

Mendelova univerzita v Brně  
Lesnická a dřevařská fakulta  
Ústav základního zpracování dřeva



Optimalizace výroby lepených hranolů na závodě Stora Enso WP HV, s.r.o. ve  
Ždírci nad Doubravou

Diplomová práce

Samostatná příloha - výkresová dokumentace

*Prohlašuji, že jsem práci: Optimalizace výroby lepených hranolů na závodě Stora Enso WP HV, s.r.o. ve Ždírci nad Doubravou zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona c. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací. Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon c. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona. Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předemtná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladu spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.*

*V Brně, dne: .....*

## Poděkování

Rád bych poděkoval všem, díky kterým tato práce mohla vzniknout. Zejména lidem ve vedení firmy Stora Enso WP HV s.r.o., kteří mi dali možnost využít veškeré zázemí firmy pro práci a ochotně se mnou vše konzultovali.

## **ABSTRAKT**

Název diplomové práce: Optimalizace výroby lepených hranolů na závodě  
Stora Enso WP HV, s.r.o. ve Ždírci nad Doubravou

Autor diplomové práce: Bc. Dominik Růžička

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi optimalizace výroby lepených hranolů ve firmě Stora Enso WP HV, s.r.o. ve Ždírci nad Doubravou. Práce staví na požadavcích firmy, která vysledovala problémová místa na lince a práce navrhuje možnosti řešení těchto problémů.

Problémy se vyskytují ve třech oblastech. V oblasti plánování výroby je řešen vztah mezi cenou vstupujícího řeziva a dosahovanou výtěží ve smyslu výhodnosti nákupu přísněji tříděného řeziva. Druhou oblastí je časová návaznost dvou stěžejních operací výroby, krácení a frézování. Zde jsou řešeny podmínky vzniku prostojů a metoda optimalizace počtu krátících řezů, tak aby k prostojům nedocházelo. Poslední oblastí je automatické jakostní třídění. V práci je navržen druh automatického třídícího stroje pro hodnocení vad řeziva, jeho zařazení do výroby a možnosti využití.

Klíčová slova: konstrukční dřevo, KVH, optimalizace, krácení, třídění řeziva, automatické třídění řeziva

## **ABSTRACT**

Thesis title: Optimization of finger joint construction timber production line in Stora Enso WP HV s.r.o. in Ždírec nad Doubravou

Author: Bc. Dominik Růžička

This deals with possibilities of optimisation finger joint construction timber production line in Stora Enso WP HV s.r.o. in Ždírec nad Doubravou. The thesis was based on Stora Enso requirements which were found earlier and the thesis suggest solutions of these problems.

The solutions of problems were designed in three areas. In first there was solved profit from buying better sorted timber in relation between price of timber and yield of the timber. The next interest was continuity between two main operations, cutting and joint milling. These two operations are in close relation and there was identified conditions for formation downtimes. The method for avoiding downtimes was based on decreasing quantity of cuts. The last of thesis was about possibility to use automatic grading machine for classifying wood defects. For automatic grading machine was designed placement in or out of production line and its opportunities.

Key words: construction timber, finger joint construction timber, optimisation, cutting, timber grading, automatic timber grading

## **OBSAH**

1	Úvod .....	8
2	Cíl práce.....	10
3	Metodika .....	11
4	Současný stav.....	13
4.1	Konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem.....	13
4.2	Schéma a popis technologie .....	17
4.3	Znaky třídění.....	20
4.3.1	Měření jednotlivých znaků třídění.....	20
4.3.2	Kvalitativní rozdělení konstrukčního dřeva .....	23
4.3.3	Zastoupení vyráběných rozměrů .....	26
4.3.4	Kvalitativní požadavky na řezivo vstupující do výroby KVH .....	29
4.4	Parametr kvality řeziva .....	31
4.4.1	Stávající hodnoty výtěže.....	31
4.5	Označování vad dřeva .....	31
4.5.1	Metodika posouzení kvality práce třídičů .....	32
4.5.2	Statistika chybovosti označování .....	33
5	Metody optimalizace výroby .....	34
5.1	Ztráta způsobená chybným označením vad.....	34
5.2	Mezní rentabilní výtěž .....	35
5.3	Plánování výroby s ohledem na kvalitu vstupního řeziva a dosahované výtěže .. 35	
5.4	Optimalizace práce krátkých pil s ohledem na následující frézování.....	36

