zpracování a odvoz. V tomto směru je ze strany státu důležitá finanční podpora spaloven, ve formě dotací na výkup dřevní štěpky. Bez této podpory by tepelná energie šla z ekonomického hlediska prudce nahoru nebo by tepelná energie byla nahrazována fosilními palivy, které nejsou šetrné k životnímu prostředí.

Podpora nepotravinářské produkce využitelné jako obnovitelného zdroje energie je považována (nejen) s ohledem na životní prostředí za perspektivní. Bez této podpory biopaliva nejsou schopna soutěže se standartními zdroji energie.

2 Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je shromáždit a porovnat jednotlivé údaje z porostů, kde probíhala těžba dříví spojená se zpracováním klestu, který je vstupní surovinou pro výrobu štěpky. Je kladen důraz na popis jednotlivých kroků jak se zbytková dendromasa v praxi zpracovává. Hlavním úkolem této práce je porovnání množství zbytkové dendromasy z konkrétních porostů a na základě toho zjistit, zda stanovištní podmínky a výchova porostů mají vliv na objem zpracovaného klestu. Tato práce by mohla být pomocníkem pro podnikatelské subjekty zabývající se zpracováním zbytkové dřevní biomasy.

3 Literární rešerše

3.1 Smrk ztepilý (Picea abies)

Smrk ztepilý je jehličnatý a stálezelený strom. Dožívá se přibližně 350–400 let, dorůstá do výšek kolem 50 m. Kmen je štíhlý až válcovitý, průměry kmenů se pohybují kolem 1–1,5 m. Koruna bývá většinou kuželovitá, je však velmi proměnlivá a ve vyšším věku tvoří různé přechody od širokých až po úzké – sloupovité tvary. Výškový přírůst je zpočátku jen pozvolný, později se zrychluje a kulminuje kolem 40 roků, zpravidla končí při 100 letech. Kořenový systém je plošný, na povrchu rozložený. V půdě bývá slabě ukotven a u bořivých větrů snadno dochází k vývratům (Slávik, Bažant, 2016). Největší vliv na tvorbu kořenového systému mají půdní podmínky – kořínky smrku se vyhýbají půdním vrstvám chudým na kyslík (Musil, Hamerník, 2003).

Nároky na světlo můžeme hodnotit jako středně vysoké. Smrku se nejlépe daří na svěžích, hlinitopísčitých půdách, za přiměřené vlhkosti snáší i černozemě (Slávik, Bažant, 2016). V našich podmínkách smrku vyhovuje spíše krátká vegetační perioda s krátkým, chladným létem. Optimální roční teplota pro smrk by měla kolísat kolem 6 °C se srážkami ve vegetačním období do 600 mm (Musil, Hamerník, 2003).

Původní areál rozšíření spadá do chladnějšího pásma severní polokoule, Eurasie i Severní Ameriky. V současné době se lesnicky pěstuje na celé mírné a chladnější části severní polokoule, avšak vyskytuje se i na jižní polokouli jako okrasný strom (Malaťák, Vaculík, 2008).

Jedná se o celkově nejdůležitější hospodářskou dřevinu střední a severní Evropy. Současné zastoupení smrku v našich lesích činí 50,5 %, přičemž jeho přirozená skladba by měla být 11,2 % a doporučená 36,5 %. Střední plošný věk smrku v roce 2017 činil 63 let (Ministerstvo zemědělství, 2018).

Dřevo smrku nemá barevně odlišené jádro, přechod mezi jarním a letním dřevem je výrazný. Ve dřevě lze pozorovat pryskyřičné kanálky a zarostlé suky (Slávik, Bažant, 2016). Smrk je naší nejdůležitější užitkovou dřevinou. Používá se především jako dříví stavební, truhlářské nebo nástrojářské. Smrková vláknina je nejlepší surovinou pro papírenský průmysl. Velmi ceněné je dřevo rostoucí ve vyšších polohách s hustými,

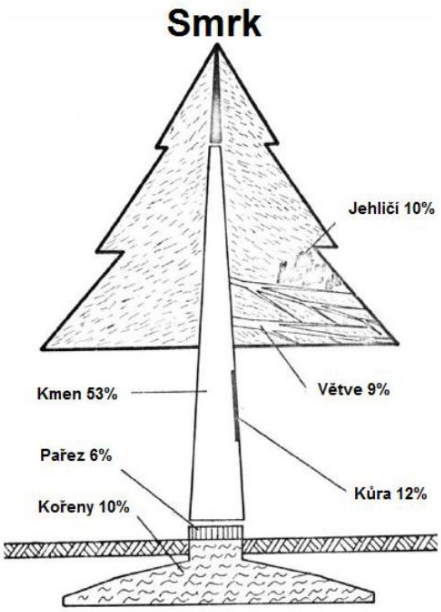
stejnoměrnými letokruhy – tzv. rezonanční dřevo. Klest se využívá v zahradnictví, pryskyřice se zpracovávala na smůlu, kalafunu a terpentýn (Musil, Hamerník, 2003).

Častokrát je pěstován v monokulturách, které nejsou příliš ekologicky štědré a navíc jsou ohroženy patogenními a hmyzími škůdci. Bývá napadán lýkožroutem smrkovým (*Ips typhographus*), který je schopný zahubit rozsáhlé porosty (Poleno, Vacek, 2009).

Ve stálezelených smrkových porostech se podíl kmenového dřeva ve věku obmýtí pohybuje okolo 60–65 %, z toho podzemní biomasa zaujímá cca 10–15 % a biomasa vršků (korun) zhruba 15–25% (Lieskovský, 2016).

Lieskovský, Gejdoš (2016) a Simanov (1995) kvantifikují nadzemní biomasu smrku ztepilého do tří kategorií (viz. Obrázek 1):

a) biomasa kmene – biomasa kmene bez pařezu
b) biomasa koruny – biomasa větví včetně asimilačních orgánů
c) biomasa asimilačních orgánů – biomasa jehličí



Obrázek 1: Podíl vyprodukované biomasy smrku ztepilého

Zdroj: Lieskovský, Gejdoš, 2016

3.2 Biomasa

Za biomasu se považuje veškerá organická hmota na Zemi, na jejímž vzniku se podílela sluneční energie a fotosyntéza. Jedná se o hmotu všech organizmů, včetně jejich živých i neživých produktů. Dle propočtu odborníků se roční celosvětová produkce biomasy pohybuje na úrovni 100 miliard tun, jejíž energetický potenciál je zhruba 1400 EJ. Tato produkce je téměř pětinásobná oproti roční světové spotřebě fosilních paliv 300EJ (Pastorek, 2004). Biomasa patří mezi obnovitelné zdroje, její obnovitelnost může být ovlivněna řadou biotických i abiotických faktorů. Mezi biotické faktory náleží například potravní vztahy, stav natality a mortality, vztahy populací ve společenstvu. Abiotickými faktory jsou v první řadě klimatické podmínky, sluneční záření a koncentrace látek v prostředí. Dle původu dělíme biomasu na fytomasu (biomasa rostlinného původu) a zoomasu (biomasa živočišného původu). Pro energetickému využití se až na výjimky využívá fytomasa (Studeník, Svitavský, 2014). Skládá se zejména z uhlíku, kyslíku a vodíku a ve většině případů jenom v nepatrné míře dusíku, síry a dalších prvků (Juchelková, 2002).

Tabulka 1: Celková bilance biopaliv v ČR

Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR	
Biopalivo	**mil.tun**
Obilní a řepková sláma	2,7
Odpadní a palivové dřevo	1,7
komunální odpad	1,5
RRD a energetické plodiny	1
Spalitelný odpad z průmyslové výroby	1
Celkem	7,9

Zdroj: Pastorek, 2004

3.2.1 Využití biomasy

Nedostatek fosilních zdrojů nutí lidstvo hledat nové netradiční zdroje, mezi které neodmyslitelně patří biomasa. Je potřebná jednak pro výrobu elektřiny a jednak jako alternativní zdroj tepla (Petříková, Weger, 2015).

Z pohledu využití biomasy je na místě rozdělit biomasu na druhy tak, jak v současnosti nejčastěji zpracovávají. V tomto směru legislativa definuje biomasu ve vyhlášce 477/2012 Sb., O stanovení druhů parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů.

§ 3

Způsoby využití biomasy

(1) Při výrobě podporované elektřiny je biomasa využívána v procesu

a) spalování nebo zplynování,

b) současného spalování různých druhů paliva, s výjimkou případů, kdy je výroba elektřiny nebo tepla možná jen prostřednictvím zažehnutí nezbytného množství jiného paliva (dále jen „společné spalování"), podle toho zda se palivo spaluje v jednom kotli nebo v samostatných kotlích se rozlišuje

1. společné spalování v zařízeních, kde dochází k mísení různých druhů paliva v jednom topeništi, nebo před vstupem do topeniště, přičemž fyzikálně je možné rozlišit energii vzniklou spálením směsi pouze na základě parametrů jednotlivých složek paliva, jakými jsou například hmotnostní podíl, vlhkost, výhřevnost, obsah popelovin, poměr uhlíku a dusíku (dále jen „spoluspalování"); v případě spalování nevytříděného komunálního odpadu se nejedná o spoluspalování, nebo

2. společné spalování v zařízeních, kde dochází ke spalování různých druhů paliv odděleně v samostatných kotlích, dodávajících vyrobené teplo do společné parní sběrnice, ze které se uskutečňuje odběr tepla pro výrobu elektřiny v jednom nebo více parních turbosoustrojích (dále jen „paralelní spalování"),

c) anaerobní fermentace, nebo

d) spalování biokapalin.

(2) Při výrobě podporovaného tepla je biomasa využívána v procesu

a) spalování nebo zplynování,

b) společného spalování s druhotným zdrojem, nebo

c) spalování biokapalin.

(3) Při výrobě biometanu je biomasa využívána v procesu anaerobní fermentace.

Obrázek 2: Způsoby využití biomasy dle vyhlášky 477/2012 Sb.

Zdroj: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-477

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je do jisté míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Jedním z nejdůležitějších parametrů je vlhkost, tedy obsah sušiny v biomase. Přibližnou hranicí mezi mokrými a suchými procesy je hodnota 50%. Ze suchých procesů v praxi převládá spalování biomasy, z mokrých výroba bioplynu anaerobní fermentací (Pastorek, 2004).

3.2.2 Výhody a nevýhody biomasy

Jedním z nejdůležitějších významů biomasy pro energetické využití je její nezávislost na politicko-hospodářské situaci u nás i v zahraničí. Jedná se o místní nezávislý zdroj využitelný rovnou v místě produkce biomasy bez nutnosti výstavby technologicky náročných staveb (např. ropovodu). Nespornou výhodou biomasy je i to, že ji lze dlouhodobě skladovat (v suchém nebo jinak konzervovaném stavu) až do doby jejího využití, a to jak pro výrobu tepla, tak elektřiny (Petříková, Weger, 2015).

Při spalování biomasy se do ovzduší uvolňuje jen tolik oxidu uhličitého, kolik ho bylo do hmoty rostliny akumulováno fotosyntézou v období růstu. Spalování biomasy má tedy nulovou bilanci CO_2, na rozdíl od fosilních paliv, kdy při jejich pálení je do ovzduší uvolňován CO_2 nad jeho současnou koncentraci (Simanov, 2008).

Oblast pěstování biomasy je široká, lze jí pěstovat téměř globálně, což zvyšuje její využitelnost. Na mnoha místech by pěstování biomasy také pomohlo snížit procento nezaměstnanosti (Röser et al., 2008).

Biomasa se dělí na mnoho druhů a forem, některé druhy mají omezené možnosti využití. Například kusové dřevo – ideální pro topení v kotli, avšak pro pohon automobilu to je poněkud nepraktické. Pokud spalujeme dřevo v běžných kachlových kamnech či krbech, nalézáme v kouři celou řadu škodlivých látek, podobně jako při topení uhlím. Důležité jsou i náklady na získání biomasy, které se podílejí na konečné ceně. Biomasa a fosilní paliva spolu zpravidla soutěží o tentýž trh (Murtinger, Beranovský, 2011).

Při energetickém využívání biomasy je nezbytné zohlednit náklady na těžbu a transport, jelikož lesní ekosystémy mohou být značně nedostupné. Současně je důležité provádět těžbu promyšleně a šetrně, aby nedocházelo k rozsáhlejším škodám v nižších patrech ekosystému (Studeník, Svitavský, 2014).

3.3 Dřevní biomasa (dendromasa)

3.3.1 Legislativní rámec

Problematika pěstování a využití dřevní biomasy je zahrnuta v legislativě lesnické, zemědělské a energetické.

- Zákon č. 289/1995 Sb., o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon) ve kterém je vymezeno stanoviště pro možnost sběru zbytkové lesní biomasy
- zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší.
- Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, kde účelem tohoto zákona je v zájmu ochrany klimatu a ochrany životního prostředí podpoření využívání obnovitelných zdrojů energie
- Vyhláška č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů, která v příloze č. 1 zařazuje druhy biomasy do tří kategorií

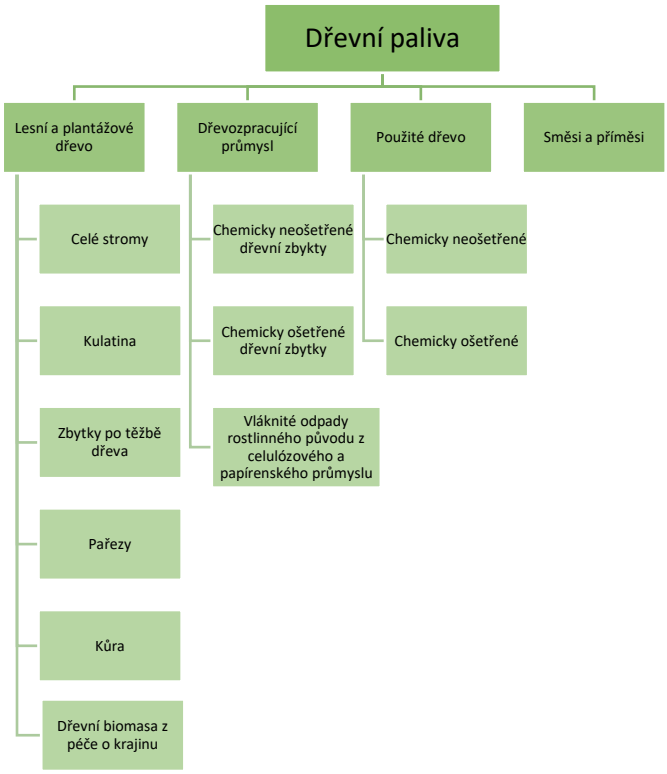
3.3.2 Zdroje dřevní biomasy

Hlavním druhem biomasy v České republice je dřevní hmota. Jedná se o různorodé druhy dřevní hmoty, a to jak odpad při zpracování dřeva, tak kusové – polínkové dříví (Juchelková, 2002).

