

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

**Zemědělská fakulta**

**Katedra rostlinné výroby a agroekologie**

---

Studijní program: ZEMĚDĚLSKÉ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: AGROEKOLOGIE

# **Diplomová práce**

Téma

**Analýza pracovních technologií při zpracování dřevní  
suroviny rychle rostoucích topolů a obdobných dřevin  
pro jejich další využití**

Vedoucí práce

Ing. Ivo Celjak, CSc.

Autor

Bc. Vojtěch Plevka

---

2010

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma Analýza pracovních technologií při zpracování dřevní suroviny rychle rostoucích topolů a obdobných dřevin pro jejich další využití jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Bavorově 25. března 2010

Vojtěch Plevka

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli technické zázemí a pomoc při zpracování této diplomové práce.

Děkuji společnosti Europaliva.com za zapůjčení štěpkovače Altec DC 1217, společnosti Kompostárna Jarošovice, s. r. o. za možnost měření drtiče Doppstadt AK 450 a panu Ing. Vlastimilu Koubovi za odvoz rychle rostoucích topolů univerzální traktorovou vyvážecí soupravou. Velký dík patří též zakladateli topolového stromořadí Ing. Františku Vavruškovi, který umožnil provedení měření dvou metod zpracování.

Poděkování patří též vedoucímu diplomové práce Ing. Ivu Celjakovi, CSc. za všestrannou pomoc a metodické vedení při jejím zpracování.

# Obsah

<b>0</b>	<b>Úvod</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Úvodní přehled</b>	<b>9</b>
1.1	Význam biopaliv	14
1.2	Biomasa využitelná k energetickým účelům	14
1.3	Způsoby využití biomasy a její potenciál	15
1.4	Základní terminologie	17
1.5	Fyzikální a mechanické vlastnosti pevných biopaliv	22
1.5.1	Charakteristika pevných biopaliv	23
1.5.2	Zvláštnosti pevných biopaliv	26
1.5.3	Normalizace a standardizace pevných biopaliv	30
1.5.4	Spalování pevných biopaliv	33
1.5.4.1	Technická hlediska používání pevných biopaliv	33
1.5.4.2	Charakteristiky technologií pro energetické využití biopaliv	35
1.5.4.3	Kotle a topeniště na pevná biopaliva	37
1.5.5	Skladování a skladovací prostory biopaliv	43
1.5.6	Zdravotní aspekty práce se štěpkou	45
<b>2</b>	<b>Topoly (<i>Populus</i>) obecně</b>	<b>46</b>
2.1	Výběr vhodných rychle rostoucích topolů	49
2.1.1	Příprava a uskladnění sadebního materiálu	49
2.2	Způsob přípravy půdy	50
2.3	Technologie a termín výsadby	51
2.3.1	Schéma a tvar výsadby	52
2.4	Údržba v dalších letech po výsadbě	53
2.5	Rušení plantáže a návrat stanoviště původnímu využití	53
2.6	Funkce porostů rychle rostoucích dřevin v krajině	54
<b>3</b>	<b>Způsoby sklizně plantáží rychle rostoucích dřevin</b>	<b>56</b>
3.1	Metoda sklizně jednofázová	56
3.2	Metoda sklizně vícefázová	57
3.3	Mechanická úprava pevných biopaliv	57
3.3.1	Stříhací zařízení	57
3.3.2	Štěpkovače	58

3.3.3	Drtiče .....	67
3.3.4	Zařízení na paketování.....	71
3.3.5	Kompresní sběrače.....	73
3.3.6	Zařízení na peletování a briketování.....	74
3.4	Přehled používaných a zkoušených metod sklizně RRD.....	74
3.4.1	Přehled strojů využitelných pro sklizeň RRD.....	76
3.4.2	Specifika transportu klestu a štěpek.....	85
<b>4.</b>	<b>Experimentální část.....</b>	<b>88</b>
4.1	Praktické měření zpracování dřevní hmoty drtičem DOPPSTADT.....	88
4.1.1	Postup pracovní činnosti.....	88
4.1.2	Zpracování dřevního materiálu drtičem Doppstadt .....	89
4.1.3	Popis technického vybavení.....	90
4.1.4	Stanovení některých přímých nákladů.....	91
4.2	Probírková těžba a zpracování stromořadí rychle rostoucích topolů.....	92
4.2.3	Lokalizace a popis .....	92
4.2.4	Probírková těžba .....	94
4.2.5	Stanovení některých přímých nákladů na probírkové pořezání rychle rostoucích topolů.....	95
4.2.6	Zpracování rychle rostoucích topolů .....	96
4.2.6.1	Metoda krácení, přibližování, odvoz, štěpkování.....	96
4.2.6.2	Metoda výroby polenového dříví, štěpkování větví .....	100
4.2.7	Porovnání metod zpracování stromořadí rychle rostoucích topolů .....	105
4.2.8	Doplňující údaje ke skladování zpracované suroviny .....	106
<b>5</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>108</b>
<b>6</b>	<b>Diskuse a doporučení pro praxi.....</b>	<b>111</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>114</b>
<b>9</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>118</b>
	Příloha A .....	118

## 0 Úvod

Omezené zásoby fosilních paliv, stav životního prostředí a trend nárůstu spotřeby energie vede k hledání dalších možností, které by omezily spotřebu neobnovitelných zdrojů energie. Fosilní paliva kryjí více jak tři čtvrtiny světové spotřeby energie. Je zřejmé, že obnovitelné zdroje budou mít stále vyšší podíl na spotřebované energii ve světě.

V České republice představoval podíl obnovitelných zdrojů energie v roce 2005 3,2 %. V roce 2010 musí podíl obnovitelných energií na primární spotřebě energetických zdrojů činit plných 6 %, aby došlo k naplnění indikativních i závazných cílů, které nám stanovila směrnice EU. Energetické využívání obnovitelných zdrojů a jejich podpora ze strany státu i EU nastartovala výzkum a vývoj nových technologií. Cílem je snaha o maximální využití všech zdrojů energie při minimálních negativních dopadech vlivů jejich využívání na životní prostředí. Teoretické propočty různých odborníků uvádějí roční celosvětovou produkci biomasy na úrovni 100 miliard tun, jejíž energetický potenciál se pohybuje kolem 1 400 EJ. To je téměř pětkrát více než činí roční spotřeba fosilních paliv (300 EJ). Energetickému využití biomasy věnují členské země EU mimořádnou pozornost, jelikož nemají dostatečné zásoby fosilních paliv, a tak obnovitelné zdroje energie (především energetické využívání biomasy) jsou pro země EU do budoucna jedním z hlavních domácích zdrojů energie. Ve světě pokrývá biomasa dvě třetiny produkce energie z obnovitelných zdrojů. Za posledních dvacet let se celosvětový podíl rostlinné biomasy na celkové spotřebě primárních energetických zdrojů zvýšil o 8 %. Pro získávání energie z biomasy spalovacími procesy je v České republice stejně jako v sousedních zemích (například Rakousku) využíváno především palivové dříví. Při spalování biomasy vzniká oxid uhličitý (stejně jako při spalování fosilních paliv), ale k nárůstu skleníkového efektu nedochází, protože rostliny za svého růstu odebírají z ovzduší  $\text{CO}_2$  a při spalování ho do ovzduší opět vracejí.

Pěstování rychle rostoucích dřevin (RRD) a jejich následné zpracování pro energetické účely je v České republice v počátku. Ověřování vhodných druhů rychle rostoucích dřevin je prováděno na několika hektarech pokusných plantáží. V současnosti jsou u nás pokusné porosty klonů RRD staré 11 až 14 let. Pěstování topolů pro energetické účely je realizováno pouze na desítkách hektarů. Na malých rozlohách se pěstují rychle rostoucí dřeviny pro neenergetické využití.

Cílem této práce je provést analýzu pracovních technologií při zpracování dřevní suroviny rychle rostoucích topolů a obdobných dřevin ve vazbě na požadovanou formu produkce. Úkolem je zaměřit se na:

- a) Analýzu dosud používaných technologií zpracování dřevní suroviny rychle rostoucích topolů a obdobných dřevin.
- b) Provést analýzu produkčního potenciálu rychle rostoucích topolů a obdobných dřevin.
- c) Provést analýzu vhodné mechanizace pro zpracování dřevní suroviny.
- d) Provést analýzu využitelných forem produkce zpracované dřevní hmoty rychle rostoucích topolů a obdobných dřevin.
- e) Na základě výše uvedených analýz navrhnout vhodné technologie pro zpracování rychle rostoucích topolů a obdobných dřevin ve vazbě na požadovanou formu produkce.

# 1 Úvodní přehled

Původcem většiny spotřebované energie na Zemi je sluneční záření, které v dávné minulosti vytvořilo fosilní energetické zdroje uhlí, ropu, zemní plyn a dnes je původcem velké většiny obnovitelných energií. Na každý čtvereční metr území České republiky dopadá v celoročním průměru 1 100 až 1 350 kWh sluneční energie. Tuto energii je možno využít k ohřevu vody, vzduchu nebo k výrobě elektrické energie fotovoltaickou technologií. Sluneční záření nám zabezpečuje fotosyntézu zelených rostlin, při které se chlorofylem váže sluneční energie a její pomocí dochází složitými procesy k tvorbě organických látek z oxidu uhličitého přítomného ve vzduchu. Fotosyntéza zajišťuje nejen růst zelených rostlin, ale též produkci energeticky využitelné biomasy. Z tohoto pohledu jsou biopaliva konzervovanou sluneční energií (Petříková, V., et al., 2006).

Biomasa sloužila v českých zemích ještě poměrně nedávno – v období od konce 1. světové do konce 2. světové války k výrobě nezanedbatelného množství biopaliv (lihu, dřevěného uhlí, dřevoplynu) nebo přímo k získávání energie. Nejznámější domácí historický příklad jsou dřevoplynové agregáty využívané pro pohon automobilů. Nedostatek kapalných fosilních paliv tehdy zapříčinil rychlý a ekonomicky rentabilní rozvoj dřevoplynových agregátů (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

Vzhledem k vysoké pracnosti vytápění dřívím a nízké účinnosti starých topenišť se považovalo topení dřívím za primitivní a ustupovalo postupně jiným druhům paliv, zejména černému a hnědému uhlí, naftě, plynu. Zásadní obrat nastal až v 70. letech, kdy se vlivem prudké změny cenových relací paliv a snižujících se zásob fosilních paliv, začala pozornost opět obracet na obnovitelné zdroje energie – mezi nimi i na dřevo. Současně však došlo k zásadní změně spalovaných sortimentů dříví, i ke změně topných zařízení (Simanov, V., 1995).

Fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn) pokrývají více než tři čtvrtiny světové spotřeby energie. Jejich spalováním se do ovzduší dostává obrovské množství oxidů síry, dusíku, těžkých kovů a dalších emisí, které výrazně poškozují životní prostředí. Vyčerpání fosilních zdrojů energie, stejně jako nutnost omezovat jejich spotřebu vyžaduje hledání úspor energie a širší využívání alternativních zdrojů energie (Moudrý, J., Stražil, Z., 1998).



Zásobování palivy a energiemi je problém, který znepokojuje celou společnost na různých úrovních řízení a který je umocňován dosavadními trendy světového populačního růstu, rostoucí spotřebou energie, rychlým poklesem zásob fosilních paliv a zdánlivě pomalým technickým pokrokem v objevování nových, především obnovitelných zdrojů energie, negativními dopady na životní prostředí.

Od 17. století se zvýšil počet obyvatel na Zemi více než 12krát (z 0,5 mld. na 6,1 mld.) a podle WEC (World Energy Council) se zvyšuje o 80 mil. za rok. Ještě prudší nárůst vykazala podle této organizace světová spotřeba energie ze 100 mil. t CE na 14 mld. t CE za rok (uhelný ekvivalent  $1 \text{ t CE} = 7 \times 10^6 \text{ kcal} = 29,281 \text{ GJ}$ ) (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Proti zavádění biopaliv ve větším měřítku stojí v České republice několik faktorů, z nichž nejvýznamnější je tradice spalování relativně levného hnědého uhlí, jehož těžba vzrostla od konce druhé světové války více než pětkrát. Cena hnědého uhlí neodpovídá přímým a zejména nepřímým nákladům, které jsou hrazeny zvlášť. Svou roli hraje i tradice a zavedený systém zásobování. (Sladký, V., 1996).

Problematice obnovitelných zdrojů energie bylo v posledních 20 až 30 letech věnováno hodně úsilí. Byly vydány desítky publikací, článků, uskutečněny semináře a dokonce vydána vládní usnesení, vyhlášky a zákony. Byla úspěšně vyřešena řada výzkumných úkolů, vznikly specializované výrobní závody na technická zařízení umožňující využívat biomasu k energetickým účelům. Jedná se zejména o techniku pro výrobu tepla a v poslední době i na výrobu elektřiny. Za úspěch je možno označit uplatnění venkovských výtopen centrálního vytápění obcí a více než 50 000 moderních kotlů na spalování dřevních polínek pro rodinné domky, realizaci několika velkých tepláren, které spalují biopaliva. Avšak více než 90 % vyrobených zařízení, zejména automatické kotle na spalování dřevních pelet, stejně jako vyrobené pelety, bylo vyvezeno. Naše spotřeba pelet, tohoto perspektivního paliva, se dá odhadovat na tisíce tun ročně, zatím co v okolních státech se jedná o statisíce tun. Tam ovšem nahrazují peletami drahá ušlechtilá paliva – my zatím ještě levné uhlí (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Biomasa je ve středně a dlouhodobém měřítku rozhodujícím obnovitelným zdrojem energie v České republice. Podle státní energetické koncepce z roku 2004 by se biomasa měla podílet na celkovém příspěvku OZE k primárním zdrojům v cílovém roce 2030 cca 80 – 85 %. To by dle scénáře Státní energetické politiky znamenalo čtyřnásobné navýšení příspěvku biomasy (z 65 TJ v roce 2006 na 240 PJ v roce 2030).

Takovéto razantní navýšení užití biomasy se neobejde bez hledání nových postupů pro získávání, zpracování a užití biomasy, ale současně i bez ekonomicky efektivních řešení.

V první fázi využívání rostlinných energetických zdrojů bude u nás nejjednodušší využívat stávající a v současné době málo využívané zdroje, jako jsou odpady z lesů nebo sláma některých zemědělských komodit. V druhé fázi bude potřebné nastartovat program cíleného pěstování biomasy na zemědělské půdě. Při výběru energetických plodin je nutné přihlížet k několika základním faktorům. Ideální energetická plodina by měla mít následující kritéria:

- Rychlý růst.
- Biomasa nad zemí (běžně ne plodiny s hlízkami). Sklizeň nadzemní části snižuje cenu a chrání půdu.
- Obsah prvků, zvláště N, co nejnižší ve sklizených částech. Popeloviny snižují kvalitu paliva.
- Vytrvalé rostliny vyrůstající z rhizomů a pařezů. Nemusí se financovat setí a další pěstební technologie. Měly by dobře přežívat zimní období.
- Rašící brzy na jaře a hynoucí pozdě na podzim s návratem části živin do přežívajících částí rostlin. Plodina by měla růst relativně rychle též při nízkých teplotách. Recyklace živin umožňuje nízké nároky na přísun živin.
- Vysoká odolnost proti chorobám. Přítomnost jedovatých alkaloidů, která tvoří rezistenci plodin není problém, neboť plodiny nejsou určeny pro potravu.
- Vysoká konkurenceschopnost proti plevelům. Jestliže budou rychle vyrůstat brzy na jaře nebude velký problém s plevelem.
- Nízká spotřeba vody a odolnost proti suchu (Havlíčková, K., et al., 2008).

V České republice při energetickém využívání biomasy přistupují kromě omezování globálního oteplování a klimatických změn ještě další souběžné efekty. Je to zejména využití nadbytečné půdy nepotřebné pro výrobu potravin pěstováním energetických rostlin. V současné době představuje nepotřebná půda v České republice 400 000 ha a její rozloha bude stoupat až na 1 mil. ha. Nevyužívaná půda pro produkci potravinářských komodit je nákladně zatravňována a vzniklé travní plochy jsou udržovány prostřednictvím zemědělských dotací. Pěstováním energetických rostlin na nadbytečné půdě je možno zajistit údržbu krajiny, omezit zaplevelení, snížit eroze

a úniky nitrátů do vod. Zároveň pěstování energetických rostlin, výroba fytopaliv a budování fytoenergetických zařízení vytváří nové pracovní příležitosti a podílí se na hospodářské prosperitě venkovských obcí. Biomasa se významně uplatňuje při teplofikaci venkovských obcí zejména tam, kde není provedena plynofikace. Významné úspory za nespotřebovaný zemní plyn zůstávají v obcích ve prospěch nových pracovních míst, zejména v zemědělství a lesnictví. Zazelenění krajiny pěstováním energetických rostlin nejen podstatně zlepšuje životní prostředí, ale zároveň má zeleň vliv na filtrování a odprášení vzduchu. Využití biomasy zajišťuje energetickou bezpečnost státu při omezení dovážené ropy, zemního plynu a představuje významnou finanční úsporu a nezávislost na těchto dovážených surovinách (Petříková, V., et al., 2006).

Rozvoj v cíleném pěstování biomasy a využívání pro energetické využití má i svůj význam pro rozvoj venkova a venkovských oblastí. Dává se zde prostor nejen zemědělcům k reálnějšímu uplatnění své produkce a zlepšení jejich ekonomické stability, ale je to i prostor pro uplatnění nových pracovních míst v regionech a využití cenově dostupných lokálních zdrojů energií. Tím je možno programy podpory užití biomasy pro energetické využití považovat za víceúčelové, sloužící ke komplexnímu řešení rozvoje venkova. Takto je problematika obnovitelných zdrojů na Ministerstvu zemědělství (dále jen Mze) chápána i při přípravě programových dokumentů pro další programové období EU, tj. pro roky 2007–2013 (Trnka, J., 2005).

Fytopaliva je možné standardizovat (normalizovat) co do tvaru, objemové hmotnosti, výhřevnosti a přizpůsobovat je potřebám trhu paliv a výrobců topenišť. Kromě výhod energetického využívání biomasy je třeba připomenout i její nevýhody. Mezi technické nevýhody patří ve srovnání s fosilními palivy její nižší energetická hustota (obsah energie odvozený na jednotku objemu), což se nepříznivě projevuje v logistice.

Biomasa obsahuje velký podíl prchavé hořlaviny, kinetika jejího spalování a další specifické vlastnosti hmoty si žádají speciální konstrukce kotlů, zejména co se týče velikosti, uspořádání, prostorového dimenzování topenišť, přívodu spalných vzduchů a řešení teplosměnných ploch.

Hlavní současnou nevýhodou energetického využívání biomasy je její obecně nedostatečná ekonomická konkurenční schopnost vůči fosilním palivům. Energie z biomasy zatím úspěšně konkuruje jen v místních výtopnách, kde se spalují dřevní zbytky ze dřevozpracujících provozů (Petříková, V., et al., 2006).

Rychle rostoucí topoly (RRT) mohou být pěstovány například jako jednotlivé stromy, stromořadí, stromové pásy podél cest, nebo jako lesy zvláštního určení. Energetická produkce rychle rostoucích lesů je u nás v současné době hlavním cílem jejich pěstování. Takže jsou posuzovány z hlediska hmotnostního výnosu biomasy (dřevní hmoty v různých formách) v závislosti na ploše. Tyto dřeviny, stejně jako „klasické“ lesy, mají i mnohé další funkce.

Produkce biomasy nemusí být používána pouze pro spalování, resp. pro ohřev vody, vzduchu a pro turbíny roztáčející hřídele generátorů vyrábějících elektrický proud. Dřevní hmota zpracovaná v různých formách, může být využita pro výrobu kompostů, pro výrobu obalového materiálu, částí nábytku, částí izolačních stavebních desek pro prodej sadebního materiálu. Především je produkce používána jako obnovitelný zdroj energie. Lesy tvořené rychle rostoucími topoly jsou u nás pěstovány především pro vyprodukování co největšího množství určité formy dřevní hmoty pro energetické využití na co nejmenší ploše (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2008).

Pěstování energetických rostlin, jejich sklizeň a příprava fytopaliva představuje již provozně a investičně náročný řetězec operací. Jednotkové náklady jsou ovlivněny výnosem, který v jednotlivých letech může kolísat. I když stát začal podporovat energetické využívání biomasy výkupními cenami, mohou nastat případy, že užívání fosilních paliv je z ekonomického hlediska v České republice stále ještě výhodnější. K tomu bude docházet, dokud ceny fosilních paliv nevzrostou nad konkurenceschopnou hranici, jako se to již stalo v případě zemního plynu, a to i s podporou připravované daňové reformy, která by měla přinést započtení externalit do cen neobnovitelných zdroj (Petříková, V., et al., 2006).

## 1.1 Význam biopaliv

Až do padesátých let dvacátého století si zemědělství a venkovská sídla zajišťovala z větší části své energetické potřeby využitím biomasy z vlastních zdrojů. Pro tyto účely bylo určeno odhadem až 40 % zemědělské půdy. Skutečností je, že technický rozvoj a energetické vstupy „cizí“ energie umožnily zlepšit využití produkčního potenciálu nových druhů rostlin, živočichů a plně využít zemědělskou půdu pro produkci potravin. V současné době nadprodukce potravin vyvolává možnost vrátit část zemědělské půdy původnímu účelu, tj. krytí části energetických potřeb zemědělství a venkova (Kára, V., et al., 1997).

Hospodářský rozvoj našeho státu byl po léta zakládán na těžbě a spalování uhlí, jehož zásoby v přepočtu na jednoho obyvatele patřily k největším na světě. V době největšího rozvoje těžby to bylo více než deset tun uhlí na každého obyvatele ročně. Postupně se uhlí nahrazuje kapalnými a plynými palivy. Opět se však jedná o paliva fosilní, jejichž spalováním se uvolňuje oxid uhličitý a způsobuje, že se zesiluje skleníkový jev. Zásadními opatřeními jsou snižování spotřeby energie a nahrazování neobnovitelných zdrojů zdroji obnovitelnými. Biomasa je obnovitelným zdrojem (nosičem energie), který má velký potenciál a perspektivu. Po většinu trvání existence člověka na planetě byla jediným zdrojem energie, uvážíme-li, že je produktem přímé transformace sluneční energie. Při růstu biomasa využívá fotosyntézy, při které se slunečním zářením z  $\text{CO}_2$  ze vzduchu, z  $\text{H}_2\text{O}$  a živin z půdy vytváří potenciální energetický zdroj. Z přijaté sluneční energie potřebují rostliny asi polovinu pro krytí svých životních pochodů, polovina energie je vázaná v narostlé hmotě. Po odumření rostliny se v důsledku rozkladných procesů, stejně jako spálením, znovu uhlík okysličuje a jako  $\text{CO}_2$  uniká zpět do ovzduší. Asi 10 % z celkového množství  $\text{CO}_2$  v ovzduší se ročně váže v biomase a opět se z ní uvolňuje (Petříková, V., et al., 2006).

## 1.2 Biomasa využitelná k energetickým účelům

Energetickou biomasu můžeme rozdělit do pěti základních skupin:

- Fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy;
- Fytomasa olejnatých plodin;
- Fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru;
- Organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu;

- Směsi různých organických odpadů.

Pro získání energie se používá:

- a) Biomasa záměrně pěstovaná k tomuto účelu: cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina, olejniny, energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny) (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).
- b) Biomasa odpadní
  - Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic.
  - Odpady z živočišné výroby: exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených chovatelských kapacit.
  - Komunální organické odpady z venkovských sídel: kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travních ploch.
  - Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob: odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, odpady z vinařských provozoven, odpady z dřevařských provozoven (odřezky, hobliny, piliny).
  - Lesní odpady (dendromasa): dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest (Kára, V., et al., 1997).

### 1.3 Způsoby využití biomasy a její potenciál

Způsob využívání biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokrymi procesy (obsah sušiny menší než 50 %) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50 %). Z principálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy a přípravy biomasy pro energetické využití:

- a) Termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy):
  - Spalování;
  - Zplyňování;
  - Pyrolýza (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

- b) Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy pro energetické využití biomasy):
  - Alkoholové kvašení;
  - Metanové kvašení.
- c) Fyzikální a chemická přeměna biomasy:
  - Mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, apod.);
  - Chemicky (esterifikace surových bioolejů).
- d) Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů).

Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, z mokrých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru kyselin bioolejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin. Tabulka 1.1 uvádí přehled zdrojů energeticky využitelné biomasy v České republice (Kára, V., et al., 1997).

**Tabulka 1.1 – Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR**

<b>Biopalivo</b>	<b>mil. t</b>
Odpadní a palivové dřevo	1,7
Obilní a řepková sláma	2,7
Rychle rostoucí dřeviny a energetické plodiny	1,0
Komunální odpad	1,5
Spalitelný odpad z průmyslové výroby	1,0
<b>Celkem</b>	<b>7,9</b>

Pramen: (Kára, V., et al., 1997)

V současnosti leží v České republice ladem asi 0,5 mil. ha půdy a očekává se, že z hlediska produkce potravin nebude možné dlouhodobě využívat více než 1 mil. ha (z celkové rozlohy více než 3 mil. ha orné půdy). Z hlediska udržitelnosti rozvoje je však nezbytné s touto půdou nadále dobře hospodařit. Jednou z významných možností je pěstování energetických plodin, přičemž pro naplnění cíle do roku 2010 by stačilo využít asi polovinu uvedené výměry, tj. 250 tis. ha. V horizontu 30 let lze využít až 1,5 mil. ha (Petříková, V., et al., 2006).

Tato cesta využití energetických plodin vede v našich podmínkách ke zlepšení životního prostředí, ke snížení závislosti na dovozech a v neposlední řadě významně přispívá k řešení očekávaného přebytku orné půdy do roku 2010 (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

## 1.4 Základní terminologie

### *Biomasa*

Za biomasu je v užším pojetí považována organická hmota rostlinného původu získaná na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie. Je to substance biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu pěstovanou na půdě, hydroponicky nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady (Cenek, M., 2001).

Pod pojmem biomasa (fytomasa) se zahrnují veškeré přírodní produkty, které jsou výsledkem procesu fotosyntézy, schopné zachytit 1 až 3 % dopadající sluneční energie (Moudrý, J., Stražil, Z., 1998).

### *Dřevní biomasa*

Dřevní hmota z lesní i jiné těžby (sady, parky, aleje), kmeny i nekvalitní (palivové dřevo), větve, vršky, pařezy a kmínky z probírek. Vedlejší výrobky a odpady z pil a dřevo-zpracovatelských podniků jako jsou piliny, krajinky, kůra, hobliny, odřezky z nekontaminovaného dřeva včetně nekontaminovaných dřevotřískových desek, překližek a obalů (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

### *Dřevní palivo*

Obecný název pro polena, polínka, dřevní štěpku, piliny, hobliny, odřezky, dřevní šrot (demolice, obaly), papír, ale i zbytky po chemickém zpracování dřeva (např. výluh z celulózek) s výhřevností od 8 do 18 MJ.kg<sup>-1</sup>, s objemovou hmotností od 50 kg.m<sup>-3</sup> u suchých hoblin z měkkého dřeva zhruba až 1 400 kg.m<sup>-3</sup> u briket a pelet. Obsah vody je od 6 % u briket a pelet, přibližně do 55 % u surového dřeva a kůry (Petříková, V., et al., 2006).



### *Dřevní brikety*

Mechanicky velkým tlakem zpracovaná dřevní drť, piliny a jemné hobliny do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů, o průměru 40 až 100 mm, délky do 300 mm, s hustotou 600 až 1 200 kg.m<sup>-3</sup>. Výhřevnost 16,5 až 18,5 MJ.kg<sup>-1</sup>. Obsah popele v sušině 0,5 až 1,5 %. Povolený obsah znečišťujících látek a ekologického pojiva stanoven normou. Použití: do malých topenišť, lokálních kamen, kotlů a krbů s ručním přikládáním (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

### *Dřevní pelety (peletky)*

Vyrábějí se nejčastěji lisováním z pilin nebo hoblovaček podobně jako brikety, jsou ale mnohem menší (průměr 6 až 8 mm). Díky pravidelnému tvaru pelet a jejich dobré pevnosti je možnost relativně jednoduchého automatického dávkování do spalovací komory (hořáku) (Murtinger, K., et al., 2008).

Sypná objemová hmotnost je kolem 600 kg.m<sup>-3</sup>. Obsah popele v sušině 0,5 až 1,1 %. Povolený maximální obsah znečišťujících látek, kůry a ekologického pojiva určen normou do 2 %. Objemová hmotnost 900 až 1 400 kg.m<sup>-3</sup>. Poměr průměru a délky nemá být větší než 1:3, aby se pelety dobře sypaly bez ucpávání dopravních cest automatických topenišť (Petříková, V., et al., 2006).

### *Dřevní piliny, hobliny*

Dřevní piliny jsou drobné dřevní zbytky pilařské a truhlářské výroby. Rozměr částic od 1 do 3 mm, často s příměsí kůry a větších kousků dřeva, které se někdy vytřídí. Piliny ze suchého dřeva z truhlářské výroby mají obsah vody do 15 %, výhřevnost je 15 až 16 MJ.kg<sup>-1</sup>, piliny z pil mají obsah vody kolem 45 % a výhřevnost kolem 9 MJ.kg<sup>-1</sup>. Objemová hmotnost sypaných, suchých pilin je kolem 120 kg.m<sup>-3</sup>, u surových pilin kolem 150 kg.m<sup>-3</sup> a více (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Jde o odpad při zpracování řeziva. Na rozdíl od štěpky jsou piliny a hobliny zpravidla suché. Pro spalování se používají podobné typy kotlů jako pro spalování štěpky. Piliny a hobliny se dnes nejčastěji používají pro výrobu pelet či briket (Murtinger, K., et al., 2008).

### *Lesní štěpky*

Jsou dezintegrováním dřívím z klestu, prořezávkového materiálu, celých stromů, neodvětvených vrcholových částí stromů, tlustších listnatých větví, i z odřezků

kmenového dříví vznikajících při druhování a adjustaci dříví na manipulačních skladech. Mimo lesních štěpek, obsahujících dřevo, kůru i stromovou zeď, známe ještě hnědé štěpky – vyráběné z kmenového dříví, a proto obsahující pouze dřevo a kůru; a bílé štěpky – vyráběné z odkorněného dříví obsahující pouze dřevo. Tyto druhy štěpek jsou však určené k technologickému zpracování a jejich energetické využití by bylo energeticky nevýhodné (Simanov, V., 1995).

#### *Dřevní plyn*

Produkt nedokonalého spalování dřeva, při omezeném přístupu spalného vzduchu (kyslíku), tvořený převážně dusíkem ( $N_2$  asi 40 %), oxidem uhelnatým (CO okolo 20 %), s určitým podílem metanu, vodíku, oxidu uhličitého, aromatických uhlovodíků, dehtových par a vodní páry s relativně nízkou výhřevností 4-6 MJ.Nm<sup>-3</sup>. Výhřevnější je dřevní plyn vyrobený za omezeného přístupu vzduchu, který je uměle ochuzen o část dusíku, např. membránovou děličkou (Petříková, V., et al., 2006).