5.4.1	Časy operací krácení a frézování.....	36
5.4.2	Maximální počet krátících řezů.....	40
5.4.3	Počet prováděných krátících řezů.....	40
5.4.4	Návrh snížení počtu prováděných řezů .....	42
5.5	Použití automatického třídícího stroje.....	46
5.5.1	Nároky kladené na zařízení .....	46
5.5.2	Druhy strojního třídění .....	47
5.5.3	Návrh umístění scanneru .....	50
5.5.4	Ekonomické hodnocení jednotlivých variant umístění .....	52
6	Výsledky.....	54
6.1	Ztráta způsobená chybným označováním vad.....	54
6.2	Mezní rentabilní výtěž .....	56
6.3	Plánování výroby s ohledem na kvalitu vstupního řeziva a dosahované výtěže .. .....	57
6.4	Optimalizace práce krátících pil s ohledem na následující frézování.....	59
6.4.1	Časy operací .....	59
6.4.1	Maximální počet krátících řezů.....	61
6.4.2	Optimalizace délky odpadového kusu vůči délce propadu .....	63
6.5	Použití automatického třídícího stroje.....	67
6.5.1	Nároky kladené na zařízení .....	68
6.5.2	Přehled dostupných scannerů a jejich vybavenost .....	68
6.5.3	Návrh umístění scanneru .....	71
6.5.4	Ekonomické hodnocení jednotlivých variant umístění .....	74

7	Doporučení jednotlivých metod optimalizace výroby.....	77
7.1	Ztráta způsobená chybným označováním vad.....	77
7.2	Mezní rentabilní výtěž .....	77
7.3	Plánování výroby s ohledem na kvalitu vstupního řeziva a dosahované výtěže .. .....	77
7.4	Optimalizace práce krátkých pil s ohledem na následující frézování.....	78
7.5	Použití automatického třídícího stroje.....	79
8	Závěr.....	80
9	Summary.....	82
10	Seznam citované literatury .....	84
11	Seznam obrázků .....	86
12	Seznam tabulek.....	89
13	Technické dokumentace a přílohy .....	91



# 1 ÚVOD

Skupina Stora Enso je předním světovým výrobcem papíru, obalových materiálů, bio-materiálů a výrobků ze dřeva. V třiceti pěti zemích světa zaměstnává 27 000 lidí. V České republice jsou čtyři závody skupiny Stora Enso. IT centrum v Ostravě, pila v Plané u Mariánských lázní. Ve Ždírci nad Doubravou sídlí pila, výroba konstrukčního dřeva KVH, lepeného rostlého a lepeného lamelového dřeva, kogenerační jednotka a peletárna.

*Tab. 1 Historický vývoj pily ve Ždírci nad Doubravou (Stora Enso, 2015)*

Rok	Událost
1872	Parní pila
1948	Znárodnění společnosti a začlenění do Východočeských dřevařských závodů
1979	Požár pily
1989	Instalována nová technologie KOCKUM CANCAR
1995	Pilu kupuje společnost Schweighofer a Stora Enso Timber
2000	Stora Enso Timber přebírá od Holzindustrie Schweighofer všechny závody do plného vlastnictví
2001	INVESTICE Holzwerke Wimmer do závodu na další zpracování
2003	Certifikát PEFC
2005	Holzwerke Wimmer v plném vlastnictví Stora Enso Timber
2006	Certifikace EMAS ISO14401, OHAS a ISO9001 / pořez 1 000 000 m <sup>3</sup>
2013	Spuštění kogenerační jednotky
2015	Peletárna / společná certifikace ISO 14001, ISO 9001, ISO 50001, OHCAS 18001, PEFC, FSC



*Obr. 1: Letecký snímek areálu Stora Enso ve Ždírci nad Doubravou (Stora Enso, 2015)*

Stora Enso WP HV s.r.o. se ve Ždírci nad Doubravou zabývá výrobou konstrukčního dřeva spojovaného zubovitým spojem (KVH), lepeného lamelového dřeva (BSH) a lepeného rostlého dřeva (DUO/TRIO) s patnáctiletou tradicí. Objem produkce za rok 2014 byl 139 000 m<sup>3</sup> KVH. Samotná linka pro výrobu konstrukčního dřeva je po celou dobu provozu soustavně vylepšována a v dnešní době plně vyhovuje všem požadavkům výroby, proto není v plánu rozsáhlá rekonstrukce ve smyslu kompletní výměny technologie. Současným cílem je pokračovat v neustálém navyšování efektivity výroby a práce.

## 2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je vyhledat technické, technologické a výrobní nedostatky současné výroby, navrhnout a vyhodnotit metody optimalizace výroby v předem stanovených oblastech výroby a navrhnout využití těchto metod. Navržené metody optimalizace by měly mít za následek zvýšení výkonu linky, zvýšení výtěže, nebo zvýšení efektivity výroby. Všechny návrhy budou vycházet ze stávajícího stavu výroby, její technologie a organizace.