Zdroji biomasy k energetickému využití jsou z velké části těžební zbytky z mýtních těžeb, které spadají pod nehroubí. Využití lesní biomasy z výchovných zásahů je sporné, neboť náklady při soustřeďování menších roztroušených objemů dendromasy jsou vysoké. Využívání pro energetické účely se na nynějším trhu nemusí týkat nejen 6. sortimentní třídy, zvýšená poptávka po energetické hmotě může mířit i do nižších sortimentních tříd, pokud se vyrovnají cenové rozdíly (Souček, Nikl a kol., 2018).

Lyčka (2011), Malaťák a Vaculík 2008 rozdělují dřevní biomasu na 4 kategorie:

1. **Lesní a plantážové dřevo**: dřevo z lesů, parků zahrad, plantáží a rychle rostoucích dřevin, jenž může být upraveno odkorněním nebo vysušením či zvlhčením.
2. **Vedlejší produkty a zbytky dřevozpracujícího průmyslu**: chemicky neošetřené dřevní zbytky (například z odkornění, řezání klád, tvarování stromů) či chemicky ošetřené dřevní zbytky ze zpracování dřeva, v případě, že neobsahují těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny.
3. **Použité dřevo**: Do této skupiny spadá již použité dřevo s ukončenou životností. V případě chemického ošetření se ve dřevě nesmí vyskytovat těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny, jež jsou výsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěry dřeva.
4. **Směsi a příměsi**: kombinace předešlých kategorií s tím, že směsi jsou definována jako záměrné smíchaná biopaliva a příměsi nezáměrně smíchaná biopaliva



Obrázek 3: Klasifikační schéma dřevních paliv podle původu a zdrojů

ZDROJ: Malaťák, Vaculík, 2008; upraveno

3.3.3 Druhy dřevní biomasy pro energetické využití

Biomasa může být energeticky využita přímým spalováním bez její rozměrové úpravy, nebo po úpravě. Rozměrovou úpravou se rozumí řezání, štípání, štěpkování či drcení. Následně může být i dílčím způsobem zušlechtěna – sušením, drcením nebo tvarovou úpravou do formy brikety nebo pelety (Simanov, 2008).

Velikost a tvar tuhých biopaliv ovlivňují vlastnosti hoření i samotnou manipulaci s palivem. Malaťák a Vaculík (2008) hlavní formy tuhých biopaliv uvádí v tabulce níže:

Tabulka 2: Druhy tuhých dřevních paliv

Druh paliva	Velikost částic	Technologie přípravy
Brikety	ø > 25 mm	Mechanickým stlačením
Pelety	ø < 25 mm	Mechanickým stlačením
Jemný palivový prach	< 1 mm	Mletím
Piliny	1 mm až 5 mm	Řezáním ostrými nástroji
Dřevní štěpka	5 mm až 100 mm	Řezáním ostrými nástroji
Polena	100 mm až 1000 mm	Řezáním ostrými nástroji
Celé dřevo	> 500mm	Řezáním ostrými nástroji
Rozdrcené dřevní palivo	různé	Řezáním ostrými nástroji
Kůra	různé	Odkorněním zbytků stromů

Zdroj: Malaťák, Vaculík, 2008

Průmyslové výřezy (kulatina)

Průmyslovými výřezy se rozumí sortimenty dříví určené pro mechanické zpracování krájením, loupáním nebo rozřezáním. Vyžaduje se vysoká technologická kvalita a tomu i odpovídají jejich ceny, které vzhledem k omezenosti zdrojů a vysoké poptávce dále narůstají. Energetické využití tohoto zdroje je technicky možné, avšak z ostatních hledisek je prakticky nepoužitelné (Simanov, 1995).

Manipulační odřezky

Tímto termínem se označují krátké odřezky dříví (do 1m délky), vzniklé v průběhu příčného přeřezávání kmenů při jejich druhování a adjustaci. Může obsahovat jak dříví přesílené, tak nehroubí, zdravé či napadené hnilobou, sukaté i bezsuké atd. Přímé energetické využití je možné jen u některých větších topenišť (Cheng, 2017).

Palivové dříví

Jedná se o nejvíce využívanou formu biomasy, především v domácnostech. Palivové dříví obecně lze charakterizovat jako sortiment velmi nízké technologické jakosti. V závislosti na postupném rozvoji technologií pro zpracování dřeva se podíl tohoto sortimentu na celkové produkci dříví snižuje (Simanov, 1995).

Většinou se jedná o štípané kusy délky 30–50 cm a tloušťky 10–20 cm. Palivové dříví se dělí dle tvrdosti dřeviny na měkké a tvrdé. Mezi měkké dřevo patří např. lípa, olše, topol, borovice. Tvrdé dřevo obvykle pochází z listnatých stromů, jako je dub, buk, ořech, jasan, akát, třešeň atd. Pro topení v krbech je vhodné tvrdé dřevo, naopak pokud topíme v kotli, je vhodnější dřevo měkké (Patřičný, 2016). Při spalování nedostatečně vyschlého dřeva se výhřevnost snižuje a zvyšuje se produkce emisí. Ke spalování dochází v otevřených i uzavřených systémech, nejvyšší efektivity se dosahuje při spalování ve zplyňovacích kotlích (Studeník, Svitavský, 2014).

Odpady z dřevozpracujícího průmyslu

Jsou to především odpady dříví vznikající především při jeho primárním mechanickém zpracování, např. odpady dýh při loupání nebo krájení, odřezky řeziva při kapování, středové válečky kmene zbylé po loupání dýh apod. Zbylé dřevo je velmi kvalitní, avšak tenké a pružné, což ztěžuje samotnou dezintegraci, která je technicky možná jen v kladivových drtičkách (Simanov, 1995).

Jiná situace nastává při energetickém využívání odpadu z výroby aglomerovaných materiálů, např. dřevotřískových desek, výrobě nábytku, konstrukčních desek atp. Zde je nutné s ohledem na chemické složení pojiv a nátěrových hmot, které můžou zvyšovat emise v kouřových plynech při pálení těchto materiálů (Babu et al., 2014).

Tabulka 3: Dřevní odpady u rozdílných dřevozpracujících podniků

Druh provozu	Výrobek	% odpadu při zpracování	Vlastní spotřeba
Stavební truhlářství	Okna	40	až 50 %
Výroba profilů	Podlahy	30	až 66 %
Truhlářství (masivní nábytek)	Masivní nábytek	40 - 50	cca 33 %
Truhlářství (dřevotříska)	Dřevotřískový nábytek	10 - 15	100 - 150 %

Zdroj: MZe, Lesní biomasa, 2011

Těžební odpad

Do této kategorie spadá klest, což je nestandartní dříví z vrcholové části stromů a větve do tloušťky 6 cm, které jsou získané odvětvováním (pokácených stromů), oklestem (vyvětvováním) případně ořezem (seřezávání vrbových hlav). Dále sem spadají celé stromky z prořezávek, včetně větví a stromové zeleně, které byly odstraněny z lesních porostů z pěstebních důvodů a ještě nedosahují dimenzí užitkových sortimentů (Neruda, Simanov, 2010).

Rychle rostoucí dřeviny (RRD)

Rychle rostoucími dřevinami se lesníci zabývají již od první poloviny 20. století, kdy takto označovali několik druhů dřevin dosahujících výrazně nadprůměrného růstu a objemové produkce ve srovnání s hlavními lesními dřevinami, zpravidla již v první dekádě růstu. V našich podmínkách se jedná o vybrané topoly nebo nové odrůdy/klony vrb pěstované v tzv. výmladkových plantážích. V ČR byla první plantáž založena v roce 1994 a do dnešního dne bylo vysázeno nad 2100 ha výmladkových plantáží. V souladu s energetickou koncepcí by se do roku 2030 měly výmladkové plantáže pěstovat na rozloze cca 60 tis. ha (Petříková, Weger, 2015).

Lisované biopaliva

a) Brikety

Briketa je palivo uměle upravené lisováním sypkého materiálu bez použití přídavných pojiv do formy vhodné pro spalování. Zpracováním se podstatně zmenší objem, čili dochází ke zvýšení objemové hmotnosti i využitelné energie. Brikety mohou být lisovány do různých tvarů ať už válečků, hranolů nebo šestistěnů. V závislosti na použitém druhu biomasy mohou být různého zbarvení, čím je briketa tmavší, tím obsahuje více příměsí, nejčastěji kůry (Stupavský, Holý, 2010).

Pro výrobu briket je zásadní vlhkost materiálu, který nesmí přesáhnout 15%, a dále zrnitost materiálu, která nesmí přesáhnout rozměr 15 mm v jednom směru (Malaťák, Vaculík, 2008).

b) Dřevní pelety

Dřevní peleta je dle normy ČSN EN 17225-2 slisované biopalivo z práškové dřevní biomasy nebo bez přísad, obvykle ve formě válečků, průměrné délky 5–40 mm.

Malé rozměry a tvarová stálost umožňují jednoduchou manipulaci s tímto palivem. Pro výrobu 1 tuny pelet o objemu 1,6 m^3 je zapotřebí 7–8 m^3 pilin. Samotná peleta má hustotu 1 100kg/m^3. Obsah vody v surovině by se měl pohybovat kolem 10%, obvykle se vstupní materiál musí vysušit v bubnových sušičkách (Malaťák, Vaculík, 2008).

Energeticky je výroba pelet poměrně náročná, neboť vyžaduje vyšší úroveň dezintegrace vstupního materiálu při současném snížení jeho vlhkosti. Proto je výhodná jejich výroba již z materiálu dezintegrovaného a vysušeného z předcházejícího technologického procesu – např. z pilin a hoblin (Malaťák, Vaculík, 2008).

Pro výrobu tepla je za hodinu provozu v kotli o výkonu 10kW spotřebováno 2,4 kg pelet nebo 3,4 kg pilin či štěpky. Avšak objemově tyto hodnoty představují 3,7 dm^3 pelet, 14,2 dm^3 štěpky či 26,1 dm^3 pilin. Tyto značně různé hodnoty představují rozdílné nároky na dimenzování samotného spalovacího zařízení (Lyčka, 2011).

Lesní štěpka

Štěpkou se rozumí strojně zpracovaný dezintegrovaný dřevní materiál na malé kousky, který následně lze využít pro výrobu elektrické energie nebo tepla (Cheng, 2017).

Výsledný rozměr a tvar štěpky se odvíjí podle účelu použití. Pro výrobu dřevovláknitých desek mají štěpky dosahovat délky 20–30 mm a tloušťku 3–5 mm. Pro výrobu dřevěného uhlí je potřeba štěpky dlouhé 80–120 mm. Ve spalovnách se délka štěpky řídí dle druhu roštu kotle a způsobem přikládání. Pokud je štěpka do kotle foukaná, vyžaduje se délka 6–10 mm, při mechanickém přikládání se doporučuje 12–20 mm (Kováč a kol., 2017).

Studeník, Svitavský (2014) a Stupavský, Holý (2010) rozdělují štěpku do 3 hlavních kategorií:

a) Zelená štěpka (lesní)

Pod pojmem zelená štěpka se rozumí čerstvý klest z lesní těžby s jehličím, či listím. Obsahuje hodně vody, spaluje se větších topeništích (teplárny, elektrárny), v domácích kotlích je použitelná až po vyschnutí např. na podpal

b) Hnědá štěpka (pilařská)

Jedná se o starý klest z lesních těžeb s větším podílem kůry, s minimálním podílem jehličí a listí. Může být také získaná ze zbytkových částí kmenů, pilařských odřezků apod. Dříví před zpracováním nebylo odkorněno, na jednotlivých štěpkách lze pozorovat části kůry. Má nižší podíl vlhkosti, avšak větší výhřevnost.

c) Bílá štěpka (papírenská)

Bílá štěpka vzniká jako vedlejší produkt pilařských závodů, obvykle z odřezků při pilařské výrobě. Na jednotlivých štěpkách se již kůra nenachází, protože dříví bylo před zpracováním odkorněno. V porovnání s předchozími má vyšší pořizovací cenu. Využívá se pro výrobu aglomerovaných materiálů, především dřevotřískových desek.

Piliny

Kmenové dříví se zpracovává na pilách, čímž vznikají piliny. Typické pro ně je vysoký podíl dřevního prachu a délkové rozměry 3–7 mm (Simanov, 1995). Jejich častým problémem je vlhkost, která se obvykle pohybuje mezi 50–60%. Bez včasného vysušení pilina začíná prakticky okamžitě plesnivět a degradovat. Díky činnosti hub a bakterií nelze vlhkou pilinu skladovat déle než 3 měsíce. Z těchto důvodů se piliny jako palivo příliš nepoužívají, avšak jsou základní surovinou pro výrobu např. briket nebo pelet (Lyčka, 2011).

Pařezy a kořeny

Pařezy a kořeny se získávají klučením podzemních částí stromů. Klučení není příliš obvyklé, využívá se při odlesňování ploch pro vodní nádrže, při zemědělských rekultivacích, výstavbě komunikací, eventuálně při celoplošné přípravě půdy před zalesněním po imisních těžbách. Obchodní zájem o tento materiál je minimální, neboť dosahuje nestandartních rozměrů a je obtížně transportovatelný. Navíc obsahuje velký podíl zeminy, kamenů a jiných mechanických příměsí. Dezintegrace není možná klasickými sekačkami, ale použitelné jsou pouze drtiče, které nejsou citlivé na mechanické příměsi. Výsledným produktem je tedy pařezová (nebo kořenová) drť. Technologické využití produktu výsledného dezintegrovaného produktu je technicky možné, avšak v současné době finančně neúnosné (Simanov, 1995).

Kůra

Při štěpkování dřevin se ve štěpce nachází určitý podíl kůry. V lesnické praxi se všeobecně používá 10% z celkového objemu hroubí dříví, ale u zpracování slabších sortimentů je podíl kůry výrazně vyšší. U smrku činí 10–17 % u dubu 17–27 %. (Röser et al., 2008).

Suchá kůra z jehličnanů je součástí dřevních paliv, nebo jí lze využít samostatně, ve formě briket. Výhřevnost s ohledem na obsah pryskyřic může dosahovat až 20 $\frac{MJ}{kg}$, ale obsahuje vyšší obsah popele, neboť často bývá znečištěn zeminou (Babu et al., 2014).

Využívá se poznatku, že mulč účinně tlumí růst buřeně (i více let), udržuje vyšší vlhkost půdy pod ním, omezuje rozdíly mezi denní a noční teplotou a jeho tlením se postupně uvolňují živiny a vzniká humózní vrstva půdy (Hrdlička, 2003).