#### *Palivové dříví*

Palivové dříví lze obecně charakterizovat jako sortiment velmi nízké technologické jakosti, o jehož mechanické nebo chemické zpracování není v konkrétním časovém horizontu zájem. Jeho relativní podíl na celkové produkci dříví se stále snižuje v závislosti na postupném rozvoji technologií na zpracování dřeva. Dodává se ve formě polen a štěpin délky 1 m (Simanov, V., 1995).

#### *Dřevní prach*

Jemný, spalitelný obrus při truhlářské výrobě a výrobě dřevotřískových nebo dřevo-pilinových desek. Velikost částic 0,1 až 1 mm, obsah vody 6 až 10 %. Pro nebezpečí výbuchu je povoleno samostatné spalování jen ve speciálních hořácích a kotlích. V pevných palivech nemá překračovat podíl prachových částic 5 % (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

#### *Dřevní, slaměné, kůrové a papírové pakety*

Směsná, nahrubo nadrcená biomasa slisovaná středním tlakem (do 250 barů) do tvaru válců o průměru 150 mm a délky 300-500 mm, s objemovou hmotností kolem 0,3 kg.dm<sup>-3</sup>, obsahem vody do 18 %, výhřevností do 15 MJ.kg<sup>-1</sup>. Nejsou jednoznačně obchodním palivem, představují produkt technologické úpravy směsného paliva,

výrobních zbytků a obalů ve skladech před topeništěm. Účelem úpravy je zvýšení koncentrace energie a úspora skladovacího prostoru, případně dopravních nákladů. Vhodné pro kotle s výkonem přes 500 kW jako energeticky podpůrné palivo (Petříková, V., et al., 2006).

#### *Výmladkové plantáže rychle rostoucích dřevin*

Z hlediska biologického je to produkce dřevní biomasy založena na schopnosti některých dřevin a jejich klonů (např. topolů a vrb) růst v prvních letech po výsadbě velmi rychle (roční výškové přírůstky i 2-3 m) a současně na jejich obdivuhodné regenerační výmladkové schopnosti po seříznutí nadzemní části (výškové přírůstky v prvním roce po seříznutí dosahují až 5 m). Další důležitou vlastností většiny taxonů dřevin doporučených pro výmladkové plantáže, i když ne podmínkou, je snadné vegetativní množení potomstev, které se provádí osními řízky produkovanými v matečnicích rychle rostoucích dřevin. Na rozdíl od obecně známých lesnických lignikultur topolů, které jsou sklízeny po 15-30 letech růstu, výmladkové plantáže na zemědělské půdě jsou sklízeny ve velmi krátkém obmýtí (tzv. minirotaci) 3-7 let, kterou je možné opakovat několikrát po sobě bez nutnosti nové výsadby.

#### *Matečnice rychle rostoucích dřevin*

Jedná se o reprodukční porosty určené k produkci sadebního materiálu (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

#### *Dřevní popel*

Anorganický podíl dřevních paliv po jejich spálení (minimálně při 550 °C) s určitou příměsí nedopalu. S výjimkou dusíku obsahuje všechny anorganické látky využitelné k výživě rostlin. Složení: 50 % křemíku (SiO<sub>2</sub>), 30 až 35 % vápníku (CaO), 6 až 10 % drasla (K<sub>2</sub>O), 2,5 až 3,5 % fosforu (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), stopy dusíku pouze v nedopalku, kterého bývá do 5 %, vody při delším skladování do 5 %. Teplota slepování částic popele v topeništi je 100 až 200 °C, teplota měknutí kolem 250 °C, teplota tavení 300 až 500 °C. Lepení a tečení podmiňuje zejména obsah křemíku, většinou cizího původu. Rozlišujeme rozhodující podíl bezproblémového popele podrošťového a malý podíl lehkého popele úletového, který se zachycuje u větších topenišť v odlučovacích cyklonech a textilních filtrech. Ten může obsahovat stopy těžkých kovů a vyžadovat speciálního zacházení (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Ve srovnání s ostatními pevnými palivy je u dřeva hmotnostní podíl popela velmi nízký, kolísající v rozmezí pouze 0,6-1,6 % (Simanov, V., 1995).

#### *Výhřevnost paliva*

Výhřevnost paliva je množství tepla uvolněného z paliva, přičemž vlhkost paliva zůstane ve spalinách spolu s tepelnou energií, použitou na přeměnu vody ve vodní páru. Hodnota výhřevnosti je tedy nižší než spalné teplo o energii potřebnou k ohřevu vody z původní teploty 0 °C na 100 °C a skupenské teplo vypařované vody. Tato celková tepelná ztráta je přibližně 2 500 kJ na 1 kg vody obsažené v palivu (Simanov, V., 1995).

#### *Spalné teplo paliva*

Je celkové množství tepla (v kJ na jednotku vzorku 1 g) suchého paliva po úplném spálení vzorku v kyslíkovém kalorimetru a ochlazení spalin na výchozí teplotu. Běžně se používají následující jednotky:  $\text{kJ.g}^{-1} = \text{MJ.kg}^{-1} = \text{GJ.t}^{-1}$ . Rozlišujeme spalné teplo původního vzorku bezvodého (v hmotnosti je zahrnut i popel) a spalné teplo hořlaviny (vztaženo pouze na hmotnost hořlaviny bez popela) (Petříková, V., et al., 2006).

#### *Obsah vody – vlhkost*

Je nutné upozornit na to, že v dřevozpracujícím průmyslu se používá rozdílné vyjadřování obsahu vody oproti běžné energetické praxi. V dřevozpracujícím průmyslu se obsah vody v dřevní hmotě vyjadřuje poměrem rozdílu hmotností vzorku surové dřevní hmoty a hmotnosti vzorku po vysušení vztažené k absolutně suché substanci (absolutní vlhkost). V energetice se vyjadřuje obsah vody vztažený k původní (výchozí) hmotnosti vzorku (Trnobranský, K., et al., 1998).

#### *Obsah prchavých látek*

Podíl prchavých hořlavých látek, uvolňovaných při teplotě nad 200 °C v topeništi z hořlaviny biopaliv činí 75 až 85 % hmotnosti suchého paliva. Má výrazný vliv na vytváření dlouhého plamene ze spalovaných biopaliv, a tak na konstrukci a provoz topeniště, velikost dohořivacího prostoru a systém přívodu primárního, sekundárního a terciárního vzduchu, kvalitu hoření a tvorbu emisí (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

## 1.5 Fyzikální a mechanické vlastnosti pevných biopaliv

Pevná biopaliva mají podle druhu, původu, místa a doby sklizně nebo způsobu zpracování desítky různých forem, rozmanitou strukturu, velký rozsah obsahu vody, spalného tepla a výhřevnosti. Většinou na ně ještě nejsou vypracovány normy, což stěžuje jejich umístění na trhu paliv a jednání mezi výrobcem a odběratelem. V ČR se uplatňují jen normy na dřevní pelety a brikety z Rakouska (a jejich doplněné znění z Německa). Rovněž jsou používány rakouské směrnice týkající se energetické dřevní štěpky. Je to dáno tím, že více než 95 % naší výroby se do těchto zemí vyváží. Základní klasifikaci pevných biopaliv je možno soustředit do několika skupin a s nimi pak dále pracovat a uvažovat ve výrobních, dopravních, skladovacích i topenářských projektech (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

**Tabulka 1.2 - Složení sušiny přírodního dřeva**

Podle druhu hmoty	Podle prvků
Celulóza < 50 %	Uhlík 50 %
Hemicelulóza < 25 %	Kyslík 43 %
Lignin < 25 %	Vodík 6 %
Extrakty < 5 %	Dusík > 1 %
Popeloviny < 1 %	Halogeny
	Těžké kovy

Pramen: (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006)

Tabulka 1.2 uvádí složení sušiny přírodního dřeva. Za pozornost stojí vedle uhlíku a kyslíku i obsah vodíku, který s kyslíkem v plameni vytváří vodní páru. Z jednoho kilogramu vodíku vzniká bezmála devět kilogramů vody. Jeden kilogram vody odnáší ve spalinách 2,44 MJ tepla. Proto se kondenzační kotle, které dokáží toto unikající teplo využít, začínají objevovat i v oblasti spalování biopaliv (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

### 1.5.1 Charakteristika pevných biopaliv

Paliva z biomasy se svou výhřevností blíží hnědému uhlí. Jejich zvláštností je, že obsahují až 80 % snadno zplyňujících látek, což vyžaduje zvláštní uzpůsobení topenišť. Obsahují až stokrát méně síry než uhlí (Sladký, V., 1996).

Pevná fytopaliva se vyskytují v několika formách, které se od sebe liší v mnoha základních znacích s ohledem na strukturu, obsah vody, výhřevnost, tvary, stupeň znečištění, obsah popele. Stupeň obtížnosti jejich zpracování, úprav i využívání je různý, stejně jako ceny a užitečné hodnoty. Optimalizace využívání různých biopaliv vyžaduje často zajištění kompromisu mezi vlastnostmi paliv a topenišť. U dřevních paliv se rozlišují polena a polínka, kůra, průmyslová a energetická štěpka, piliny a hobliny, lesní štěpka, štěpka z rychle rostoucích dřevin, dřevní šrot, pelety a brikety (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

#### *Palivové dřevo, polena, polínka*

Palivové dříví bylo ještě nedávno na okraji zájmu lesníků i dřevařských firem. Situace se ale v současnosti změnila s vývojem trhu s energiemi a biomasou. Do popředí se dostávají především vztahy mezi sortimentem, technologickou kvalitou a tržní cenou dříví.

Při druhování a manipulaci obecně platí princip technologické jakosti dříví, tj. jeho použitelnost pro určitou skupinu výrobků ze dřeva. Jakostní sortimenty tedy odpovídají jejich předpokládanému následnému využití a to určuje dřevařský zpracovatelský průmysl. Limitujícími faktory pro zařazení dříví do sortimentu jsou čepová tloušťka, délka výřezů a jakostní ukazatele. Na tomto principu jsou řešeny i technické normy pro klasifikaci sortimentů surového dříví, v nichž platí „čím vyšší jakostní sortiment, tím přísnější nároky na kvalitu“ (např. „ČSN 480055 Jehličnaté sortimenty surového dříví. Technické požadavky“, „ČSN 480056 Listnaté sortimenty surového dříví. Technické požadavky“ nebo „Doporučená pravidla pro měření a třídění dříví v České republice“).

Technické normy jsou pro klasifikaci sortimentů surového dříví vyhovujícím pomocným podkladem. I v minulosti sloužily pro komunikaci mezi odběrateli a dodavateli (Václavek, O., Václavek, S., 2009).

Efektivní výhřevnost dřeva výrazně závisí na jeho okamžité vlhkosti, jak uvádí Tabulka 1.3 (Simanov, V., 1995).

**Tabulka 1.3 – Skutečná výhřevnost dřeva a kůry v závislosti na obsahu vody**

Obsah vody (%)	Palivo	
	Dřevo (MJ.kg <sup>-1</sup> )	Kůra (MJ.kg <sup>-1</sup> )
0	18,5	18,8
10	16,4	16,7
20	14,3	14,6
30	12,2	12,5
40	10,1	10,5
50	8,0	8,4
60	6,0	6,3

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

Obsah vody je velmi významný především s ohledem na přepravní náklady (Kč.tkm<sup>-1</sup>) a výhřevnost dřevního paliva. V právě vytěženém dřevě se obsah vody pohybuje od 50 do cca 60 % (dřevo z prořezávek topolů a vrb z plantáží). Pro potřeby spalování by měl být vysoký obsah co nejrychleji snížen na 25 až 30 %, protože jen dřevo s nižším obsahem vody než 30 % je vhodné pro spalování. V dřevo-zplyňujících kotlích se vyžaduje ještě nižší obsah do 20 % vody. Jen takové dřevo nedehtuje (při dodržení minimální teploty vratné vody topného okruhu) a má dobrou výhřevnost, nehledě na nebezpečí postupného znehodnocování. Doba pro potřebné snížení obsahu vody z cca 50 % na 30 % trvá u neštípaných polen a klád minimálně dva roky, u štípaných více než rok. Nakrácená a pro konečné použití zpracovaná polínka dosychají pod střechou v průvanu nejméně půl roku.

Cena palivového dřeva ve formě polen a polínek se s ohledem na stupeň zpracování a kvalitu dřeva pohybuje od 400 do 900 Kč.plm<sup>-1</sup> (korun českých za plnometr), přičemž měkká dřeva jsou lacinější než tvrdá. Dražší jsou rovněž připravená a balená polínka, jako hotové palivo pro dřevo-zplyňující kotle. Nejdražší je pytlované kusové dřevo u benzinových čerpadel, v přepočtu až několik tisíc korun za tunu (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

#### *Štěpka lesní a z rychle rostoucích dřevin*

Experimenty bylo zjištěno, že optimální relativní vlhkost dřevních štěpek pro spalování je 30-35 %. Jsou-li štěpky příliš suché, má proces hoření explozivní charakter a velká část tepelné energie uniká prostřednictvím horkých kouřových plynů

do atmosféry. Naopak při vlhkosti štěpek 50-60 % je spalování obtížné a účinnost topeniště klesá. Proces hoření je totiž tak nerovnoměrný, že není technicky možné jej regulací optimalizovat. Závislost spalovacího procesu na vlhkosti již není lineární. Štěpky s touto vlhkostí jsou pro energetické účely nevhodné. Je-li pak vlhkost štěpek 60-70 %, není již jejich výhřevnost dostatečná ani pro udržení spalovacího procesu a oheň zhasíná.

Přirozená vlhkost dřeva je ve srovnání s ostatními palivy vysoká a vykazuje i největší rozpětí od 20 % u dříví proschlého za příznivých podmínek na vzduchu, až po 65 % i více u dříví čerstvě pokáceného. Kůra stromů ihned po pokácení dosahuje vlhkosti i přes 65 %. Z uvedených faktů je tedy zřejmé, že vlhkost čerstvě pokáceného dříví je příliš vysoká pro okamžité energetické využití, a musí proto být jakoukoliv cestou snížena, aby bylo dosaženo jeho přijatelné efektivní výhřevnosti (Simanov, V., 1995).

Podle zásad správného hospodaření v lesích by se štěpka z těžebního odpadu, probírek a prořezávek měla vyrábět co nejbližší k místu původní těžby a to až po určité době, kdy vegetační orgány, listy, jehličí zcela zaschnou a odpadnou. V lese by mělo zůstat vše, co obsahuje nejvíce živin – listy, jehličí, slabé větvičky. To samé platí i pro plantáže rychle rostoucích dřevin, kde mohou nastat problémy u vrby s poměrně slabými výhonky. Ale i topoly mají asi 20 % vegetačních orgánů, které by měly být ponechány na plantáži. Pokud se dřeviny sklízí v době vegetačního klidu, je situace s obsahem vody příznivější.

Při štěpkování zbytků těžby v čerstvém stavu se jedná o relativně největší hmotnostní podíl zpracování, protože materiál může obsahovat až 60 % vody, stejně tak topoly a vrby v období plné vegetace. Naštěstí většina odběratelů ani majitelů lesa netrvá na tom, dostat okamžitě čerstvou dřevní štěpku v tomto stavu z místa těžby. Tak je možno využít letního období a ponechat surovinu na slunném a větrném místě, aby za několik měsíců proschla (Abraham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Z údajů o vlhkosti dendromasy vyplývají významné závěry pro volbu technologie výroby paliva z těžebního odpadu, prořezávkového materiálu a tenkých stromů z prvních probírek.

Pro energetické využití těžebního odpadu jsou zcela nevhodné kontinuální postupy, kdy na krácení stromů bezprostředně navazuje soustředování, odvětvování dříví i zpracování těžebního odpadu štěpkovači popř. drtiči. Spojit výrobu paliva z těžebního odpadu s kontinuálními těžebně dopravními postupy znamená spokojit se



s nízkou efektivní výhřevností dřeva, nebo následně řešit složité skladování štěpek a jejich předsoušení.

Využití dříví z prořezávek vyžaduje dělený technologický proces se zařazením časového úseku, kdy v porostu volně rozložené dříví na vzduch prosychá. Doba potřebná na snížení relativní vlhkosti vnitřní transpirací závisí na roční době a počasí. Obvykle se pohybuje od 3 měsíců výše.

Relativní vlhkost vzduchu na podzim stoupá a pokácené stromy ležící na zemi absorbují vlhkost zpět. Přes zimní období pak může vlivem sněhové pokrývky vlhkost dříví přesáhnout i 50 % (Simanov, V., 1995).

Podle typu použitého štěpkovacího stroje převažuje vždy rozměr odpovídající danému systému. Bubnové štěpkovače s poměrně velkým počtem nožů vytvářejí štěpku s délkou částic do 20 mm, kolové se dvěma noži do 40-50 mm a šnekové (podle typu použitého šneku) až do 80 mm. Optimální délka energetické štěpky pro kotle s tepelným výkonem nad 0,5 MW by se měla pohybovat kolem 50 mm. U kotlů s nižším výkonem a také s plnicími šnekovými dopravníky relativně malého průměru musí být štěpka jemnější. Problémem u všech štěpkovacích strojů zůstává, že propouštějí neporezané slabé větvičky. Tyto do štěpky nepatří, protože způsobují problémy a vytváří klenby při skladování a manipulaci v zásobnících a dopravních cestách. Další vývoj štěpkovacích strojů povede určitě k řešení, které bude separovat do lesa jemnější nebo slabé frakce štěpkování (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

### **1.5.2 Zvláštnosti pevných biopaliv**

Při skladování dřeva, popř. při jeho prodeji podle objemu, není možné pominout mezerovitost uvedenou v Tabulce 1.4. Základní fyzikální vlastnosti různých forem dřeva a různých druhů dřevin potřebných pro zpracování, dopravu a skladování palivového dřeva jsou popsány v Tabulce 1.5 a 1.6 (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Biopaliva (nedávno ještě živá biomasa) se při porovnání s fosilním palivem (ležícím miliony let v podzemí) vyznačují vysokým stupněm okysličení, tj. obsahem kyslíku a tím sníženou výhřevností, ale s lepším prohoříváním spalných plynů a nižšími emisemi (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Pro dříví je specifické, že mezi tuhými palivy obsahuje nejvyšší podíl pyrolýzou uvolňovaných plynných látek (75-85 %) nehořících na roštu, ale ve vzhledu mezi roštem a komínem (hovoří se o „dlouhém plameni“ dřeva). Z toho vyplývají neopomenutelné důsledky pro konstrukci topenišť na dřevo. Pod rošt se přivádí pouze menší část kyslíku potřebného pro okysličení pevných zbytků paliva na roštu. Tento tzv. primární vzduch představuje obvykle 40 % objemu celkového vzduchu. Větší část kyslíku se přivádí do unikajících plynů do prostoru za rošt. Tento sekundární vzduch představuje obvykle 60 % objemu celkového vzduchu. Prostor bezprostředně nad roštem (či za ním) nemůže být konstruován jako výměník tepla, ale jako žár udržující prostor (se šamotovou vyzdívkou), jehož úkolem je udržet plyny a přiváděný kyslík na potřebné zápalné teplotě. Aby nedocházelo k opožděnému dohořívání plynů až v komíně a tím ke ztrátám účinnosti topeniště a nežádoucímu složení kouřových plynů, musí být čas prodlévání hořících plynů v tomto prostoru minimálně 0,5 až 0,8 s (Simanov, V., 1995).

Při bilančních výpočtech, navrhování skládek a objemové spotřeby paliva je nutno znát objemové přepočtové poměry uvedené v Tabulce 1.7. V praxi se používají následující označení:

- plm: plnometr dřeva, 1 m<sup>3</sup> skutečné dřevní hmoty
- prm: prostorový metr dřeva, 1 m<sup>3</sup> složeného dřeva štípaného nebo neštípaného
- prm<sub>s</sub>: prostorový metr sypaného dřeva, 1 m<sup>3</sup> volně sypaného dřeva nezhotoveného drobného nebo drceného (Trnobranský, K., et al., 1998).

**Tabulka 1.4 – Obsah plného dřeva, činitel plnosti**

Sortiment	Činitel plnosti	
	Převažující	Rozsah
Polena rovnaná	0,75	0,70 až 0,80
Větve rovnané	0,35	0,20 až 0,50
Krajinky rovnané	0,60	0,50 až 0,70
Krajinky skládané	0,65	0,55 až 0,75
Odřezky volně ložené	0,55	0,50 až 0,70
Lesní štěpka sypaná	0,40	0,35 až 0,45
Štěpka z pilařských odpadů sypaná	0,35	0,30 až 0,40

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

**Tabulka 1.5 – Hustota běžných druhů dřeva**

Druh dřeva	(kg.m <sup>-3</sup> )	Druh dřeva	(kg.m <sup>-3</sup> )	Druh dřeva	(kg.m <sup>-3</sup> )
Smrk	430	Habr	750	Lípa	520
Jedle	410	Jilm	640	Topol	410
Borovice	510	Jasan	670	Vrba	520
Modřín	550	Javor	600	Osika	450
Dub	680	Olše	490	Líska	560
Buk	680	Bříza	640	Akát	600

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

**Tabulka 1.6 – Sypná hmotnost štěpky z běžných druhů dřeva**

Druh dřeva	*(kg.m <sup>-3</sup> )	Druh dřeva	*(kg.m <sup>-3</sup> )	Druh dřeva	*(kg.m <sup>-3</sup> )
Smrk	172/258	Habr	300/450	Lípa	208/312
Jedle	164/246	Jilm	256/384	Topol	164/246
Borovice	204/306	Jasan	268/402	Vrba	208/312
Modřín	220/330	Javor	240/360	Osika	180/270
Dub	272/408	Olše	196/294	Líska	224/336
Buk	272/408	Bříza	256/384	Akát	240/360

\* První číslo – hmotnost štěpky v sušině.

\* Druhé číslo – hmotnost štěpky s obsahem vody 50 %.

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

**Tabulka 1.7 – Vzájemné objemové přepočtové poměry**

	Pevné dřevo plnometr – pevný metr (plm)	Složené dřevo prostorový metr (prm)	Štěpkované (drcené) dřevo sypný metr (prm <sub>s</sub> )
plm	1	1,54	2,5-2,86
prm	0,65	1	1,61-1,86
prm <sub>s</sub>	0,35-0,4	0,54-0,62	1

Pramen: (Trnobranský, K., et al., 1998)

Nižší měrná objemová hmotnost je další odlišnou základní fyzikální hodnotou biopaliv, která se pohybuje od cca 40 kg.m<sup>-3</sup> sypaného nejlehčího paliva až do 700 kg.m<sup>-3</sup> u nejvíce slisovaných briket a pelet. Tabulka 1.8 a 1.9 uvádí objemové

hmotnosti paliv ze dřeva a údaje o základních vlastnostech biopaliv (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

**Tabulka 1.8 – Objemové hmotnosti paliv ze dřeva**

Stav paliva	Sypná měrná objemová hmotnost (kg.m <sup>-3</sup> )	Hmotnost kusu (kg)	Způsob manipulace
Hoblíny	40-60	0,01	Ručně i mechanicky
Piliny, prach	120-180	0	Mechanicky
Štěpka (dle vlhkosti)	180-260	0,02-0,1	Mechanicky
Polínka 30-50 cm	250-500	1-3	Ručně
Polena 100 cm měkká	300-550	10-20	Ručně i mechanicky
Polena 100 cm tvrdá	420-630	15-30	Ručně i mechanicky
Brikety	400-650	1-2	Ručně i mechanicky
Pelety	350-600	0,02	Mechanicky

Pramen: (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006)

**Tabulka 1.9 – Orientační údaje základních vlastností pevných biopaliv**

Palivo – stav, forma	Hustota (kg.m <sup>-3</sup> )		Vody (%)	Výhřevnost	
	sušiny	hmoty		(MJ.kg <sup>-1</sup> )	(MJ.m <sup>-3</sup> )
Polena, jehličnany	410	820	50	8,1	6 660
Polena, listnáče	580	1 160	50	8,1	9 396
Kůra, volná, čerstvá	160	320	50	8,1	2 592
Průmyslová štěpka	170	340	50	8,1	2 772
Štěpka suchá	170	210	20	14,4	3 024
Krajinky vázané	300	600	50	8,1	4 860
Piliny	120	240	50	8,1	1 944
Dřevní pelety, brikety	495	550	10	16,6	9 108
Lesní štěpka listnáče	225	320	30	12,3	3 960
Tyčovina jehličnany	300	429	30	12,3	5 293
Těžební odpad, větve	40	80	50	8,1	648
Probírky, listnáče	80	160	50	8,1	1 296
Topoly, štěpka	160	355	55	7,1	2 520

Pramen: (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006)

### 1.5.3 Normalizace a standardizace pevných biopaliv

Proces standardizace pevných biopaliv (fytopaliv) se týká samotného výběru substrátů, jejich klasifikace, závazných tvarů, fyzikálních vlastností, výhřevnosti, obsahu spalitelných těkavých a pevných látek, obsahu a vlastností popele, složení spalin, ale i metod odebírání vzorků a metod jejich rozborů. Standardizaci biopaliv vyžadují výrobci biopaliv, výrobci topenišť a kotlů a jejich uživatelé, ale i obchodníci s palivy v mezinárodním obchodě (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Příklady standardizace a elementárního složení topných biopellet v EU uvádí Tabulka 1.10, vypracovaná podle evropských podkladů. Tabulky 1.11 a 1.12 ukazují příklady rakouských norem pro dřevní štěpku. Tabulka 1.13 obsahuje požadavky na topné brikety a pelety podle rakouské normy (Petříková, V., et al., 2006).

**Tabulka 1.10 – Souhrn evropských norem na dřevní peletky**

Údaj	Hodnota	Rozsah
Rozměry: průměr délka	mm mm	4, 6, 8, 10, 20, 25 od 10-50 nebo 2-4 × průměr
Hustota	kg.l <sup>-1</sup>	1-1,4
Obsah vody	%	8, 10, 12
Sypná hmotnost	kg.m <sup>-3</sup>	500-600
Obsah popele	%	0,7-1,5
Výhřevnost	MJ.kg <sup>-1</sup>	15,1-19,5
Obsah síry, max. dovolený	%	0,04-0,08
Obsah dusíku, max. dovolený	%	0,3-0,6
Obsah chloru, max. dovolený	%	0,02-0,04
Obsah arzenu, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	0,8
Obsah kadmia, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	0,5
Obsah chrómu, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	8,0
Obsah mědi, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	5,0
Obsah rtuti, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	0,05
Obsah olova, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	10,0
Obsah zinku, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	100,0
Obsah EOX, max. dovolený	mg.kg <sup>-1</sup>	3,0
Pojivo	-	jen ekologické nebo žádné

Pramen: (Petříková, V., et al., 2006)

**Tabulka 1.11 – Charakteristiky dřevní štěpky dle rakouské normy Önorm M 7133**

	<b>Třída</b>	<b>Rozsah hodnot</b>	<b>Poznámka</b>
Obsah vody (%)	W 20	do 20 %	Sušená průvanem pod střechou
	W 30	20-29 %	Skladovatelná delší dobu
	W 35	30-34 %	Skladovatelná krátkodobě
	W 40	35-39 %	Vlhká, nebezpečí plísní
	W 50	40-49 %	Surová, akutní nebezpečí plísní
Sypná hmotnost (kg.sm <sup>-3</sup> )	S 160	do 160 kg.m <sup>-3</sup>	Lehká, suchá
	S 200	160-199	Střední, suchá
	S 250	přes 200 kg.m <sup>-3</sup>	Těžká, vlhká
Obsah popelu v sušině (%)	A1	do 1 %	Nízký obsah popele
	A5	1-5 %	Zvýšený obsah popele, (kůra)

Pramen: (Petříková, V., et al., 2006)

**Tabulka 1.12 - Charakteristiky dřevní štěpky dle velikostí částic - Önorm m 7133**

<b>Třída</b>	<b>Veli-kost</b>	<b>Podíl skupin velikostních částic</b>				<b>Extr. hodnoty</b>	
		Max. 20%	60-100%	Max. 20%	Max. 4 %	Průměr	Délka
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(cm)	(cm)
G 30	Jemná	přes 16	16,0-2,8	2,8-1	do 1	3	8,5
G 50	Střední	přes 32	31,5-5,6	5,6-1	do 1	5	12
G 100	Hrubá	přes 63	63,0-11,2	11,2-1	do 1	10	25

Pramen: (Petříková, V., et al., 2006)

**Tabulka 1.13 – Požadavky na topné brikety a pelety podle Önorm m 7135**

<b>Požadované vlastnosti</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Dřevo</b>	<b>Kůra</b>
Minimální objemová hmotnost	kg.dm <sup>-3</sup>	0,9	1,0
Maximální váhový obsah vody	%	12	15
Maximální obsah popele v sušině	%	0,5 (1)	6
Minimální výhřevnost vzorku suroviny	MJ.kg <sup>-1</sup>	16	15
Cizí látky: dusík	%	do 0,3	-
Cizí látky: chlor	%	do 0,02	-
Cizí látky: síra	%	do 0,04	do 0,04

Pramen: (Petříková, V., et al., 2006)

Ucelený přehled platných norem pro tuhá biopaliva v České republice převzatý z Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví je zaznamenán v Tabulce 1.14 (Úřad, 2009).