Oblasti, kterými se práce bude zabývat, jsou: plánování výroby - výhodnost nákupu řeziva vyšší kvality ve vztahu k jeho ceně a dosahované výtěži. Provozní část práce bude řešit návaznost dvou stěžejních operací, krácení a frézování, podmínkami, za kterých dochází k prostojům. Cílem je návrh řešení jak prostojům předcházet. Poslední oblastí bude možnost nahradit vizuální třídění třídícím strojem a základní ekonomické hodnocení investice.

Jednotlivá řešení bude třeba zvážit vzhledem k jejich proveditelnosti, k finanční náročnosti a zejména k jejich vlivu na výtěž a výkon výroby. Práce zejména v části pojednávající o automatickém třídění nemá být kompletním podkladem pro přestavbu technologie, ale klade si za cíl uvážit na tuto možnost jakostního třídění řeziva a nastínit směr možného řešení.

### 3 METODIKA

V začátku bude uveden popis současného stavu výroby konstrukčního dřeva spojovaného zubovitým spojem (KVH). Vzhledem k současnému stavu výrobní linky budou vyhledány možnosti zlepšení v těchto oblastech:

1. Jakost vstupního materiálu.
2. Požadavky na jakost výstupního výrobku.
3. Operace a jejich vzájemné technologické vazby.
4. Možnosti sledování a vyhodnocování jakosti řeziva.

Pro vstupní materiál bude stanoveno, v jakých kvalitativních třídách lze materiál nakupovat, a za jakých podmínek ceny a výtěže je vhodné ten který materiál nakupovat.

Vstupní řezivo je možné zařadit do výroby pohledového, nebo nepohledového KVH. Na základě cen řeziva, cen hotového výrobku a dosahovaných výtěží bude stanoveno, za jakých podmínek je vhodné zařadit řezivo do výroby jednotlivých kvalitativních tříd KVH.

Při označování nepovolených vad na vstupním řezivu se třídiči dopouští chyb. To bude rozebráno a zpracováno do podoby ztráty způsobené chybným označováním vad. Bude vycházeno ze stávajících záznamů o chybovosti označování vad a o hodnotách výtěže. Pro vyjádření této ztráty v peněžních jednotkách bude nutné stanovit ceny materiálu a finálních produktů.

V oblasti optimalizace výroby bude stanovena časová návaznost předem vybraných operací krácení a frézování. Budou změřeny časy obou operací a bude stanoveno, za jakých podmínek dochází k prostojům. Při návrhu opatření na snížení počtu prostojů bude navrženo řešení, které je možné aplikovat do stávající technologie. Návrhem bude stanovení maximální možné délky odpadového kusu na základě výpočtu trajektorie padajícího kusu a bude vyčísleno, jaký přínos taková úprava bude mít.

Možnosti sledování a vyhodnocování vad v dnešní době významně rozšiřuje možnost strojního vyhodnocování jakosti řeziva. Proto bude uveden přehled možností strojního vyhodnocování jakosti řeziva. Bude doporučen princip snímání vhodný pro využití ve Stora Enso WP HV s.r.o. a budou stanoveny možnosti využití stroje ve

stávajících podmínkách společnosti. Následně bude navrženo zařazení zařízení do technologie a jeho základní ekonomické hodnocení.

## 4 SOUČASNÝ STAV

### 4.1 Konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem

V dnešní době je konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem široce využívaným konstrukčním materiálem a jeho cílem je nahradit zpracování dlouhých sortimentů dřeva, které jsou výjimečně náročné na kvalitu kulatiny, jež musí být v požadované délce konečného řeziva. Požadavek na takto dlouhý sortiment musí být brán v potaz už při kácení stromu a rozmanipulování na jednotlivé sortimenty. Nemenší nároky jsou kladené na technologické vybavení pilnice, která musí být uzpůsobena na pořez takto dlouhých sortimentů. Tyto komplikace při využití dřeva spojovaného zubovitým spojem odpadají. Pilnice zpracovává standardní délky kulatiny, na dodavatele kulatiny nejsou vyvíjeny žádné speciální požadavky a dodává standardní pilařské výřezy. Konstrukční dřevo nachází uplatnění především ve stavebnictví, ať už jako materiál pro střešní konstrukce u zděných domů, nebo jako základní prvek, dnes se rychle rozšiřujících, dřevostaveb.