3.3.4 Využití dendromasy v tuzemsku a ve světě

Využitelnost objemu zbytkové hmoty závisí na druhu těžby, stanovištních a terénních podmínkách a použité technologii. Z vhodných porostů nelze využít všechen objem těžebních zbytků. I při využití lesní mechanizace, která je až o 30% efektivnější než manuální síla, na místě stále zůstává 20 – 30 % těžebních zbytků (Lundborg, 1998).

Využívání energetické lesní biomasy je v České republice i v ostatních státech Evropy ještě stále v počátcích. Tedy mimo Skandinávie, kde se lesní biomasa využívá ve větší míře, avšak také se setkávají s omezujícími faktory, a proto vyvíjejí značné výzkumné úsilí pro poznání zásadních souvislostí (Souček, Nikl a kol., 2018). V roce 2012 Švédsko dosáhlo 51% podílu obnovitelných zdrojů na celkové produkci energie, čímž o jedno procento přesáhlo cíl do roku 2020. Z drtivé většiny je využívána pevná biomasa, přičemž energie ze dřeva tvoří 26% z celkové výroby. Zde využívají především těžební zbytky, kulatinu, piliny, kůru, recyklované dřevo nebo černý louh vznikající při výrobě papíru. Švédsko je po Německu druhým největším výrobcem pelet v Evropě (Žůrková, 2014).

V USA bylo v první polovině 80. let, mimo těžebních zbytků a odpadů z dřevozpracujícího průmysl, spáleno ročně nad 100 milionů tun z dendromasy topolů a vrb pocházejících z 95% z přirozených porostů (Simanov, 1995).

3.3.5 Technologie pro zpracování dendromasy

Energeticky využitelnou biomasu obvykle nelze přímo využít ve spalovacích zařízeních, ale je třeba ji upravit do vhodného tvaru a rozměrů (Malaťák, Vaculík, 2008). Před samotným zužitkováním zbytkové dendromasy předcházejí technologické operace, které zahrnují těžbu, přibližování na OM a následně poté je prováděna rozměrová homogenizace – sekání, drcení apod. (Kováč a kol., 2017)

Střihací zařízení

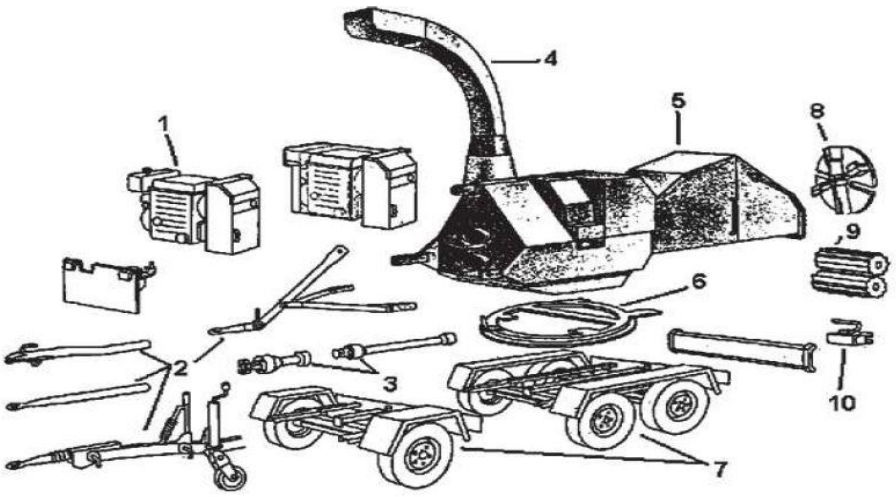
Tato zařízení se používají pro výrobu klasického kusového palivového dřeva z tenčiny a bočních kusových odpadů z dřevařského průmyslu. V praxi se nejvíce používají jednonožové střihací stroje pracující na principu gilotiny. Vysunutím nože dojde k odstřihnutí dřeva o protinůž. Součástí stroje je zpravidla i svazkovací (paketovací) zařízení (Pastorek, 2004).

Sekací stroje (štěpkovače)

V praxi se setkáváme s více názvy těchto strojů: sekačky, štěpkovače nebo drtiče dřevní hmoty (Kováč a kol., 2017).

Sekačky jsou zařízení sloužící k beztřískovému dělení dřeva řezným účinkem sekacích nožů napříč vlákny a k dělení na potřebnou tloušťku podél vláken díky klínovému tvaru nože. Sekací stroje se používají pro zpracování méně hodnotného dřeva a dřevěného odpadu, jako jsou např. pilařské odřezky vznikající při zpracování kmenů na sortimenty, nebo odpad vznikající při těžbě dřeva (větve, jehličnaté nehroubí). Výstupním produktem těchto strojů jsou drobné kousky dřeva – tzv. štěpka (Kováč a kol., 2017).

Dle účelu použití lze sekačky rozlišit na mobilní a stacionární. Mobilní, neboli pojízdné sekačky mají sekací agregát namontován na podvozku, který je určen k přesunu sekačky. U stacionárních sekaček je sekací agregát trvale zabudován do technologické linky na pevných základech. Před sekacím agregátem je k lince nainstalováno podávací zařízení. Za sekacím agregátem se nachází zařízení na odvod štěpky – potrubí nebo dopravník (Pastorek, 2004).



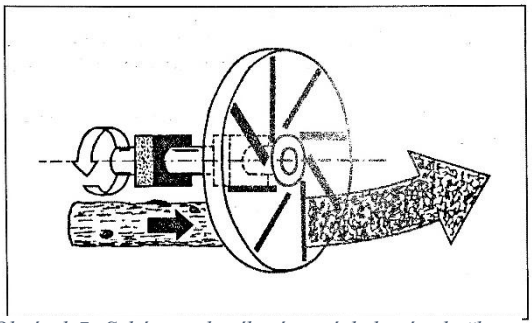
Popis jednotlivých částí:

1- spalovací motor
2- tažná zařízení
3- hnací kloubové hřídele
4- vyprazdňovací zařízení (výfuk)
5- násypka
6- točna
7- podvozek
8- štěpkovací ústrojí
9- podávací válce
10- závěs pro připojení vlečky

Obrázek 4: Konstrukční popis mobilního štěpkovače
ZDROJ: Kováč a kol., 2017

Kováč a kol. (2017) rozděluje sekací zařízení na 10 kategorií, největší pozornost je však věnována rozdělené sekaček dle řezného ústrojí na:

a) kotoučové (diskové) sekačky: pracovním orgánem je kotouč, který má na čelní ploše radiálně umístěné sekací nože, kotouč se otáčí ve vertikální poloze. Na kotouči jsou umístěné vyhazující lopatky, které zajišťují odvod štěpky ven skrze výfukové potrubí. Délku štěpky lze nastavit přesahem sekacích nožů. Výhodou těchto sekaček je vysoká kvalita štěpky a setrvačnost kotouče (disku), který má velkou setrvačnost a díky tomu lze použít motor s nižším výkonem. Nevýhodou je velikost vstupního otvoru, kde nelze použít chaotický materiál atypických rozměrů (Kováč a kol., 2017, Příhoda, 2008).



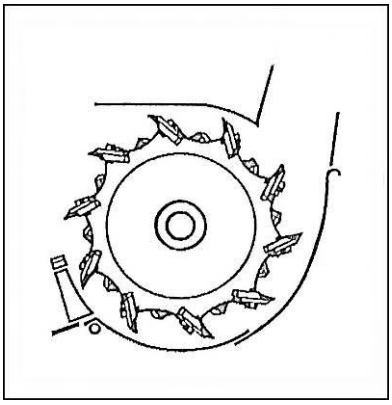
Obrázek 5: Schéma sekacího ústrojí diskové sekačky

ZDROJ: Pastorek, 2004

Obrázek 6: Dřevní štěpka vyrobená nožovým štěpkovačem

ZDROJ: Vlastní pořízení

b) bubnová sekačka: Na rozdíl od diskových sekaček se sekací nože nacházejí na obvodu rotujícího válce. Bývají konstruovány pro nižší výkony a suroviny menších rozměrů. Jsou vhodné k sekání chaotického materiálu, neboť konstrukční řešení umožňuje vytvořit velký vstupní otvor při optimálním poloměru bubnu a jeho délky. Nevýhodou bubnových sekaček je proměnlivý úhel seku, který se mění od maximálního po minimální, což má velký vliv na kvalitu štěpky. Sekací buben má velmi slabý ventilační a vrhací účinek, proto je třeba vždy namontovat ventilátor pro dopravu štěpky z bubnu do zásobníků nebo kontejneru (Pastorek, 2004).



Obrázek 8: Schéma sekacího ústrojí bubnové

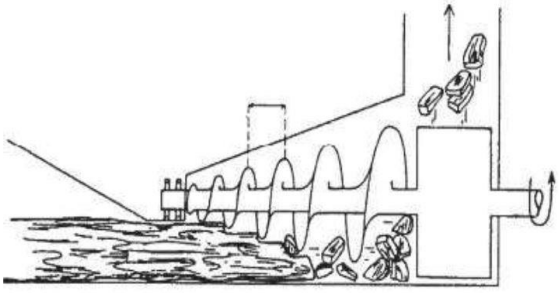
ZDROJ: Pastorek, 2004

Obrázek 7: Dřevní štěpka vyrobená kladivovým drtičem

ZDROJ: Stupavský, holý, 2010

c) šroubové sekačky: Jedná se o jednoúčelové sekačky malých rozměrů k sekání tenkých stromků a kmínků velikosti cca 10 x 10 cm na palivovou štěpku s tloušťkou do 1 cm. Sekacím orgánem je šroubovice se stoupajícím průměrem. V průběhu otáčení se šroubovice zavrtává do dřeva a zároveň vtahuje dřevo k většímu průměru (Pastorek, 2004).

K šroubovým sekačkám nejsou vhodné podávací zařízení, protože sekaný materiál nemůže být zastavený ani vrácený zpět z důvodu samo-podávacího účinku sekacího nástroje (Kováč a kol., 2017).



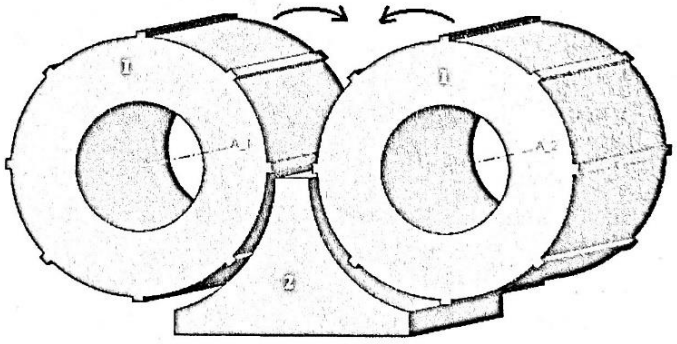
Obrázek 9: Schéma šroubové sekačky

ZDROJ:https://www.laimet.com/

Drtiče

Tato technologie umožňuje upravit rozměry dřeva, které není možné sekat sekačkami. Jedná se především o dřevo drobné, mimořádně netvárné (keře), či znečištěné (pařezy, stavební odpad). Drtiče se dělí dle otáček na nízkootáčkové a vysokootáčkové a dle pracovního nástroje kterým jsou nože nebo kladívka. Drtiče vybavené noži jsou vhodné na drcení větví nebo kusového odpadu. Naopak drtiče opatřené kladívky jsou vhodné na drcení tenkých větví, křovin a kůry (Pastorek, 2004).

Drcený materiál je v drticím ústrojí zpracováván nárazy, lomem a roztíráním. Díky tomuto způsobu dezintegrace mají drcené částice různou velikost a tvar. Takto nadrcený materiál je kromě energetického využití vhodný také pro kompostování nebo k obsypávání rostlin (Simanov, 2017).



Obrázek 10: Schéma nizkootáčkového drtiče

ZDROJ: Kováč a kol., 2017

Zařízení na paketování (svazkovače)

Soustřeďování a štěpkování těžebního odpadu je poměrně energeticky náročné, proto se hledají jiné, na energii méně náročné způsoby homogenizace těžebních zbytků. Jednou z alternativních metod je paketování, při kterém se klest lisuje do balíků (tvar balíku nebo válce) podobně jako sláma. Lisovací tlaky jsou však podstatně vyšší než u lisů na slámu, neboť větvě při lisování kladou větší odpor (Pastorek, 2004).

Svazkovací jednotka se sestává ze dvou pevných lisů a jednoho pohyblivého lisu. Lisováním se objem materiálu zredukuje na zhruba 20% původního objemu. Balík je strojně pevně vázán tak, že se provázek po uvolnění napne. Svazkovací zařízení je umísťováno na podvozek vyvážecí soupravy v šesti nebo osmikolové verzi (Příhoda, 2008).

V České republice v tuto chvíli není odběratel, který by měl zájem o svazky těžebních zbytků. Balíky vyrobené v ČR jsou exportovány do spaloven v zahraničí, případně jsou štěpkovány (Příhoda, 2008).

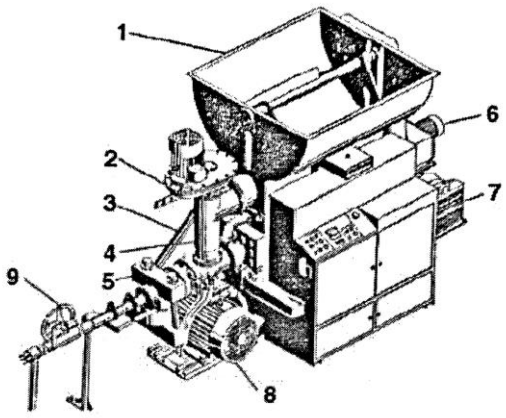
Peletovací zařízení

Peleta je výlisek z jemné dřevní hmoty válcovitého tvaru, která vzniká protlačováním vstupní suroviny na matricových lisech. Rozlišují se dva typy lisů: s kruhovou, vertikální matricí a horizontální deskovou matricí (Pastorek, 2004). Na válcových matricích se nachází stovky kanálků, jejichž tvar a průměr a odvisí od zpracovávané suroviny a požadovaného průměru pelety. Uvnitř matrice se odvalují rolny, které vtlačují lisovaný materiál do kanálků. Při lisování dochází k objemové redukci vstupního materiálu v poměru přibližně 12:1. Z vnější strany matrice nože odřezávají hotový výlisek. Třením v matrici je uvolňováno velké množství tepla, které plastifikuje lignin, jenž tvoří základní pojivo pelety (Lyčka, 2011). Výkonnost takových lisů může být větší než 1 $\frac{t}{h}$ při příkonu 150kW(Pastorek, 2004).

Do výrobního procesu obvykle vstupní surovina nepřichází v optimálním stavu, ale ve formě pilin, hoblin, kousků dřeva, a proto je ji třeba před vlastní peletizací homogenizovat. To se většinou provádí pomocí kladívkového drtiče, výjimečně se nahrazuje třídičem (Malaťák, Vaculík, 2008).