**Tabulka 1.14 – České technické normy pro tuhá paliva**

Název dokumentu	Označení základního dokumentu	Datum vydání
Tuhá biopaliva – Terminologie, definice a popis	ČSN P CEN/TS 14588	09.2005
Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv	ČSN P CEN/TS 14961	10.2005
Tuhá biopaliva – Prokazování kvality paliva	ČSN P CEN/TS 15234	01.2007
Pevná biopaliva – Metody stanovení obsahu popela	ČSN P CEN/TS 14775	03.2005
Tuhá biopaliva – Vzorkování – Část 1: Metody vzorkování	ČSN P CEN/TS 14778-1	07.2006
Tuhá biopaliva – Vzorkování – Část 2: Metody vzorkování sypkého materiálu přepravovaného nákladními auty	ČSN P CEN/TS 14778-2	05.2006
Tuhá biopaliva – Vzorkování – Metody přípravy vzorkovacích plánů a vzorkovacích certifikátů	ČSN P CEN/TS 14779	05.2006
Tuhá biopaliva – Metody přípravy vzorku	ČSN P CEN/TS 14780	05.2006
Tuhá biopaliva – Metoda stanovení spalného tepla a výhřevnosti	ČSN P CEN/TS 14918	08.2006
Tuhá biopaliva – Metody stanovení sypné hmotnosti	ČSN P CEN/TS 15103	05.2006
Tuhá biopaliva – Stanovení celkového obsahu uhlíku, vodíku a dusíku – Instrumentální metody	ČSN P CEN/TS 15104	04.2006
Tuhá biopaliva – Metody stanovení obsahu chloridů, sodíku a draslíku rozpustných ve vodě	ČSN P CEN/TS 15105	04.2006
Tuhá biopaliva – Metody stanovení hustoty částic	ČSN P CEN/TS 15150	05.2006
Tuhá biopaliva – Metody stanovení zrnitostního rozdělení – Část 3: Metoda třídění rotačním sítem	ČSN P CEN/TS 15149-3	08.2006
Tuhá biopaliva – Metody stanovení zrnitostního rozdělení – Část 2: Metoda třídění vibračním sítem s otvory o velikosti 3,15 mm a menšími	ČSN P CEN/TS 15149-2	08.2006
Tuhá biopaliva – Metody stanovení zrnitostního rozdělení – Část 1: Metoda třídění oscilačním sítem s otvory o velikosti 3,15 a většími	ČSN P CEN/TS 15149-1	08.2006
Pevná biopaliva – Metody stanovení obsahu vody – Metoda sušení v sušárně – Část 3: Obsah vody v analytickém zkušebním vzorku	ČSN P CEN/TS 14774-3	03.2005
Pevná biopaliva – Metody stanovení obsahu vody – Metoda sušení v sušárně – Část 2: Celková voda – Zjednodušená metoda	ČSN P CEN/TS 14774-2	03.2005
Pevná biopaliva – Metody stanovení obsahu vody – Metoda sušení v sušárně – Část 1: Celková voda – Referenční metoda	ČSN P CEN/TS 14774-1	03.2005
Tuhá biopaliva – Metody stanovení mechanické odolnosti pelet a briket – Část 2: Brikety	ČSN P CEN/TS 15210-2	08.2006

Název dokumentu	Označení základního dokumentu	Datum vydání
Tuhá biopaliva – Metody stanovení mechanické odolnosti pelet a briket – Část 1: Pelety	ČSN P CEN/TS 15210-1	08.2006
Tuhá biopaliva – Metody stanovení obsahu těkavých látek	ČSN P CEN/TS 15148	08.2006
Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu hlavních prvků	ČSN P CEN/TS 15290	09.2006
Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu vedlejších prvků	ČSN P CEN/TS 15297	09.2006
Tuhá biopaliva – Analytické výpočty pro různé stavy biopaliv	ČSN P CEN/TS 15296	09.2006
Tuhá biopaliva – Stanovení celkového obsahu síry a chloru	ČSN P CEN/TS 15289	11.2006
Tuhá biopaliva – Metoda pro stanovení teploty tání popela – Část 1: Metoda stanovení charakteristických teplot	ČSN P CEN/TS 15370-1	04.2007
Tuhá biopaliva – Piliny, hobliny a odřezky dřeva pro přímé spalování	ČSN 83 8250	10.2005

Pramen: (Úřad, 2009)

#### 1.5.4 Spalování pevných biopaliv

Z důvodu rozdílných délek plamene při hoření nemohou být použity kotle na uhlí a koks na spalování biopaliv bez náležitých úprav nebo bez podstatně sníženého tepelného výkonu. Topeniště pro spalování biomasy musí mít snadnou obsluhu a malou pracnost, vysokou účinnost, ekologické spalování a dostatečnou regulaci topného výkonu. Z rozdílných vlastností jednotlivých paliv vyplývá, že topeniště a způsob spalování nemohou být u biopaliv univerzální, ale způsoby využití musí odpovídat formě, vlhkosti, objemové hmotnosti a výhřevnosti určitého paliva. Vlastnostem biopaliv se přizpůsobují nejen topeniště, ale i přídatné manipulační zařízení a sklady (Moudrý, J., Stražil, Z., 1998).

##### 1.5.4.1 Technická hlediska používání pevných biopaliv

Biopaliva se vyznačují dvěma odlišnostmi od fosilních paliv:

- Jsou v přirozeném, původním stavu, lehčí, objemnější;
- Mají vysoký obsah prchavé hořlaviny (až 80 %).

Tyto faktory vyžadují, aby topeniště všech typů a výkonností byla podstatně větší a to pro:

- Dосуšení paliva před jeho zapálením;



- Dokonalé promíchání spalných plynů se vzduchem a to jak s primárním, který přichází do paliva a ovlivňuje výkon topeniště, tak se sekundárním, případně terciárním, které ovlivňují dokonalost prohoření paliva, konečnou tvorbu tepla, účinnost a hladinu škodlivých emisí (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Hořlavina všech tuhých biopaliv se skládá ze dvou částí, zvaných prchavá hořlavina a fixní uhlík. Prchavá hořlavina se z paliva uvolňuje po jeho zahřátí na dostatečně vysokou teplotu a představuje směs uhlovodíkových a dusíkatých hořlavých složek. Po jejím uvolnění zůstává fixní uhlík. Ohniště pro spalování biomasy musí zajistit vyhoření všech hořlavých složek prchavé hořlaviny (Noskiewič, P., et al., 1996).

Chemické složení hořlaviny různých druhů biomasy je uvedeno v Tabulce 1.15. Pro možnost porovnání je v tabulce uvedeno i složení běžného hnědého uhlí a obsah popelovin v sušině paliva. Jak je z této tabulky patrné, je prvkové složení různých druhů dřevní hmoty a kůry téměř shodné. Vzhledem k tomu bude i výhřevnost pro daný obsah vody v podstatě shodná (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

**Tabulka 1.15 – Chemické složení hořlaviny dřevní hmoty**

Složka (%)	Dřevo			Kůra	Hnědé uhlí
	Jehličnaté	Listnaté	Smíšené		
Uhlík	51,0	50,0	50,5	51,4	69,5
Vodík	6,2	6,15	6,2	6,4	5,5
Kyslík	42,2	43,25	42,7	42,2	23,0
Síra	-	-	-	-	1,0
Dusík	0,6	0,6	0,6	0,3	1,0
Popeloviny	1,0	1,0	1,0	2,3	25

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

Ve srovnání s ostatními pevnými palivy je u dřeva hmotnostní podíl popela velmi nízký, kolísající v rozmezí pouze 0,6-1,6 %. Z 1 m<sup>3</sup> dřeva to tedy představuje 3 až 5 kg čistého popela. Spečeniny (škvára) se nevytvářejí, s výjimkou spalování pařezů a kořenů, ve kterých bývají minerální příměsi. Popel po spálení dřeva obsahuje množství živin a stopových prvků. Proto jej lze aplikovat v zemědělství nebo lesnictví jako hnojivo. Obecně se použití popela po spalování dřeva jako hnojiva považuje

za cestu snižování nebezpečí odnámání živin z lesních ekosystémů při komplexním využití dendromasy (Simanov, V., 1995).

Při spalování dřevních odpadů nelze opomenout potíže, které mohou nastat při odvodu tuhých zbytků po spalování. Dřevní odpad má poměrně nízkou teplotu měknutí, tavení a tečení popelovin. V mnoha případech se stává, že nánosy popelovin, které se nalepují na keramické stěny předtopeniště, difundují do vyzdívky, která se po tenkých vrstvách odlupuje. V případě suchých dřevních odpadů hrozí nebezpečí, že popeloviny budou ve formě taveniny působit problémy se zalepováním ohniště a teplosměnných ploch sklovitými nánosy (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Měřeními na experimentálních topeništích bylo prokázáno, že dřevo jako zdroj energie neznečišťuje ovzduší do té míry jako fosilní paliva, protože emise z něj neobsahují síru, halogeny ani těžké kovy. Tato relativní neškodnost spalování dřeví však platí za předpokladu dokonalého spalování. Při nedokonalém spalování dřeva obsahují kouřové plyny více karcinogenních látek a aromatických uhlovodíků než plyny produkované spalováním jiných paliv. Velký vliv na dokonalost spalování dříví má jeho vlhkost. Do relativní vlhkosti 30 % nevznikají zásadní problémy, ale při spalování dříví s vyšší relativní vlhkostí než 30 % již zdaleka ne všichni výrobci speciálních topenišť garantují dodržení hodnot  $\text{NO}_x$  v kouřových plynech (Simanov, V., 1995).

Obecně platí, že výkon topeniště je tím vyšší, čím je vstupní materiál sušší, čím větší povrch materiálu hoří (proto se dřevěné brikety vyrábějí s centrálním otvorem, zvětšujícím jejich povrch) a čím více materiálu hoří současně. Z těchto základních závislostí se odvíjí konstrukce topenišť i příprava materiálu ke spalování, jak co do úpravy jeho velikosti, tak vlhkosti. Při spalování dřeva totiž velmi záleží na formě spalovaného dřeva (špalky, polena, odřezky, štěpka, drť, piliny) a potřebném výkonu kotle (Kára, V., et al., 1997).

#### **1.5.4.2 Charakteristiky technologií pro energetické využití biopaliv**

##### *Domovní kotle*

Představují významný podíl na trhu s teplem. Nejvyšší účinnost vykazují kotle na pelety, jejichž komfort se přibližuje vytápění zemním plynem.

### *Průmyslové kotle*

V dřevozpracujících podnicích je v činnosti několik set kotlů na spalování dřevního odpadu s tepelným výkonem od 200 kW do několika MW.

### *Obecní výtopny*

Výkon těchto kotelen se pohybuje od 1-10 MW. V průběhu uplynulých 15 let bylo v ČR vybudováno několik desítek obecních výtopen. Všechny projekty byly realizovány s podporou, v několika případech včetně kompletních nových rozvodů tepla.

### *Decentrální zásobování energií*

Alternativu centrálních obecních výtopen představují blokové (hnízdové) kotelny na biomasu.

### *Společné zásobování domovních zdrojů*

Alternativa obecních výtopen, zejména v případě obcí s roztroušenou zástavbou, se ukazuje jako možnost dodání jednotného typu kotle domácnostem a společné zásobování palivem.

### *Protitlaké turbíny*

Lze jimi doplňovat i stávající výtopny. Elektřina je však vyráběna pouze s odběrem tepla, tudíž jen v topném období. U větších systémů může být dimenzována celoročně na odběr tepla pro ohřev teplé vody.

### *Parní turbíny*

Parní turbosoustrojí s kondenzační turbínou. V současnosti je možné tato zařízení budovat od 1 MWe.

### *Systém s organickým rankinovým cyklem (ORC)*

Alternativně se proti parním cyklům v některých případech prosazuje organický cyklus s uzavřeným oběhem par speciálně upraveného silikonového oleje. Výhodou je odstranění negativních důsledků parního cyklu.

## *Spoluspalování biomasy*

Spoluspalováním biomasy se rozumí spalování její směsi s fosilním palivem, nejčastěji s uhlím. V závislosti na použité technologii – obvykle tepelná uhelná elektrárna nebo velká městská teplárna – se uplatňuje biomasa 5 až 10 % (ale i 50 %) v celkovém množství paliva (Petříková, V., et al., 2006).

### **1.5.4.3 Kotle a topeniště na pevná biopaliva**

#### *Kotle o výkonu 20-60 kW*

Principiálně je možné vyrobit kotel na dřevo o minimálním výkonu asi 17 kW při splnění podmínek účinnosti spalovacího procesu a ekologických parametrů. V těchto kotlích je nejobvyklejším palivem kusové dříví. Většina těchto kotlů má spodní odhořívání paliva, viz Obrázek 1.1. Kotle jsou konstruovány tak, aby při hoření paliva docházelo k pyrolytické destilaci, při které se veškeré spalitelné složky paliva zplyňují (Kára, V., et al., 1997).

Proces spalování dřeva má tyto čtyři fáze:

- Sušení, odpařování vody z paliva;
- Pyrolýza, uvolňování plynné složky paliva;
- Spalování plynné složky paliva;
- Spalování pevných látek, zejména uhlíku (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

#### *Kotle středních výkonů 100 kW až 5 MW na spalování biomasy*

##### a) Spodní přívod paliva

Použití kotlů vyšších výkonů si vzhledem k automatizaci procesu spalování vyžaduje úpravu paliva ve formě štěpky (v případě spalování dřevních odpadů je palivo už obvykle připraveno ve formě špalíků, odřezků, hoblin nebo pilin). Pro dopravu se obvykle používají šnekové dopravníky a podávací zařízení (Kára, V., et al., 1997).

Předpokladem dobrého provozu spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva je rovnoměrný pohyb paliva po celé ploše roštu rychlostí v rozsahu 0,6 až 0,8 m.h<sup>-1</sup>. Odstraňování vyhořelé škváry se provádí buď ručně nebo mechanicky odklopením postranních roštnic (Noskiewič, P., et al., 1996).

S aplikací šnekového podávacího zařízení souvisí použití spodního přívodu paliva. Štěpka nebo odpady jsou v tomto případě do vlastní spalovací komory

přisouvány zdola a odhořívají shora - Obrázek 1.2 (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

b) Posuvné rošty

Posuvné rošty jsou šikmé roštové plochy sestavené z roštových lamel ovládaných elektricky, pneumaticky nebo hydraulicky, podle výkonu kotle. Primární vzduch je přiváděn pod rošt a sekundární pak ve spalovací komoře a dohořívací komoře (Kára, V., et al., 1997).

Celý povrch roštu je skloněn pod úhlem 15-18°. Jednotlivé stupně roštu jsou upevněny na nosné tyči tak, že konce roštnic jednoho stupně se opírají o povrch roštnic stupně následujícího, po kterém při pohybu kloužou. Pohyb vykonávají buď každý stupeň roštu, nebo jen jeho liché části, přičemž sudé jsou uchyceny pevně (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

c) Pásové a řetězové rošty

Řetězový rošt je v podstatě nekonečný pás, jehož horní plocha, na které spočívá vrstva paliva, tvoří roštovou plochu. U řetězového roštu je roštový pás složen z plochých deskovitých roštniček, které jsou vlastně články mohutného Gallova řetězu. U pásových roštů jsou roštnice upevněny na příčných tyčích unášených dvěma postranními tažnými řetězy – Obrázek 1.3 (Kára, V., et al., 1997).

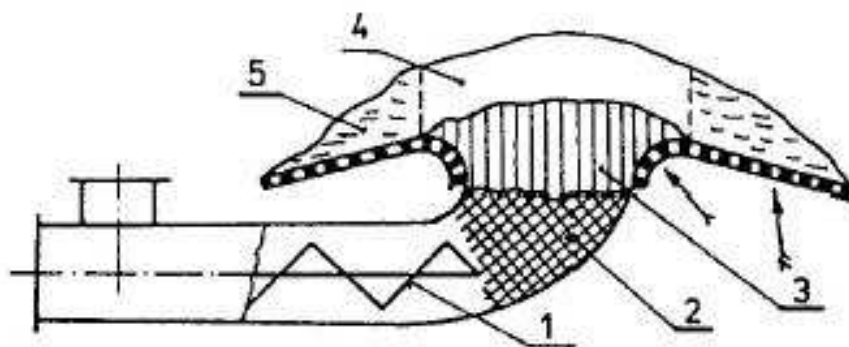
d) Předtopeniště

Je to samostatná energetická jednotka pro efektivní spalování dříví, z níž jsou horké spaliny vedeny do následného výměníku tepla. Hlavní předností je, že se můžou představit k již instalovaným kotlovým jednotkám na fosilní paliva, jež potom plní funkci výměníku tepla. Předtopeniště bývá spojené se zásobníkem paliva a vybaveno bezpečnostním systémem proti prohoření do zásobníku. Představitel předtopeniště o výkonu 1 MW je na Obrázku 1.4. (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).



Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

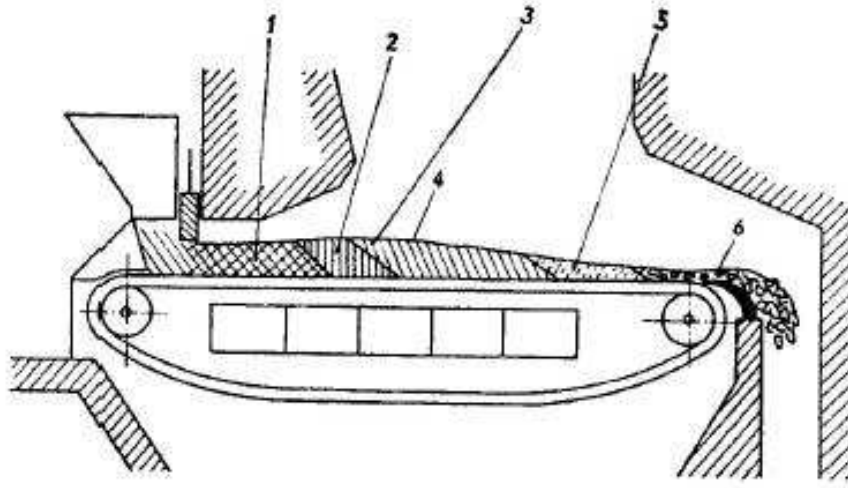
**Obrázek 1.1 - Schéma dřevozplyňujícího kotle se spodní dohořivací komorou**



*Legenda: 1 – Přívod paliva, 2 – Pásmo vysoušení, 3 – Pásmo uvolňování prchavé hořlaviny, 4 – Pásmo vyhořívání prchavé hořlaviny, 5 – Vyhořívání koksového zbytku.*

Pramen: (Kára, V., et al., 1997)

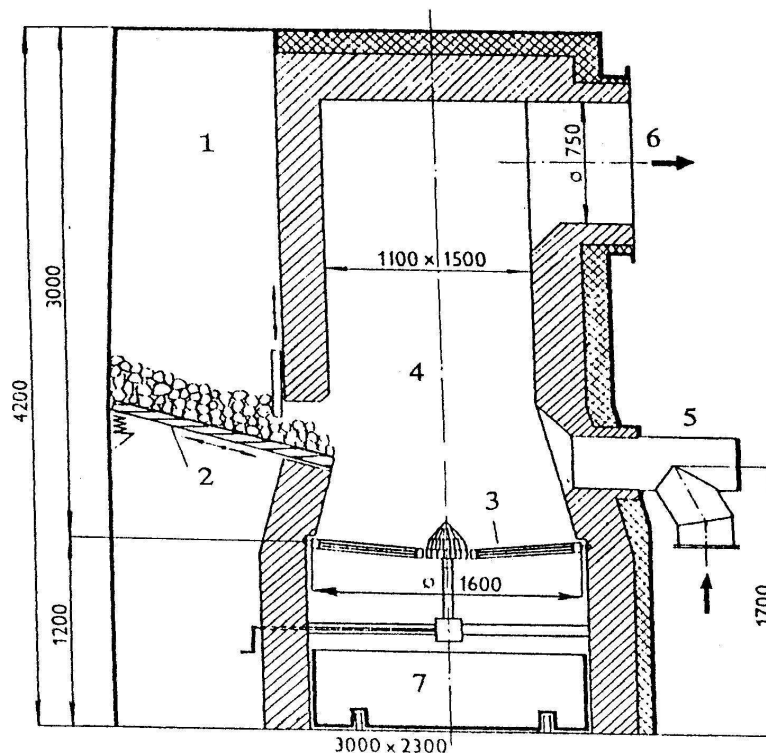
**Obrázek 1.2 – Schéma spalovacího zařízení se spodním přívodem paliva**



*Legenda: 1 – Sušení čerstvého paliva, 2 – Odplynění a vzněcování paliva, 3 – Hoření tuhé hořlaviny, 4 – Vrstva paliva, 5 – Dohořívání škváry, 6 – Škvára.*

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

**Obrázek 1.3 – Spalování paliva na pásovém roštu**



*Legenda: 1 – Zásobník paliva, 2 – Podávací rošt, 3 – Pohyblivý rošt, 4- Spalovací komora, 5 – Hořák, 6 – Odvod spalin, 7 – Odvod tuhých zbytků.*

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

**Obrázek 1.3 – Předtopeniště ke kotlům pro spalování kusového odpadu**

Automatická kamna a kotle na spalování dřevních pelet a štěrky (viz Obrázek 1.4 a 1.5) s tepelným výkonem od cca 6 do 50 (ale také až do 1 000 kW) pro byty, rodinné domy a větší budovy. Soustava kotle pozůstává z mechanicky plněné násypky paliva, šnekového vkladáče, topeniště s hořákem, automatického zapalovače, dohořivací neochlazované komory, soustavy teplosměnných trubek, popelníku a počítačového regulačního systému (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).



Pramen: (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006)

**Obrázek 1.4 – Schéma automatického kotle na drobnou štěrku**

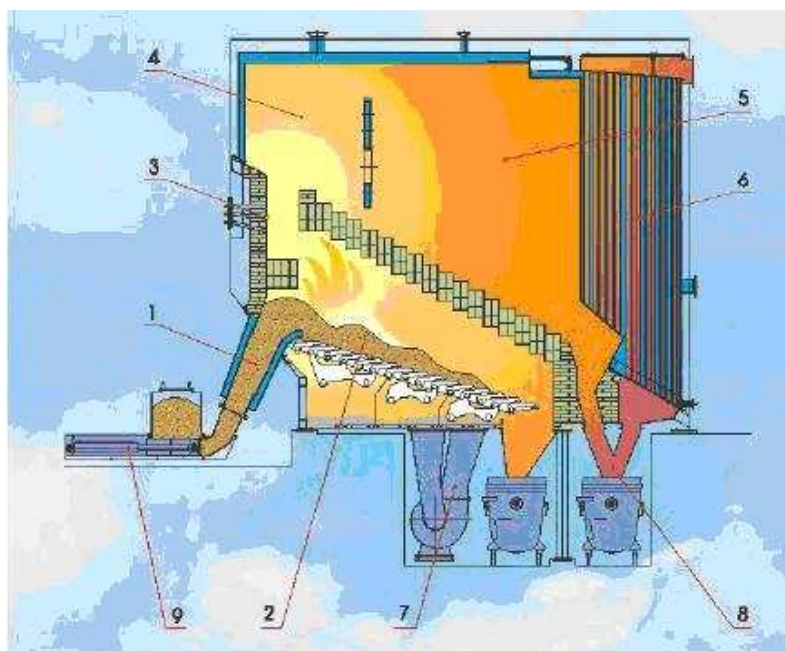


Pramen: (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006)

**Obrázek 1.5 - Automatický kotel na štěrku do 120 kW s podávacím zařízením**



Velké automatické kotle (Obrázek 1.6) na spalování dřevního paliva s výkonem do 10 MW v provedení s muldovým spalováním suché štěpky a pilin nebo se spádovým roštem pro spalování vlhčího dřevního paliva. Tyto kotle mohou spalovat i slámu, kusové dřevo a kůru. Vyznačují se automatickým přísunem paliva (dřevní štěpky nebo z balíku rozpojené slámy), velkou turbulentní a dohořivací komorou, která je vyzděná šamotovými cihlami a má velkou tepelnou akumulaci a vertikálně situovanými trubkami kotle, které se nezanášejí létavým popílkem z biopaliva. Nejběžnější výkon je 2,5 MW. Mohou být teplo – či horkovodní, případně parní. Ty se často doplňují parní turbínkou nebo alternátorem k výrobě elektrické energie. Turbínka slouží i ke snížení tlaku páry jako redukční ventil pro otopnou soustavu (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).



Pramen: (Energie 21, 2009)

*Legenda: 1 – Palivo v příkladacím tunelu s ochranou proti zpětnému prohoření, případně s přihřevem paliva spaliny. 2 – Palivo na posuvném roštu postupuje proti směru pohybu plamene. 3 – Přívod sekundárního a terciálního vzduchu. 4 – Turbulentní, neochlazená komora. 5 – Dohořivací komora. 6 – Trubkový horkovodní kotel. 7 – Ventilátory spalovacích vzduchů. 8 – Popelové vody a kontejner na popel. 9 – Hydraulický odřezávač balíku a vkladač paliva na rošt kotle.*

**Obrázek 1.6 - Velký kotel na spalování vlhčích biopaliv s protiproudým tahem plamenů**

### 1.5.5 Skladování a skladovací prostory biopaliv

Ze zatím popsaných zdrojů dříví pro energetické využití existují problémy se skladováním štěpek. Činností živých parenchymatických buněk, chemickým oxidováním, hydrolyzou celulózních složek v kyselém prostředí a biologickou aktivitou bakterií a hub se štěrky poměrně rychle rozkládají, čímž dochází ke ztrátě objemu a zvyšování vlhkosti materiálu (až na 230 % absolutní vlhkosti). Současně vzrůstá vnitřní teplota na 50-70 °C a za určitých okolností může dojít i k samovznícení (při překročení 100 °C). Náběh rozkladných procesů je z počátku pozvolnější. Ztráty objemu za první měsíc skladování činí od 0,6 do 3 %. Po 2 až 5 měsících skladování dosahují ztráty až 14 %. Při delší skladování 7-8 měsíců tedy může dojít k úbytku objemu až o 20 %. S delší dobou skladování než 8 měsíců se neuvažuje, protože již dochází k výrazné mineralizaci. Jde tedy v podstatě o kompostování a nikoli skladování. Doporučovaná lhůta spotřeby štěpek je do 15ti dnů od jejich výroby. Za nejzazší lhůtu pro zpracování se považují 3 měsíce (Simanov, V., 1995).

Při společném spalování biomasy a uhlí, tzv. kospalování, je možné přidávat asi 20-30 % biomasy. Pro skladování je nutné brát do úvahy rozdílné vlastnosti těchto druhů paliv, zejména jejich větší objem daný nižší hustotou biopaliv a rovněž o něco nižší výhřevností biopaliv. Totéž pak platí o skladování u spalovacích zařízeních určených pro výhradní spalování biomasy. Zvyšování výkonu kotlů na spalování biomasy naráží na nepříznivý poměr mezi měrným objemem, výhřevností a v neposlední řadě i vlhkostí paliva (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Pro lepší představu jsou v Tabulce 1.16 uvedeny potřebné skladovací prostory pro uskladnění jednoho GJ energie obsažené v různých palivech. Například u polen musíme počítat, ve srovnání s černým uhlím, s téměř 4krát větším prostorem, při porovnání s hnědým uhlím asi s 2krát větším prostorem. Ještě více vynikne potřeba prostoru pro skladování ve srovnání štěrky a černého uhlí. U štěrky je skladovacího prostoru zapotřebí téměř 7krát více (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

Z uvedeného vyplývá, že u větších tepelných zdrojů je vhodné z hlediska investičních nákladů budovat provozní sklad relativně malý (na 7 až 10 dnů). Pokud je tepelný zdroj mimo centrum obce a je zde dostatek volného místa, může být provozní sklad i větší. Větší sklad ovšem vyžaduje vyšší náklady na investici při stavbě zdroje. Zásobování zdrojem tepla na biomasu je náročné na logistiku, a proto je žádoucí

všechny problémy se zásobováním zdroje biopalivy vyřešit již během fáze projekce. Smluvní vztahy mezi investorem, nebo provozovatelem a dodavatelem paliv a dalších služeb jsou před dohotovením stavby nutnou podmínkou. Změny měrné vlhkosti při skladování čerstvé štěpky z tvrdých listnáčů v závislosti na typu uskladnění jsou zaneseny v Tabulce 1.17 (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

**Tabulka 1.16 – Potřebné skladovací prostory pro různé druhy paliv**

Palivo	Výhřevnost	Objemová hmotnost	Energie	Skladovací prostor
	(MJ.kg <sup>-1</sup> )	(kg.m <sup>-3</sup> )	(GJ.m <sup>-3</sup> )	(m <sup>3</sup> .GJ <sup>-1</sup> )
Palivové dřevo - polena	15	320-450	5,775	0,17
Palivové dřevo – odřezky	18	210-300	4,59	0,22
Štěpka	10	180-410	2,95	0,34
Dřevěné brikety, pelety	21	600-1 100	17,85	0,06
Hnědé uhlí	16	650-780	11,44	0,09
Černé uhlí	26	770-880	21,45	0,05

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

**Tabulka 1.17 – Změny absolutní vlhkosti při skladování čerstvé štěpky**

Měsíc	Typ skládky			
	Otevřená	Otevřená s podlahou	Zakrytá	Zakrytá s podlahou
	Absolutní vlhkost (%)			
0	85	82	70	78
1	95	81	58	55
2	101	83	54	45
3	108	79	52	35
4	101	66	46	28
5	84	37	39	20
6	84	35	33	17
7	68	29	30	17

Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

### 1.5.6 Zdravotní aspekty práce se štěpkou

Při manipulaci se štěpkami uloženými déle než jeden měsíc je nutné jako ochranu před houbovými záněty plic (nazývanými v zahraničí jako „topičská choroba“) způsobovanými výtrusy hub, např. *Mucor pusillus*, *Mucor rhizopodiformis*, *Absida corymbifera*, *Rhizopus arrhizus* aj., používat respirátory. Produkce spor hub je obrovská. Podle některých autorů činí  $1,8 \times 10^{12}$  na 1 kg absolutní sušiny štěpek. Škodlivé působení hub a plísní na člověka není ještě úplně probádané, existují však předpoklady, že tzv. mykotoxiny jsou karcinogeny, teratogeny a mutageny (Simanov, V., 1995).

Má-li štěpka vyšší obsah vody než 25-30 %, v závislosti na teplotě po určité době začíná degradovat a plesnivět. Bylo zjištěno až 10 tisíc spor plísní a hub v 1 m<sup>3</sup> vzduchu ve skladech vlhké štěpky (Norsko, Finsko). Ve Švédsku se považuje za nebezpečné už 500 zárodků na 1 m<sup>3</sup>. Takový vzduch ohrožuje plíce lidí, může vzniknout nemoc podobná nemoci zemědělců z plesnivé slámy a sena. Štěpka z jehličnanů je proti plísni odolnější než z listnáčů. Z těchto důvodů nesmí být štěpka nikdy skladována přímo v obytném stavení a měla by být co nejrychleji usušena. Tato okolnost zatím v ČR uniká pozornosti (Abrham, Z., Andert, D., Sladký, V., 2006).

## 2 Topoly (*Populus*) obecně

Topoly se v botanickém systému dělí na pět skupin:

1. Turanga,
2. Topoly bílé a osiky,
3. Topoly černé,
4. Topoly balsámové,
5. Topoly velkolisté.

### *Turanga*

V Evropě má jediného zástupce, strom nízkého a keřovitého vzrůstu, rostoucího na Slaniskách jižního Španělska.

### *Topoly bílé – Albidae*

Jsou děleny na vlastní bílé topoly a osiky. Evropským, u nás původním druhem je topol bílý, rostoucí v lužních lesích, hlavně v Pomoraví. Varietou tohoto druhu je topol stříbrný.

### *Topoly černé*

Ze tří skupin topolů černých je jediným naším původním stromem topol černý, *Populus nigra var. typica* L. Tento druh, rostoucí v celé oblasti našeho státu, je věrným průvodcem tekoucích vod a je rozšířen nejen v lužním území, ale jde daleko do pahorkatin i do hor. Rozeznáváme tři formy tohoto topolu:

- s rovným, čistým kmenem, velmi vysoko se větvícím,
- s kmenem nerovným a s četnými výmladky, se sklonem vytvářet hojná spící očka,
- v mládí bujného vzrůstu, který se však velmi brzo zpomaluje. U této formy je nápadná světlá borka a časté nádory rakovinného charakteru jak na kmeni, tak na i na větvích v koruně.

Jako zvláštní formu černého topolu lze uvést očkový topol, hledaný pro krásnou očkovou strukturu dřeva, dnes již skoro úplně, právě pro tuto hledanou vlastnost, vyhubený. Poslední zbytky těchto topolů rostou na Skalicku na Slovensku.

### *Topoly balzámové*

Jsou to druhy původu severoamerického a východoasijského, u nás téměř nezastoupeny.