Obr. 2 Zubovitý spoj (Stora Enso, 2012)

Stora Enso WP HV s.r.o. vyrábí konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem, třídy pevnosti C24, ze smrkového dřeva. Třídy pevnosti konstrukčního dřeva stanovuje ČSN EN 338: Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti, 2010. Třídy pevnosti konstrukčního dřeva mají velký význam jak v návrhu dřevěných konstrukcí, tak v jejich provádění díky tomu, že stanovují obecné pevnostní požadavky na dřevo. V praxi potom

není třeba využívat konkrétní dřevo, ale jen dodržet příslušnou třídu pevnosti. Charakteristické hodnoty pro třídu pevnosti C24 jsou uvedeny v tab. 2.

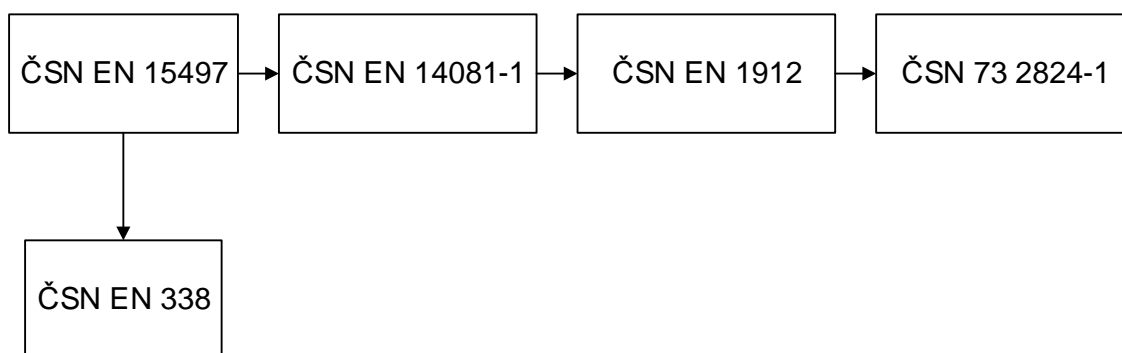
Pro označování konstrukčního rostlého dřeva spojovaného zubovitým spojem se v České republice vžilo označení KVH. KVH je zkratka z německého Konstruktionsvollholz – konstrukční dřevo. V angličtině se konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem nazývá solid construction timber, nebo finger joint construction timber.

Tab. 2 Charakteristické hodnoty pro třídu pevnosti C24, při 20 °C a RW 65 % dle (ČSN EN 338, 2010)

Pevnostní vlastnosti		[MPa]
Ohyb	$f_{m,k}$	24
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	14
Tah kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,4
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	21
Tlak kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,5
Smyk	$f_{v,k}$	4,0
Tuhostní vlastnosti		[GPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	11
5 % kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$	7,4
Průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	0,37
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	$G_{mean}$	0,69
Hustota		[kg/m <sup>3</sup> ]
Hustota	$\rho_k$	350
Průměrná hodnota hustoty	$\rho_{mean}$	420

Požadavky na konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem stanovuje ČSN EN 15497: Konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem – Požadavky na funkční vlastnosti a výrobní požadavky, 2015. Dle (ČSN EN 15497, 2015) je komponentem pro konstrukční dřevo spojované zubovitým spojem prkno, bez jakýchkoliv ohledů na rozměry. Toto prkno, respektive řezivo použité při výrobě konstrukčního dřeva spojovaného zubovitým spojem musí být dle (ČSN EN 15497, 2015) pevnostně tříděno podle ČSN EN 14081–1: Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo

obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti – Část 1: Obecné požadavky, 2011. Při vizuálním pevnostním třídění, což je případ firmy Stora Enso WP HV s.r.o., se (ČSN EN 14081-1, 2011) odkazuje na ČSN EN 1912: Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti – přiřazení vizuálních tříd a dřevin, 2012. (ČSN EN 1912, 2012) pro požadovanou třídu pevnosti C24 uvádí, že pro Německo, Rakousko a Českou republiku odpovídá vizuální třída S10. Požadavky pro třídění do vizuální třídy S10 stanovuje ČSN 73 2824-1: Třídění dřeva podle pevnosti – Část 1: Jehličnaté řezivo, 2015 viz tab. 3. Způsoby měření jednotlivých vad jsou uvedeny v kapitole 4.3.1.