Briketovací lis

Briketování probíhá na briketovacích lisech různých konstrukcí podle pohonu, lisovací komory či lisovacího nástroje. Při lisovacím tlaku 400Mpa a teplotě ± 70℃ dochází k objemové redukci 12:1. Nejkvalitnější brikety jsou vyráběny na zařízení s tlačným šnekem, kdy lze dosáhnout zhutnění až 100:1 (Malaťák, Vaculík, 2008).



Briketovací pístový lis

Vysvětlivky:

1 – násypka drcené slámy (pilin) s vyprazdňovacím šnekem;
2 – převodový elektromotor vertikálního šnekového podavače;
3 – klínové řemeny pohonu setrvačníku z klikového mechanismu;
4 – vertikální vkladač slámy do lisovací komory;
5 – seřizování protitlaku;
6 – převodový elektromotor šnekového vyprazdňování zásobníku;
7 – chladič chladícího okruhu;
8 – hlavní elektromotor pohonu lisu;
9 – počítadlo vyprodukovaných briket (délky).

Obrázek 11: Briketovací pístový lis

ZDROJ: *Malaťák, Vaculík, 2008*

Sušárny

Čerstvé, zelené rostliny mají velký obsah vody, s rostoucím obsahem vody se snižuje energetický zisk. Před použitím je vhodné nechat biomasu částečně vyschnout. Běžným sušením (v suchu, pod přístřeškem) lze dosáhnout vlhkosti 30–20%. Pro další účely (např. lisování briket, zpracování pelet) se musí vstupní materiál vysušit na ještě nižší obsah vody – k tomu již běžné sušení na vzduchu nestačí. Proto se v poslední době biomasa před použitím ještě uměle dosušuje (Murtinger, Beranovský, 2011).

Sušení je energeticky nejnáročnější operací v celém procesu a dodržení správného technologického postupu má zásadní význam pro výslednou kvalitu (Murtinger, Beranovský, 2011). Samotné sušení spotřebovává poměrně značné množství energie – 0,68 kWh na odpaření 1 kg vody (Lyčka, 2011).

V rakouské bioplynové stanici vysušují štěpku odpadním teplem (teplým vzduchem) z kogenerační jednotky na bioplyn. Vlhká štěpka se zde naveze pod přístřeškem, v jehož podlaze jsou rošty pro přívod vzduchu a ventilátor protlačující skrz vrstvu štěpky teplý vzduch (Murtinger, Beranovský, 2011).

3.3.6 Vlhkost dřevní hmoty

Vlhkost je vlastnost, která má zásadní vliv na výhřevnost dřevní hmoty. Ovlivňuje výhřevnost a hustotu dřeva. Dřevozpracující průmysl používá termín relativní vlhkost, což je míněno jako rozdíl mezi hmotností vlhkého a vysušeného vzorku, děleno hmotností původního vlhkého vzorku (Lyčka, 2011):

$$W_d = \frac{(M_V - M_s)}{M_v} \times 100\ [\%]$$

Mv – hmotnost vlhkého vzorku [kg]; Ms – hmotnost suchého vzorku [kg]

Dřeviny se od sebe liší různou rychlostí schnutí i náchylností ke vstřebávání vody. U čerstvě vytěžených stromů se vlhkost pohybuje v rozmezí 40–60 % (viz. Tabulka 5) (Patřičný, 2016).

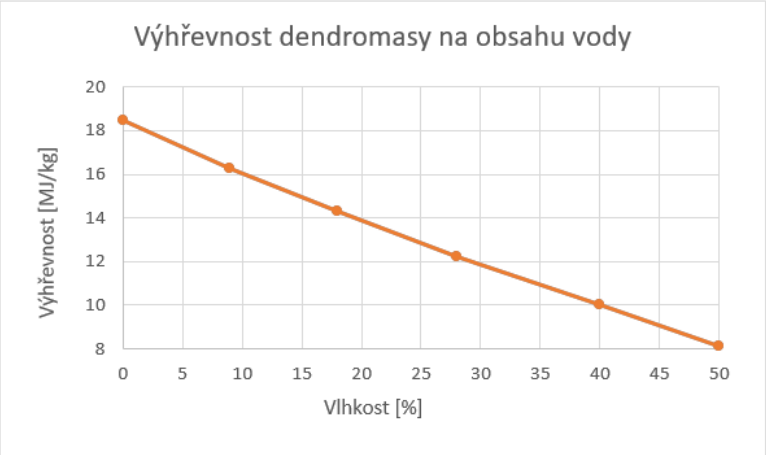
Tabulka 4: Vlhkost čerstvého dřeva po pokácení

Dřevina	Vlhkost [%]
Vrba	60
Jehličnany (měkké dřevo)	55
Dub a buk (tvrdé dřevo)	50
Jasan	40

Zdroj: Patřičný, 2016; upraveno

3.3.7 Vytápění a výhřevnost

S vlhkostí souvisí i výhřevnost, což je teplo poskytnuté palivem po odečtení množství tepla spotřebovaného na odpaření vody. Při spalování mokrého, vlhkého paliva se spotřebovává energie na odpaření vody z paliva a tím klesá výhřevnost (Lyčka, 2011).



Graf 1: Závislost výhřevnosti dendromasy na obsahu vody

ZDROJ: Murtinger, Beranovský 2011

Z grafu je viditelné, že výsledná energetická účinnost využití dendromasy je velmi závislá na obsahu vlhkosti. Pokud se bude spalovat dřevní štěpka s vlhkostí 50%, z energetické hlediska je to nevýhodné, neboť se využije necelá polovina energie v palivu obsažené (Murtinger, Beranovský, 2011).

Pro lepší představu jsou jednotlivé druhy paliv a jejich výhřevnosti uvedeny v tabulce níže:

Tabulka 5: Srovnání výhřevnosti jednotlivých paliv

Palivo	Výhřevnost [Mj. kg]
Dřevo surové (50 % vody)	8,2
Dřevo suché (25 % vody)	13,5
Dřevo uměle dosušené	19,2
Suchá sláma při sklizni	14,5
Suché konopí seté	12
Dřevené pelety	18,5
Dřevěné brikety	19
Štěpka	8-15
Dřevěná kůra	18
Hnědé uhlí	12-15
Černé uhlí	25
Koks	do 29
Topná nafta	42,9
Zemní plyn [m3]	do 36

ZDROJ: Juchelková, 2002; Malaťák, Vaculík, 2008, Murtinger, Beranovský 2011

Využití biomasy pro účely vytápění má hlavní význam zejména v místech vzniku tohoto druhu paliva, tedy v oblastech, kde jsou teplárny, pily, zemědělské statky atp. Vzhledem k různým charakteristikám biomasy je nutné tyto paliva spalovat v zařízeních k tomu určených, které dokáží nejefektivněji využít teplo obsažené v tomto biopalivu (Juchelková, 2002).

3.4 Spalování dendromasy

Biomasa je považována z hlediska termického spalování za účelem výroby tepla a elektrické energie za produkt rovnocenný palivu a není vhodné jej zařazovat do kategorie odpadů, a to i v případě, kdy vznikla jako odpad v průmyslové výrobě (Malaťák, Vaculík, 2008). Dřevo obsahuje až 80% prchavé hořlaviny, což znamená, že 80% spalitelných složek se při hoření dřevní hmoty uvolní ve formě plynu (Lyčka, 2011).

3.4.1 Podstata spalování

Spalování paliv je chemický pochod, ve kterém se slučují hořlavé prvky obsažené v hořlavině paliva s kyslíkem. Při spalování probíhají exotermické oxidační reakce, endotermické reakce tepelného rozkladu, výměna hmot a tepla, směšování palivových a vzduchových proudů aj. (Pastorek, 2004).

Spalováním biomasy vznikají stejné základní látky jako při spalování jiných organických paliv. Spalovací reakce probíhá podle následujících chemických vztahů:

$$C + O_2 + N \rightarrow CO_2 + N + \text{teplo}$$

$$H_2 + \frac{1}{2} O_2 + N \rightarrow H_2O + N + \text{teplo}$$

$$S + O_2 + N \rightarrow SO_2 + N + \text{teplo}$$

Dusík se reakcí neúčastní, přechází pouze jako odpadní složka do kouřových plynů nebo se slučuje na nepříznivé složky NO a NO_2, které jsou škodlivé. Kouřové plyny se skládají ze směsi vzdušného dusíku a produktů ze spalování hořlaviny – CO_2, H_2O, SO_2, SO_3, NO, NO_2, vodní páry a další prvků ve stopovém množství (Pastorek, 2004). Spalování může probíhat i bez světelného efektu, na rozdíl od hoření, které je světelným efektem provázeno vždy (Malaťák, Vaculík, 2008).

Spalování všech druhů paliv probíhá za provozních podmínek s jistým přebytkem vzduchu. Přebytek musí být minimální, aby ztráty tepla skrz spaliny byly co nejmenší, ale zároveň dostatečný, aby se zaručilo dokonalé spálení paliva (Babu et al., 2014).

3.4.2 Emise ze spalování dendromasy

Proces spalování je ovlivněn mnoha faktory. Mezi nejdůležitější faktory, dle Pastorka (2004) se řadí:

- dlouhé plameny, které způsobují obtíže pro průnik potřebného kyslíku
- relativně dlouhá doba prohořívání spalitelných plynů, během níž nesmí být plamen nikde a ničím ochlazován, neboť by se tvořily saze
- teploty měknutí, tečení a tavení popela (860–1100 ℃)
- nízká hustota paliv s výjimkou briket a pelet
- určitý podíl těžkých kovů v popílku vyžadující u topenišť speciální a finančně náročné filtry

Při spalování biomasy vznikají látky základní (CO_2, H_2O) a látky nežádoucí, znečišťující. Produktem nedokonalého spalován je v první řadě oxid uhelnatý (CO). V případě dostatečné teploty spalování a dostatečného množství spalovacího vzduchu je CO oxidován na CO_2. Poté se jedná o oxidy dusíku NO_x. Síra je v 36endromasy obsažena v malém množství, proto jsou emise SO_2 minimální, což je jedná z velkých předností (Trenčiansky a kol., 2007)

Posuzování emisí je klasifikováno podle tepelného výkonu spalovacího zařízení. Například pro kotle s výkonem do 200kW není hodnocení tak striktní jako u tepelných zdrojů s výkonem s 5 až 50 MW (Pastorek, 2004). Nejdůležitějším předpisem z tohoto pohledu je zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší.

Odlišnost biomasy od pevných paliv je vyjádřena tím, že pro větší spalovací zařízení (nad 1 MW výkonu) je vyžadována kontrola kvality spalování měřením organického uhlíku v suchých spalinách při vstupu do vnějšího prostředí (Hrdlička, 2003).

Dalším specifikem biomasy je nízký obsah popelovin (pevné balastní složky), které však mají teplotu tavení okolo 1000℃, což může vést k zanášení výhřevných ploch ohniště sklovitými, obtížně odstranitelnými nánosy (Hrdlička, 2003).

Problematika tvorby toxických emisí vede k intenzivnímu výzkumu. Mezi ekologicky přijatelné procesy patří zplyňovací technologie. Jejich výhodou je palivo, které po standardním, avšak technicky náročném vyčištění má vlastnosti vhodné pro široké energetické využití (Cheng, 2017).

3.4.3 Spalovací zařízení

Pro energetické využití produktů z lesnické činnosti je nezbytné, aby spalovací proces probíhal za optimálních podmínek. Pokud se tyto podmínky nenaplní, není spalování přínosem. Proto je potřebné spalovat pouze takové palivo, které je určené druhem i strukturou, jakostí atd. pro dané spalovací zařízení (Malaťák, Vaculík, 2008). Účinnost spalování u roštových ohnišť se pohybuje v rozmezí 93–96 % při teplotě vzduchu 150–250℃ (Murtinger, Beranovský, 2011).

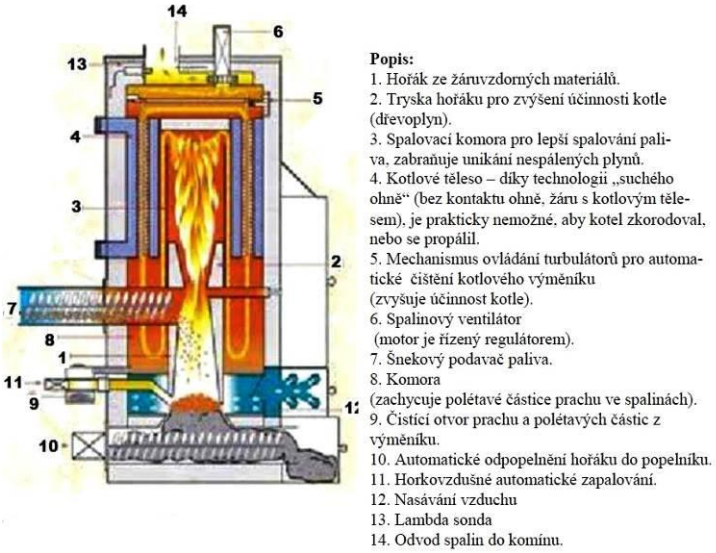
Zařízeními pro spalování dřevní štěpky jsou kotle nebo kogenerační jednotky. Stupavský (2010) jako hlavní přednosti těchto kotlů popisuje:

- automatický chod s možností regulací výkonu
- levný provoz (levné náklady na pořízení paliva
- palivo je obnovitelný zdroj energie
- nízké emise
- vysoká účinnost spalovaní: v rozmezí 80–90%

V případě instalace kotle na štěpku v rodinném domě je potřeba počítat se skladovacími prostory pro min. 50m^3 štěpky. V těchto prostorách musí být zaručeno dostatečné provětrávání, které zajistí dosušení štěpky během skladování (Stupavský, 2010).

Popis funkce kotle na dřevní štěpku:

Palivo je do spalovacího prostoru přiváděno z násypky automaticky pomocí šnekového dopravníku. Aby prohořívání paliva bylo co nejefektivnější, je v kotli instalován ventilátor pro přívod vzduchu. Přívod paliva i vzduchu je regulován automaticky podle venkovní teploty a podle požadované teploty nastavené uživatelem. Nezbytnou součástí kotle na štěpku je hořák a systém uchycení roštu. Otvor pro komín je vyráběn v souladu s platnou normou ČSN (Stupavský, 2010).



Obrázek 12: Technický popis kotle na dřevní štěpku

ZDROJ: Stupavský, 2010

4 Metodika

4.1 Výběr porostů

Pro výběr pozemků, tedy porostů ke sběru zbytkové dendromasy byla rozhodující kategorie lesů, druh těžby, stanovištní a terénní podmínky a na to navazující volba použité technologie.

Z hlediska lesních vegetačních stupňů (LVS) jsou více vyhovující podmínky v nižších a středních polohách, konkrétně ve stupni dubovém až jedlobukovém (1. – 5. LVS). Ve vyšších stupních je využití zbytkové dendromasy odvislé lokálních podmínek stanoviště a klimatu.