### *Topoly velkolisté*

Z páté skupiny topolů velkolistých nemá žádný druh význam pro těžbu dřeva. Jsou to vesměs dekorativní keře, málokdy stromy, převážně druhy dovezené z ciziny (Kalandra, A., et al., 1953).

Rod topol patří do čeledi vrbovítých a spolu s vrbami se řadí mezi takzvané rychle rostoucí dřeviny. Vyznačují se variabilitou. Vzájemným křížením vytváří velké množství nejrozličnějších poddruhů, odrůd a kultivarů. Základními domácími druhy topolu jsou topol černý (*Populus nigra*), topol bílý (*Populus alba*) neboli linda a topol osika (*Populus tremula*). Známý pyramidální topol vlašský je kultivarem topolu černého. Zmiňován bývá i topol kanadský, který je jedním z kříženců černého topolu (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2008).

Dřevo topolů (Obrázek 2.1) je světlé, lehké, měkké, ohebné a dobře se štípe. V nábytkářství se z něj vyráběly dýhy, překližky, sudy a bedny. Listí se dříve používalo jako krmivo pro dobytek a z pupenů se lisoval olej. Dnes se dřevo využívá hlavně v řezbářství a jako palivo. Různé kultivary topolu černého se vysazují jako ochranná stromořadí okolo cest, vodotečí, hřišť, hospodářských budov, továren a podobně (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2007).

Klimatické podmínky jsou jedním z rozhodujících faktorů, které ovlivňují růst topolů. Pěstování rychle rostoucích dřevin se uplatní zejména v oblastech s mírným podnebím a na půdách s dobrou zásobou vody a živin. V horších klimatických podmínkách není záruka výnosu a může dojít i k poškození mrazem. Nabízí se využití půdy v lokalitách ohrožených imisemi, kde je omezeno pěstování plodin pro potravinářské účely (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Dalším rozhodujícím faktorem pro růst topolů je vodní režim v půdě. Původní topolová stanoviště jsou v nížinách v oblasti aluvia poblíž vodotečí. Topoly velmi dobře snášejí záplavy, které jsou prospěšné také tím, že na lokalitě neustále doplňují živiny. Zvláště vyhovující stanoviště jsou především charakterizována dokonalým a trvalým zásobováním vodou. Uvádí se, že spotřeba vody při transpiraci na vytvoření 1 kg sušiny je 500 litrů (u borovice je to 170 litrů a u buku 350 litrů) (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2007).



Pramen: (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2007)

**Obrázek 2.1 – Dřevo topolů je světlé, lehké, měkké, ohebné a dobře se štípe**

Kořenový systém topolů je náročný na provzdušnění půdy (dostatek kyslíku). Zejména v prvním roce růstu je dýchání kořenů mnohonásobně vyšší než u jiných dřevin. Trvalé provzdušnění půdy je důležité pro možnost snadného rozrůstání kořenů. Pro svůj mohutný kořenový systém potřebuje topol dostatečný prostor. Kořeny vzrostlých stromů dosahují až 30 metrů do šířky a několik metrů do hloubky. Přes obvod koruny sahají kořeny zejména na sušších a chudších půdách.

Topol je citlivý na kyselost půdy. Nejlépe mu vyhovuje neutrální nebo slabě kyselá půdní reakce. Vyžaduje přítomnost vápna, které kromě úpravy půdní reakce přispívá k vytvoření lepší půdní struktury a provzdušnění hlubšího profilu. Uhlíčitan vápenatý může být částečně nahrazen uhličitánem hořečnatým. Podstatný vliv na růst má dusík (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2008).

Z hlediska škůdců není předpokládáno negativní ovlivnění růstu stromů. Z výzkumů je známý výskyt mandelinky topolové a mšice. Tito škůdci však neovlivní výnos dřevní hmoty. Některé stromky mohou být poškozeny spárkatou zvěří, zejména v prvních dvou až třech letech (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2007).

Topolové dřevo je měkké, proto nadzemní části, kmen a větve snadno podléhají hnilobám nejrůznějších dřevokazných hub. Stromy starší 40 let jsou náchylné na vyhniávání. Z dřevokazných hub je časté napadení choroši, kterých je více druhů. Nadzemní část topolů má taktéž mnoho živočišných škůdců. Z brouků jsou to především larvy tesaříků, které chodbovitě rozežírají dřevo a technicky je znehodnocují (Kalandra, A., et al., 1953).

## 2.1 Výběr vhodných rychle rostoucích dřevin (RRD)

V souladu s Nařízením vlády 308/2004 Sb. O stanovení některých podmínek pro poskytování dotací na zalesňování zemědělské půdy a na založení porostů rychle rostoucích dřevin na zemědělské půdě určených pro energetické využití. Přílohou č. 2 byly stanoveny náležitosti projektu o založení porostu rychle rostoucích dřevin. V §9, odstavec 2 je stanoveno, že výčet dřevin, popřípadě jejich klonů, se pro účely tohoto nařízení zveřejní ve Věstníku Mze. Seznam klonů byl aktualizován v roce 2004 a vyšel ve Věstníku Mze č. 1/2004 (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2008).

Nárok na platbu na RRD má žadatel pouze pokud na půdním bloku pěstuje druhy dřevin uvedených v Tabulce 2.1. Žadatel o jednotnou platbu na plochu (SAPS), musí vyplnit Deklaraci RRD, kde uvede druh, rok výsadby, rok výsadby, rok posledního předchozího obmýtí a dále půdní blok a výměru na které tuto rychle rostoucí dřevinu pěstuje (Příručka pro žadatele, 2010).

### 2.1.1 Příprava a uskladnění sadebního materiálu

Doporučené klony topolů a vrb se nejčastěji sázejí z řízků nařezaných z jednoletých prýtů, které se odebírají v matečnicích, nejlépe v únoru až březnu. Jednoleté prýty jsou před nařezáním na řízky skladovány v chladné místnosti pokud možno s vysokou vlhkostí, např. ve sněžné jámě, chladicím boxu. Nejlepší řízky z hlediska čistoty řezu je možné připravit na pásové pile. Optimální délka řízku je 20 až 30 cm a průměr 0,5-2,5 cm. Delší (ale dražší) řízky jsou vhodné pro oblasti s výskytem přisušků. Řízky je nutno skladovat ve vhodných skladovacích prostorách – podobně jako pruty sklizené z matečnice. Optimální teplota při skladování je 2-4 °C. Skladování v místnostech v průvanu je nevhodné. Řízky mnoha klonů rychle rostoucích dřevin mohou v takových podmínkách rychle vyschnout a výrazně se tak snižuje jejich schopnost rašení a zakořeňování (Havlíčková, K., et al., 2007).

Těsně před výsadbou je řízky vhodné namočit na jeden den do vody, zejména pokud nebyly skladovány v optimálních podmínkách. Pozitivní účinky stimulatorů a mikorhizy na řízky u nás zatím nebyly v polních podmínkách ověřeny.

Na extrémně nepříznivých stanovištích je výsadbu možné provést ze zakořeněných řízků. Například v Itálii pěstují jednoleté sazenice topolů z řízků v hustých výsadbách a druhým rokem je sází na plantáže, „zakořeněné řízky“ – sazenice se silně ořezaným kořenovým systémem a s uříznutou nadzemní částí na 5-10 cm kolík,



vrcholový pupen je po výsadbě v úrovni půdy. Ujímavost těchto sazenic je téměř stoprocentní. Tento způsob se proto hodí více pro lignikultury než pro výmladkové plantáže (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

**Tabulka 2.1 – Seznam druhů rychle rostoucích dřevin (RRD)**

Označení	Doporučená max. délka obmýetí v letech
<b>Topoly (<i>Populus sp.</i>) a jejich kříženci</b>	
Topol Maximovičův a jeho kříženci ( <i>P. maximowiezii Henry</i> )	8
Topol chlupatoplodý a jeho kříženci ( <i>P. trichocarpa Torr. et Gray</i> )	8
Topol kanadský ( <i>P. × canadensis Mönch</i> )	5
Topol Simonův a jeho kříženci ( <i>P. simonii Carriere</i> )	8
Topol balzámový a jeho kříženci ( <i>P. balsamifera L.</i> )	8
Topol černý ( <i>P. nigra L.</i> )	10
Topol osika ( <i>P. tremula L.</i> )	8
<b>Vrby (<i>Salix sp.</i>) a jejich kříženci</b>	
Vrba bílá a její kříženci ( <i>S. alba L.</i> )	8
Vrba košíkářská a její kříženci ( <i>S. viminalis L.</i> )	5
Kříženci vrby a jívy ( <i>S. caprea L. hybrids</i> )	5
Vrba lýkovcová ( <i>S. daphnoides L.</i> )	5
<b>Ostatní dřeviny</b>	
Jasan ztepilý ( <i>Fraxinus exelsior L.</i> )	8
Olše lepkavá ( <i>Alnus glutinosa (L.) Geartn.</i> )	8
Olše šedá ( <i>Alnus incana (L.) Moench</i> )	8

Pramen: (Příručka pro žadatele, 2010)

## 2.2 Způsob přípravy půdy

S přípravou pozemku je nutno začít obvykle rok dopředu před výsadbou tak, aby byly podmínky pro výsadbu a růst dřevin v prvních 2-3 měsících po výsadbě optimální. V našich podmínkách se jedná zejména o maximální omezení růstu plevelů v této době a optimalizaci fyzikálních vlastností půdy pro zakořenění dřevin (řízků, prýtů, případně sazenic). Použití chemických prostředků pro velkoplošné odplevelování půd není doporučováno z důvodu ochrany přírody. V odůvodněných případech (velmi silné

zaplevelení) je možno použít ověřené biodegradující preparáty (např. Roundup) (Havlíčková, K., et al., 2007).

Pro podzimní přípravu půdy lze použít zeleného hnojení pomocí vikvovitých rostlin, které dobře poutají vzdušný dusík. Dále lze pozemek pohnojit chlévskou mrvou v dávce 40 t.ha<sup>-1</sup>. Uplatníme hlubokou orbu. Na povrch se dostanou choroboplodné zárodky, vajíčka škůdců atd., které částečně zničí mráz. Na jaře začínáme s přípravou půdy hned po oschnutí vrchní vrstvy. Pozemek se převlácí na koso přes hřebeny brázd, potom se smykuje, aby se plocha pozemku co nejvíce srovnala. Půda musí být dobře propracována do hloubky 20 cm, aby se snadno sázely řízky. Včasnou přípravou půdy na jaře zajistíme dostatek vláhy během vegetace (Moudrý, J., Stražil, Z., 1998).

### 2.3 Technologie a termín výsadby

Přesné určení doby výsadby závisí na místních půdních podmínkách a průběhu počasí v jarních měsících. Obvykle jsou řízky sázeny od poloviny března do dubna, jakmile půdní vlhkost dovolí přístup sazečů nebo sázecích strojů na plochu. Vhodné období končí koncem dubna nebo začátkem května. V případě manuální výsadby se řízky ručně zapichují rovně nebo mírně šikmo do připravené půdy. Tam, kde je půda slehlá a ruční, zapichování nelze provádět kvůli poškozování řízku, je možné použít jednoduchý ruční sazeč (Havlíčková, K., et al., 2007).

Řízek musí být skoro celý v zemi (může vyčnívat maximálně 3-5 cm nad povrchem) a vrcholový pupen by měl být na úrovni povrchu. Po zapíchnutí nebo zasunutí je potřeba půdu kolem řízku ztuhnout, například sešlápnutím z boku tak, aby přilnula k řízku, ale nebyl řízek poškozen (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2008).

V případě mechanizované výsadby je postup závislý na typu sazeče. Postup se shoduje s výsadbou lesních sazenic. Vždy je nutné dodržet zásadu, aby řízky „netrčely“ víc jak 5 cm z půdy a půda kolem nich byla dobře utužena. Ve srovnání s ruční výsadbou je mechanizovaná mnohem rychlejší – okolo 0,5-0,7 ha.den<sup>-1</sup>.

V zahraničí existují speciální sazeče pro výsadbu rychle rostoucích dřevin. Ve Švédsku se nejvíce používá sazeč na celé prýty, které se zasouvají vertikálně do sazeče (obsluha stojí na zadní plošině podobně jako u starých secích strojů). Stroj zapichuje a krátí prýty v přesně zadaných délkách a intervalech. Druhý, zatím méně obvyklý způsob výsadby, je horizontální kladení jednoletých prýtů (o délce 2-4 m) do rýhy 3-5 cm hluboké, která je vyorána sázecím strojem a následně zasypána

po mechanizovaném položení prýtu. V ověřovacích pokusech je tento způsob úspěšně aplikován pro nízké náklady na výsadbu rozsáhlejších porostů. Výhodou obou ekonomicky velmi efektivních metod také je, že dlouhé prýty jsou oproti řízkům méně náchylné na vysychání.

Mladé prýty vyrážejí jak z vnějších, tak ze spících pupenů přibližně 5-10 dnů po výsadbě. Prvních 7-10 dní mohou rašící prýty růst z vody obsažené v řízku nebo prýtu. První orientační hodnocení ujímavosti je možné provést asi měsíc po výsadbě. (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

Je třeba dosáhnout alespoň 70 % ujímavosti výsadby, protože veškeré vylepšování výsadby (dosazování) v dalším roce je velmi nákladné a musí se dělat sazenicemi. I tak je to často neúspěšné (Havlíčková, K., et al., 2008).

### 2.3.1 Schéma a tvar výsadby

V současnosti jsou používána dvě schémata výsadby výmladkových plantáží:

- Do jednořádků ve sponech  $(0,5-0,3 \text{ m}) \times (1,5-2,5 \text{ m})$  mezi jednořádky);
- Do dvouřádků ve sponech  $(0,5-0,7 \text{ m}) \times (0,5-0,7 \text{ m})$  a  $(1,5-3 \text{ m})$  mezi dvojřádky);
- Pro matečnice je používán téměř výhradně jednořádkový spon  $(0,5-0,2 \text{ m}) \times (1,5-2,5 \text{ m})$  mezi jednořádky).

Přesné určení sponu závisí na dostupné mechanizaci, která bude používána k výsadbě a zejména k odplevelování. Dvojřádky se začaly používat kvůli mechanizaci sklizení. Zmenšují u dobře odplevelené plochy udržovanou plochu na minimum a tím šetří náklady na údržbu. Na zaplevelených lokalitách jsou ale mnohem náročnější na ruční nebo polo-mechanizované odplevelování uvnitř dvojřádku. Pro takové lokality jsou mnohem vhodnější jednořádky (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2007).

Jednou z důležitých otázek je také orientace a tvar plantáže či řádků, kterými můžeme výrazně ovlivnit krajinný efekt a částečně i výnos plantáže. Z hlediska výnosu je výhodnější směr řádků ze severu na jih. Ekonomicky efektivní je mít řádky plantáže co nejdelší. Každé otáčení mechanizace zvyšuje náklady a prostor ponechaný pro otáčení či manipulaci a snižuje rozlohu výsadby.

Z důvodu zvyšování ekologické stability a druhové pestrosti výmladkových plantáží je také doporučováno sázet do jedné plantáže více klonů a druhů rychle rostoucích dřevin, ať již v klonových směsích (více klonů v jedné ploše

např. po řádcích) nebo klonových blocích (plochy klonů vytvářejí celou plantáž). Se správnou volbou těchto směsí by se měli pěstitelé poradit s odborníky nebo je žádat od autorů projektu na založení porostu (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

## **2.4 Údržba v dalších letech po výsadbě**

Plevel je potřeba omezovat co nejdříve po výsadbě. V řadě je nutné provádět zásahy ručně bez poškozování rašicích výhonů. V meziřadí je možné využít kultivátoru, resp. mulčovače. Předpokládaná četnost ošetrovacích zásahů je 4-6krát v prvním roce, 3-5krát ve druhém a 2krát ve třetím roce. V dalších letech se ošetřování v meziřadí nemusí již provádět. Herbicidní úprava totálním herbicidem při likvidaci plevelů po výsadbě se nedoporučuje vzhledem k obtížnosti zamezení přenosu účinku na porost rychle rostoucích topolů (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2007).

Ze všech jmenovaných způsobů omezování plevelů je sečení a vyžínání možno hodnotit jako ekologicky nejvhodnější, neboť nejméně narušuje vznikající mikroklima pro organismy (zejména půdní) a dochází k největší akumulaci organické hmoty a živin v půdě. Omezované plevele zároveň působí jako ochrana půdy proti možné erozi (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

## **2.5 Rušení plantáže a návrat stanoviště původnímu využití**

Likvidace plantáže předpokládá uvedení pozemku do stavu, kdy je připraven k dalšímu zemědělskému využití. Stav půdy po 20 až 24letém pěstování RRD plantážovým způsobem závisí na několika faktorech, z nichž hlavní jsou úrodnost půdy, způsob a objem hnojení plantáže. Navrácení stanoviště původnímu použití je důležitou otázkou z hlediska ochrany zemědělského půdního fondu a podléhá kontrole MŽP (Celjak, I., Boháč, J., Kohout, P., 2007).

Technologie rušení plantáží jsou v současnosti dobře propracovány v zahraničí (Rakousko). Po poslední sklizni jsou speciálními frézami odstraněny pařízky, případně část kořenového systému. V případě, že je stav půdy po produkční plantáži dobrý nebo lepší (fyzikální vlastnosti, humus) než tomu bylo před jejím založením, je možno plochu na jaře osít cílovou plodinou (obilí, traviny) (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

## 2.6 Funkce porostů rychle rostoucích dřevin v krajině

### *Biologická*

Využití ploch pro zlepšení účinnosti, propojení nebo náhradu biologicky účinných ploch na lokalitách, kde je z rozličných důvodů nelze realizovat.

- Vznik biokoridorů a lesních společenstev v bezlesé zemědělské krajině.
- Pohlcování oxidu uhličitého a produkce kyslíku.
- Zvýšení biodiverzity zemědělské krajiny.
- Plantáže a stromořadí mají nezastupitelné místo v potravinovém řetězci.
- Úkryt a potrava pro drobnou i vysokou zvěř, hnízdiště ptactva.

### *Meliorační*

Zlepšení aktuálního stavu plochy přítomností většího počtu rostlin.

- Větrolamy (snižování větrné eroze a škod na zemědělských plodinách).
- Zachycují srážkové vody – meliorační prvek (ochrana před přívalovými srážkami).
- Eliminace eroze půdy – zamezení nežádoucímu vysoušení krajiny.
- Biologická meliorace přemokřených stanovišť.
- Využití v zahradnictví a zahrádkářství jako doplněk kompostů.
- Zlepšení půdních poměrů – vytvoření humusové vrstvy a provzdušnění půdního horizontu.

### *Izolační*

Oddělení a omezení negativního působení navazujících ploch nebo objektů.

- Snížení prašnosti a hlučnosti.
- Vytváření kořenových clon na ochranu vodních zdrojů.
- Tříštění větrných proudů – větrolamy (Moudrý, J., Součková, H., et al., 2006).

### *Asanační*

Využití plochy devastované předchozím způsobem užívání a její regenerace účinkem většího počtu rostlin.

- Břehové porosty zajišťující rychlé zpevnování břehů proti vodní erozi.
- Vegetační úprava výsypek a antropogenních stanovišť.

- Uvolňování fytoncidů z pupenů topolů do ovzduší.
- Zlepšení tepelného režimu lokality.
- Pomocná kultura v lese (dočasná ochrana porostů).
- Recyklace vody v krajině.
- Využití plochy tzv. suchých poldrů (protipovodňových) a zmírnění povodňových vln.
- Filtrace srážkové a povodňové vody odnímáním přebytečných živin.
- Zvýšení vlhkosti vzduchu.
- Dekontaminace půd od těžkých kovů.

#### *Kulturní*

Náhrada některých tradičních a historických prvků zeleně v krajině, které z rozličných důvodů nelze obnovit v původní podobě.

- Doprovod liniových staveb.

#### *Estetická*

Využití ploch energetických rostlin k omezení účinku pohledově exponovaných negativně působících objektů nebo jiným způsobem přispět ke zlepšení krajině-estetických kvalit území.

- Liniové hranice v krajině.
- Estetické působení a rozčleňování krajiny.
- Solitéry v krajině (jen výjimečně jsou to pozůstatky původních autochtonních druhů z přírodního zmlazení).
- Intravilány vesnic, u náveských rybníků.

#### *Naučná*

Využití plochy k naučným, propagačním nebo výzkumným účelům.

#### *Produkční*

Využití obtížně obdělávaných a ekonomicky nevýhodných ploch zemědělské půdy a podpora zaměstnanosti v regionu.

- Plantáže topolů, lignikultury, včelařské porosty vrb, obaly pro zemědělskou produkci (zelinářství a ovocnářství) (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

### 3 Způsoby sklizně plantáží rychle rostoucích dřevin

Výmladkové plantáže se sklízí v tzv. velmi krátkém obmýtí. V severní Evropě sklízí porosty ve 2-5letém obmýtí, od listopadu do dubna, s očekávaným maximálním výnosem z těchto vrbových porostů mezi 8-12 t(suš).ha<sup>-1</sup>.rok<sup>-1</sup> a s životním cyklem 20 až 25 let. V našich podmínkách se v současnosti délka obmýtí pohybuje v závislosti na dotaci mezi 3-6 roky. Pokud bude tedy celková doba existence plantáže 15-25 let tak, jak se předpokládá, znamená to, že bude sklizena 4-8krát (Havlíčková, K., et al., 2007).

Pro pěstitele je také zajímavá relativní volnost při rozhodování o roku sklizně. Pokud není situace na trhu (poptávka) jeden rok výhodná, může počkat se sklízí do roků dalších. Nejvhodnějším obdobím pro sklizeň na štěpku jsou zimní měsíce (prosinec-březen), kdy je obsah vody v pletivech nejnižší a je možno využít volných pracovních sil a strojů. Vhodné je také sklízet, když je půda zamrzlá a mechanizace nemá problémy s pohybem

Matečnice se sklízí naproti tomu každý rok, a to i v případě, že není odbyt. Cílem je totiž vypěstovat kvalitní nevětvený prýt, který dosáhneme právě každoročním seřezáváním. Pokud bychom jednoleté prýty neseřezali, dalším rokem by většinou začali tvořit sekundární větvení, které značně komplikuje a prodražuje přípravu (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

#### 3.1 Metoda sklizně jednofázová

Tento způsob využívá většinou samojízdné, ale i tažené sklízecí stroje schopné okamžité výroby dřevní štěpky přímo po podřezání na poli. Takto sklizená štěpka má vyšší vlhkost, ale je snadněji manipulovatelná a dopravovatelná oproti kmenům a snopkům. Pro spalování vlhké štěpky jsou vhodné větší kotle nad 1 MW. V zahraničí jsou k dispozici výkonné sklízecí stroje adaptované ze sklízeců na kukuřici nebo cukrovou třtinu. Při sklizni RRD se s úspěchem uplatňuje kooperace několika pěstitelů v oblasti, kteří mohou vytvořit sdružení za účelem efektivního využívání sklízecích strojů. V jiných případech provádí sklizeň sdružením i jednotlivým zemědělcům kontrakčně subjekt, který takový stroj vlastní (Havlíčková, K., et al., 2007).

## **3.2 Metoda sklizně vícefázová**

Tento způsob využívá kombinaci několika mechanizačních prostředků a manuální práce. Pro podříznutí kmenů používá přídavné zařízení na traktor, které i případně spojuje kmeny do snopků. Na menších rozlohách je možno použít křovinořez nebo ruční motorovou řetězovou pilu. Kmeny jsou po částečném vyschnutí na vzduchu štěpkovány standardním štěpkovačem. Štěpka je dostatečně suchá i pro spalování v topeništích s nižším až středním výkonem. Tento způsob je náročnější na manuální práci a manipulaci, ale stroje jsou jednodušší (univerzální) (Havlíčková, K., et al., 2008).

## **3.3 Mechanická úprava pevných biopaliv**

Jedním z pevných biopaliv je dřevo. V první fázi zpracování na biopalivo se dřevo upravuje co do velikosti. Zařízení na úpravu rozměrů dřeva můžeme rozdělit na stříhací zařízení, štěpkovače, drtiče, svazkovače těžebních zbytků (paketační stroje), kompresní sběrače a zařízení na peletování a briketování (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

### **3.3.1 Stříhací zařízení**

Tato zařízení se používají pouze na přípravu dřeva na energetické účely. Na výrobu kusového palivového dřeva, hlavně z tenčiny a bočních kusových odpadů z dřevařského průmyslu, se používají jednožobová stříhací zařízení na principu gilotiny. Na jedno vysunutí stříhacího nože posune stříhací zařízení stříhané dřevo o 25-30 cm. Součástí je obvykle i svazkovačí zařízení. Ve velkých městských kotelnách v zahraničí se používají stříhací zařízení s větším počtem stříhacích nožů vedle sebe. Nože jsou od sebe vzdáleny přibližně 50 cm a délka jejich ramen je několik desítek centimetrů. Jsou umístěny vertikálně na boku spodní části násypky. Do násypky se sypou různé druhy odpadového dřeva, které po rozstříhnutí soustavou nožů padají na dopravník pod ním a dopravují se do spalovacího zařízení (Kára, V., et al., 1997).



### 3.3.2 Štěpkovače

Jsou to zařízení k beztržskovému dělení dřeva řezným účinkem sekacích nožů napříč vlákny a zároveň dělením na potřebnou tloušťku podél vláken díky klínovému tvaru nože (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Podávání materiálu do štěpkovače bývá u malých typů nesených zemědělským traktorem obvykle ruční. U větších typů štěpkovačů je podávání materiálu zajištěno hydraulickým manipulátorem (hydraulickou rukou), s drapákem modifikovaným podle toho, zda se vkládá do štěpkovače klest nebo celé stromy.

Štěpkovače mohou být poháněny buď motorem základového vozidla nebo mají samostatný motor. Stacionární štěpkovače (výjimečně i mobilní) bývají poháněny elektromotory. To je výhodné nejen z hlediska náhrady kapalných paliv elektrickou energií, ale i proto, že elektrický motor lze krátkodobě přetížít. Při nepravidelnostech podávaného štěpkovaného materiálu (zejména v jeho tloušťce) tedy nemusí být použitý motor dimenzován na maximální technicky možné zatížení, jako tomu musí být u převážně užívaných vznětových motorů, ale může být dimenzován úsporněji (Simanov, V., 1995).

Sekačky (štěpkovače) můžeme dělit podle několika kritérií.

1. Podle účelu použití, celkového technického řešení a začlenění do technologických linek v zásadě rozlišujeme štěpkovače stacionární a mobilní.

#### *Stacionární štěpkovače*

Sekací agregát, skládající se ze statoru a rotoru, je trvale zabudován do technologické linky na pevných základech. Před sekacím agregátem je v lince přísunové a podávací zařízení. Za sekacím agregátem je zařízení na odvod štěpky (potrubí nebo dopravník). K pohonu štěpkovače slouží elektromotor. Upravený sekací agregát stacionárních štěpkovačů se obvykle používá jako sekací agregát mobilních štěpkovačů (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

#### *Mobilní štěpkovače*

Pojízdné štěpkovače mají agregát namontován na podvozku, který je určen k přesunu štěpkovače. Naproti tomu převozní štěpkovače nemají sekací agregát trvale

zabudován na pevných základech ani namontovaný na podvozcích. Na pracoviště se převážejí jiným dopravním prostředkem (Kára, V., et al., 1997).

Z hlediska mobility rozeznáváme štěpkovače nesené na třibodovém závěsu hydrauliky zemědělských traktorů, štěpkovače na přívěsech tažených traktory, štěpkovače na terénních podvozcích (případně na podvozcích vyvážecích souprav), štěpkovače na automobilních podvozcích (případně přívěsech, návěsech) (Simanov, V., 1995).

## 2. Podle typu sekacího orgánu.

### *Diskové štěpkovače*

Jsou nejrozšířenějším a nejvýkonnějším zařízením na výrobu štěpky. Původně byly řešeny jako stacionární s průměrem disku od 1 000 do 2 000 mm, s počtem nožů od 2 do 16 a potřebným instalovaným příkonem až 500 kW. Štěpkovače byly řešeny tak, že dřevo šikmo klouzalo po žlabu k rotoru. Výkonnost těchto štěpkovačů je velmi vysoká: 250 až 300 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> při sekání rovnaného dřeva nebo krácených výřezů délky 2 až 4 metry. Na Obrázku 3.1 je schéma sekacího ústrojí diskového štěpkovače.

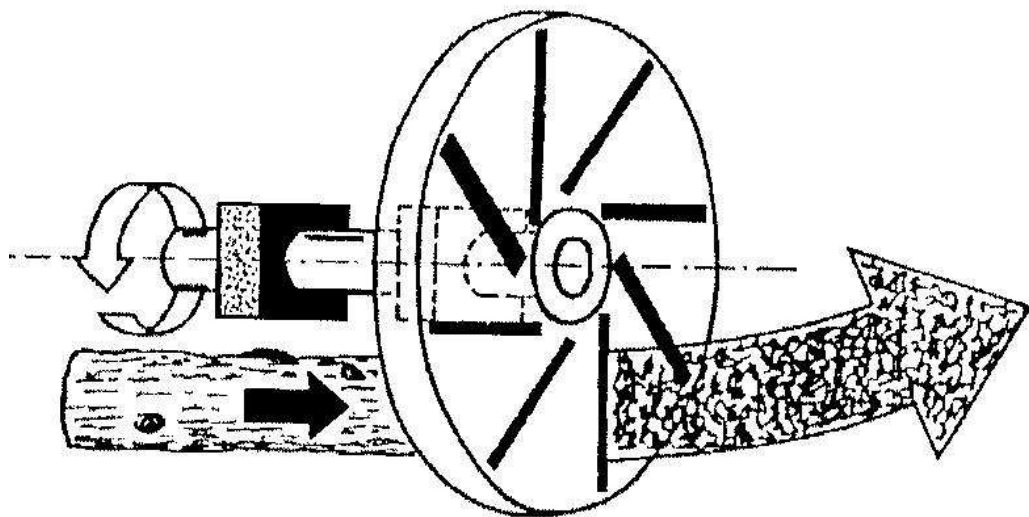
Výhody štěpkovačů s diskovým pracovním ústrojím:

- Obecně je možné považovat štěpku vyrobenou diskovými štěpkovači za kvalitnější než štěpku vyrobenou bubnovými štěpkovači.
- Umožňují sekát dřevo až do průměru 500 mm při přijatelném hmotnostním i pevnostním dimenzování.
- Velký setrvačný moment dovoluje zabudovat spalovací motor menšího výkonu s tím, že materiál se seká přerušováním podávání do té doby, než výkon motoru není dostatečný pro sekání vzhledem k tloušťce dřeva.
- Diskové štěpkovače nevyžadují zvláštní ventilátor, protože samotný disk vybavený lopatkami má velký vrhací a ventilační účinek, který zabezpečí dopravu štěpky do automobilů, příp. kontejnerů

Nevýhodami diskových štěpkovačů je to, že velikost vstupního otvoru je omezena poloměrem sekacího disku a že nejsou vhodné k sekání chaotického materiálu vzhledem k omezené velikosti vstupního otvoru (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

V současné době se ve světě vyrábějí diskové pojízdné štěpkovače dvojího provedení.