Obr. 3 Diagram návaznosti norem

Tab. 3 Požadavky pro vizuální třídu S10 dle (ČSN 73 2824-1, 2015)

Znaky třídění	Pro hranoly a pro prkna a fošny zatěžované nastojato (K)	Pro prkna a fošny	Pro latě
	S 10; S 10K	S 10	S 10
Suky	Do 2/5		Do 1/3 <sup>a</sup>
- Jednotlivý		Do 1/3	
- Skupinové		Do 1/2	
- na úzké straně		Do 2/3	
- u borovice			Do 2/5 <sup>b</sup>
Odklon vláken	Do 12 %	Do 12 %	Do 12 %
Dřeň	Dovoluje se	Dovoluje se	Nedovoluje se <sup>c</sup>
Šířka letokruhů	Do 6 mm	Do 6 mm	
- u douglasky	Do 8 mm	Do 8 mm	Do 8 mm
Trhliny			



Znaky třídění	Pro hranoly a pro prkna a fošny zatěžované nastojato (K)	Pro prkna a fošny	Pro latě
	S 10; S 10K	S 10	S 10
- výsušné	Do 1/2	Dovolují se	Dovolují se
- odlupčivé, způsobené bleskem	Nedovolují se	Nedovolují se	Nedovolují se
Oblina	Do 1/4	Do 1/3	Do 1/3
Zakřivení			
- Podélné	Do 8 mm	Do 8 mm	Do 12 mm
- Šroubové	1 mm/25 mm výšky	1 mm/25 mm šířky	1 mm/25 mm šířky
- Příčné		Do 1/30	
Zamodrání	Dovoluje se	Dovoluje se	Dovoluje se
Pruhovitost (pevné hnědé a červené pruhy)	Do 2/5	Do 2/5	Do 3/5
Hnědá a bílá hniloba	Nedovoluje se	Nedovoluje se	Nedovoluje se
Tlakové dřevo	Do 2/5	Do 2/5	Do 3/5
Poškození hmyzem	Chodbičky do průměru 2 mm		
Další znaky	Uváží se přiměřeně na základě ostatních znaků třídění		
<sup>a</sup> hranové suky a suky na úzké straně, které probíhají z jedné úzké strany na druhou, se nedovolují. U latí s průřezem 40 mm x 60 mm se dovolují do poměrného rozměru suků na úzké straně 1/3. Obecně se nedovolují suky, které probíhají z jedné úzké strany na druhou a ukazují se na obou širších stranách			
<sup>b</sup> u latí s průřezem 40 mm x 60 mm se dovolují do 1/2			
<sup>c</sup> dovoluje se u smrku			

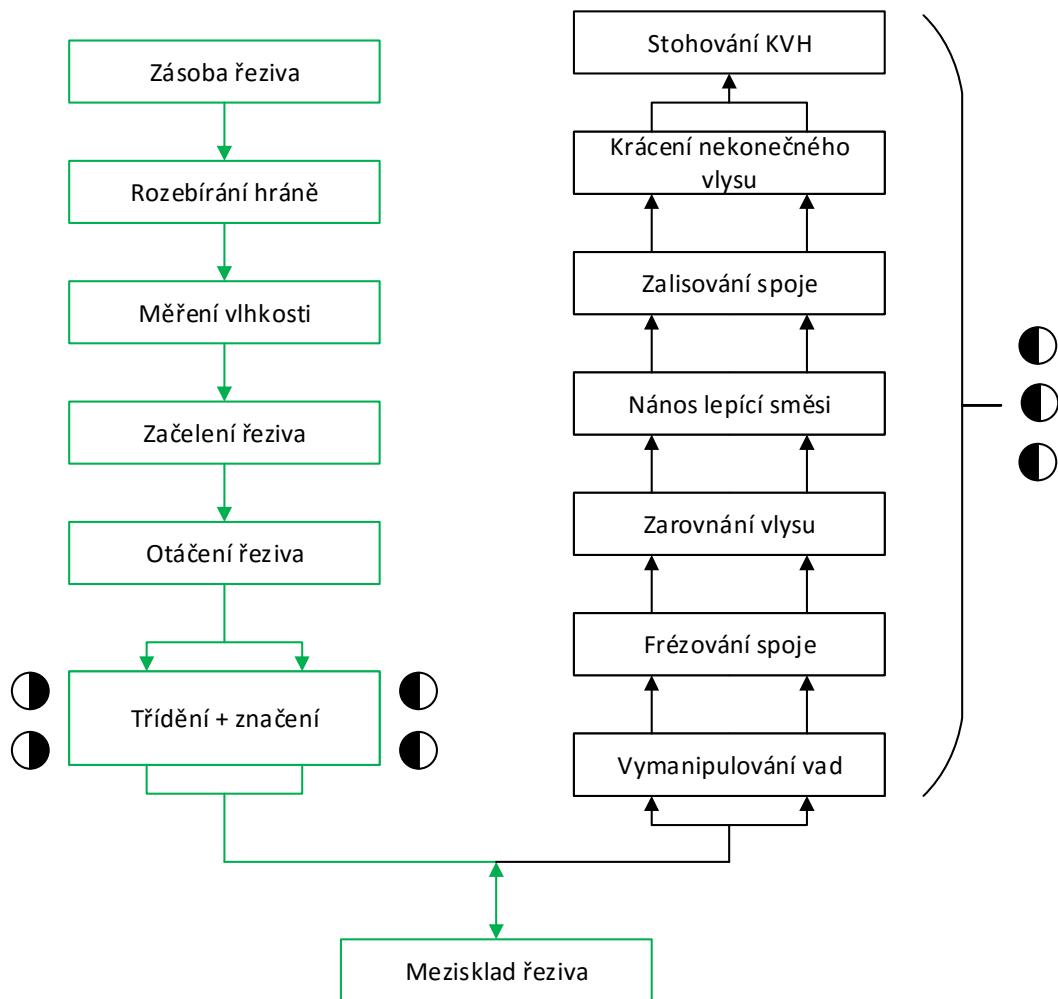
Produkce firmy se sestává zejména ze standardních rozměrů KVH, dle tab. 4. Tyto vybrané dimenze jsou vyráběny na sklad a umožňují nejrychlejší dodávku. Samozřejmostí je možnost výroby libovolného průřezu dle přání zákazníka. Při výrobě nestandardní dimenze je nutné počítat s delší dodací lhůtou a určitou minimální velikostí objednávky.