Porosty pro stanovení množství zbytkové dendromasy byly vybírány z několika hledisek:

1. První podmínka byla, aby všechny porosty spadaly do kategorie lesů hospodářských, neboť v ostatních lesích (prudké kamenité svahy, lokality ohrožené erozí, stanoviště s chudou a kyselou půdou) by mohlo dojít k narušení tvorby humusu a koloběhu živin

2. Pro stanovení množství zbytkové dendromasy byly vybírány pouze porosty, na kterých probíhala obnova holosečným hospodářským způsobem. Takto lze zaručit, že po vytěžení zůstane prostá holina, zbavená většiny nadzemní dendromasy.

3. V drtivé většině byly vybírány monokulturní porosty smrku ztepilého (*Picea abies*).

4. Vzhledem k použité mechanizaci, byly vybrány pouze porosty s únosným terénem, protože v případě neúnosných terénu si operátoři strojů ukládají klest pod kola, který znečistí. Takto zaježděný do bláta a tedy znehodnocený materiál se již dále nepoužívá a je v lese ponechán.

4.2 Charakteristika jednotlivých porostů

Pro tento výzkum bylo vybráno deset porostů, které splňují podmínky uvedené v kapitole Výběr porostů. Pro každý porost byly převzaty údaje z hospodářských knih a katastru nemovitostí, které vloženy jsou převedeny do jednotné tabulky. Dále jsou pro každý porost uváděny údaje z těžby klestu, tedy: druh těžby (mýtní úmyslná, nahodilá), fyziologický stav klestu (suchý, čerstvý), skutečné množství seštěpkované hmoty a výpočet teoretického množství štěpky na 1ha .

1. Porost – Bojanovice pod Rabím (okres Klatovy)

Jednalo se o porost nacházející se na jihozápadním okraji lesa, který tvořil hranici pole – les. Podmínky pro růst smrku byly průměrné, porost musel často odolávat bočním větrům a přímému slunečnímu záření. Porost podlehl napadení lýkožroutem a musel být odtěžen.

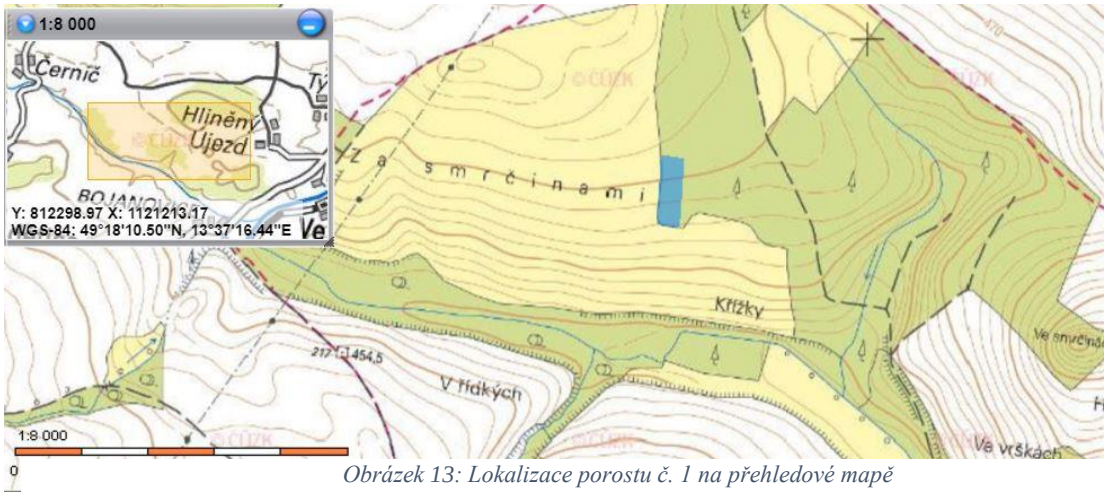
Tabulka 6: Porost č. 1 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
226A7	1161	SM	100	0,21	72	24	451	3S1	9	460

Tabulka 7: Porost č. 1 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Nahodilá	suchý	25	119

2. Porost – Bendovo Záhoří (okres Tábor)



Obrázek 13: Lokalizace porostu č. 1 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

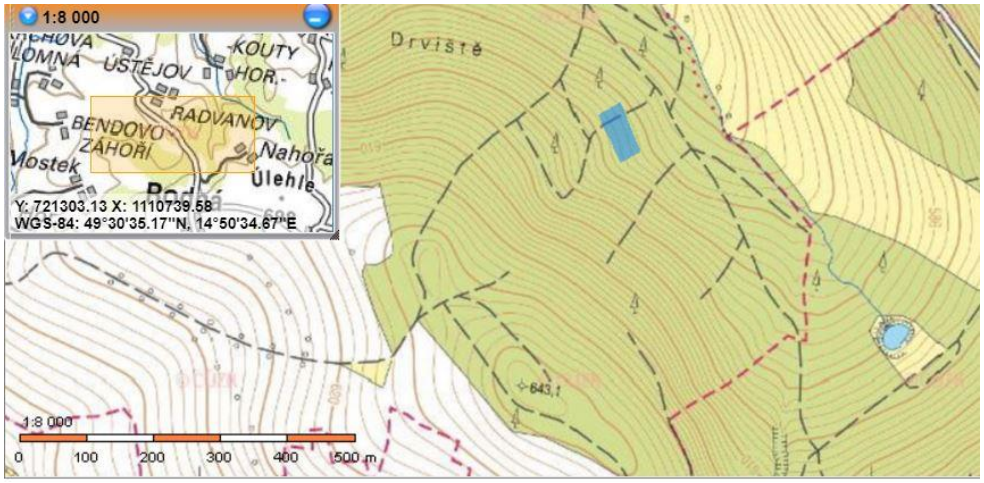
Druhý porost se nacházel nedaleko vesnice Bendovo Záhoří. Porost je charakterizován severovýchodní expozicí svahu s mírným sklonem. V lokalitě převládá lesní typ 5K6 – kyselá jedlová bučina borůvková. Zbylé zastoupení dřevin tvořila borovice (5%) a buk (5%). Klest z těchto dřevin byl v lese ponechán

Tabulka 8: Porost č. 2 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
326G8	688	SM	90	0,27	83	28	531	5K6	10	518

Tabulka 9: Porost č. 2 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Mýtní úmyslná	čerstvý	110	393



Obrázek 14: Lokalizace porostu č. 2 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

3. Porost – Bendovo Záhoří (okres Tábor)

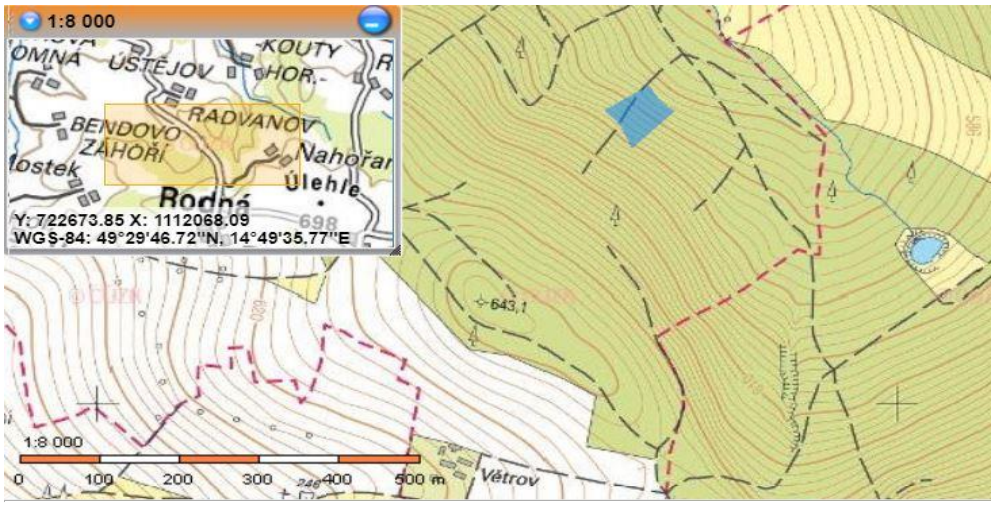
Tento porost se nacházel v blízkosti porostu č. 2, avšak dosahoval nižších dimenzí (zakmenění 9) a zbylé zastoupení bylo tvořeno modřínem (5%) a borovicí (5%). Zbytková dendromasa z těchto dřevin byla snášena ručně na oddělené hromady.

Tabulka 10: Porost č. 3 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
326G8	692	SM	90	0,36	83	28	531	5K6	9	518

Tabulka 11: Porost č. 3 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Mýtní úmyslná	čerstvý	131	364



Obrázek 15: Lokalizace porostu č. 3 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

4. Porost – Humpolec u Sušice (okres Klatovy)

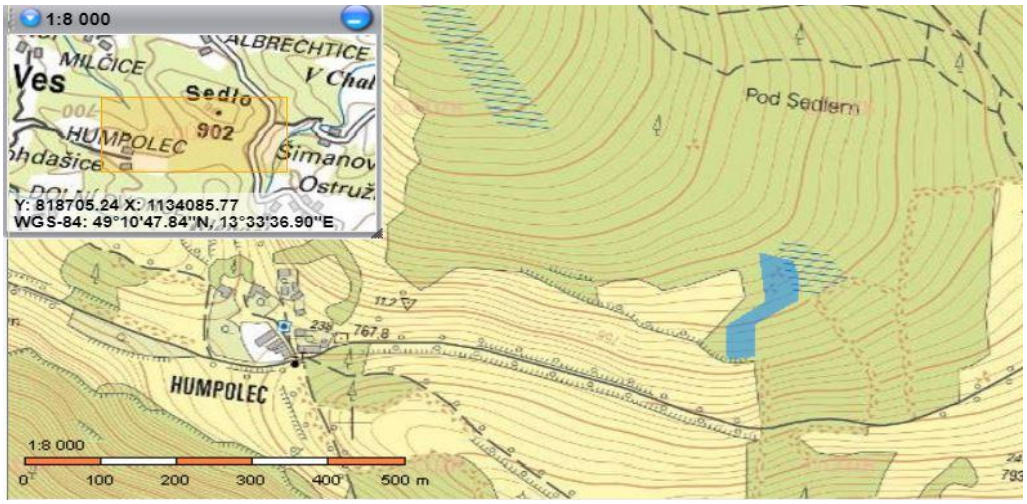
Čtvrtý porost se nacházel cca 700 m východně od obce Humpolec v okrese Klatovy. Středem porostní skupiny prochází lesní cesta typu 2L. Smrky dorůstaly do solidních dimenzí (AVB 30), avšak díky průniku lesní cestě skrz porost došlo ke snížení zápoje a tedy zakmenění dosahuje hodnoty 8.

Tabulka 12: Porost č. 4 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
295A8	379/2	SM	100	0,16	80	30	511	5N3	8	772

Tabulka 13: Porost č. 4 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Mýtní úmyslná	čerstvý	55	344



Obrázek 16: Lokalizace porostu č. 4 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

5. Porost – Humpolec u Sušice (okres Klatovy)

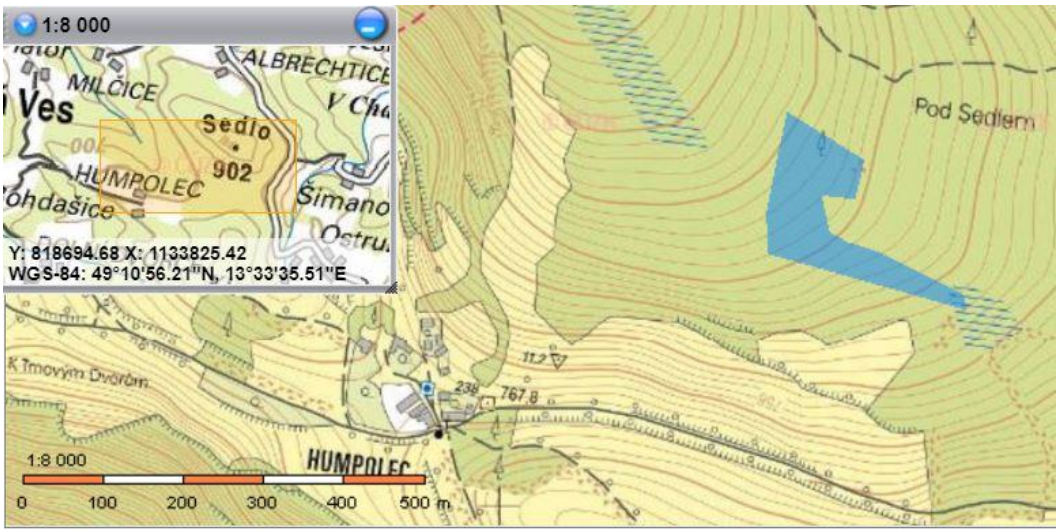
Porost číslo 5 se vyskytoval nedaleko čtvrtého porostu. Tento porost byl ve srovnání s porostem č. 4 starší o 15 let, avšak lokalita je na více exponovaném stanovišti, což mělo za následek i několik vývratů, které se v porostu nacházely. Lesní typ kamenitá kyselá jedlová bučina šťavelová

Tabulka 14: Porost č. 5 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
295A10	394/1	SM	100	1	95	28	511	5N3	7	769

Tabulka 15: Porost č. 5 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Mýtní úmyslná	čerstvý	293	293



Obrázek 17: Lokalizace porostu č. 5 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

6. Porost – Nišovice (okres Strakonice)

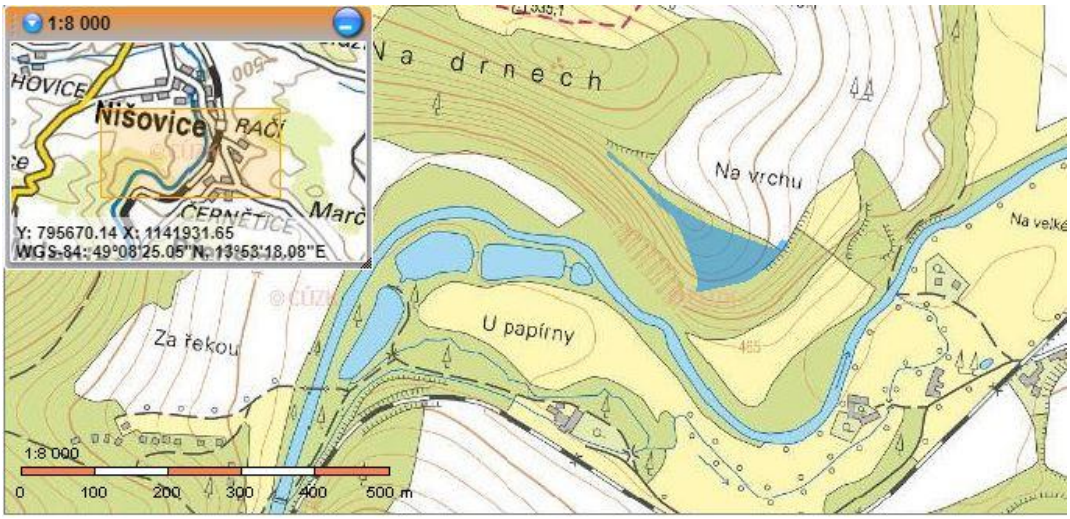
Šestý porost se nacházel cca 1,2 km jižně od náměstí obce Nišovice. Nedaleko porostu (cca 100 m jižním směrem) protéká říčka Volyňka. Les se rozprostírá na svažitém terénu, lesní typ 4K7 kyselá bučina šťavelovitá. Díky nepříliš zdařilým výchovným zásahům z předchozích dekád, které zhoršily růstové podmínky dřeviny (AVB 22, zakmenění 7) se rozhodlo pro smýcení daného porostu.