- Štěpkovače, jejichž rovina sekání je skloněna pod úhlem  $\alpha$  k ose dopravníku, se vyznačují konstrukcí sekacího zařízení, která vyvolává přímo sekacími noži sílu potřebnou ke vtahování dřeva k sekacímu rotoru. Uvedená síla má velký význam při vtahování a formování koruny stromů podávacím zařízením. Při řešení konstrukce to však má nevýhody, protože je třeba používat převodovku na překonání úhlu  $\alpha$  a uložení podávacího zařízení vychází velmi vysoko (Kára, V., et al., 1997).
- Štěpkovače, jejichž rovina sekání je kolmá na osu dopravníku a pootočená k ose dopravníku o úhel  $\beta$ , umožní i při velkých průměrech sekacího disku zmenšit celkovou výšku podávacího zařízení, pokud sekání probíhá ve spodní části disku. Pohon celého zařízení je jednodušší, protože úhel  $\beta$  je vytvořen v horizontální poloze a spalovací motor je uložen vodorovně, což je vyhovující. Konstrukce takového štěpkovače však má nevýhody v tom, že podávací zařízení musí být vybaveno vertikálními válci, které zachytí účinek sekacích nožů na vtahovací dopravník do vertikálních válců a protinůž musí být řešen v rovině horizontální i vertikální (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).



Pramen: (Kára, V., et al., 1997)

**Obrázek 3.1 – Schéma pracovního ústrojí diskového štěpkovače**

### *Bubnové štěpkovače*

Na rozdíl od diskových štěpkovačů jsou jejich sekací nože uloženy na obvodu rotujícího válce. Jsou konstruovány pro menší výkony a surovinu menších rozměrů. Používají se ke zpracování různého odpadu (např. v lesnictví k sekání chaotického materiálu) (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Velikost vstupního otvoru pro podávání materiálu lze relativně snadno zvětšovat prodlužováním válce a zvětšováním jeho průměru. Bubnové pracovní ústrojí štěpkovacího stroje je na Obrázku 3.2 (Simanov, V., 1995).

Bubnové štěpkovače mají tyto výhody:

- Celé sekací zařízení je menších rozměrů. Je možné konstrukčně lépe řešit celé rozložení agregátů na podvozku. Horizontální uložení osy bubnu umožňuje výhodnější řešení celkového pohonu, nejsou požadavky na použití kuželové převodovky pro vyrovnání úhlů osy sekacího zařízení a spalovacího motoru.
- Vzhledem k sekání pod osou sekacího bubnu a s přihlédnutím k poloměru bubnu je možné řešit vstupní dopravník níže než u diskových štěpkovačů.
- Jsou zvláště vhodné k sekání chaotického materiálu (větve po procesorech) – pro možnost vytvořit velký vstupní otvor při optimálním poloměru bubnu a jeho délky.

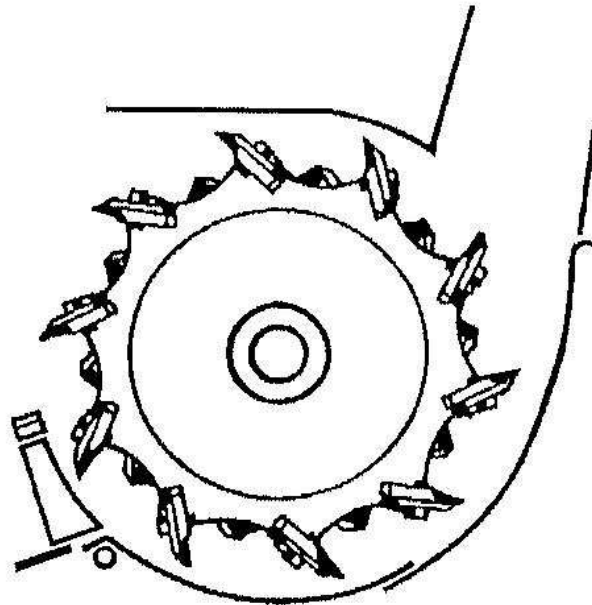
Nevýhody bubnových štěpkovačů jsou tyto.

- Vzhledem k celkovému konstrukčně-pevnostnímu řešení sekacího agregátu a jeho malému setrvačnickému momentu nejsou vhodné k sekání dřeva větší tloušťky.
- Úhel řezu se v době seku mění od maximální po minimální. To má velký vliv na kvalitu štěpky, její tloušťka velmi kolísá, proto je její použití jako technologické štěpky nevhodné.
- Sekací buben má velmi malý ventilační účinek a vrhací je téměř nulový. Proto je třeba montovat ventilátor pro dopravu štěpky z bubnu do zásobníku nebo kontejneru (Kára, V., et al., 1997).

### *Šroubové štěpkovače*

Šroubové štěpkovače jsou jednoúčelové stroje určené k sekání tenkých stromků a kmínků, o velikosti okolo 10 × 10 cm na palivovou štěpku s tloušťkou okolo 1 cm (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004). Sekací orgán má tvar šroubovice se stoupajícím

průměrem. Šroubovice se při otáčení postupně zařezává do dřeva a zároveň vtahuje dřevo k většímu průměru. Protože pro lesní hospodářství jsou většinou aktuální jen pojízdné štěpkovače, budeme se dále zabývat pouze kritérii pro klasifikaci těchto sekaček (Příhoda, J., 2008).



Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004)

**Obrázek 3.2 – Schéma pracovního ústrojí bubnového štěpkovače**

### 3. Podle způsobu dávkování dřeva do štěpkovače.

#### *S ručním dávkováním dřeva*

Pro sekání tenkého odpadového dříví menších objemů. Nasekaná štěpka se využívá pro vlastní technologické účely (např. cihlářský průmysl), k energetickým účelům, někdy také jako náhrada mulčovací kůry (Příhoda, J., 2008).

#### *S mechanickým dávkováním dřeva*

Dávkovací zařízení je obvykle hydraulická ruka, která je umístěna na stejném podvozku jako štěpkovač nebo na traktoru a může tak být ovládána z kabiny traktoru. Štěpkovače jsou obvykle vybaveny elektronickou pojistkou proti přetížení, kdy v případě přetížení motoru dojde k blokaci přísunu materiálu do té doby, než je předešlý materiál zpracován a rotor získá potřebné otáčky (Vyslyšel, K., et al., 2007).

4. Podle způsobu podávání zpracovávaného materiálu.

#### *Štěpkovače bez podávacího zařízení*

Dřevo je do sekacího agregátu podáváno vtahovacím účinkem sekacích nožů. Mohou se použít jen na sekání dřeva bez větví (tyčovina, kmínky, aj.).

#### *Štěpkovače s mechanickým podávacím zařízením*

Pro podávání slouží soustava podávacích válců, nebo řetězový dopravník s válci. Technické řešení podávacího zařízení limituje použitelnost štěpkovače na sekání různých druhů surovin (Kára, V., et al., 1997).

5. Podle způsobu pohonu sekacího agregátu a ostatních agregátů.

#### *S pohonem od motoru báze stroje*

Obyčejné štěpkovače s menším výkonem na sekání tenkého dřeva.

#### *S pohonem od separátního motoru*

Obvykle výkonnější štěpkovače na sekání koncentrovaných zbytků po těžbě, korunových částí stromů nebo celých stromů (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

6. Podle celkového technického řešení, uspořádání a umístění agregátů.

#### *Štěpkovače zavěšené na tříbodový závěs univerzálního traktoru*

Štěpkovače přívěsné za traktory. Někteří výrobci nabízejí štěpkovače, které ve spojení se silným univerzálním traktorem poskytují vysokou výkonnost, dříve nabízenou pouze u štěpkovačů se samostatným spalovacím motorem (Vyslyšel, K., et al., 2007).

Štěpkovač je poháněn pomocí kardanového hřídele od motoru traktoru. Příklad diskového neseného štěpkovače je uveden na Obrázku 3.3 (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

#### *Přívěsné štěpkovače za traktor*

Řešení i použitelnost jsou jako u štěpkovačů na tříbodový závěs univerzálních traktorů. Některé štěpkovače agregované s traktory vyšších výkonových tříd jsou vybavené hydraulickými rukama s podávacím zařízením. Obrázek 3.4 představuje zástupce přívěsných štěpkovačů. (Kára, V., et al., 1997).

### *Štěpkovače na samostatném podvozku*

Pracují bez nutnosti připojení k vozidlu. Stroje se samostatným pohonem, vybavené dálkovým ovládním základních prvků a často s vkládáním vstupního materiálu externím strojem. Obrázek 3.5 bubnový štěpkovač na samostatném podvozku (Vyslyšel, K., et al., 2007).

### *Štěpkovače umístěné na podvozcích nákladních automobilů a návěsů*

Je to skupina nejvýkonnějších štěpkovačů určených k sekání větví, kmenů a celých stromů na odvozních místech. Většinou mají vlastní pohon technologické nástavby samostatným motorem. Nasazení těchto štěpkovačů vyžaduje důkladné vyřešení návaznosti kácení a přibližování dřeva ke štěpkovači a plynulého odvozu nasekané štěpky, aby se špatnou organizací práce nesnižovala využitelnost. Důležité je rovněž hledisko dostatečné koncentrace dřeva alespoň na jednu pracovní směnu bez přesunů štěpkovače. Na Obrázku 3.6 je vyobrazen štěpkovač umístěný na podvozku nákladního automobilu (Kára, V., et al., 1997).

### *Štěpkovače umístěné na podvozcích speciálních lesních traktorů (vyvážecích souprav)*

Jsou určeny k sekání dřeva přímo na těžebním místě nebo na přibližovací lince. Mohou také pracovat na odvozních místech. Hlavní pracovní uzly (sekací agregát a podávání dřeva) jsou konstruovány tak, aby byly vhodné hlavně k sekání větví, vršků i ostatních zbytků po těžbě. Jsou vybaveny hydraulickou rukou a většinou separátním motorem k pohonu technologické nástavby. Většina z nich má kontejner, do kterého je štěpka pneumaticky dopravována při práci na těžebním místě nebo přibližovací lince. Po naplnění kontejneru vyveze stroj štěpku na odvozní místo a přesype ji na korbu nákladního automobilu nebo do velkokapacitního kontejneru, popř. uloží na meziskládku. Příklad štěpkovače umístěného na podvozku vyvážecí soupravy je vidět na Obrázku 3.7 (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).



Pramen: (Plevka, V., 2006)

**Obrázek 3.3 – Nesený diskový štěpkovač FARMÍ 380**



Pramen: (Plevka, V., 2007)

**Obrázek 3.4 – Přívěsný bubnový štěpkovač BOBR 7**





Pramen: (Jensen, 2010)

**Obrázek 3.5 – Bubnový štěpkovač Jensen 410 na samostatném podvozku**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 3.6 – Štěpkovač JENZ umístěný na podvozku nákladního automobilu**



Pramen: (Merimex s.r.o., 2010)

**Obrázek 3.7 – Štěpkovač EC-10075 umístěný na podvozku vyvážecí soupravy**

### 3.3.3 Drtiče

Drtiče jsou určeny k úpravě rozměrů dřeva, které není možné sekat štěpkovači. Jedná se o dřevo drobné, mimořádně netvárné (křoviny apod.), znečištěné (pařezy, stavební odpad) (Kára, V., et al., 1997).

Znečištění mechanizovaným shrnováním klestu na pasekách, kde se mezi vlastní biomasou dostává i značné množství nečistot, zejm. písku, hlíny a kamenů či jiných tvrdých předmětů, je pro štěpkovače limitujícím činitelem, protože dochází k poškozování ostrých nožů a je nutná jejich častá výměna. Proto jsou štěpkovače v některých technologických postupech nahrazovány drtiči, jež mají na rotoru místo pevně umístěných ostrých břitů, pohyblivě nebo pevně umístěná kladiva. Pohyblivě umístěná kladiva při nárazu na tvrdý předmět mění svou polohu a snižují tak riziko poškození (Vyslyšel, K., et al., 2007).

Kladiva mohou být opatřena výměnnými hranami nebo jsou bez ostrých ploch speciálně tvarována pro drcení. Drtiče jsou umístěny na návěsných, přívěsných kolových podvozcích nebo na samostatných pásových podvozcích, které jim dovolují pohyb přímo v terénu. Vstupní materiál je čelním nakladačem nebo hydraulickou rukou, která může být součástí drtiče, nakládán na dopravníkový pás. Materiál je dopravován k podávacímu válci, jenž je umístěn na pohyblivých ramenech. Tato konstrukce umožňuje přizpůsobení se pro podávání různých objemů a velikostí vstupního materiálu. Vlastní drcení probíhá účinkem kladiv na rotoru. Za rotorem s kladivy je

obvykle umístěn třídící (dodrcovací) koš, určující velikost výsledné frakce (Příhoda, J., 2008).

Podle rychlosti otáčení pracovního orgánu dělíme drtiče na pomaloběžné, rychloběžné a kombinované.

#### *Pomaloběžné drtiče*

Jsou určeny hlavně k drcení rozměrově nehomogenního odpadu z nábytkářské výroby. Činným orgánem je obvykle válec, po jehož obvodu jsou spirálovitě rozmístěné nožičky různých tvarů (hranaté, trojúhelníkové). Podle tvaru nožů je tvarován i protinuž. Podle počtu rotujících válců jsou drtiče jednoválcové nebo dvouválcové.

Dvouválcové drtiče mohou být i bez protinožů, se směrem otáčení válců proti sobě. K homogenizaci dřeva z lesa nejsou tyto drtiče příliš vhodné.

Pomaloběžné drtiče jsou určeny pro zpracování materiálu podélně uloženým rotorem se zuby, které materiál protlačují přes hydraulicky jištěný hřeben. Tyto stroje mohou být řešeny jako stacionární nebo mobilní. Příklad pomaloběžného drtiče a funkčního schéma je uveden na Obrázku 3.8 a 3.9 (Some, 2009).

#### *Rychloběžné drtiče*

Mohou být nasazeny na zpracování zbytků dřeva po těžbě. Podle tvaru drtícího orgánu je můžeme rozdělit na diskové a bubnové.

Disk diskových drtičů je umístěn vertikálně s malými nožičky instalovanými v čelní ploše disku. Dřevo k disku přitlačuje hydraulicky ovládaná protilehlá stěna. Tyto drtiče jsou vhodné na drcení pařezů, kusového odpadu, těžebního odpadu a podobných surovin.

Pracovní orgán bubnových rychloběžných drtičů může být vybaven spirálovitě rozmístěnými noži nebo kladívky. Drtiče vybavené noži jsou vhodné na drcení větví, kusového odpadu apod., drtiče opatřené kladívky je vhodné využít na drcení tenkých větví, křovin, kůry a podobných materiálů (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

Rychloběžné drtiče jsou vybaveny rychle se otáčejícím rotorem s volně uloženými kladivy. Velikost výstupního materiálu je možné volit použitím celé řady dodrcovacích košů s různou velikostí otvorů (50-280 mm). Tyto drtiče jsou vhodné pro zpracování bioodpadů, starého dřeva, palet, zahradních a parkových odpadů, ořezů ze stromů, atd. Příklad rychloběžného drtiče a funkčního schéma je uveden na Obrázku 3.10 a 3.11 (Some, 2009).

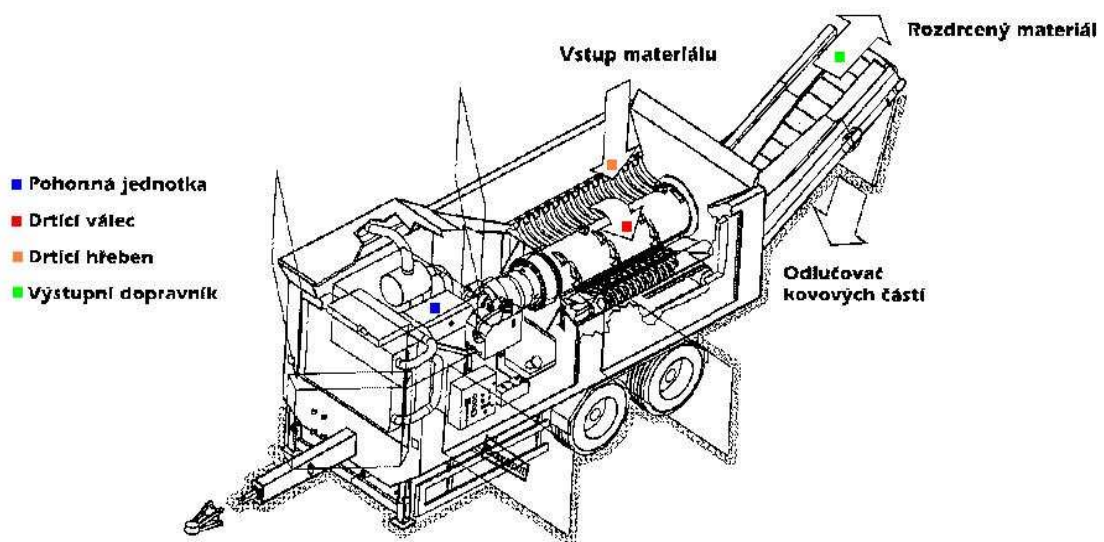
### *Kombinovaný drtič (kombi drtič)*

Tento stroj kombinuje výhody pomaloběžného a rychloběžného drtiče do jednoho zařízení. Díky tomuto spojení lze na vstupu zpracovávat hrubý materiál a na výstupu získat menší frakci podrceného materiálu. Drtič může být vybaven i magnetickými separátory kovových příměsí. Příklad kombi drtiče a funkčního schéma je uveden na Obrázku 3.12 a 3.13 (Some, 2009).



Pramen: (Some, 2009)

**Obrázek 3.8 – Pomaloběžný drtič Doppstadt DW 2560**



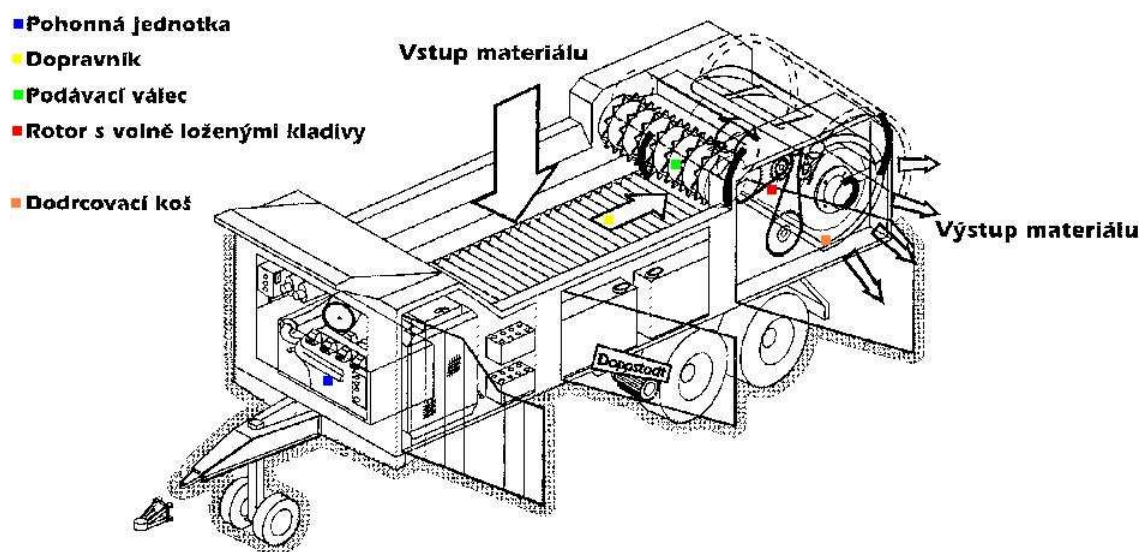
Pramen: (Some, 2009)

**Obrázek 3.9 – Schéma pomaloběžného drtiče**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 3.10 - Rychloběžný drtič Doppstadt AK 450**



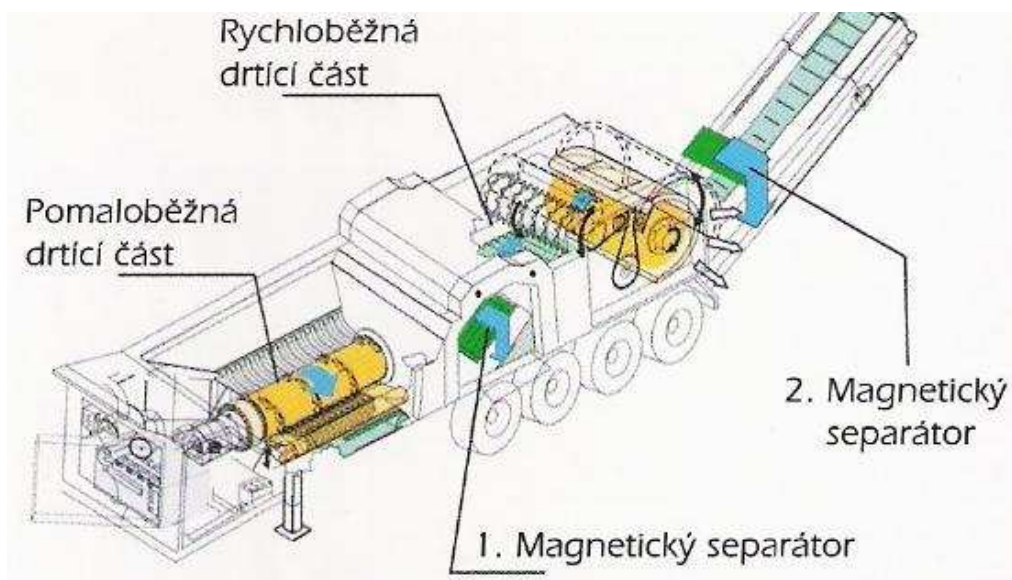
Pramen: (Some, 2009)

**Obrázek 3.11 – Schéma rychloběžného drtiče**



Pramen: (Some, 2008)

**Obrázek 3.12 – Kombinovaný drtič Doppstadt DZ 750**



Pramen: (Some, 2009)

**Obrázek 3.13 – Schéma kombinovaného drtiče**

### 3.3.4 Zařízení na pakování

Svazkovače těžebních zbytků neboli pakovací stroje, balíkovače vznikly jako reakce na zvýšený zájem o využívání biomasy v severských zemích. Podle dostupných informací vyrábí svazkovací jednotky firmy John Deere, Timberjack, Valmet a Pinox a všechny pracují na podobném principu. Popsán bude svazkovací stroj John Deere, který pracuje i v České republice.

John Deere 1490D sbírá klest a dřevní odpad, vzniklý po těžbě a zakládá ho do svazkovací jednotky, v níž je dřevní hmota lisována a svazkována do kompaktních balíků. Proces balení je průběžný bez omezení délky. Každý takto vytvořený balík nabízí přibližně 1 MWh energie (balík o délce 3,2 metru). V porostu o velikosti plochy 1 ha může být vyrobeno 100-150 balíků s průměrnou hodinovou výkonností 20–30 balíků (v podmínkách skandinávských zemí) (Příhoda, J., 2008).

Proces lisování je zcela automatický, operátor musí pouze umístit materiál hydraulickou rukou na podávací stůl. Svazkovací jednotka se skládá ze dvou pevných lisů a jednoho pohyblivého lisu. Lisováním je objem materiálu zredukován na cca 20 % původního objemu. Lisovací tlak je nastaven tak, aby byly vyráběny kompaktní balíky bez poškození materiálu. Balík je posouván pohyblivým lisem a strojem pevně vázán tak, že se motouz po uvolnění lisu napne. Parametry (například délka balíků, odstup mezi vinutím motouzu a kompresní intervaly) jsou nastavovány pomocí palubního počítače, který vyhodnotí, kolik vinutí je zapotřebí, aby balíky vykazovaly potřebnou pevnost pro nakládání a transport. Objem balíku činí dle materiálu 0,7-0,8 m<sup>3</sup>. Svazkovač je umísťován na podvozek vyvážecí soupravy v 6 nebo 8 kolové verzi. Výrobce uvádí náklady na výrobu balíků ve výši 3 % získané energie.

Svazkovače těžebních zbytků jsou v největší míře provozovány ve Finsku, v menší míře i v dalších zemích. Na Obrázku 3.14 je paketovací lis (Vyslyšel, K., et al., 2007).



Pramen: (Merimex s.r.o., 2010)

**Obrázek 3.14 – Paketovací stroj John Deere 1490D**

### 3.3.5 Kompresní sběrače

Dalším trendem v soustředování těžebních zbytků je zvětšení kapacity vyvážecích traktorů a vyvážecích souprav. Při používání standardních typů nedochází k využití užitečné nosnosti. Hustota těžebních zbytků se pohybuje v rozmezí 80 až 150 kg.m<sup>-3</sup>. Pro zvýšení produktivity se provádějí úpravy – zejména zvětšování ložného prostoru. Existují prototypy strojů, kde se klanice od sebe vzdalují hydraulicky. Další řešení pro přepravu těžebních zbytků zefektivňuje soustředování nejen zvětšeným ložným prostorem a kompresí, ale také možností klest vyklopit. Na Obrázku 3.15, 3.16 a 3.17 můžeme vidět některé typy vyvážečů klestu (Vyslyšel, K., et al., 2007).



Pramen: (Merimex s.r.o., 2010)

**Obrázek 3.15 – Kompresní sběrač John Deere PC-48**



Pramen: (Vyslyšel, K., et al., 2007)

**Obrázek 3.16 – Přívěs Havu-Hukla**



Pramen:(Vyslyšel, K., et al., 2007)

**Obrázek 3.17 – Nástavba na forvarder**



### 3.3.6 Zařízení na peletování a briketování

#### *Systémy tvarovacích zařízení*

- Pístové hydraulické nebo mechanické lisы jednorázové s průměrem briket 50 až 60 mm, univerzální na slámu, piliny, papír, aj. Výkonnost je kolem  $250 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ . Zpravidla se kombinuje jeden drtič se dvěma lisy. Celkový příkon linky je kolem 50 kW a výkonnost celé linky do  $0,5 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ .
- Šnekové lisы jedno-vřetenové nebo dvou-vřetenové s příkonem 50 kW a výkonností kolem  $0,5 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ , s nutným pomocným zařízením kolem 70 kW. Brikety ze šnekových lisů se vyznačují vysokým stupněm stlačení a velkou trvanlivostí. Vhodné pro lisování pilin.
- Protlačovací, granulační lisы, odvozené od granulačních lisů na výrobu tvarovaných krmiv na bázi slámy. Rozlišují dva typy lisů, s kruhovou, vertikální matricí a horizontální deskovou matricí (Kára, V., et al., 1997).

### 3.4 Přehled používaných a zkoušených metod sklizně RRD

Pokud předpokládáme pěstování rychle rostoucích dřevin na mnohohektarových plantážích, musíme také uvažovat o jejich efektivní sklizni. Od určité plochy již není možné sklízet topoly za pomoci křovinořezu, několika pracovníků a diskového štěpkovače (Vyslyšel, K., et al., 2007).

Univerzita pro kultury půdy ve Vídni se věnovala výzkumu technologie sklizně RRD a ověřovala malovýrobní způsoby těžby ručně motorovou pilou. Musela je jako neperspektivní z důvodu malé výkonnosti, vysokých nákladů na pracovní síly a zdravotní škodlivosti obsluhy ruční motorové řetězové pily zamítnout, resp. pro velkovýrobu nedoporučit (Sladký, V., 1996).

Správné nasazení mechanizace je důležitým předpokladem rentability produkce. Podle zahraničních zkušeností tvoří náklady na sklizeň RRD 30 až 60 % celkových nákladů a určují tak z velké části cenu štěpky.

Základní způsoby těžby RRD dělíme na: *kmenový, svazkový, štěpkový*.

#### *Metoda kmenových výřezů*

Získání kulatiny vyžaduje minimálně desetiletou obmýtní dobu. V tomto případě je nasazována lesnická technika. Jedná se o ruční motorovou řetězovou pilu případně malé harvestory.

### *Svazková metoda*

Při svazkové metodě jsou jednotlivé stromy nebo výhony dřevin jedním pracovním úkonem skáceny a sebrány. Vznikají volně ložené nebo drátem či svazkovou přízí ovíjené svazky.

### *Metoda štěpkování*

Slibně vypadají upravené stroje na sklizeň cukrové řepy od firmy Austoft/Case (Austrálie) a speciální řezačky německých firem Claas a HTH. Perspektivní se jeví i montáž čelně nesených sekacích a štěpkovacích strojů před traktor (Vyslyšel, K., et al., 2007).

Ve světovém vývoji se rýsují dvě odlišné vývojové tendence v technologii sklizně a zpracování rychle rostoucích dřevin k energetickým účelům (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

### *Metoda pořezání a snopkování*

Může být provedeno manuálně nebo mechanizovaně. V prvním případě se provádí ruční pořezání stromů křovinořezem a manuální přesun na okraj plantáže. Při větších plochách je pro praktickou realizovatelnost sklizně nutné použít přídatné zařízení za traktor (např. upravenou traktorovou pilu pro podřezání stromků) nebo specializovaný sklízecí stroj, který podřezává v dané výšce kmeny a spojuje je do snopků. Biomasa se buď ponechá na okraji plantáže nebo se hned odváží na místo konečného zpracování. Po vyschnutí na vzduchu (1-3 měsíce) je sklizená biomasa štěpkována. Štěpka je dostatečně suchá (20-30 %), energeticky velmi vydatná a je vhodná i pro spalování v topeništích s nižším až středním výkonem. Tento způsob je náročnější na manipulaci, ale stroje jsou jednodušší (univerzální) (Weger, J., Havlíčková, K., et al., 2003).

### *Pořezání a štěpkování*

Tento způsob využívá většinou samojízdné, ale i tažené sklízecí stroje schopné okamžité výroby dřevní štěpky přímo na poli. Ta má vyšší vlhkost, ale je snadněji manipulovatelná a dopravovatelná. Pro spalování této štěpky jsou vhodná velká topeniště nad 1 MW (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

### 3.4.1 Přehled strojů využitelných pro sklizeň RRD

#### *Samojízdná sklízecí řezačka*

Upravená sklízecí řezačka CLASS JAGUAR s dvouřádkovým sklizňovým adaptérem, oddělovači bočního porostu, vertikálními a horizontálními podávajícími válci a vkladačem kmínku do upraveného řezacího ústrojí s polovičním počtem nožů. Dvouřádkové odřezávací rotační ústrojí pro topoly do 5 let stáří (do 8-10 cm průměru) vybavené dvěma okružními pilami, které jsou protiběžné. Zpracovává samostatné kmínky nebo keřovitý porost. Musí být vyřešeny dva problémy: buď dosušení velmi vlhké surové štěpky, nebo způsoby využití vlhkého paliva v kotelnách (Sladký, V., 1996).

Biomasa může být sklízecí řezačkou dopravována do přívěsů nebo návěsů, které mohou být taženy přímo samojízdou sklízecí řezačkou nebo vedle jedoucím energetickým prostředkem. Jako jedna z perspektivních metod se jeví nasazení kontejnerové přepravy, kdy po plantáži je návěs s kontejnerem tažen např. kolovým traktorem a na okraji plantáže je kontejner natáhnut na nákladní automobil, který zajistí přepravu po pozemní komunikaci na delší vzdálenosti (Verani, S., et al., 2008).