Tab. 4 Standardně vyráběné rozměry KVH (Stora Enso, 2015)

		Šířka [mm]											
		60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
Tloušťka [mm]	40	•	•	•	•	•	•	•	•		•		
	50		•	•	•	•	•	•	•				
	60	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	80		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	100			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	120				•	•	•	•	•	•	•	•	•
	140					•	•	•	•	•	•		

## 4.2 Schéma a popis technologie

Při výrobě konstrukčního dřeva KVH ve firmě Stora Enso WP HV s.r.o. se ve velké míře využívá moderních technologií a automatických systémů výroby. V celém toku výroby je tedy úloha pracovníků spíše dohledová, kontrolní a pomocná. Pracovníci dohlízejí a kontrolují správný chod linky a řeší nestandardní situace, chybová hlášení a úkony, které dosud nebyly zautomatizovány. Jediným úkonem, který provádí pouze lidé je třídění a hodnocení vstupujícího řeziva dle kvality a označování míst s nepovolenými vadami k vymanipulování. Obr. 4 ukazuje schéma jednotlivých operací nutných k výrobě lepeného konstrukčního dřeva. Podrobnější náhled na situační řešení linky nabízí příloha 1.



Obr. 4 Schéma výrobní linky KVH

Obrázek je barevně rozdělen do dvou částí podle toho, jak pracovníci obsluhují jednotlivé úseky linky. Čtyři pracovníci, kteří třídí prkna a označují nepovolené vady, zároveň obsluhují část linky od zásoby řeziva až po mezisklad vytříděných prken. Další tři pracovníci zodpovídají za část linky od krátících pil, které vymanipulovávají vady, až po konečné stohování KVH.

Na začátku do výroby vstupují hráně vysušeného řeziva, které se uskladňují na příčných řetězových dopravnících a slouží jako mezi zásoba vyrovnávající nesoulad navázení hrání vysokozdvíhým vozíkem a požadavky linky na zásobování řezivem. Rozebírání řeziva probíhá na hydraulickém zdvihacím stole, který zdvihá hráň do takové výšky, aby mohl vakuový rozebírač odebrat svrchní vrstvu řeziva a položit ji na příčný řetězový dopravník linky. Proklady jsou vždy po odebrání vrstvy řeziva smeteny mechanickým kartáčem a uloženy do přepravního boxu pro opakované použití. Na příčném řetězovém dopravníku probíhá měření a zaznamenání vlhkosti každého prkna

pomocí dvojice odporových vlhkoměrů se zabodávacími sondami. Prkna pokračují v příčné přepravě přes začelovací válce, které je dotlačí k dorazu a následně je čelo začištěno kotoučovou pilou. Totéž se opakuje pro druhé čelo prkna. Poté je zjištěna orientace pravé a levé strany každého prkna. Scanner snímá tvar – příčný průhyb řeziva, který vzniká borcením dřeva při sušení. Bodově snímá vzdálenost stopy laseru a proložením křivky těmito body vyhodnocuje, zdali je proložená křivka konkávní či konvexní. Pokud je křivka konkávní, je prkno orientováno pravou stranou nahoru. Pokud není prkno orientováno zvolenou pravou stranou nahoru, vyšle pokyn obraceči, který prkno otočí.