Tabulka 16: Porost č. 6 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
37E9	1383/1	SM	100	0,29	84	22	431	4K7	7	465

Tabulka 17: Porost č. 6 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Mýtní úmyslná	čerstvý	70	241



Obrázek 18: Lokalizace porostu č. 6 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

7. Porost – Řemíčov (okres Tábor)

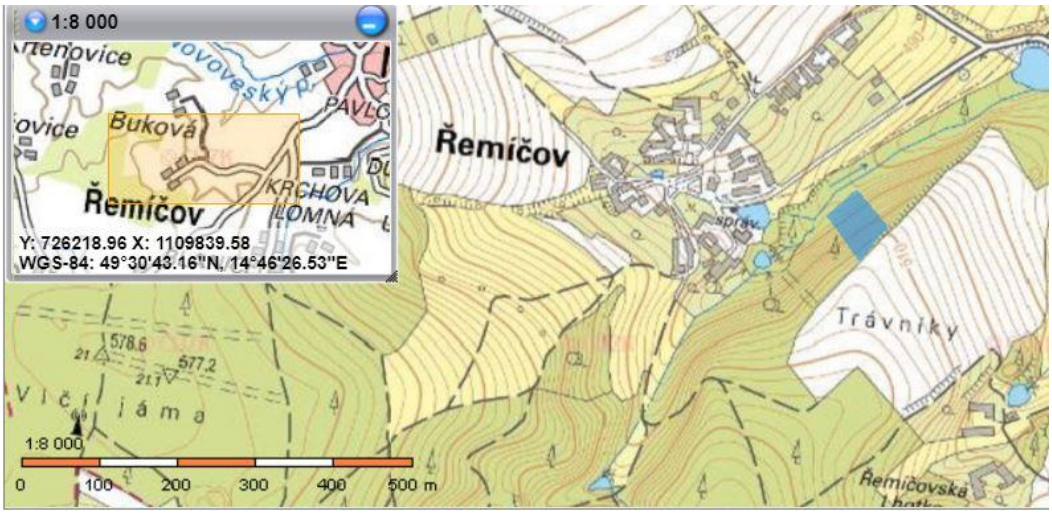
V porovnání s ostatními porosty se tento porost nacházel nejblíže k intravilánu. Obyvatelé blízké vsi často porostem procházeli, což se odrazilo i na celkovém stavu porostu. Dle údajů z hospodářské knihy, doba obmýtí byla stanovena na 110 let, přičemž porost byl vytěžen jako mýtní úmyslná těžba ve věku 133 let. Expozice svahu je orientována na severozápad. Zastoupení bylo tvořeno 94% smrku, který je ve spodní části svahu slabě proředěný s borovicí a břízou.

Tabulka 18: Porost č. 7 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
39K14	316/10	SM	94	0,35	133	26	451	3S2	9	510

Tabulka 19: Porost č. 7 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Mýtní úmyslná	čerstvý	101	289



Obrázek 19: Lokalizace porostu č. 7 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

8. Porost – Stachy (okres Prachatice)

Porosty 8, 9 a 10 se nacházely v nadmořské výšce okolo 900 m n. n. Se zvyšující se nadmořskou výškou smrk pozvolna přecházel do horského ekotypu. Osmý porost se vyskytoval na svahu s východní expozicí. Lesní typ 6N3 - kamenitá kyselá smrková bučina se šťavelem.

Tabulka 20: Porost č. 8 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
310E10	1398/15	SM	100	0,13	92	30	511	6N3	10	920

Tabulka 21: Porost č. 8 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Mýtní úmyslná	čerstvý	53	408

Obrázek 20: Lokalizace porostu č. 8 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

9. Porost – Stachy (okres Prachatice)

Devátý i desátý porost se nacházel na totožné parcele uvnitř komplexu v mírném svahu s východní expozicí. V 9. porostu se vyskytovala starší smrková kmenovina, která musela být ve věku 109 let vytěžena z důvodu napadení kůrovcem.

Tabulka 22: Porost č. 9 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
304E11	1909	SM	100	0,82	109	22	711	7M3	9	950

Tabulka 23: Porost č. 9 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Nahodilá	suchý	112	137

10. Porost – Stachy (okres Prachatice)

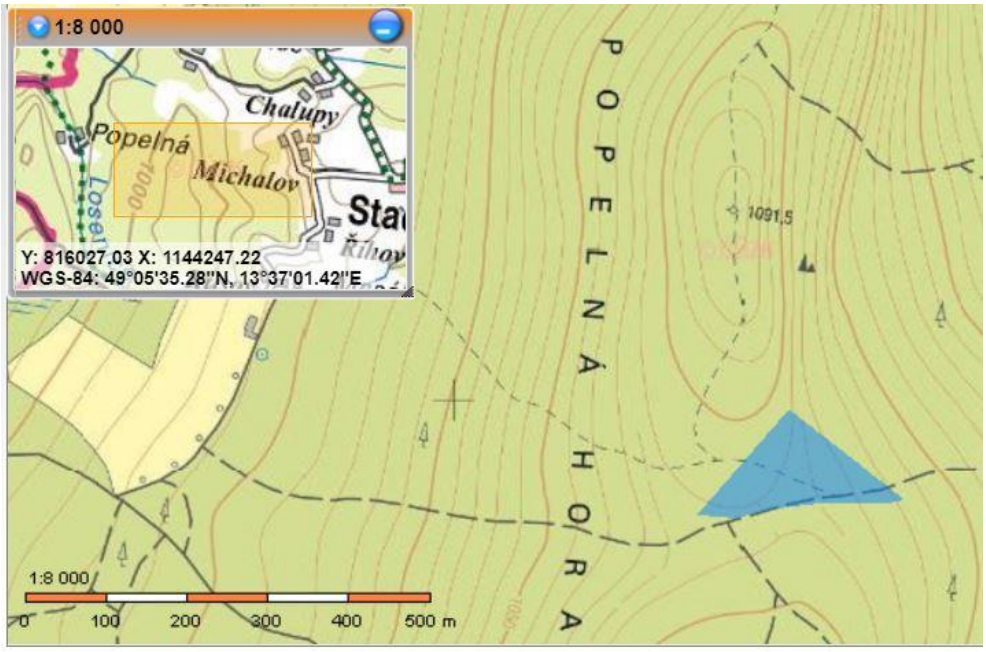
Poslední porost se nacházel na protější straně porostu č. 9, avšak na svahu se západní až jihozápadní expozicí. Jednalo se o mladší smrkovou kmenovinu, která také musela být vytěžena z důvodu napadení kůrovcem. Lesní typ 7K2, kyselá buková smrčina borůvková

Tabulka 24: Porost č. 10 obecné údaje

Porost	Parcela	Dřevina	Zastoupení [%]	Výměra porostní skupiny [ha]	Věk	AVB	HS	LT	Zakmenění	Nadmořská výška [m n. m.]
305E8	1909	SM	100	0,51	85	18	731	7K2	9	940

Tabulka 25: Porost č. 10 údaje o těžbě

Druh těžby	Stav klestu	Množství štěpky skutečné [prms]	Množství štěpky na ha [prms]
Nahodilá	suchý	52	102



Obrázek 21: Lokalizace porostu 9 a 10 na přehledové mapě

Zdroj: http://nahlizenidokn.cuzk.cz/; aplikace Marushka

4.3 Výrobní proces

4.3.1 Rozbor problematiky výrobního procesu

Celý proces výroby štěpky, tzn. od samotného pokácení stromu až po dodání k odběrateli je nutno realizovat v co nejkratším možném termínu. Zásadním faktorem ovlivňujícím výrobu štěpky, hustota sítě lesních cest a jejich kvalita. Dále samozřejmě kapacita použité mechanizace

Předpokladem pro efektivní zpracování dendromasy je, aby se manipulační plocha nacházela co nejblíže zdroji těžebních zbytků, protože jakákoliv následující manipulace štěpku prodražuje.

4.3.2 Pracovní činnosti na lokalitě „Pařez“ (P)

Lokalitou P se rozumí těžební plocha, kde vznikají sortimenty. V tomto výzkumu byla těžba prováděna sortimentní metodou s využitím plně mechanizované – harvestorové technologie. První výrobní fází je vlastní těžba stromu, kdy operátor harvestoru na jedné straně vyvážecí linky kácí a na protilehlé straně linky pokládá sortimenty do samostatných hromad. Na této lokalitě harvestor provádí kontinuální sériovou výrobu, což zahrnuje několik pracovních operací: kácení, odvětvování, vyklizování a hromádkování.

Samotná práce se zbytkovou dendromasou probíhá při odvětvování, kdy operátor soustřeďuje klest do jednotlivých hromádek podél vyvážecích linek.

4.3.3 Soustřeďování zbytkové dendromasy

Jedná se o výrobní proces, jehož cílem je dopravit surovinu z lokality P na OM. Vzhledem k tomu, že harvestor již na lokalitě P provedl vyklizování, mění se lokalita P na lokalitu VM (lokality P – VM se nacházejí v těsné blízkosti). Proto se soustřeďování klestu týká dopravy z VM na lokalitu OM.

V této práci je použito mechanizace vyvážecích traktorů. Výhodou této technologie je, že náklad je nesený na ložné ploše vyvážecího traktoru. Operátor vyvážecího traktoru sbírá v porostu kopy klestu připravené harvestorem a pokládá je do ložné plochy mezi klanice. Následně se pohybuje po technologické lince k OM. Na odvozním místě klest vyloží na velké hromady, kde je materiál dále zpracováván.

4.3.4 Pracovní činnosti na lokalitě „Odvozní místo“ (OM)

Odvozní místo slouží jako dočasné překladiště dříví nebo klestu. Klest se skládkuje do velikých hromad do doby, než se vyveze veškerá nadzemní biomasa z porostu. Poté jsou zde potěžební zbytky upravovány štěpkováním. Nasekaná dendromasa je štěpkovačem foukána do kamionové soupravy s vysokoobjemovými kontejnery. Následně je přepravena přímo k odběrateli (spalovny) anebo, zřídka na expediční sklady.

4.3.5 Transport

Transport dřevní biomasy lze rozdělit jako primární, tedy doprava probíhající v lese a sekundární, dopravu materiálu po silnici. Dezintegrovaný materiál, ať už štěpka, piliny, drť se přepravují běžnými tahači s návěsem pro dezintegrované materiály. Náklad se musí zaplachtovat, aby se zabránilo ztrátám během přepravy. Při transportu štěpky dochází k setřesení o cca 3% prostorového objemu.

4.4 Použitá technologie

Veškerá použitá technika a mechanizace v tomto výzkumu náleží firmě STANEST s.r.o., ke které měl autor přístup.

1) Harvestorová technologie

Těžba byla prováděna harvestory II. generace značky Rottne. V mýtních porostech se nejvíce uplatňoval velký, šestikolový harvestor Rottne H20 s v kombinaci s menším čtyřkolovým harvestorem Rottne H8.

Obrázek 22: Mýtní harvestor Rottne H20

Zdroj: Vlastní pořízení; červenec 2018

2) Vyvážecí traktory

Vyvážení potěžebních zbytků probíhalo vždy až po soustřeďování sortimentů. Vyvážení a přípravu porostu k následnému zalesnění prováděly i v tomto případě stroje značky Rottne. Výrobce udává, že v názvu modelu (např. Rottne F15, F14, F13, F12) je uveden objem ložné plochy vyvážecího traktoru. Např., do modelu F15 by se mělo vejít 15 m^3 dříví.

Klest je však udáván v jednotkách prms, tedy prostorových metrů sypaných. Prms je parametr sypné hmotnosti udávající poměr mezi hmotností a objemem. Pro lepší představu, 1 prms je ekvivalentem 0,59 prm (prostorového metru) nebo 0,41 plm (plnometru).

Při vyvážení klestu se na vyvážecí traktor obvykle vejde o 2–3 prms více, než při přepočtu na dříví v kulatině. Tato hodnota se však může lišit od zkušeností a umu operátora stroje.

Obrázek 23: Vyvážení klestu vyvážecím traktorem Rottne F12

ZDROJ: Vlastní pořízení; květen 2018

3) Úprava potěžebních zbytků

Dezintegrace zbytkové dendromasy byla prováděna na sekacích – štěpkovacích zařízeních značky MAXIM.

a) Tažený štěpkovač MAXIM 850 HR

Pracovním orgánem je rotor s osmi noži, které jsou schopny pojmout dřevěný materiál do 60 cm v průměru. Velikost jednotlivých štěpek je nastavitelná od 5 do 90 mm. Štěpka je odváděna dvěma příčně uloženými šneky do ventilátorů, skrze které je vyfukována komíny ven. Rotor je poháněný od vývodové hřídele traktoru JCB Fastrac. Výkonnost tohoto štěpkovače je až 100 prms za hodinu.

Obrázek 24: Štěpkovač 850 HR poháněný traktorem JCB Fastrac

ZDROJ: Vlastní pořízení; duben 2018

b) Nesený štěpkovač MAXIM 1050 HR

Z konstrukčního hlediska je podobný menšímu štěpkovači MAXIM 850 HR. Liší se větším rotorem, na kterém se nachází 10 ostrých nožů. Pohon zde zajišťuje samostatný agregát od firmy Scania s výkonem 490 koňských sil, který je schopný vyvinout velký točivý moment.

Výhodou tohoto štěpkovače je větší mobilní rychlost, jelikož je nesený upraveném návěsu pro kamiony. Výkonnost stroje je až 120 prms/hod. Nevýhodou je až dvojnásobná hmotnost oproti štěpkovači 850 HR, což stěžuje prostupnost v terénu.

Obrázek 26: Štěpkovač MAXIM 1050 HR před příjezdem na OM

ZDROJ: Vlastní pořízení, červen 2018

4) Nákladní doprava

Odvoz z OM k odběrateli, což jsou ve většině případů spalovny, zajišťují kamionové soupravy s vysokoobjemovými kontejnery. Obvykle se jedná soupravu s kontejnerem, která za sebe připojí přívěs s druhým kontejnerem. Takováto souprava může v ložné ploše vést až cca 70 – 80 prms.