Výkonnost se pohybuje okolo 25 t.h<sup>-1</sup> (přepočteno na obsah vody 13 %) se sklízecím adaptérem Biomass Europa a s předpokládanou spotřebou 50 l.ha<sup>-1</sup>. Na Obrázku 3.18 je samojízdná sklízecí řezačka se speciálním adapterem pro sklizeň RRD, jehož detail je vidět na Obrázku 3.19 (Havlíčková, K., et al., 2008).

#### *Čelně nesený adapter pro sklizeň RRD na předním závěsu traktoru*

Čelně nesený odřezávací štěpkovač na předním závěsu traktoru (na Obrázku 3.20) poháněný od přední vývodové hřídele traktoru. Jako energetický prostředek je třeba použít traktor s výkonem přes 85 kW. Odhoz hrubé štěpky je zajištěn metačem a transportní rourou s usměrňovací koncovkou (Sladký, V., 1996).



Pramen: (Vyslyšel, K., et al., 2007)

**Obrázek 3.18 – KRONE BiG X upravený pro sklizeň RRD**



Pramen: (Verani, S., et al., 2008)

**Obrázek 3.19 – Detail sklizňového adaptéru řezačky Claas Jaguar**

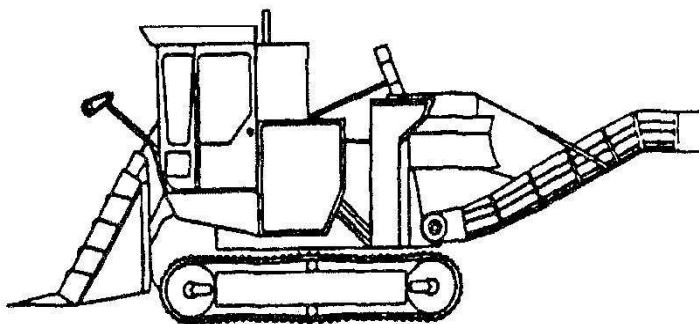


Pramen: (Vyslyšel, K., et al., 2007)

**Obrázek 3.20 – Přídavný adapter na traktor s možností kácení a štěpkování**

### *Sklízeč cukrové třtiny upravený na sklizeň RRD*

System AUSTOFT 7700 (Obrázek 3.21), samojízdný na pásovém podvozku nebo kolech. Odřezávací zařízení tvoří dvě překrývající se okružní pily. Rotační oddělovací válce a šneky, vkladače odříznutých kmínků nebo keřů do kolové řezačky se dvěma noži. Nesený zásobník štěpky, vyprazdňování řetězovým dopravníkem. Tento stroj může zpracovávat kmínky topolů a pruty vrb do věku 2-5 let. Sklízí jednu nebo dvě řady najednou. Rozteč řad od 1,4 m, podvozek samojízdný, motor o výkonu 176 kW. Délka štěpky střední – od 20 do 60 mm (Sladký, V., 1996).



Pramen: (Sladký, V., 1996)

**Obrázek 3.21 – Sklízeč cukrové třtiny upravený na sklizeň RRD**

### *Snopkovací sklízeč*

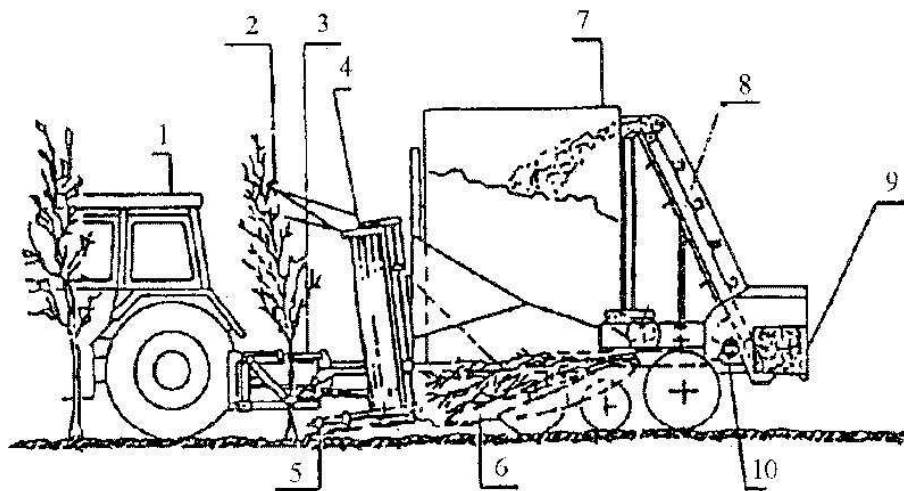
Ve Velké Británii existuje sklizňový agregát připojený za traktor, kterým je zajištěn tento technologický postup:

- odříznutí dřevin v délce 3 až 6 metrů, jejich „snopkování“ (tj. vázání do balíků) a odvoz těchto svazků na kraj pole.
- Štěpkování předsušených dřevin na kraji pole nebo jejich následný odvoz na další zpracovatelské místo.
- Štěpkování může následovat mobilním nebo stacionárním strojem ihned po sklizni, nebo až za nějakou dobu.

Jednořádkový sklízeč ze Skotska nazývaný LOUGHRY je opatřen okružní vodorovnou pilou s příčným vázacím ústrojím schopným svazovat až třítunové svazky stromků. Dosahovaná denní výkonnost je okolo 0,7 ha.

### *Závěsný sklízeč RRD na podvozku univerzálního nosiče nářadí*

Irský prototyp na sklizeň „polního dříví“ (Obrázek 3.22) je koncipován jako závěsný na podvozku univerzálního nosiče nářadí. Odříznuté dřeviny jsou dopravními řetězy po uvedení do horizontální polohy vkládány do štěpkovače, jehož metač vyhazuje vyrobenou štěpku do zásobníku neseného na stroji (Sladký, V., 1996).



Pramen: (Sladký, V., 1996)

*Legenda: 1 – Kolový traktor, 2 – Odřezávaný kmínek, 3 – Řídicí ústrojí, 4 – Vertikální usměrňovací válce odříznutých dřevin, 5 – Odřezávací ústrojí, 6 – Řetězový dopravník, 7 – Vysokozdvíhný překlápěcí zásobník štěpky, 8 – Dopravník štěpky, 9 – Štěpkovač, 10 – Vkladač kmínků do štěpkovače.*

**Obrázek 3.22 – Irský závěsný sklízeč a štěpkovací stroj RRD s neseným vysokozdvíhným zásobníkem**

### *Pásový samojízdný sklízeč RRD ze Švédska*

Švédští výzkumníci vyvinuli kombinovaný sklízecí stroj pozůstávající z odřezávače, štěpkovače a zásobníku, který byl ověřován v zimě 1991/92 na plantážích energetické vrby. Jedná se o samojízdný stroj na pásovém podvozku, který má za sebou kontejner umístěný také na pásovém podvozku. Dvouřádková varianta stroje je vyobrazena na Obrázku 3.23 (Sladký, V., 1996).

### *Francouzské kácecí a těžební stroje SIFER 725, SIFER 103*

Jedná se o kácecí a těžební stroje odkládající pořezané kmínky do řady podél a napříč do sklizené řady (Kára, V., et al., 1997).

### *Systémy sklizně plantáží v Severní Americe:*

#### *Skladový systém na okraji plantáže*

Systém vícefázové sklizně s nasazením harvestoru (Obrázek 3.23), čelního nakladače (Obrázek 3.24) a stacionární štěpkovací linky (Obrázek 3.25). Harvestorový speciál pro těžbu stromů z plantáží podřezává stromy po okraji sklizeného bloku plantáže. Podříznuté stromy ukládá do klanic umístěných na harvestoru. Po naplnění vytvoří deponii vyložením celých stromů a pokračuje v činnosti. Tuto deponii naloží čelní nakladač a přemístí ji ke stacionárnímu štěpkovači na okraji pozemku. Transportní vzdálenost je do 300 m, pak je zapotřebí převézt stacionární štěpkovač blíže místu sklizně. Štěpky jsou foukány do přistavených návěsů kamionů. Tato metoda sklizně je v Severní Americe používána od počátku sklizní plantáží a pro svou jednoduchost bude využívána i nadále.

#### *Centrální skladový systém*

Jedná se o systém vícefázové sklizně. Harvestorový speciál (Obrázek 3.26) pro těžbu stromů z plantáží podřezává stromy po okraji sklizeného bloku plantáže. Podříznuté stromy ukládá do zapřaženého přívěsu mezi vysoké klanice. Po naplnění přívěsu stromy z plantáže v celé délce odveze přívěs do vzdálenosti 200 m k vozovce, kde jej odpojí. Tento naplněný přívěs u silnice zapřáhne tahač (Obrázek 3.27), který zajistí přepravu do centrálního skladu vzdáleného do 5 km. Zde je možno stromy rozdělit na sortimenty. Materiál určený ke štěpkování je foukán do zásobníků, ze kterých mohou být kontinuálně plněny tahače na přepravu štěpky (Verani, S., et al., 2008).



Pramen: (Verani, S., et al., 2008)

**Obrázek 3.23 – Harvestorový sklízeč dřevin**



Pramen: (Verani, S., et al., 2008)

**Obrázek 3.24 – Čelní nakladač při manipulaci se snopkem dřevin**



Pramen: (Verani, S., et al., 2008)

**Obrázek 3.25 – Stacionární štěpkovací linka na okraji sklizené plantáže**





Pramen: (Verani, S., et al., 2008)

**Obrázek 3.26 – Harvesterový speciál s připojeným přívěsem**



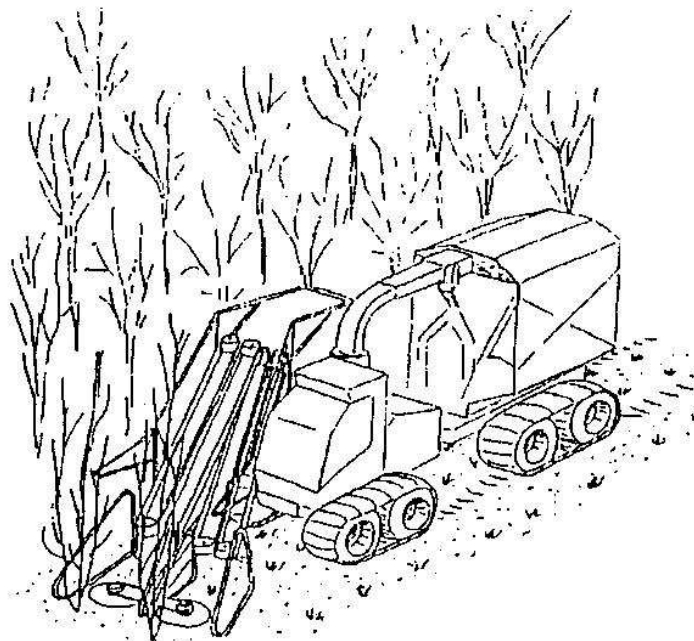
Pramen: (Verani, S., et al., 2008)

**Obrázek 3.27 – Nákladní automobil s připojeným přívěsem**

V roce 1992 byly ve Švédsku sklizeny i pětileté porosty vrby, kromě jiného také upravenými sklízeči na kukuřici nebo cukrovou třtinu a sklízeči, které vážou odříznuté proutí do snopů. Podobný kanadský sklízeč je na Obrázku 3.28. Snopky se odkládají na pozemku a odvázejí lesními vyvážecími soupravami nebo dopravními prostředky s instalovanou hydraulickou rukou.

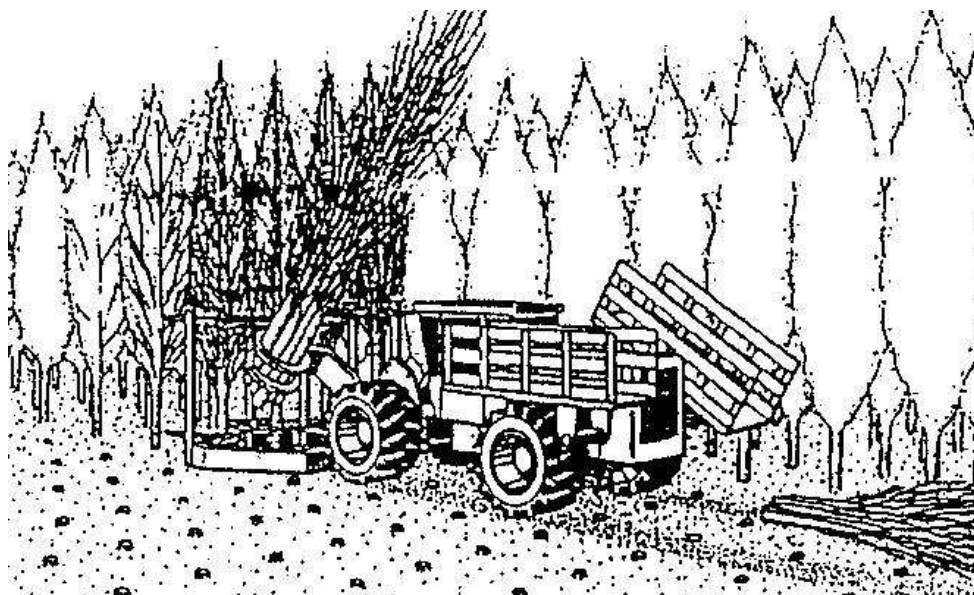
V ČR jsou vyvíjeny jednořádkové stroje nesené na univerzálním kolovém traktoru První je určen k podřezávání a štěpkování rychle rostoucích dřevin přímo na poli – Obrázek 3.29. Druhý stroj podřezává kmeny a váže je do otepí se současnou

nakládkou na dopravní soupravu – Obrázek 3.30. Oba stroje mohou sloužit jak na sklizeň vrby, tak i topolu (Kára, V., et al., 1997).



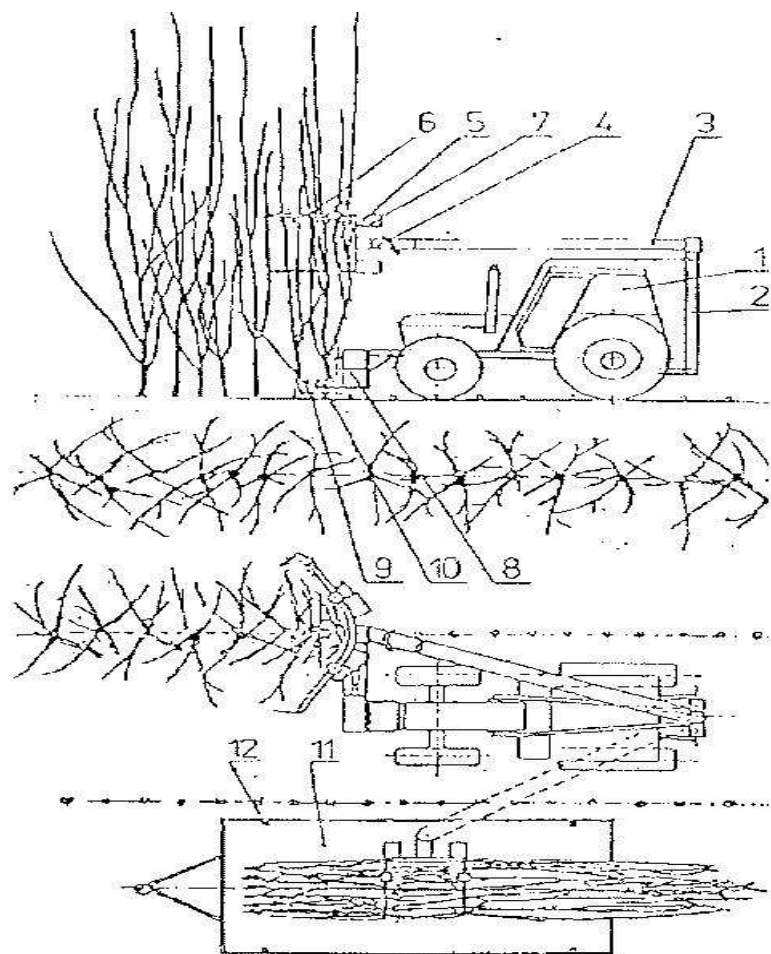
Pramen: (Kára, V., et al., 1997)

**Obrázek 3.23 – Švédský dvouřádkový plně mechanizovaný sklízeč RRD s přívěsem**



Pramen: (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004).

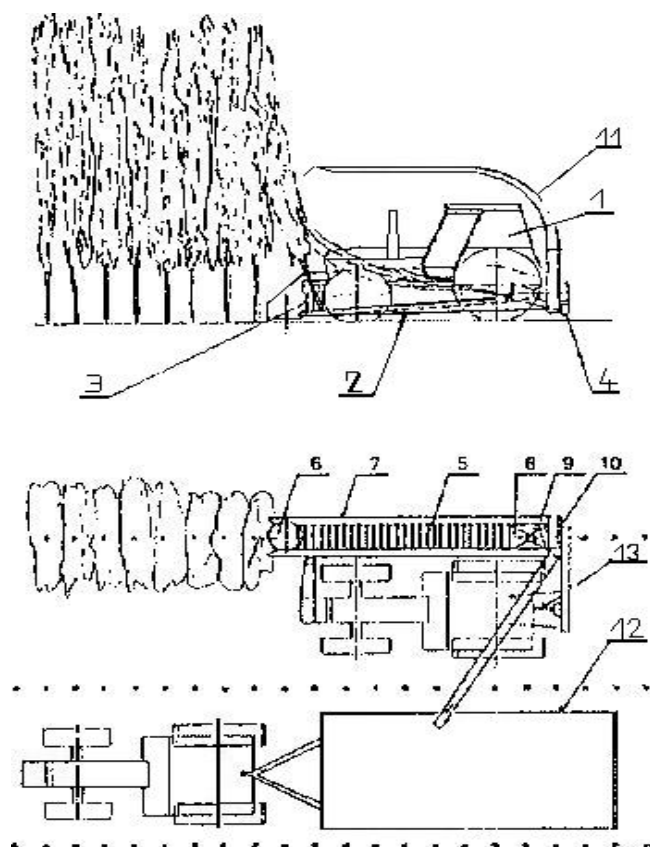
**Obrázek 3.28 – Kanadský samojízdný sklízecí a snokovací stroj RRD**



Pramen: (Moudrý, J., Stražil, Z., 1999)

\*Legenda: 1 – Kolový traktor, 2 – Svislý sloup, 3 – Teleskopické rameno, 4 – Kloubový mechanis., 5 – Drapák, 6 – Ramena drapáku, 7 – Vázací ústrojí, 8 – Plošina, 9 – Okružní pila, 10 – Hydromotor, 11 – Přepravník, 12 – Klanice.

**Obrázek 3.29\*** - Technologie sklizně s vázáním do otepí



Pramen: (Moudrý, J., Stražil, Z., 1998)

*Legenda: 1 – Kolový traktor, 2 – Rám, 3 – Přední závěs, 4 – Závěs traktoru, 5 – Žlab dopravníku, 6 – Okružní pila, 7 – Příčkový dopravník, 8 – Vkládací vstup, 9 – Štěpkovač, 10 – Metač, 11 – Výmetná koncovka, 12 – Převavní prostředek, 13 – Vývodový hřídel.*

**Obrázek 3.30 - Technologie sklizně se štěpkováním**

### 3.4.2 Specifika transportu klestu a štěpek

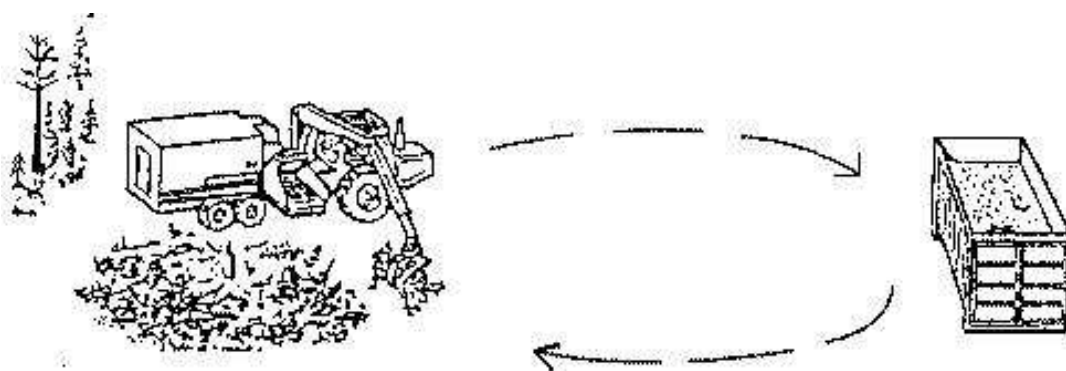
Při štěpkování chaoticky uspořádaného materiálu převládá názor, že ten je nejlépe štěpkovat terénními štěpkovači co nejbliže místa jeho vzniku a již homogenizovaný materiál (štěpky) dále transportovat v zásobníku terénního štěpkovače (Obrázek 3.31), nebo samostatným terénním dopravním prostředkem (Obrázek 3.32), a tak co nejlépe využít ložný prostor dopravních prostředků.

Praxe však názor o vhodnosti štěpkování materiálu na místě jeho vzniku nepotvrzuje. Koncentrace materiálu ke štěpkování nebývá na těžební ploše tak veliká, aby umožnila plné využití technické výkonnosti štěpkovače. Jeho přejížděním

a ustavováním do pracovní polohy vznikají velké časové ztráty strojového času, a tím dochází k markantnímu poklesu jeho výkonnosti.

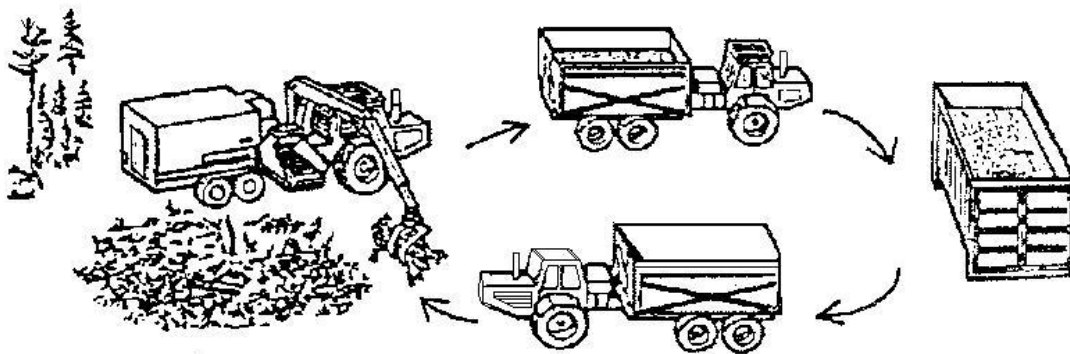
Ani přeprava štěpek místo klestu není tak jednoznačně výhodnější. Hustota volně nasypáných, neseťresených štěpek je asi  $194 \text{ kg.prm}^{-1}$ . Při experimentech zjištěná průměrná hustota klestu loženého a hutněného drapákem hydraulické ruky sortimentní vyvážecí soupravy činila  $173,55 \text{ kg.prm}^{-1}$ . Z tohoto zjištění vyplývá, že objemové využití ložného prostoru klestem může být téměř srovnatelné s objem. využ. ložného prostoru štěpkami, resp. že z hlediska ekonomiky provozu může být ztráta přepravních kapacit překryta zvýšenou výkonností štěpkovače na odvozním místě.

Vzhledem k vysokým hmotnostem štěpkovačů na terénních podvozcích, jejich nízké svahové dostupnosti, bude použití technologií se štěpkováním u komunikace univerzálnější a méně závislé na porostních a půdních podmínkách. Přitom soustředování klestu před štěpkováním je technicky snadno řešitelné sortimentními vyvážecími soupravami, nebo terénními nosiči kontejnerů (Obrázek 3.33). Ve všech uvedených příkladech se jedná o výrazně levnější prostředky než jsou terénní štěpkovače (Simanov, V., 1995).



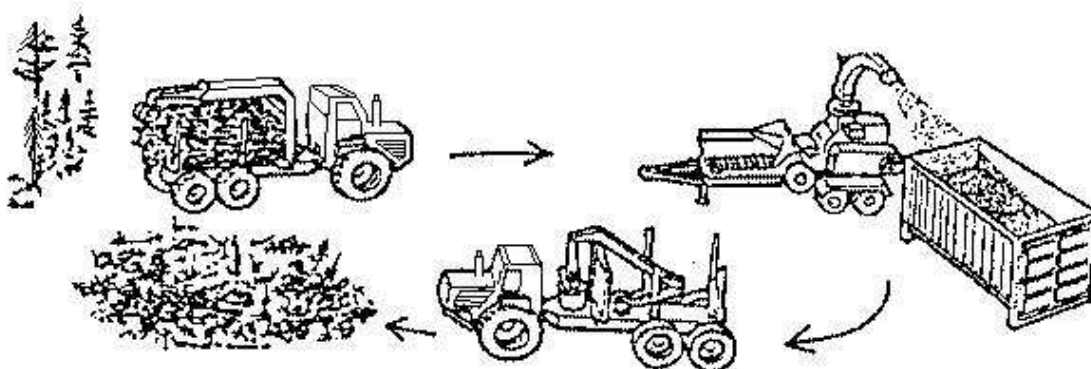
Pramen: (Simanov, V., 1995)

**Obrázek 3.31 – Pracovní schéma štěpkování na těžební ploše štěpkovačem na terénním podvozku s vyvážením štěpek v zásobníku sekačky na odvozní místo**



Pramen: (Simanov, V., 1995)

**Obrázek 3.32 – Pracovní schéma štěpkování na těžební ploše štěpkovačem na terénním podvozku s vyvážením štěpek na odvozní místo samostatným terénním prostředkem**



Pramen: (Simanov, V., 1995)

**Obrázek 3.33 – Pracovní schéma soustřed'ování těžebního odpadu neupravenou sortimentní vyvázečí soupravou se štěpkováním na odvozním místě štěpkovačem na silničním podvozku**

## **4. Experimentální část**

### **4.1 Praktické měření zpracování dřevní hmoty drtičem**

#### **DOPPSTADT**

Měření bylo realizováno 11.05.2009 nedaleko obce Třebanice (okres Prachatice) v areálu ovocného sadu. Zde byla provedena částečná likvidace porostu ovocných dřevin spolu s každoročním stříháním ovocných dřevin a to v období 12.01.2009 do 20.02.2009. Materiál určený pro rozdrcení obsahoval jen sporadicky příměsi zeminy a jeho charakter se z velké části blížil charakteru materiálu z plantáže RRD. Deponie na okraji ovocného sadu pásovitého tvaru (délka 44 m, průměrná šířka 3,5 m, průměrná výška 1,7 m) se skládala z pořezaných ovocných stromků a větví rovnaných jedním směrem.

#### **4.1.1 Postup pracovní činnosti**

V objektu ovocného sadu vybral vedoucí pracovník vhodné místo pro umístění drtiče na zpevněné asfaltové ploše. Drtič Doppstadt (Obrázek 4.1) v agregaci s John Deere 7030 byl řidičem kolového traktoru zaparkován na určené místo, vypřáhnut a nastartován. Drtič bylo nutné nechat běžet na polovinu pracovních otáček cca. 8 min, aby došlo k zahřátí na provozní teplotu. Během této doby druhý pracovník (řidič čelního nakladače Farmer) přibližoval materiál určený k rozdrcení blíže k drtiči.

Při drcení musel pracovník obsluhující drtič regulovat pracovní otáčky rotoru a vkládacího zařízení. Řidič nakladače plynule přivázel materiál a vkládal ho do vstupního zásobníku drtiče. Po ukončení drcení a vyčištění drtiče zapřáhl pracovník drtič za kolový traktor a odstavil ho opodál.

Vedoucí pracovník zajistil přistavení tahače s návěsem. Vzdálenost návěsu a drtě se pohybovala od 10 m do 28 m. K naložení materiálu byl využit čelní nakladač Farmer. Nakládka trvala 35 min. Vyprázdnění plného návěsu trvalo přibližně 10 min.



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 4.1 – Drtič Doppstadt AK 450 mega, nakladač Farmer**

#### **4.1.2 Zpracování dřevního materiálu drtičem Doppstadt**

Sledováním a měřením zpracování dřevního materiálu byly zjištěny následující poznatky:

- Vzdálenost deponie stromů od drtiče se pohybovala v rozsahu 35 až 59 metrů, což vyžadovalo průměrný čas transportu v trvání 01:22 min.
- Průměrný čas prostoje při vtahování materiálu (stroj byl obsazen, resp. materiál byl vtahován a svými větvemi bránil dalšímu vložení) činil 58 s.
- Průměrná přestávka ve vkládání (způsobená vzdáleností deponie a drtiče) činila 6,5 s.
- Organizační přestávka v součtu za dobu drcení činila 12:02 min.
- Celkový objem zpracovaného materiálu – 82 prm<sub>s</sub>.
- Celková doba potřebná ke zpracování 82 prm<sub>s</sub> drtě činila 02:11 hod.
- Naměřená výkonnost drcení 38,9 prm<sub>s</sub>.h<sup>-1</sup>.
- Doba potřebná k naložení 82 prm<sub>s</sub> drtě do návěsu – 35 minut.
- Průměrná spotřeba pohonných hmot drtiče Doppstadt se pohybuje od 28 do 32 litrů na zpracování 82 prm<sub>s</sub> drtě. Na 1 prm<sub>s</sub> drtě tedy připadá přibližně 0,36 litru motorové nafty.
- Drť lze charakterizovat značnou rozměrovou rozmanitostí.



- Pracovní orgány drtiče byly v době měření opotřeby ze 75 % (počet motohodin nebyl sledován).
- Při zpracování materiálu ovocných dřevin se několikrát vyskytl problém se „zahlcením“ drtiče z důvodu namotání slabých větví na rotor. Dle slov obsluhy má na tento problém vliv hlavně již výše zmiňované opotřebení pracovních orgánů.
- Průměrná spotřeba pohonných hmot čelního nakladače Farmer byla 10 litrů motorové nafty na zpracování 82 prm<sub>s</sub> drtě.
- Značná vzdálenost transportu materiálu k rozdrčení, následně pak i poměrně velká vzdálenost mezi návěsem a deponií rozdrčených ovocných dřevin a v neposlední řadě i stupeň opotřebení pracovních orgánů drtiče, jistě přispěly ke snížení výkonnosti této linky.

Tabulka 4.1 uvádí přehled naměřených hodnot zpracování ovocných dřevin.