*Obr. 5 Grafická výstup scanneru orientace prken*

Prkna pokračují na dvojici třídících pultů, kde jsou u každého dva pracovníci, kteří vyhodnotí kvalitu prkna a označí nepovolené vady na prkně. Takto lze prknu přidělit tři kvality:

1. pohledová kvalita SI,
2. nepohledová kvalita NSI,
3. odpad.

Vytříděná prkna pokračují kolem skladu mezi zásoby, kde jsou podle potřeby vakuovým podavačem buďto naskladněna, nebo vyskladněna. V další operaci jsou odstraněny označené nepovolené vady pomocí dvojice automatických kotoučových krátkých pil GreCon Kappsäge Opticut 802 LI. Všechny vyrobené vlysy jsou poté otočeny a jsou podávány do frézky GreCon Keilzinkenanlage CF 300-8, kde je na obou koncích vlysu vyroben ozubový spoj. Vlys se spojí je poté začelen jako příprava pro nanášení lepicí směsi. Lepící směs je nanášena pouze na jeden konec vlysu. Nanášení je prováděno bezkontaktně a z každého nánosu je automaticky pořízen snímek a kontrolován příslušným softwarem. Pokud je nános vyhodnocen jako nevyhovující, je nutný zásah obsluhy, která může provést opakovaný nános lepicí směsi, nebo vlys odstraní z výroby. Po nanesení lepidla je provedeno sesazení vlysu na konec předchozího

a místo spoje je zastaveno v lisu, kde dojde k zalisování. Lisovací tlak i čas je stanoven podle průřezu vlysů. Spoj získá díky své samosvornosti dostatečnou pevnost pro vytvrzení lepidla mimo lis. Takto vzniklý nekonečný vlys je krácen kotoučovou pilou na požadovanou délku. Následuje stohování vyrobeného KVH do svazků a odložení svazků do technologické mezi zásoby. Během skladování lepidlo v jednotlivých spojích vytvrdne a KVH získá konečnou pevnost. Konečnou úpravu získá KVH čtyřstranným frézováním.

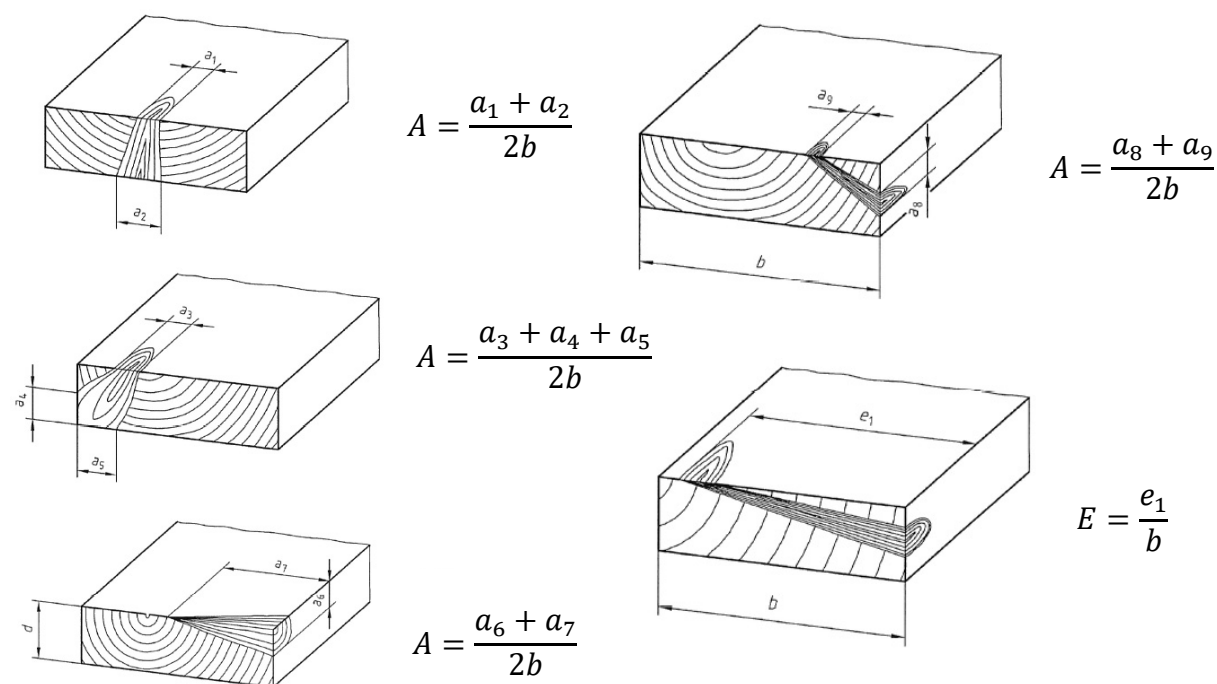
### 4.3 Znaky třídění

Jako znaky třídění jsou označovány jednotlivé projevy anatomické stavby dřeva, jako je odklon vláken, suky apod.