Dále je doprava zajištěna kamionovými tahači s přípojnými návěsy, které jsou vybaveny posuvnou podlahou pro sypký materiál. Tento druh soupravy dokáže převést až 90 prms, avšak je limitován dostupností terénu a členitostí trasy.

Obrázek 27: Kamiony s vysokoobjemovými kontejnery

ZDROJ: Vlastní pořízení; červen 2018

4.5 Stanovení množství zbytkové dendromasy z vybraných porostů

Jak již bylo nastíněno v předchozích kapitolách, koncentrovaná zbytková dendromasa z celého těženého úseku je soustředěna na lokalitu OM, kde je zpracována štěpkovačem na malé kousky. Hlavní zásadou je v této fázi dodržet, aby vyvezené a seštěpkované těžební zbytky se nemíchaly s těžebními zbytky z okolních porostů, tedy aby odpovídaly pouze zbytkům z jedné porostní skupiny.

Dezintegrovaný dřevní materiál je štěpkovačem foukán na ložný prostor nákladního automobilu. Následně je kamionovou dopravou přepravován k odběrateli, tj. do spaloven.

Při vjezdu do spalovny najede naložený kamion na nákladní váhy, kde je zvážen. Řidič po zvážení obdrží vážní lístek, na kterém je uvedena hodnota *brutto*, což značí celkovou váhu nákladu. Následně řidič pokračuje na místo vykládky nákladu, což jsou obvykle přejímací jímky nebo zastřešené sklady. Po vykládce musí řidič s prázdnou soupravou opět jet na váhy. Tím je zjištěn údaj *tara,* která vyjadřuje hmotnost prázdného, nenaloženého dopravního prostředku. Čistá hmotnost (*netto*) přivezené suroviny se vyjadřuje jednoduchým vztahem, tedy:

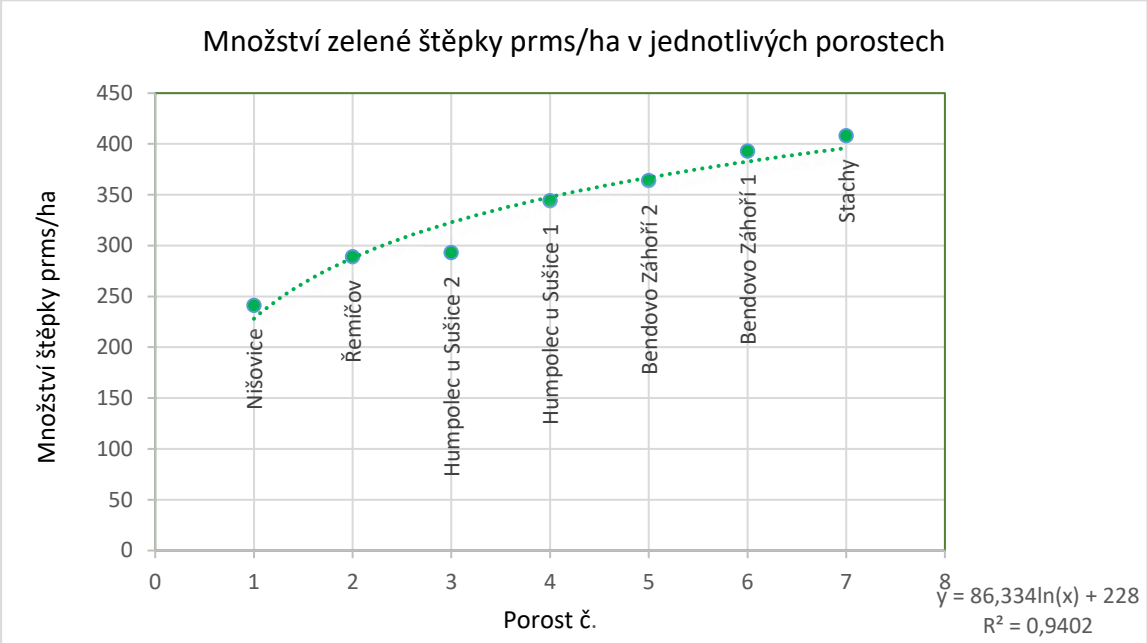
$$Netto = Brutto - Tara$$

S ohledem na váhu naložené nákladní soupravy, která v praxi obvykle bývá mezi 40–48 t, jsou nákladní váhy poměrně citlivým zařízením, které měří náklad s přesností na 5 nebo 10 kg.

V praxi obvykle před samotnou jízdou do spaloven řidiči kamionů nabírají štěpku pocházející z různých hromad, aby naplnili celkovou kapacitu ložné plochy nákladního automobilu. Aby se stanovilo přesné množství zbytkové dendromasy pocházející z konkrétní porostní skupiny, bylo firmou STANEST s.r.o. umožněno cestování poloprázdných kamionů (v některých případech téměř prázdných) do spaloven i za cenu výrazného snížení profitu.

5 Výsledky

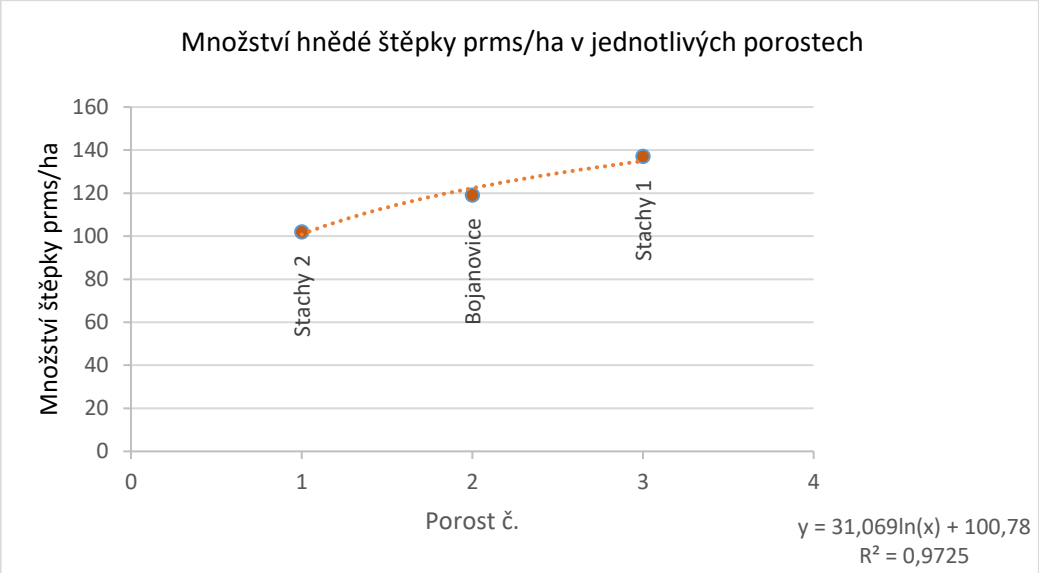
Vzhledem k tomu, že byly prováděny dva druhy těžeb: mýtní úmyslná a nahodilá, je pro začátek vhodné tyto porosty porovnat mezi sebou. V případě mýtních úmyslných těžeb byl klest vždy získáván čerstvý a vyráběla se z něj zelená štěpka. Naopak u nahodilých těžeb se pokaždé jednalo vždy o klest suchý a výsledným produktem byla štěpka hnědá.



Graf 2: Množství zelené štěpky v jednotlivých porostech

Zdroj: vlastní

Graf č. 2 shrnuje množství zpracovaného čerstvého klestu na zelenou štěpku v jednotlivých porostech, kde vždy probíhala mýtní úmyslná těžba. Nejméně množství zelené štěpky na 1 ha vykazuje porost u Nišovic (241 prms/ha), kde smrk nerostl ve svém ekologickém optimu, kromě toho zde v minulosti proběhly nevhodné výchovné zásahy, které měly za následek uvolnění, což snížilo zakmenění na hodnotu 7. Naopak nejlepších hodnot vykazoval porost u obce Stachy (408 prms/ha), který se nacházel na úpatí Šumavy. V těchto nadmořských výškách smrk přecházel do horského ekotypu. Smrky zde rostly ve svém ekologickém optimu a vykazovaly velmi dobré produkční vlastnosti.



Graf 3: Množství hnědé štěpky v jednotlivých porostech

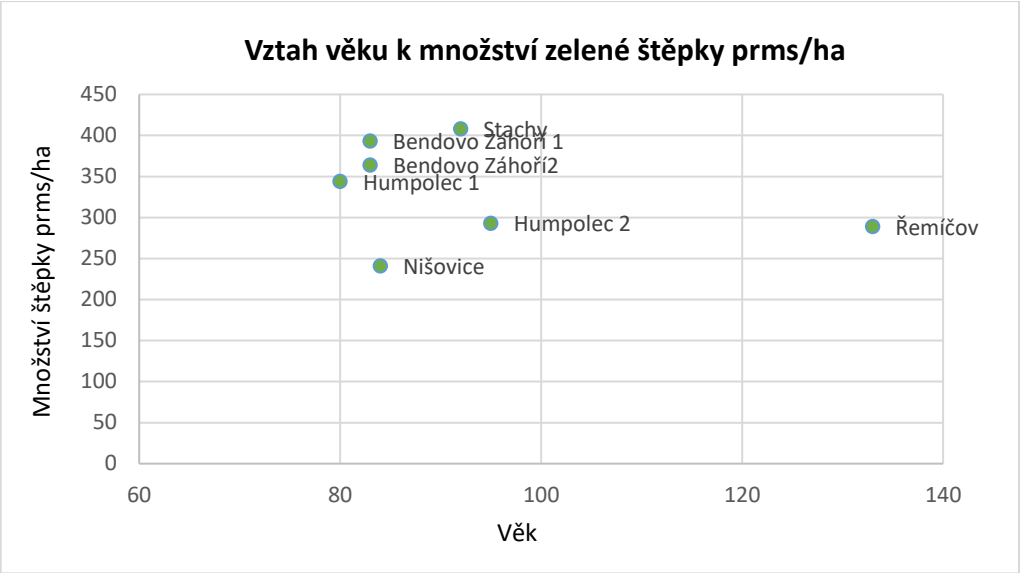
Zdroj: vlastní

Z grafu č. 3 lze pozorovat rozdíl v množství hnědé štěpky z tří různých porostů. Zajímavé je srovnání množství z porostů v okolí obce Stachy, neboť oba porosty se nacházely na stejné parcele. Rozdíl v tomto případě hraje věk, bonita a expozice svahu.

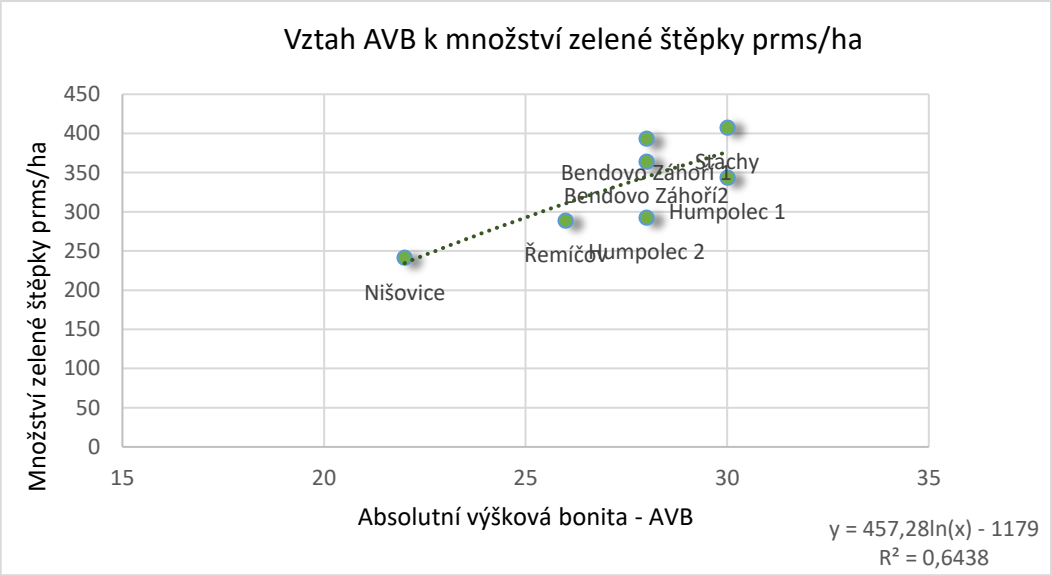
Graf 4: Srovnání průměrného množství štěpky

Zdroj: vlastní

Rozdíl průměrného množství zelené a hnědé štěpky je uvedeno v grafu č. 4. Rozdíl v množství je enormní, zelená štěpka (vstupní surovina čerstvý klest) dosahuje až 2,8 násobku většího objemu než štěpka hněda (vstupní surovinou je suchý klest).



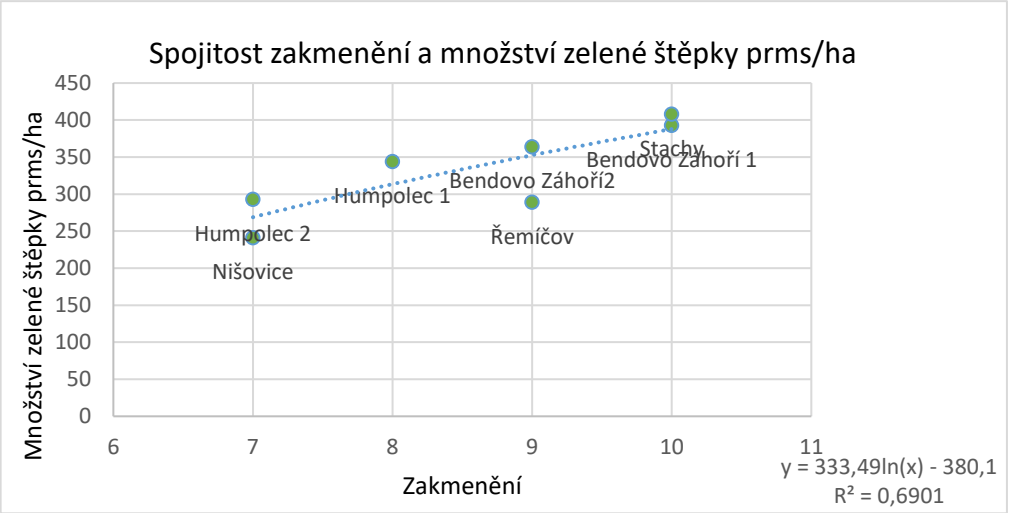
Graf 5: Spojitost mezi věkem a množstvím zelené štěpky (prms/ha)
Zdroj: Vlastní



Graf 6: Vztah mezi AVB a množstvím zelené štěpky (prms/ha)
Zdroj: Vlastní

Graf č. 5 popisuje spojitost mezi věkem a množstvím zpracovaného zeleného klestu na štěpku. Z grafu je patrné, že průměrných hodnot se dosahuje mezi 80. – 100. rokem věku porostu. Zdali věk hraje významnou roli v množství, není jisté, protože porost Humpolec 2 byl těžen ve věku 95 let, kdežto porost Stachy byl těžen ve věku 92 let a dosahuje lepších hodnot v objemu množství zbytkové dendromasy.