**Tabulka 4.1 – Výsledky měření zpracování ovocných dřevin v Třebanicích**

Název operace, měřené veličiny	Naměřené hodnoty
Naměřená výkonnost drčení	38,9 prm <sub>s</sub> .h <sup>-1</sup>
Průměrný čas transportu	01:22 min
Celkový objem zpracovaného materiálu	82 prm <sub>s</sub>
Průměrná spotřeba drtiče Doppstadt na zpracování 82 prm <sub>s</sub>	30 l
Průměrná spotřeba čelního nakladače na zpracování 82 prm <sub>s</sub>	10 l
Doba potřebná k naložení drtě do návěsu	35 min
Organizační přestávka v součtu za dobu drčení	12:02 min
Doba potřebná pro zpracování 82 prm <sub>s</sub>	02:11 hod

### 4.1.3 Popis technického vybavení

#### *Rychloběžný drtič*

- Výrobce: Doppstadt;
- Typ: AK 450 mega;
- Hmotnost: 18 000 kg;
- Rok výroby: 1992;

- Výrobce motoru: Mercedes Benz V8;
- Objem motoru: 15 595 cm<sup>3</sup>;
- Výkon motoru: 450 HP;
- Pracovní ústrojí: bubnové (36 kladiv, 4 řady po 9 kladivech);  
průměr 1 100 mm, šířka 1 750 mm;  
hmotnost rotoru 2 500 kg;  
otáčky: maximální 1 250 ot.min<sup>-1</sup>;  
pracovní 850 – 1 000 ot.min<sup>-1</sup>;
- Dopravník: délka 4 000 mm, šířka 1 800 mm.

#### *Čelní nakladač*

- Výrobce: Merlo;
- Název: Turbo Farmer;
- Typ: P 34,7 TOP;
- Hmotnost: 6 600 kg;
- Maximální rychlost 40 km.hod<sup>-1</sup>;
- Zvedací síla: 3 400 kg;
- Rok výroby: 2001;
- Výkon motoru: 102 HP.

#### *Traktor*

- Název: John Deere;
- Typ: 7030.

#### *Tahač s návěsem*

- Název: Volvo;
- Typ: FH 12;
- Objem návěsu: 80 prm<sub>s</sub>.

### **4.1.4 Stanovení některých přímých nákladů**

V Tabulce 4.2 jsou uvedeny některé přímé náklady související se zpracováním 82 prm<sub>s</sub> ovocných dřevin. Do přímých nákladů patří zejména spotřeba pohonných hmot

(PHM), mzdové náklady. Fixní náklady do výpočtu zahrnuty nejsou, protože budou u každého podniku jiné. Pro výpočet je uvažována cena motorové nafty 24 Kč.l<sup>-1</sup> (bez DPH).

Jednotkové náklady na živou práci se vypočítají jako součin mzdy pracovníka a mzdového nákladu. Pokud by mzda obsluhy drtiče a nakladače byla 85 Kč.h<sup>-1</sup> a mzdový náklad 1,34, jsou jednotkové mzdové náklady přibližně 2 × 114 Kč.h<sup>-1</sup>.

**Tabulka 4.2 – Přímé náklady na zpracování 82 prm<sub>s</sub> dřevin**

<b>Přímý náklad</b>	<b>Množství (litry; hodiny)</b>	<b>Cena (Kč)</b>
Spotřeba PHM drtič	30	720
Spotřeba PHM čelní nakladač	10	240
Mzdové náklady – obsluha drtiče	02:11	249
Mzdové náklady – obsluha nakladače	02:11	249
Množství drceného materiálu celkem (prm <sub>s</sub> )	82	-
<b>Přímé náklady celkem</b>		<b>1 458</b>
<b>Přímé náklady na 1 prm<sub>s</sub> drtě</b>		<b>17,78</b>

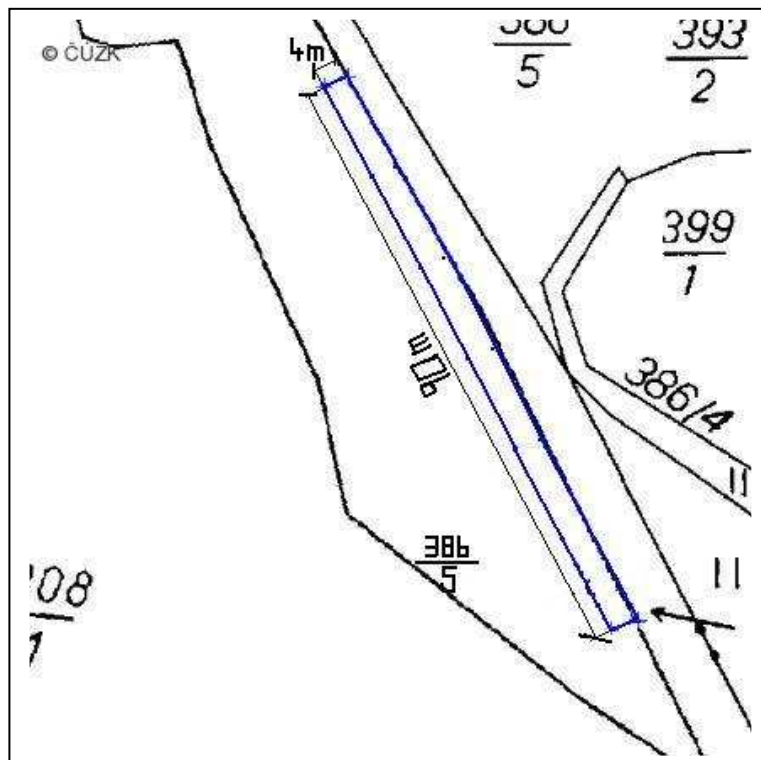
## **4.2 Probírková těžba a zpracování stromořadí rychle rostoucích topolů**

### **4.2.3 Lokalizace a popis**

Topolové stromořadí se nachází na nevyužitém obecním pozemku tři kilometry od obce Bavorov. Na Obrázku 4.2 a 4.3 je půdorysně zakreslené topolové stromořadí s rozměry a sponem jednořádků. Před výsadbou bylo provedeno plošné srovnání povrchu pomocí čelního nakladače s následným vláčením a smykováním. Výsadba prýtlů o délce 200 mm až 250 mm a průměru cca 15 mm proběhla v jarních měsících v roce 2001. Provedené ruční sázení do sponu výsadby mezi řady 200 cm, mezi řízky 100 cm (zvolena z důvodu použité techniky s ohledem na půdní a klimatické charakteristiky lokality). V červenci téhož roku provedl zakladatel stromořadí vyžínání křovinořezem. Mechanické omezení plevelů bylo provedeno ještě následující rok a to v měsíci srpnu ožínáním výhonů. Ochranu proti okusu zvěří pěstitel neprováděl.

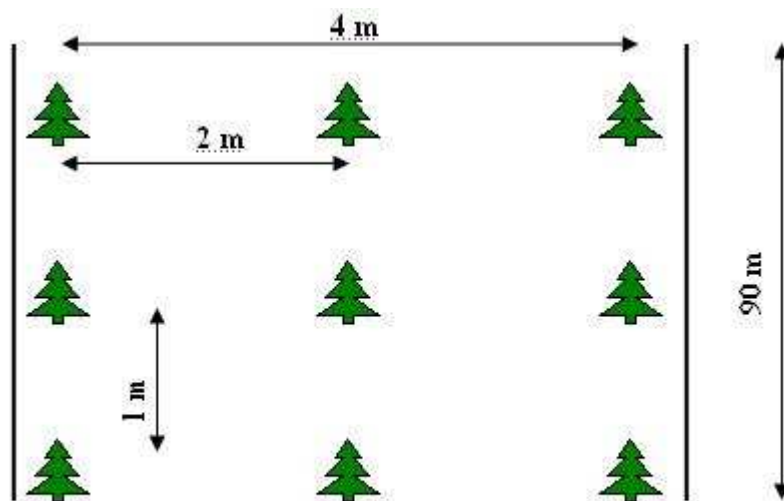
Pozemek určený pro výsadbu rychle rostoucích topolů je obdélníkového tvaru (délka 150 m, šířka od 20 do 50 m). Oproti okolní krajině je zahlouben. Tři stromořadí

rostou na ploše  $360 \text{ m}^2$  (délka 90 m, šířka 4 m). Teoretický počet stromů rychle rostoucích topolů na plochu 360 metrů čtverečných je 270 ks. Skutečný počet stromů před probírkovou těžbou byl 232 ks. Ujímavost výsadby se pohybuje okolo 86 %. Podél delší strany teče celoročně vodou zásobený potok, což zajišťuje příznivé stanovištní podmínky. Půdní horizont je tvořen především náplavou a z části navázkou písčito-hlinité půdy.



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 4.2 – Půdorysně zakreslené topolové stromořadí**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 4.3 – Půdorysně zakreslené rozměry sponu výsadby stromořadí**

#### **4.2.4 Probírková těžba**

Probírková těžba rychle rostoucích topolů proběhla 22. 11. 2009. Zakladatel stromořadí se rozhodl porost nechat dorůst větších dimenzí. Z tohoto důvodu muselo dojít k probírkové těžbě, aby se snížil konkurenční tlak mezi jednotlivými stromy. Vlivem hustého zápoje korun topolů došlo k jejich přeštíhlení. Přibližně na 15 % porostu byly patrné zlomy v korunové části způsobené sněhem.

Výběr stromů určených k pořezání prováděl pilař s pomocníkem na základě stavu případně sklonu topolu. Postupovalo se po řadách. Probírková těžba měla za cíl snížit konkurenční tlak, vyzdravit porost, tzn. pořezat nakloněné nebo sněhem poškozené topoly.

Pořezání topolů prováděné ve výšce cca 5 cm nad terénem zajišťoval pilař a pomocník (Obrázek 1, příloha A). Snadnému pokládání kolmo k řadě bránily koruny sousedních stojících stromů, proto při pořezání prostřední řady došlo v několika případech k pokládání vodorovně mezi řady. Celková naměřená doba potřebná na pořezání 139 kusů rychle rostoucích topolů byla 65 min tzn. přibližně 128 ks.h<sup>-1</sup>. Do stanovené výkonnosti 128 ks.h<sup>-1</sup> není započítaný organizační čas v délce trvání 8 min potřebný pro přípravu vybavení a obsluhy. Při těžbě se projevilo rychlejší otupení řetězu ruční motorové řetězové pily, způsobené s největší pravděpodobností zanesením pískových částic do povrchu kůry při povodních. Obsluhu ruční motorové řetězové pily lze kvalifikovat jako průměrně zdatnou a zkušenou. Pořezaná část (139 kusů) tvoří

přibližně 60 % původního počtu rychle rostoucích topolů. Délky stromů se pohybovaly od 11 do 14 metrů, průměry kmenů 5 cm nad zemí od 14 do 20 cm. Z naměřených hodnot byla vypočtena průměrná délka topolů 12,9 m a průměr kmene 14,8 cm. Průměrná doba potřebná na pořezání jednoho stromu (čas měřen od ukončení řezu předchozího kmene stromu k ukončení řezu dalšího kmenu) přibližně 28 sekund, průměrná doba na pokládání topolu (čas měřen od ukončení řezu k uložení na zem) 3 s. Přehled zjištěných výsledků je uveden v Tabulce 4.3.

**Tabulka 4.3 – Přehled zjištěných výsledků z probírkové těžby**

Sledované a měřené veličiny	Zjištěné hodnoty
Jednořádková výsadba - spon	2 m × 1 m
Stáří porostu	8 roků
Plocha porostu	360 m <sup>2</sup>
Počet vysazených rychle rostoucích topolů	270 ks
Počet vzrostlých rychle rostoucích topolů	232 ks
Ujímavost porostu	86 %
Počet pořezaných stromů v probírkové těžbě, % původ. porostu	139 ks, 60 %
Celková doba probírkové těžby	65 min
Výkonnost těžby	128 ks.h <sup>-1</sup>
Délka a průměr pořezaných topolů (průměrné hodnoty)	12,9 m, Ø 14,8 cm

#### 4.2.5 Stanovení některých přímých nákladů na probírkové pořezání rychle rostoucích topolů

V Tabulce 4.4 jsou uvedeny některé přímé náklady související s probírkovým pořezáním stromořadí rychle rostoucích topolů. Do přímých nákladů patří zejména spotřeba pohonných hmot (PHM), mzdové náklady. Fixní náklady do výpočtu zahrnuté nejsou, protože budou u každého podniku jiné. Pro výpočet bude použita cena benzínu 24 Kč.l<sup>-1</sup> (bez DPH).

Jednotkové náklady na živou práci se vypočítají jako součin mzdy pracovníka a mzdového nákladu. Pokud by mzda obsluhy motorové řetězové pily byla 85 Kč.h<sup>-1</sup> a mzdový náklad 1,34, jsou jednotkové mzdové náklady přibližně 113,9 Kč.h<sup>-1</sup>.

Ruční motorová řetězová pila Husqvarna H 33 má hodinovou spotřebu 810 g.h<sup>-1</sup> (450 g.kW<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, výkon 1,8 kW). Probírka stromořadí topolů trvala 01:05 hod. Spotřeba benzínu na pořezání 139 stromů 877,5 gramů (při objemové hmotnosti 750 kg.m<sup>-3</sup>)

odpovídá spotřeba 1,17 litru benzínu. Při ceně 24 Kč.l<sup>-1</sup> (bez DPH) jsou náklady na benzín přibližně **28 Kč**. Poměr motorového oleje v benzínu u dvoutaktních benzínových motorů je 1:50. Spotřeba motorového oleje činí 0,0234 litru (na 1,17 litru benzínu). Cena oleje se pohybuje okolo 150 Kč.l<sup>-1</sup>. Náklady na motorový olej celkem **3,51 Kč**. Náklady na olej, který maže řetěz, činí **20,5 Kč** (cena za litr okolo 35 Kč).

**Tabulka 4.4 – Některé přímé náklady spojené s probírkovou těžbou**

<b>Přímý náklad</b>	<b>Množství (litry; hodiny)</b>	<b>Cena (Kč)</b>
Spotřeba náplní motorové ruční pily H 33	1,17 / 0,0234 / 0,585	52
Mzdové náklady pilař	01:05	123,4
Mzdové náklady pomocník	01:05	123,4
Celkové množství pořezaných topolů (prm)	12,45	-
<b>Přímé náklady celkem</b>		<b>298,8</b>
<b>Přímé náklady na 1 prm</b>	<b>12,47 prm</b>	<b>23,96</b>

## 4.2.6 Zpracování rychle rostoucích topolů

### 4.2.6.1 Metoda krácení, přibližování, odvoz, štěpkování

Obsluha ruční motorové řetězové pily provedla nakrácení 45 topolů na dva sortimenty (kmenovina délky 4 m, horní část koruny stromu) a to rovnoměrně mezi třemi řadami od jednoho konce stromořadí. Tato činnost trvala jednomu pracovníkovi 20 min. Čtyřicet pět stromů představuje 32 % podíl na 139 kusech pořezaných topolů.

Přibližování kmenů a vršků topolů zajišťovali dva pracovníci pomocí navijáku v tříbodovém závěsu traktoru Zetor 35-45 (Obrázek 2, příloha A). Jeden pracovník obsluhoval naviják, druhý uvazoval topoly. Oddělené přibližování kmenů a vršků usnadnilo pozdější nakládání na vyvážecí přívěs, ale výrazně prodloužilo dobu potřebnou na manipulaci. Na přiblížení 45 kmenů a vytvoření 4 deponií potřebovali dva pracovníci 02:40 hod.

Nakládání sortimentů topolů na vyvážecí přívěs (Obrázek 3, příloha A) v agregaci se Zetorem 72-45 zajistil jeden pracovník za dobu 01:09 hod. Obsluhu vyvážecího přívěsu lze kvalifikovat jako průměrnou, podmínky nakládání horší (nutné přejezdy zabraly v součtu 8 min, vzrostlý strom bránil svými větvemi plynulému nakládání). Množství 45 stromů rychle rostoucích topolů plně vytížilo vyvážecí přívěs. Nejprve pracovník naložil část kmenů, poté vršky stromů a nakonec zbytek kmenů

pro zatěžkání nákladu. Následovalo odřezání, všech do boku vyčnívajících větví, z důvodu bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích, které trvalo 10 min. Při přepravě rychle rostoucích topolů vyvážecím přívěsem po pozemní komunikaci bylo nutné doprovodné vozidlo z důvodu přesahujících korun stromů za přívěs. Vyložení proběhlo po ujetí vzdálenosti 2,1 km za dobu 9 min v zemědělském objektu na betonovou plochu. Vyložení (Obrázek 4, příloha A) včetně přípravných prací trvalo 15 min. Topoly ukládala obsluha vodorovně s osou vyvážecího přívěsu ve vzdálenosti od 1 do 5 m.

K vytvořené deponii byl přistaven štěpkovač DC – 1217 tak, že plnicí otvor se nacházel vodorovně 2 metry od topolů. Obsluha traktoru přistavila devíti tunový traktorový přívěs s drátěnými nástavbami ve vzdálenosti 1,5 metru od štěpkovače. Dva pracovníci obsluhující DC – 1217 nastartovali motor a nechali stroj 10 min zahřívát. Pracovní orgány štěpkovacího stroje byly opotřebeny z 80 % (počet odpracovaných motohodin nebyl sledován). Při štěpkování (Obrázek 5, příloha A) transportovali střídavě tři pracovníci stromy do plnicího otvoru. Měření začalo od vložení prvního kmenu do vkládacích válců a skončilo zpracováním posledního stromu. Pro zpracování topolů nastavila obsluha plynovým pedálem DC – 1217 na cca 80 % jmenovitého výkonu.

Sledováním a měřením zpracování rychle rostoucích topolů pomocí štěpkovače byly zjištěny následující poznatky shrnuté v Tabulce 4.5:

- Vzdálenost deponie stromů od DC - 1217 se pohybovala v rozsahu 1,5 až 5,5 m, což vyžadovalo průměrný čas transportu v trvání 8 s.
- Průměrná doba potřebná na zpracování sortimentu topolu (měřená od vložení mezi vkládací válce po ukončení zpracování) 11,5 s.
- Průměrná přestávka ve vkládání (způsobená přibližováním – stroj bez materiálu) činila 2,2 s.
- Celkový objem zpracovaného materiálu 8,82  $\text{pr}_m$ .
- Tři pracovníci seštěpkovali 45 stromů rychle rostoucích topolů za 22 min.
- Naměřená skutečná výkonnost štěpkování 26,46  $\text{pr}_m \cdot \text{h}^{-1}$  (teoretická výkonnost pro použitý štěpkovač 194,99  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  je v praxi nedosažitelná).
- Na zpracování 8,82  $\text{pr}_m$  topolů (včetně zahřívání) spotřeboval DC – 1217 tři litry motorové nafty.



- Rychlost transportu štěpkovaného materiálu třemi pracovníky je nedostatečná vzhledem k výkonu stroje. Vhodnějším řešením je zajistit transport hydraulickým jeřábem opatřeným rotátorem a drapákem.

**Tabulka 4.5 – Výsledky měření zpracování topolů metodou krácení, přibližování, odvoz, štěpkování**

Sledované a měřené veličiny	Zjištěné hodnoty
Počet zpracovaných stromů, podíl na celkové těžbě	45 ks, 32 %
Množství zpracovaného materiálu	8,82 prm <sub>s</sub> , 5,2 prm
Celková doba krácení	20 min
Celková doba přibližování	02:40 hod
Celková doba nakládání / skládání (vyvážecí přívěs)	01:09 hod. / 15 min
Doba transportu na vzdálenost 2,1 km, doba přípravy	9 min., 10 min
Zahřívání a příprava DC - 1217	10 min
Průměrný čas transportu	8 s
Průměrná přestávka ve vkládání	2,2 s
Průměrná doba na zpracování sortimentu topolu	11,5 s
Doba potřebná na seštěpkování 8,82 prm <sub>s</sub>	22 min
Průměrná spotřeba štěpkovače DC – 1217 na zpracování 8,82 prm <sub>s</sub> rychle rostoucích topolů	3 l
Naměřená výkonnost štěpkování	26,46 prm <sub>s</sub> .h <sup>-1</sup>

Stanovení některých přímých nákladů na zpracování topolů metodou krácení, přibližování, odvoz, štěpkování.

V Tabulce 4.6 jsou uvedeny některé přímé náklady související se zpracováním 8,82 prm<sub>s</sub> rychle rostoucích topolů. Do přímých nákladů patří zejména spotřeba pohonných hmot (PHM), mzdové náklady. Fixní náklady do výpočtu zahrnuty nejsou, protože budou u každého podniku jiné.

Jednotkové náklady na živou práci se vypočítají jako součin mzdy pracovníka a mzdového nákladu. Pro výpočet byly zvoleny hodnoty 85 Kč.h<sup>-1</sup> a mzdový náklad 1,34.

#### *Spotřeba pohonných hmot (PHM)*

Zetor 72-45 má hodinovou 9 l.h<sup>-1</sup> (tolerance ± 5 %) při 60 % zatížení. Doba práce soupravy 01:43 hod. Celková teoretická spotřeba pohonných hmot na zpracování

5,2 prm topolů vyvážecí soupravou je 15,45 litru motorové nafty. Při ceně motorové nafty 24 Kč.l<sup>-1</sup> (bez DPH) jsou náklady **370,8 Kč**.

Zetor 35-45 má hodinovou spotřebu 1,8 l.h<sup>-1</sup> (tolerance ± 5 %) při 35 % zatížení. Doba práce soupravy 02:40 hod. Celková teoretická spotřeba pohonných hmot na přiblížení 5,2 prm topolů soupravou kolového traktoru v agregaci s lanovým neseným navijákem je 4,8 litru motorové nafty. Při ceně motorové nafty 24 Kč.l<sup>-1</sup> (bez DPH) jsou náklady **115,2 Kč**.

Spotřeba PHM motorové ruční pily je 0,36 litru benzínu za 20 min. Při ceně benzínu 24 Kč.l<sup>-1</sup> (bez DPH) jsou náklady na benzín přibližně **8,64 Kč**. Poměr motorového oleje v benzínu u dvoutaktních benzínových motorů je 1:50. Spotřeba motorového oleje činí 7,2 mililitru (na 0,36 litru benzínu). Cena oleje se pohybuje okolo 150 Kč.l<sup>-1</sup>. Náklady na motorový olej celkem **1,08 Kč**. Náklady na olej, který maže řetěz, činí **6,3 Kč** (cena za litr okolo 35 Kč).

**Tabulka 4.6 – Některé přímé náklady na zpracování topolů metodou krácení, přibližování, odvoz, štěpkování**

<b>Přímý náklad</b>	<b>Množství (litry; hodiny)</b>	<b>Cena (Kč)</b>
Spotřeba PHM štěpkovače DC – 1217	3	72
Spotřeba PHM vyvážecí soupravy	15,45	370,8
Spotřeba PHM Zetor 3545	4,8	115,2
Spotřeba náplní motorové ruční pily H 33	0,36 / 0,0072 / 0,18	16
Mzdové náklady – obsluha DC – 1217 (tři pracovníci)	22 min	125,3
Mzdové náklady pilař	20 min	37,9
Mzdové náklady přibližování (2 pracovníci)	02:40	607,5
Mzdové náklady – obsluha vyvážecí soupravy	01:43	195,5
Množství drceného materiálu celkem (prm <sub>s</sub> )	8,82	-
<b>Přímé náklady celkem</b>	-	<b>1 540</b>
<b>Přímé náklady na 1 prm<sub>s</sub> štěpky topolů</b>	-	<b>174,6</b>

#### 4.2.6.2 Metoda výroby polenového dříví, štěpkování větví

Obsluha ruční motorové řetězové pily provedla nakrácení zbylých 94 topolů na sortimenty délky 1,5 m a sortiment vršků a větví o průměru menším než 6 cm (Obrázek 6, příloha A). Postup řezání byl zvolen od silného konce kmene směrem ke špici. Tato činnost zabrala jednomu pracovníkovi 02:01 hod. Devadesát čtyři stromů představuje 67,6 % podíl na 139 kusech pořezaných topolů.

Polena dlouhá 1,5 m, rozmístěná na více jak polovině plochy stromořadí (cca 220 m<sup>2</sup>), nosili dva pracovníci na přistavený traktorový přívěs umístěný na střední vzdálenosti k okrajům stromořadí (Obrázek 7, příloha A). Transport polen k přívěsu do jisté míry ztěžovaly větve a vršky topolů ležící na zemi. Celkové množství 4,45 prn polenového dřeva topolů nanosili dva pracovníci na traktorový přívěs za dobu 55 min.

Větve a vrchní části topolů s průměrem menším než 6 cm nanosil jeden pracovník na dvě deponie za dobu 02:21 hod. Místo pro vytvoření deponií zvolil pracovník tak, aby zkrátil transportní vzdálenost větví a vršků topolů na minimum a zároveň umožnil snadný přístup štěpkovače.

K vytvořené deponii byl přistaven štěpkovač DC – 1217 v agregaci se Zetorem 72-45 tak, že plnicí otvor se nacházel vodorovně 0,5 m až 3 m od topolových větví a vršků (Obrázek 8, příloha A). Transportní vzdálenost přepravy štěpkovače DC – 1217 byla shodná s transportní vzdáleností vyvážecí soupravy tedy 2,1 km, kterou agregace Zetoru a štěpkovače ujela za dobu 8 min. Obsluha traktoru přistavila čtyř tunový traktorový přívěs ve vzdálenosti 1,5 m od štěpkovače. Dva pracovníci obsluhující DC – 1217 nastartovali motor a nechali stroj 10 min zahřívát. Při štěpkování transportovali střídavě dva pracovníci větve a vršky topolů do plnicího otvoru štěpkovače. Větve menších rozměrů brala obsluha po více kusech. Měření začalo od vložení prvních větví do vkládacích válců a skončilo zpracováním poslední větve. Při práci docházelo k olamu větví, které zůstávaly ležet pod plnicím otvorem stroje. Pro zpracování topolů nastavila obsluha plynovým pedálem DC – 1217 na cca 80 % jmenovitého výkonu. Na seštěpkování 4,8 prn<sub>s</sub> větví a vršků topolů potřebovali dva pracovníci dobu 21 min, včetně 6 min přejezdu od 1. deponie k 2. deponii (vzdálené 17 m). V tomto čase není zahrnuta doba 10 min, po kterou se stroj zahříval.

Sledováním a měřením zpracování rychle rostoucích topolů pomocí štěpkovače a ruční motorové pily byly zjištěny následující poznatky, které jsou shrnuty v Tabulce 4.7:

- Vzdálenost deponie stromů od DC - 1217 se pohybovala v rozsahu 0,5 až 3 m, což vyžadovalo průměrný čas transportu v trvání 7,1 s.
- Průměrná doba potřebná na zpracování větví topolu (měřená od vložení mezi vkládací válce po ukončení zpracování) 9,28 s.
- Průměrná přestávka ve vkládání (způsobená přibližováním – stroj bez materiálu) činila 1,1 s.
- Celkový objem zpracovaného materiálu štěpkováním 4,8 prm<sub>s</sub>.
- Dva pracovníci seštěpkovali větve a vršky rychle rostoucích topolů za 21 min.
- Naměřená skutečná výkonnost štěpkování 13,71 prm<sub>s</sub>.h<sup>-1</sup> (teoretická výkonnost pro použitý štěpkovač 194,99 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> je v praxi nedosažitelná).
- Na zpracování 4,8 prm<sub>s</sub> topolů (včetně zahřívání) spotřeboval štěpkovač 2,7 litru motorové nafty.
- Vkládání drobných krátkých větví do plnicího otvoru štěpkovače je komplikované z důvodu dlouhého podávacího stolu. Pracovník je nucen naklonit se do plnicího otvoru a s nataženými pažemi vložit materiál určený k štěpkování do vkládacích válců.

**Tabulka 4.7 – Naměřené hodnoty z metody sklizně výroby polenového dříví a štěpkování větví**

Sledované a měřené veličiny	Zjištěné hodnoty
Počet zpracovaných stromů, podíl na celkové těžbě	94 ks, 67,6 %
Množství zpracovaného materiálu štěpkováním	4,8 prm <sub>s</sub> , 2,82 prm
Množství zpracovaného materiálu na polena délky 1,5 metru	4,45 prm
Celková doba krácení na sortimenty délky 1,5 metru	02:01 hod
Celková doba potřebná k přiblížení a naložení polen	01:50 hod
Celková doba potřebná k vytvoření 2 deponií větví a vršků	02:21 hod
Doba transportu na vzdálenost 2,1 km, doba přípravy	8 min, 10 min
Průměrný čas transportu	7,1 s
Průměrná přestávka ve vkládání	1,1 s
Průměrná doba na zpracování větví a vršků topolu	9,28 s
Doba potřebná na seštěpkování 4,8 prm <sub>s</sub>	21 min
Průměrná spotřeba štěpkovače DC – 1217 na zpracování 4,8 prm <sub>s</sub> rychle rostoucích topolů	2,7 l
Naměřená výkonnost štěpkování	13,71 prm <sub>s</sub> .h <sup>-1</sup>

Stanovení některých přímých nákladů na zpracování topolů metodou výroby polenového dříví, štěpkování větví.

V Tabulce 4.8 jsou uvedeny některé přímé náklady související se zpracováním 12,37  $\text{pr}_m$  rychle rostoucích topolů. Do přímých nákladů patří zejména spotřeba pohonných hmot (PHM), mzdové náklady. Fixní náklady do výpočtu zahrnuté nejsou, protože budou u každého podniku jiné.

Jednotkové náklady na živou práci se vypočítají jako součin mzdy pracovníka a mzdového nákladu. Pro výpočet byly zvoleny hodnoty  $85 \text{ Kč}\cdot\text{h}^{-1}$  a mzdový náklad 1,34.

#### *Spotřeba pohonných hmot (PHM)*

Zetor 72-45 má hodinovou  $9 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$  (tolerance  $\pm 5 \%$ ) při 60 % zatížení. Doba práce = doba přepravy + přejezd soupravy ( $8 + 6 = 14$  minut). Celková teoretická spotřeba pohonných hmot je 2,1 litru motorové nafty. Při ceně motorové nafty  $24 \text{ Kč}\cdot\text{l}^{-1}$  (bez DPH) jsou náklady **50,4 Kč**.

Spotřeba PHM motorové ruční pily je 2,178 l benzínu za 02:01 hodin. Při ceně benzínu  $24 \text{ Kč}\cdot\text{l}^{-1}$  (bez DPH) jsou náklady na benzín přibližně **52,27 Kč**. Poměr motorového oleje v benzínu u dvoutaktních benzínových motorů je 1:50. Spotřeba motorového oleje činí 43,56 mililitru (na 2,178 litru benzínu). Cena oleje se pohybuje okolo  $150 \text{ Kč}\cdot\text{l}^{-1}$ . Náklady na motorový olej celkem **6,53 Kč**. Náklady na olej, který maže řetěz, činí **38,1 Kč** (cena za l okolo 35 Kč).

**Tabulka 4.8 – Některé přímé náklady na sklizeň topolů metodou výroby polenového dříví a štěpkování větví**

<b>Přímý náklad</b>	<b>Množství (litry; hodiny)</b>	<b>Cena (Kč)</b>
Spotřeba PHM štěpkovače DC – 1217	2,7	64,8
Spotřeba PHM Zetor 7245	2,1	50,4
Spotřeba náplní motorové ruční pily H 33	2,1 / 0,043 / 1,09	96,9
Mzdové náklady – obsluha DC – 1217 (dva pracovníci)	21 minut	79,7
Mzdové náklady pilař	02:01	229,7
Mzdové náklady na přibližování a nakládání polenového dřeva topolů	01:50	208,8
Mzdové náklady na vytvoření 2 deponií	02:21	267,6
Množství zpracovaného materiálu celkem (prm / prm <sub>s</sub> )	7,27 / 12,36	-
Množství štěpkovaného materiálu celkem (prm <sub>s</sub> )	4,8	-
<b>Přímé náklady celkem</b>	-	<b>998</b>
<b>Přímé náklady na 1 prm<sub>s</sub> topolů</b>	-	<b>80,7</b>

Popis technického vybavení

*Štěpkovací stroj*

- Výrobce: Altec;
- Typ: series DC 1217;
- Štěpkovací systém: diskový;
- Max. Ø dřeva: 304,8 mm;
- Vstupní otvor: 304,8 × 431 mm;
- Počet nožů: 2 × 2; uloženy po 180°, rozměry: délka 184 mm, výška 101 mm, síla 9,5 mm;
- Celková hmotnost: 2 558,3 kg;
- Výrobce motoru: CATERPILLAR
- Teoretická výkonnost: 194,99 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

*Zetor 72-45*

- Maximální výkon: 44,5 kW při 2 200 ot.min<sup>-1</sup>;
- Točivý moment: 225,2 Nm při 1 501 ot.min<sup>-1</sup>;
- Měrná spotřeba paliva: 237 g.kWh<sup>-1</sup>;
- Průměrná spotřeba: 12,1 l.h<sup>-1</sup> (tolerance ± 5 %) při 80 % zatížení;

- Objem motoru: 3 595 cm<sup>3</sup>;
- Pořizovací cena: 369 200 Kč (provedení Agro).

#### *Zetor 35-45*

- Maximální výkon: 22,6 kW při 2 000 ot.min<sup>-1</sup>;
- Točivý moment: 13 kpm při 1 400 ot.min<sup>-1</sup>;
- Spotřeba paliva - ČSN: 19,6 l. na 100 km při rychlosti 21 km.h<sup>-1</sup>;
- Průměrná spotřeba: 4,116 l.h<sup>-1</sup> (tolerance ± 5 %) při 80 % zatížení;
- Objem motoru: 2 340 cm<sup>3</sup>;
- Celková hmotnost: 2 800 kg.

#### *Ruční motorová řetězová pila*

- Výrobce: Husqvarna;
- Model: H 33;
- Výkon: 1,8 kW;
- Objem motoru: 34 cm<sup>3</sup>;
- Délka lišty: 33 cm;
- Hmotnost: 5,5 kg.

#### *Přívěs*

- Druh vozidla: sklápěcí přívěs;
- Tovární značka, typ: BSS P 93 S;
- Karoserie - druh: valníková sklápěcí;
- Podvozek – výrobce: Brandýské strojírny a slévárny, n. p., odštěpný;  
závod Senice na Hané;
- Podvozek – typ: P 93 S;
- Rok výroby: 1997;
- Nosnost: 9 000 kg;
- Ložná plocha: d 4 940 mm × š 2 340 mm × v 1500 mm;
- Objem ložného prostoru: 17,34 m<sup>3</sup>;
- Úpravy přívěsu: zvýšení bočnic.

#### *Univerzální traktorová vyvážecí souprava*

- Typ stroje: 7T;
- Délka; při prodloužení: 6 480 mm; 7 280 mm;
- Podvozek – výrobce: STS Prachatice a.s.;
- Šířka: 2 100;
- Délka ložné plochy 4 250 mm, při prodloužení 5 050 mm;
- Rok výroby: 2007;
- Nosnost: 7 000 kg;
- Hmotnost bez h. jeřábu: 1 540 kg;
- Hydraulický jeřáb: Kesla 203T.

#### **4.2.7 Porovnání metod zpracování stromořadí rychle rostoucích topolů**

Provádět porovnání dvou metod zpracování probírkového pořežení topolů je jen těžko možné. U každé z metod se liší použité vybavení, podíl lidské práce a v neposlední řadě je důležité si uvědomit, že tam, kde je možné použít jednu metodu, nemusí jít použít druhá. Při kalkulaci nákladů je řešením použít ceny služeb jednotlivých prováděných kalkulací. Avšak ani tento způsob výpočtu nebude pro praxi zcela dobře vypovídající. Proto následující porovnání metody zpracování celých stromů odvozem vyvážecí soupravou a štěpkováním s metodou výroby polenového dřeva, ručním nakládáním na traktorový přívěs, ručním přiblížením větví i vršků topolů s následným štěpkováním má pouze informativní charakter. Tabulka 4.9 porovnává některé náklady metod. Metoda 1 v této tabulce znamená zpracování topolů postupem: krácení, přiblížování, odvoz, štěpkování. Metoda 2 reprezentuje postup zpracování: výroba polenového dříví, štěpkování větví. Při tomto způsobu zpracování vzniká kromě štěpky další sortiment, a tím je polenové dřevo v poměru 1:1,578.



**Tabulka 4.9 – Porovnání metod zpracování rychle rostoucích topolů**

Přímý náklad	Zjištěné hodnoty	
	Metoda 1	Metoda 2
Množství zpracovaného materiálu celkem (pro porovnání nákladů)	5,2 prm	5,2 prm
Mzdové náklady – obsluha DC – 1217	127,2 Kč	58 Kč
Mzdové náklady pilař	38,5 Kč	167 Kč
Mzdové náklady přibližování	616,5 Kč	-
Mzdové náklady – obsluha vyvážecí soupravy	198,4 Kč	-
Mzdové náklady na přibližování a nakládání	-	151,6 Kč
Mzdové náklady na vytvoření 2 deponií	-	194,6 Kč
<b>Mzdové náklady na zpracování celkem</b>	<b>980,6 Kč</b>	<b>571,2 Kč</b>
Spotřeba PHM štěpkovače DC – 1217	72 Kč	46,4 Kč
Spotřeba PHM vyvážecí soupravy	370,8 Kč	-
Spotřeba PHM Zetor 35-45	115,2 Kč	-
Spotřeba náplní motorové ruční pily H 33	16 Kč	69,3 Kč
Spotřeba PHM Zetor 72-45	-	50,4 Kč
<b>Spotřeba PHM a náplní celkem</b>	<b>574 Kč</b>	<b>166,1 Kč</b>
<b>Přímé náklady celkem</b>	<b>1 554,6 Kč</b>	<b>737,3 Kč</b>
<b>Rozdíl v procentech</b>	<b>100 %</b>	<b>47,4 %</b>

#### 4.2.8 Doplnující údaje ke skladování zpracované suroviny – topolové štěpky

Pro skladování topolové štěpky (Obrázek 9, příloha A) byla použita přípravná plocha nevyužívaného kravínu pro chov dojnic s tržní produkcí mléka (Obrázek 10, příloha A). Na betonovou podlahu navrstvili dva pracovníci štěpku pomocí lopat. Aby se zabránilo plesnivění, zvolili pracovníci průměrnou sílu vrstvy 40 cm. Suchá podlaha přípravné plochy a velký odvětrávaný prostor by měly zajistit vhodné skladovací podmínky. Při kontrolním měření po šesti dnech uskladnění v přípravné ploše teploměrem Hanna HI 147-00 byla změřena teplota štěpky pod vrstvou 38 cm 10,6 °C a pod vrstvou 48 cm 17,5 °C při teplotě okolí 3,5 °C.

Pro stanovení vlhkosti čerstvé štěpky byl odebrán při štěpkování vzorek o hmotnosti 1 kg. V laboratoři Jihočeské univerzity odvážil pracovník na laboratorní váze Kern 440-47 vzorek o hmotnosti 500 g a vložil jej do sušárny Venticell (výrobce: BMT, typ: venticell 111, příkon 1 890 W). Vysoušení probíhalo dle

ČSN P CEN/TS 14774-3 tj. při teplotě 105 °C až 110 °C. Naměřená hmotnost po odsušení vody obsažené ve štěpce rychle rostoucích topolů 220,1 g znamená, že vlhkost štěpky při sklizni byla 55,98 %.

## 5 Výsledky

Při sledování zpracování větví a ovocných stromků v areálu ovocného sadu v Třebanicích drtičem DOPPSTADT AK 450 byla naměřená výkonnost drcení  $38,9 \text{ prm}_s \cdot \text{h}^{-1}$  při průměrné spotřebě  $0,36$  litru motorové nafty na  $1 \text{ prm}_s$  drtě. Výkonnost drtiče byla ovlivněna několika faktory. Pracovní orgány drtiče byly v době měření opotřebovány ze 75 % (počet motohodin nebyl sledován). V důsledku toho docházelo během zpracování ovocných dřevin k „zahlcení“ stroje, způsobené namotáním slabých větví na rotor. Značná vzdálenost transportu materiálu k rozdrčení čelním nakladačem FARMER zapříčinila, že průměrná přestávka ve vkládání činila  $6,5$  s. Drť lze charakterizovat značnou rozměrovou rozmanitostí. Přímé náklady na zpracování  $82 \text{ prm}_s$  dřevin činily  $1\,458$  Kč (z toho mzdy  $598$  Kč, náklady na PHM  $960$  Kč). Při práci tohoto drtiče odpadá drť skrze dodrcovací koš volně za drtič na povrch terénu. Proto je třeba zajistit, aby tento stroj pracoval na zpevněné ploše, ze které je možné drť nakládat čelním nakladačem. Zpevněná plocha je vhodná i z důvodu vysoké hmotnosti stroje ( $18\,000$  kg). Další faktor snižující výkonnost linky je absence vynášecího dopravníku, který by zajistil plnění dopravního prostředku. Výše zmiňované faktory do jisté míry omezují nasazení tohoto stroje a zvyšují náklady na zpracování  $1 \text{ prm}_s$  drtě. Při nasazení výkonných strojů na zpracování (drcení, štěpkování) dendromasy, je nutné zajistit organizaci pracovní činnosti dopředu, neboť celková doba na zpracování  $82 \text{ prm}_s$  drtě (jeden plný návěs tahače) může činit  $02:11$  hod. a organizační přestávky  $12:02$  min. (tj.  $10$  % celkového času). Dále je žádoucí zajistit co možná největší koncentraci materiálu v blízkosti místa zpracování.

Během probírkové těžby rychle rostoucích topolů, kterou zajistili dva pracovníci (pilař a pomocník), byla zjištěná výkonnost kácení  $128 \text{ ks} \cdot \text{h}^{-1}$ . Rychlejší otupení řetězu ruční motorové řetězové pily způsobila s největší pravděpodobností přítomnost pískových částic na povrchu kůry stromů po povodních. Délky stromů (starých osm let) se pohybovaly od  $11$  do  $14$  m, průměry kmenů  $5$  cm nad zemí od  $14$  do  $20$  cm. Z naměřených hodnot byla vypočtena průměrná délka topolů  $12,9$  m a průměr kmene  $14,8$  cm. Průměrná doba potřebná na pořezání jednoho stromu (čas měřen od ukončení řezu předchozího kmene stromu k ukončení řezu dalšího kmene) přibližně  $28$  s, průměrná doba na pokládání topolu (čas měřen od ukončení řezu k uložení na zem)  $3$  s. Suma sledovaných přímých nákladů (mzdové náklady a PHM) na těžbu stromořadí činí  $298,8$  Kč. Přímé náklady na probírkovou těžbu pak vycházejí  $23,96 \text{ Kč} \cdot \text{prm}^{-1}$ .

Pro názornost při sledování těžby topolů na plantáži Krejcárka vycházely průměrné náklady na těžbu 1,3 Kč.prm<sup>-1</sup>. Tento markantní rozdíl je dán rozdílnou výkonností při těžbě topolů (300 ks.hod<sup>-1</sup>).

Zpracování rychle rostoucích topolů metodou „krácení, přibližování, odvoz štěpkování“ dalo pro praxi několik zajímavých poznatků. Nakrácení 45 topolů na dva sortimenty trvalo jednomu pracovníkovi 20 min. Přibližování topolů zajištěné lanovým navijákem v tříbodovém závěsu kolového traktoru a dvěma pracovníky zabralo 02:40 hod. Nakládání na vyvážecí přívěs v agregaci se Zetorem 72-45 provedl jeden pracovník za dobu 01:09 hod. Množství 45 stromů rychle rostoucích topolů (5,2 prm) zcela zaplnilo ložnou plochu vyvážecího přívěsu. Pro přepravu stromů po pozemní komunikaci muselo být zajištěno odřezání větví přesahujících boční hranu vyvážecího přívěsu. Tato činnost trvala 10 min. Při přepravě rychle rostoucích topolů vyvážecím přívěsem po pozemní komunikaci bylo nutné doprovodné vozidlo z důvodu přesahujících korun stromů za přívěs. Transport celých stromů rychle rostoucích topolů použitou univerzální traktorovou vyvážecí soupravou po pozemní komunikaci je z výše zmiňovaných důvodů problematický. Vyložení včetně přípravných prací trvalo 15 min. Štěpkovač zvládl zpracovat 45 stromů za dobu 22 min. Naměřená skutečná výkonnost štěpkování 26,46 prm<sub>s</sub>.h<sup>-1</sup> (teoretická výkonnost pro použitý štěpkovač 194,99 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> je v praxi nedosažitelná). Na zpracování 8,82 prm<sub>s</sub> topolů (včetně zahřívání) spotřeboval DC – 1217 tři litry motorové nafty. Rychlost transportu štěpkovaného materiálu třemi pracovníky je nedostatečná vzhledem k výkonu stroje. Vhodnějším řešením je zajistit transport hydraulickým jeřábem opatřeným rotátorem a drapákem. Sledované celkové přímé náklady na zpracování 8,82 prm<sub>s</sub> rychle rostoucích topolů vyšly 1 540 Kč. Potom přímé náklady na 1 prm<sub>s</sub> štěpky topolů vycházejí 174,6 Kč.

Druhá zkoušená metoda „výroba polenového dříví, štěpkování větví“ byla aplikována na zbylých 94 topolech. Pilař provedl krácení kmenů na sortimenty délky 1,5 m, které trvalo 02:01 hod. Celkové množství 4,45 prm polenového dřeva topolů nanosili dva pracovníci na traktorový přívěs za dobu 55 min. Větve a vrchní části topolů s průměrem menším než šest centimetrů nosil jeden pracovník na dvě deponie za dobu 02:21 hod. Při štěpkování transportovali střídavě dva pracovníci větve a vršky topolů do plnicího otvoru štěpkovače. Během štěpkování docházelo k olamu větví, které zůstávaly ležet pod plnicím otvorem stroje. Na seštěpkování 4,8 prm<sub>s</sub> větví a vršků topolů potřebovali dva pracovníci dobu 21 min, včetně 6 min přejezdu od 1. deponie k 2. deponii (vzdálené 17 m). V tomto čase není zahrnuta doba 10 min, po kterou se

stroj zahřival. Stanovená výkonnost štěpkovače DC – 1217 během zpracování větví a vršků topolů  $13,71 \text{ prm}_s \cdot \text{h}^{-1}$  je nižší, než při nasazení v první metodě. Výše celkových přímých nákladů na zpracování topolů metodou výroby polenového dříví a štěpkování větví činila 998 Kč. Pak přímé náklady na 1  $\text{prm}_s$  štěpky topolů a polenového dříví vycházejí 80,7 Kč.

Zjištěná vlhkost štěpky z probírkové těžby rychle rostoucích topolů 55,98 % odpovídá publikovaným údajům. Při kontrolním měření po šesti dnech uskladnění byla teploměrem Hanna HI 147-00 změřena teplota štěpky pod vrstvou 38 cm  $10,6 \text{ }^\circ\text{C}$  a pod vrstvou 48 cm  $17,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (při teplotě okolí  $3,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Tabulka 5.1 porovnává některé náklady metod. Metoda 1 v této tabulce znamená zpracování topolů postupem: krácení, přibližování, odvoz, štěpkování. Metoda 2 reprezentuje postup zpracování: výroba polenového dříví, štěpkování větví, Metoda 3 zahrnuje výsledky zjištěné v kapitole 4.1 (zpracování drtičem Doppstadt AK 450).

**Tabulka 5.1 – Porovnání metod zpracování rychle rostoucích topolů**

Přímý náklad	Zjištěné hodnoty (Kč)		
	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3
Množství zpracovaného materiálu celkem	5,2 prm	5,2 prm	5,2 prm
Mzdové náklady (obsluha DC – 1217, AK 450)	127,2	58	27,2
Mzdové náklady pilař	38,5	167	-
Mzdové náklady přibližování, Farmer P34,7 top	616,5	-	27,2
Mzdové náklady – obsluha vyvážecí soupravy	198,4	-	-
Mzdové náklady na přibližování a nakládání	-	151,6	-
Mzdové náklady na vytvoření 2 deponií	-	194,6	-
<b>Mzdové náklady na zpracování celkem</b>	<b>980,6</b>	<b>571,2</b>	<b>54,4</b>
Spotřeba PHM (DC – 1217, AK 450)	72	46,4	78,7
Spotřeba PHM vyvážecí soupravy	370,8	-	-
Spotřeba PHM Zetor 35-45	115,2	-	-
Spotřeba náplní motorové ruční pily H 33	16	69,3	-
Spotřeba PHM (Zetor 72-45, Farmer P34,7 top)	-	50,4	26,2
<b>Spotřeba PHM a náplní celkem</b>	<b>574</b>	<b>166,1</b>	<b>104,9</b>
<b>Přímé náklady celkem</b>	<b>1 554,6</b>	<b>737,3</b>	<b>159,3</b>

## 6 Diskuse a doporučení pro praxi

Na trhu v ČR jsou k dispozici stroje, které mohou být úspěšně použity pro sklizeň rychle rostoucích dřevin. Sklizeň lze realizovat různými způsoby v závislosti na předpokládaném využití. Pro kotle velkých výkonů lze využít kontinuální technologii zpracování celých stromů s využitím samojízdné sklízecí řezačky se speciálním sklizňovým adaptérem, víceúčelového kácecího stroje nebo štípacích nůžek nesených na zemědělských traktorech a následně štěpkovačů nebo drtičů. V těchto případech je štěpka odvážena ke spalovně do skladu, kde je ponechána k proschnutí (což musí být v optimálních vrstvách, aby nedocházelo k zahnívání) nebo míchána se suchým dřevním odpadem ke snížení obsahu vody (toto řešení je v praxi velmi často využíváno). Další variantou je využití atmosférického vzduchu k vysoušení seříznutých stromů. V tomto případě musí být odvezeny na vhodnou deponii, kde budou přes letní měsíce vysychat. Sběr a odvoz z plantáže je nutný proto, aby nebyl později poškozen nově rašící porost.

Domnívám se, že vzhledem k malým plochám porostů rychle rostoucích dřevin, které jsou u nás v současné době jednorázově těženy, se harvesterová technologie zatím neprosadí, protože cenově nemůže konkurovat ověřené technologii – ruční motorová řetězová pila – štěpkovač – traktor – čtyři (přes zimu jinak nevyužití) pracovníci ze zemědělství.

V dnešní době se na trhu objevuje řada nových a výkonných strojů jako například svazkovač těžebního odpadu John Deere 1 490 D, který sbírá, lisuje a váže těžební odpad do balíků, kompresní sběrač těžebních zbytků PC – 48 nebo univerzální kácecí stroj s kácecí hlavou typu FB 20, pracující na principu gilotinových štípacích nůžek. Všechny výše zmiňované stroje jsou použitelné při těžbě a zpracování porostů rychle rostoucích dřevin. Bylo by zajímavé realizovat praktická měření těchto strojů. Obávám se ale, že pokud nebudou realizovány výsadby velkých ploch s porostem RRD, je nasazení těchto výkonných strojů neekonomické.

Při probírkové těžbě stromořadí rychle rostoucích topolů snižoval do jisté míry výkonnost kácení fakt, že pilař a pomocník museli strom pro pořezení vybírat. Předznačením stromů by se výkonnost těžby jistě zvýšila. Při sledování časového snímku nakládání a skládání rychle rostoucích topolů na univerzální traktorovou vyvážecí soupravu bylo zjištěno, že podmínky nakládání mají vysoký vliv na výkonnost. Časový rozdíl mezi nakládáním a skládáním ve výši 54 min. je jistě

způsoben nutností přejezdů při nakládání 4 deponií, omezeným prostorem během práce hydraulického jeřábu a v neposlední řadě též malým objemem drapáku, který je primárně určen pro manipulaci s kmenovým sortimentem. Pro praxi z těchto výsledků vyplývá nutnost koncentrace materiálu pro přepravu v ideálním případě tak, aby po naložení deponie na přepravní prostředek došlo k plnému využití ložného prostoru. Volbou vhodného drapáku (co do rozměrů a konstrukce) na hydraulických jeřábech přepravních prostředků pro rychle rostoucí topoly, dojde ke zvýšení výkonnosti pracovního cyklu nakládání. Výsledky praktického měření ukázaly, že při využití štěpkovačů vyšších výkonových tříd je pro transport stromů (i zkrácených sortimentů) rychle rostoucích topolů do štěpkovače vhodné využít hydraulický jeřáb.

Použití drtiče (např. Doppstadt AK 450) pro zpracování rychle rostoucích topolů je sice možné, ale z výsledků měření jej nelze pro zpracování zcela doporučit. Jak uvádí (Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P., 2004) při nasazení drtiče pro zpracování větví topolů je vhodné zajistit osazení rotoru noži. Dřevní drť lze charakterizovat značnou rozměrovou rozmanitostí, proto je vhodné předem zajistit její odbyt. Drť může ve spalovacích zařízeních způsobovat potíže při transportu např. ve šnekových dopravnících.

V Tabulce 5.1 je provedeno porovnání přímých nákladů rozdílných metod zpracování RRD a ovocných dřevin. Ze zjištěných výsledků je patrná zvýšená spotřeba PHM drtiče Doppstadt AK 450 (Metoda 3) oproti štěpkovači Altec DC 1217 (Metoda 1, 2). Naproti tomu mzdové náklady na obsluhu drtiče a čelního nakladače jsou výrazně nižší než srovnatelné náklady v Metodě 1 a Metodě 2. Rozhodnutí o způsobu zpracování RRD má výrazný vliv na celkovou ekonomiku sklizně. Jak je možné vidět v Tabulce 5.1 rozdíl sumy některých přímých nákladů na zpracování 5,2 prn rychle rostoucích topolů Metodou 1 a Metodou 2 činí 817,3 Kč tj. přibližně 53 %.

Způsob přepravy a zpracování celých stromů rychle rostoucích topolů dle (Verani, S., et al., 2008) „Centrální skladový systém“ popsany v kapitole 3.4.1 bude v podmínkách České republiky těžko realizovatelný. Přeprava takto rozměrných přívěsů s nákladem celých stromů rychle rostoucích dřevin je po pozemních komunikacích za plného provozu jen těžko možná. Zajímavá je informace o přepravních vzdálenostech, které zřídka přesahují 40 km. To má vliv na ekonomiku pěstování a zpracování RRD. U nás bohužel stále chybí decentralizovaná síť lokálních moderních spaloven na biomasu, která by měla vliv na délku přepravních vzdáleností a zároveň ovlivnila ceny na trhu s biopalivy.

Možnou variantou zpracování RRD jak uvádí (Verani, S., et al., 2008) je „Skladový systém na okraji plantáže“. Tato technologie by mohla být použitelná i v podmínkách České republiky za předpokladu, že by se podnikatelům vyplatilo investovat do drahé techniky. To by znamenalo realizovat výsadbu stovek hektarů plantáží. Za zvážení by stála záměna nasazených strojů - stacionárního štěpkovače a čelního nakladače. Nahradit tyto stroje může vyvážecí souprava s mobilním štěpkovačem, např. Obrázek 3.6.

Perspektivně se jeví využití přímé sklizně RRD samojízdnou sklízecí řezačkou. Tato metoda je již hojně využívána např. v severských zemích. Omezením této metody je malý průměr sklízených dřevin a poměrně vyšší vlhkost štěpky.

Sledováním produkčních výnosů topolů bylo zjištěno, že v prvních dvou letech po výsadbě je důležitá likvidace plevelů, která má značný vliv na přírůstky topolů.

Během sestavování ekonomických modelů a navrhování souprav pro těžbu a zpracování topolů na plantáži je nutné počítat s tím, že výkonnosti strojů udávané výrobcem se mohou značně lišit od výkonností dosažených při práci na plantáži. Z praktického měření diskového štěpkovače DC-1217 se ukázala rozdílná výkonnost štěpkování celých stromů ( $26,46 \text{ prm}_s \cdot \text{h}^{-1}$ ) a štěpkování větví a vršků rychle rostoucích topolů ( $13,71 \text{ prm}_s \cdot \text{h}^{-1}$ ).

Při výběru vhodné varianty způsobu sklizně a zpracování RRD je nutné vzít v úvahu všechny faktory. Omezením pro použití té či jiné varianty může být rozloha, tvar nebo sklon plantáže. Dále pak i charakter povrchu, přepravní vzdálenosti, požadovaná forma produkce, dostupnost vhodné techniky aj. Rozhodnutí o volbě správné varianty musí provést odborník na základě důkladné analýzy s přihlédnutím ke všem podmiňujícím faktorům.



## 7 Seznam použité literatury

1. CELJAK, Ivo; BOHÁČ, Jaroslav; KOHOUT, Pavel. *Rádce pro pěstitele plantáží rychle rostoucích topolů*. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2007. 54 s. ISBN 978-80-7394-011-9.
2. CELJAK, Ivo; BOHÁČ, Jaroslav; KOHOUT, Pavel. *Význam cíleně pěstovaných rychle rostoucích topolových porostů v krajině*. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2008. 46 s. ISBN 978-80-7394-140-6.
3. CENEK, Miroslav, et al. *Obnovitelné zdroje energie*. 2., uprav. a dopl. vyd. Praha: FCC PUBLIC, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.
4. Firemní podklady Some, *Stroje na zpracování biomasy, dřevního a komunálního odpadu Doppstadt*. 2008.
5. HAVLÍČKOVÁ, Kamila, et al. *Rostlinná biomasa jako zdroj energie*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2008. 83 s. ISBN 978-80-85116-65-6.
6. HAVLÍČKOVÁ, Kamila, et al. *Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin*. 1. vydání. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2007. 92 s. ISBN 978-80-85116-00-7.
7. *Jensen: Štěpkovače* [online]. c2010 [cit. 2010-03-12]. Produkty. Dostupné z WWW: <<http://www.stepkovace-jensen.cz/>>.
8. KALANDRA, A. et al.: *Rychle rostoucí dřeviny a jejich pěstování*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1953, s. 142.

9. KÁRA, Václav, et al. *Využití biomasy pro energetické účely*. Praha: Česká energetická agentura, 1997. 157 s.
10. *Merimex s. r. o.: Prodej speciální lesní techniky John Deere* [online]. c2010 [cit. 2010-03-12]. Dutch Dragon. Dostupné z WWW: <<http://www.merimex.cz>>.
11. MOUDRÝ, Jan, SOUČKOVÁ, Helena, et al.: *Nepotravinářské využití fytohmoty*. První vydání, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky v Praze, DTP České Budějovice, 2006, s. 95, ISBN 80-7040-857-X.
12. MOUDRÝ, Jan; STRAŠIL, Zdeněk. *Pěstování alternativních plodin*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 1999. 165 s. ISBN 80-7040-383-7.
13. MOUDRÝ, Jan; STRAŠIL, Zdeněk. *Energetické plodiny v ekologickém zemědělství*. Hradec Králové: Spolek poradců v ekologickém zemědělství, vh Press, 1998. 56 s.
14. MURTINGER, Karel, et al. *Biomasa: průvodce jihočeským trhem*. Vydání první. České Budějovice : Energy Centre České Budějovice, 2008. 45 s.
15. NOSKIEVIČ, Pavel, et al. *Biomasa a její energetické využití*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1996. 68 s. ISBN 80-7078-367-2.
16. PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC PUBLIC, 2004. 288 s. ISBN 80-86534-06-5.
17. PETŘÍKOVÁ, Vlasta, et al. *Energetické plodiny*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2006. 127 s. ISBN 80-86726-13-4.

18. PŘÍHODA, Jan: Technologie pro zpracování dendromasy - těžebních zbytků. *Biom.cz* [online]. 2008-06-09 [cit. 2010-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/technologie-pro-zpracovani-dendromasy-tezebnich-zbytku>>. ISSN: 1801-2655.
19. *Průručka pro žadatele*. Praha: Státní zemědělský intervenční fond, 2010. Podmínky pro jednotnou platbu (SAPS), s. 6-109.
20. SIMANOV, Vladimír. *Energetické využívání dříví: možné způsoby energetického využívání těžebního odpadu a dalších opomíjených zdrojů dříví*. 2. vydání. Olomouc: Terra polis, 1995. 115 s.
21. SLADKÝ, Václav. Efektivní spalování biomasy v kotlích na uhlí a koks. *Energie 21: časopis obnovitelných zdrojů energie*. 2009, č. 6, s. 20. ISSN 1803-0394.
22. SLADKÝ, Václav. *Zemědělská technika: příprava paliva z biomasy*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1996. 55 s. ISSN 0862-3562.
23. *Some: Prodej a servis zemědělské, lesnické a komunální techniky* [online]. Jindřichův Hradec: 2009 [cit. 2010-03-12]. Komunální technika. Dostupné z WWW: <<http://www.somejh.cz>>.
24. TRNKA, Jiří Úvodní slovo k semináři: Zemědělská technika a biomasa. In *Zemědělská technika a biomasa 2005*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005. s. 5-6. ISBN 80-86884-07-4.
25. TRNOBRANSKÝ, Karel; VALENTOVÁ, Marie; DUFOUR, René. *Energetické využívání dřevních odpadů*. Praha: Česká energetická agentura, 1998. 103 s.
26. *Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví* [online]. Verze 3.3. Praha: c2009 [cit. 2010-02-28]. České technické normy. Dostupné z WWW: <<http://csnonline.unmz.cz/Vysledky.aspx>>.

27. VERANI, Stefano, et al. *Field Handbook: poplar harvesting* [online]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008 [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.fao.org/docrep/011/k3305e/k3305e00.HTM>>.
28. VYSLYŠEL, Kamil, et al. *Pracovní metodika pro privátní poradce v lesnictví: Užívání k přírodě šetrných technologií při hospodaření v lesích* [online]. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, 2007, 2007 [cit. 2010-03-11]. Těžebně-dopravní technologie „šetrné k přírodě“. Dostupné z WWW: <<http://www.uhul.cz/poradenstvi/metodiky/UKPSTPHVL.pdf>>.
29. WEGER, Jan, et al. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie v krajině*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2003. 50 s.

## 9 Přílohy

### Příloha A



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 1 – Probírková těžba rychle rostoucích topolů**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 2 – Přibližování sortimentů rychle rostoucích topolů**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 3 – Nakládání sortimentů rychle rostoucích topolů**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 4 – Skládání sortimentů rychle rostoucích topolů**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 5 – Štěpkování sortimentů rychle rostoucích topolů**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 6 – Výroba polenového dřeva**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 7 – Odvoz sortimentu rychle rostoucích topolů**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 8 – Štěpkování větví rychle rostoucích topolů**





Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 9 – Štěpka topolů vytvořená štěpkovačem Altec DC - 1217**



Pramen: (Plevka, V., 2009)

**Obrázek 10 – Skladování štěpky**