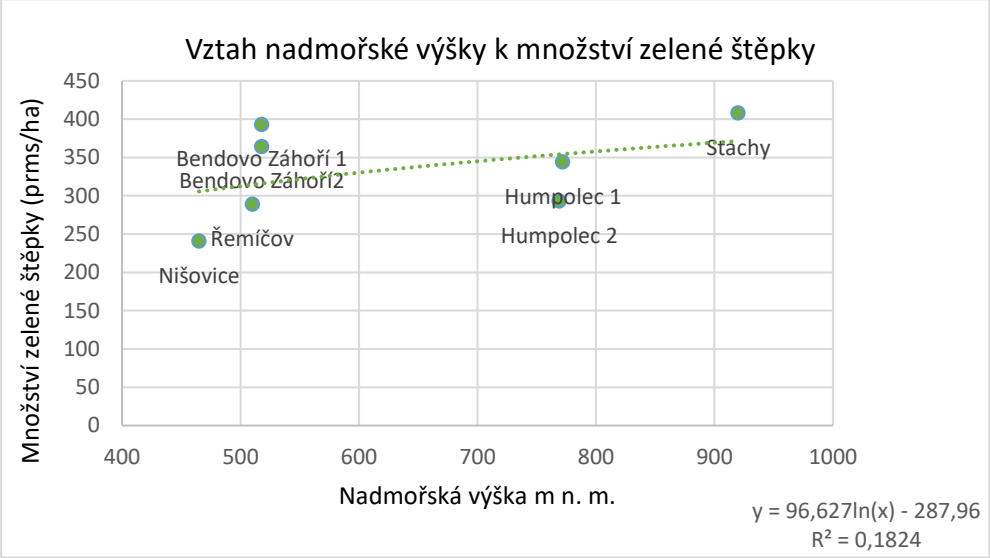
Absolutní výšková bonita vyjadřuje střední výšku porostu dřeviny v standardním věku (u smrku 100 let). Z grafu č. 6 je patrné, že AVB má značný vliv na celkové množství zbytkové dendromasy v jednotlivých porostech.



Graf 7: Vztah mezi zakmeněnín a množstvím zelené štěpky (prms/ha)

Zdroj: vlastní

Zakmenění vyjadřuje využití nadzemního prostoru porostu stromy. Hodnota plného zakmenění dosahuje hodnot 9–10, zakmenění uvolněné se pohybuje mezi hodnotami 7–8. Na základě údajů z grafu č. 7 je patrné, že se vzrůstajícím zakmeněním roste i množství zbytkové dendromasy v porostu, avšak nelze tyto údaje jednoznačné, jako např. u AVB.



Graf 8: Spojitost nadmořské výšky k množství zelené štěpky

Zdroj: vlastní

Na základě grafu č. 8, tedy vztahu nadmořské výšky k celkovému množství zelené štěpky nelze jednoznačně určit, zda je spojitost mezi nadmořskou výškou a celkovým množstvím zbytkové dendromasy v daném porostu. Smrkové porosty u Bendova Záhoří vykazují velmi dobré růstové podmínky, i přestože rostou o 400 m níže než porost u obce Stachy

6 Diskuze

Simanov (1995) ve své publikaci uvádí, že i při využití lesní mechanizace na lokalitě stále zůstává až 35% těžebních zbytků. Podobného názoru je i Lundborg (1998), který udává 20 – 30%. Operátor vyvážecího traktoru a další zaměstnanci firmy STANEST s.r.o. s tímto tvrzením nesouhlasí a namítají, že při optimálních podmínkách na lokalitě zbyde max. 5%. Hodnota 35% je vysoká a platí pouze v extrémních případech, například na neúnosných terénech, kdy operátor harvestoru musí ukládat klest pod kola, aby se předešlo zapadnutí stroje do bahna.

Je třeba zmínit několik limitujících faktorů, které při zpracovávání těžebních zbytků nastávají. V první řádě se jedná o terénní podmínky: sklonitost, únosnost, překážkovost. Na základě terénních podmínek se volí použitá mechanizace. Poté je třeba zhodnotit ekonomickou stránku, zdali zpracování těžebních zbytků bude ziskové nebo ztrátové. Z kalkulací i letitých zkušeností plyne, že v běžných podmínkách ČR je ekonomické převážet štěpku do vzdálenosti 50 km, v případě menších dodávek může být ekonomický limit i 20 km. Tuto vzdálenost potvrzují i Souček a Nikl (2018). Naopak v severských zemích, konkrétně ve Švédsku je průměrná dopravní vzdálenost cca 100 km jedním směrem (Lundborg, 1998).

Zpracovatelé lesní biomasy se potýkají s několika problémy. Mezi hlavní patří skutečnost, že lesníci nechtějí vpustit stroje do určených míst. Další starostí jsou hromady s klestem na OM. Lesníci obvykle žádají, aby byly zlikvidovány (seštěpkovány) okamžitě, případně protestují proti tomuto způsobu skladování, argumentujíc, že hrozí riziko požáru či rozšíření lýkožroutů. Wantulok (2011) však namítá, že větší hromady na OM nejsou nebezpečnější pro kůrovcovou kalamitu, neboť se dokázalo, že množení kůrovce probíhá jen na povrchu hromady. Aby se zabránilo dalšímu množení, jsou hromady s klestem chemicky postřikovány.

Odebrání těžebních zbytků by nemělo zhoršit funkčnost ekosystému, avšak naopak by mělo přinést pozitivní efekty (např. včasný sběr klestu na plochách s přirozenou obnovou). Toto dokládají i Souček a Nikl (2018) z ústavu pro hospodářskou úpravu lesů, kteří pokládají za nezbytné odstranit klest (i části) po těžbě, neboť se jedná o nezbytný předpoklad obnovy porostů. Také však namítají, že zbytková hmota z těžby (dendromasa) je důležitou humusotvornou složkou půd, protože nejvíce živin je v listí a jehličí. Proto využívání těžebních zbytků by se mělo soustředit převážně na lesy hospodářské.

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo stanovení množství zbytkové dendromasy v jednotlivých porostech v České republice. Pro výzkumnou část bylo vybráno celkem 10 porostů, přičemž na sedmi probíhala obnova mýtní úmyslnou těžbou a zbylé tři porosty musely být vytěženy kvůli napadení kůrovcem. Bylo zjištěno, že rozdíl mezi suchým a čerstvým klestem je propastný – čerstvý klest dosahuje až 2,8 násobku objemu oproti suchému klestu. Dále se v práci mezi sebou porovnávaly důležité porostní a taxační veličiny. Absolutní výšková bonita a zakmenění mají vliv na celkový objem zbytkové dendromasy v porostu. Důležitým prvkem, který také hraje roli v objemu zbytkové dendromasy je péče o porost probíhající v minulých dekádách. V tomto směru přebírají největší zodpovědnost lesní hospodáři, kteří musí své kroky volit pečlivě, neboť každý chybný zákrok může v budoucnu způsobit kolaps dané porostní skupiny, neřkuli celého lesa.

Biomasa, zejména dřevní dendromasa vždy byla a nadále bude nejvýznamnější formou obnovitelných zdrojů energie, proto je třeba se její produkcí podrobně zabývat. Již dnes je nesporné, že její využívání má do budoucna ohromný potenciál, který přináší nové příležitosti pro soukromé investory. Je dokladem toho, že zájmy byznysu a životního prostředí se navzájem nevylučují.

Jak již bylo nastíněno v úvodu, velice důležitá je finanční podpora spaloven od státu, ve formě dotací na výkup dřevní štěpky. Dodavatelé štěpky si donedávna na podmínky v České republice stěžovat nemohli. Bohužel, díky změnám ve vládním sektoru, se za poslední 4 roky podpora od strany státu dosti zhoršila. Je tedy nutné nacházet co nejpřijatelnější řešení pro všechny strany.

8 Seznam literatury a použitých zdrojů

BABU, V., THAPLIYAL, A., PATEL, G. *Biofuels Production.* USA: Scrinever Publishing, 2014, 363 stran, ISBN 978-1-118-63450-9

ČSN EN 17225 – 2 *Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paiv – Část 2: Tříděné dřevní pelety.* Praha: ÚNMZ, 2015

CHENG, J. *Biomass to Renewable Energy Processes.* Taylor & Francis Inc, 2017, 437 stran. ISBN: 9781498778794

HRDLIČKA, F. *Biomasa – zdroje obnovitelné energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2003, 28 stran. ISBN 80-201-02830-5

JACOBSON S., KUKKOLA M., MÄLKÖNEN E., TVEITE B. *Impact of whole-tree harvesting and compensatory fertilization on growth of coniferous thinning stands*. Forest Ecology and management, 2000, s.41–51.

JUCHELKOVÁ, D.: *Biomasa a možnosti jejího využití ve vytápění*. Biom.cz [online]. 2002-01-10 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-a-moznosti-jejiho-vyuziti-ve-vytapeni>. ISSN: 1801-2655.

KOVÁČ, J., KRILEK, J., JOBBÁGY, J., DVOŘÁK, J. *Technika a mechanizácie v lesníctve.* I. vydání. Zvolen: Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, 2017, 354s.ISBN 978-80-228-3021-8.

LIESKOVSKÝ M., GEJDOŠ M., *Komplexné využitie biomasy v lesnom hospodárstve.* 1 vydání. Zvolen: Technická univerzita, Lesnická fakulta, 2016. 222 stran. ISBN 978-80-228-2889-5

LUNDBORG, A., *A Sustainable Forest Fuel System in Sweden*. Biomass and Energy Vol 15, 1998 : Nos 4/5, pp. 399-406, 1998. PH: S0961-9534(98)00046-4.

LYČKA, Z. *Dřevní peleta aneb peleta mýtů zbavená.* 1. vydání. Krnov: LING, 2011. ISBN 978-80-904914-0-3

MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. *Biomasa pro výrobu energie*. 1. vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 206 stran. ISBN 978-80-213-1810-6

MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Praha: ERA. 2011. 101 stran. ISBN 978-80-251-2916-6

MUSIL, I., HAMERNÍK, J. *Jehličnaté dřeviny: Lesnická dendrologie 1*. 1. vyd. Praha: Academia, 2003. 352 stran. ISBN 978-80-200-1567-9

NERUDA, J., SIMANOV, V. *Technika a technologie v lesnictví.* 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. 324 stran. ISBN 978-80-7157-988-5

PATŘIČNÝ, M. *Velká kniha o dřevě.* 1. vydání. Praha: Fortuna Libri, 2016, 272 stran. ISBN 978-80-7546-053-0

PASTOREK, Z. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC. 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5.

PETŘÍKOVÁ, V., WEGER, J. *Pěstování rostlin pro energetické a technické využití: Biomasa, bioplyn, krmiav.* 1.vyd. Praha: Profi Press, 2015. 147 stran. ISBN 978-80-86726-69-4

POLENO, Z., VACEK, S. a kol.: *Pěstování lesů III: Praktické postupy pěstování lesů.* 1. vydání. Kostelec nad Černými lesy. Lesnická práce, 2009, 949 s., ISBN 978-80-87154-34-2

PŘÍHODA, J. *Technologie pro zpracování dendromasy - těžebních zbytků*. Biom.cz [online]. 2008-06-09 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/technologie-pro-zpracovani-dendromasy-tezebnich-zbytku>. ISSN: 1801-2655.

REMEŠ J., BÍLEK L., FULÍN M. *Vliv zpracování těžebních zbytků a následné mechanické přípravy půdy na chemické vlastnosti půd přirozených borů*. Zprávy lesnického výzkumu, 2015. 60 (2): 138–146. ISSN 0322-9688

RÖSER, D., et al. (ed.). *Sustainable use of forest biomass for energy: a synthesis with focus on the Bal c and Nordic Region*. Springer Science & Business Media, 2008.

SIMANOV, V. *Energetické využívání dříví: Možné způsoby energetického využívání těžebního odpadu a dalších opomíjených zdrojů dříví*. 2. vydání. Olomouc: Terrapolis.1995.115s.

SIMANOV, V. *Výroba, zpracování a využití biomasy. Program rozvoje venkova.*[online]. 2008 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z WWW: <http://www.rarsm.cz/download/cd3/vyroba_zpracovani_vyuziti_biomasy.pdf>

SLÁVIK, M., BAŽANT, V. *Dřevařská dendrologie I. Dřeviny nahosemenné – Gymnospermophytae.* 1.vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2016. 107 stran. ISBN 978-80-213-2622-4

SOUČEK, Z., NIKL M. a kol.: *Pěstování a využití biomasy lesních dřevin pro další zpracování a energetické účely.* Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 2018. 44 stran.

STUDENÍK, J., SVITAVSKÝ, M.: *Energie větru, vody, biomasy*. Brno: SŠ průmyslová a elektrotechnická a informačních technologií, 2014. 128 stran. ISBN 978-80-88058-08-3

STUPAVSKÝ, V., HOLÝ, T., *Brikety z biomasy - dřevěné, rostlinné, směsné brikety*. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>. ISSN: 1801-2655

STUPAVSKÝ, V. *Kotel na dřevní štěpku*. Biom.cz [online] 2010-01-01 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/kotel-na-drevni-stepku> ISSN: 1801-2655

STUPAVSKÝ, V., HOLÝ, T., *Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá*. Biom.cz [online]. 2010-01-01 [cit. 2019-04-04]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>. ISSN: 1801-2655.

TRENČIANSKY, M., LIESKOVSKÝ M., ORAVEC, M. *Energetické zhodnotenie biomasy*. 1.vyd. Zvolen: Národné lesnické centrum, 2007. 153 stran. ISBN 978-80-8093-050-9

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2017. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2018, ISBN 978-80-7434-477-0. Dostupné z WWW: < http://eagri.cz/public/web/file/609179/Zprava_o_stavu_lesa_2017.pdf>

WANTULOK, Michal: *Zkušenosti s výrobou lesní energetické štěpky a možnosti rozvoje trhu s ní*. Biom.cz [online]. 2011-02-14 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-s-vyrobou-lesni-energeticke-stepky-a-moznosti-rozvoje-trhu-s-ni>. ISSN: 1801-2655.

ŽŮRKOVÁ, J.: Ohlédnutí za rolí biomasy ve výrobě tepla ve Švédsku. *Biom.cz* [online]. 2014-12-29 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z WWW: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/ohlednuti-za-roli-biomasy-ve-vyrobe-tepla-ve-svedsku>. ISSN: 1801-2655.