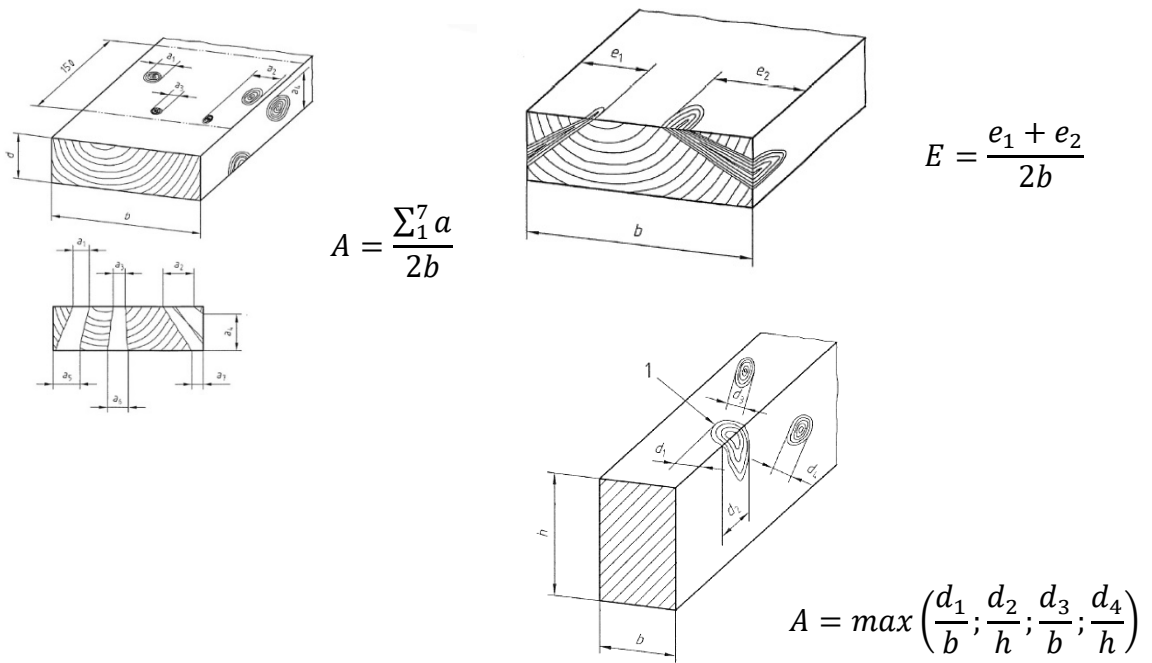
#### 4.3.1 Měření jednotlivých znaků třídění

Metodiku měření jednotlivých znaků dřeva popisuje (ČSN 73 2824-1, 2015) takto:

##### 4.3.1.1 Suky

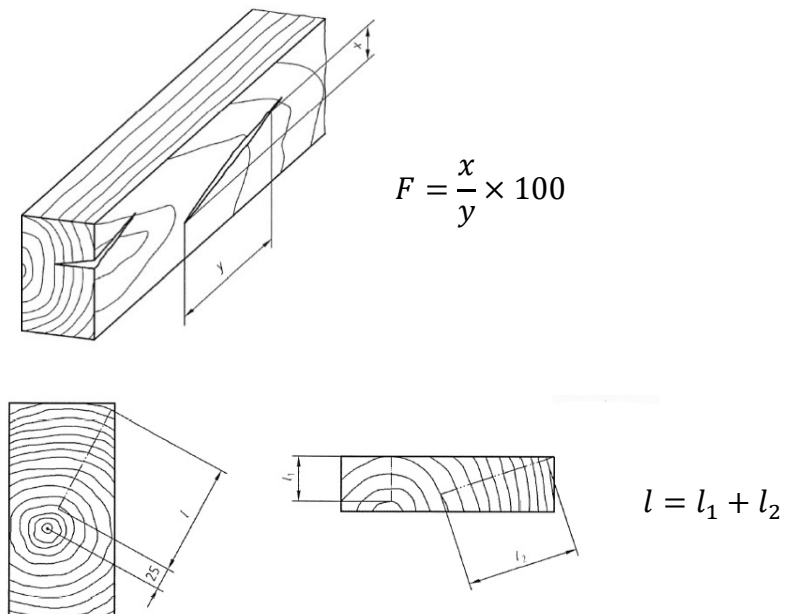


Obr. 6 Měření velikosti suků dle (ČSN 73 2824-1, 2015)



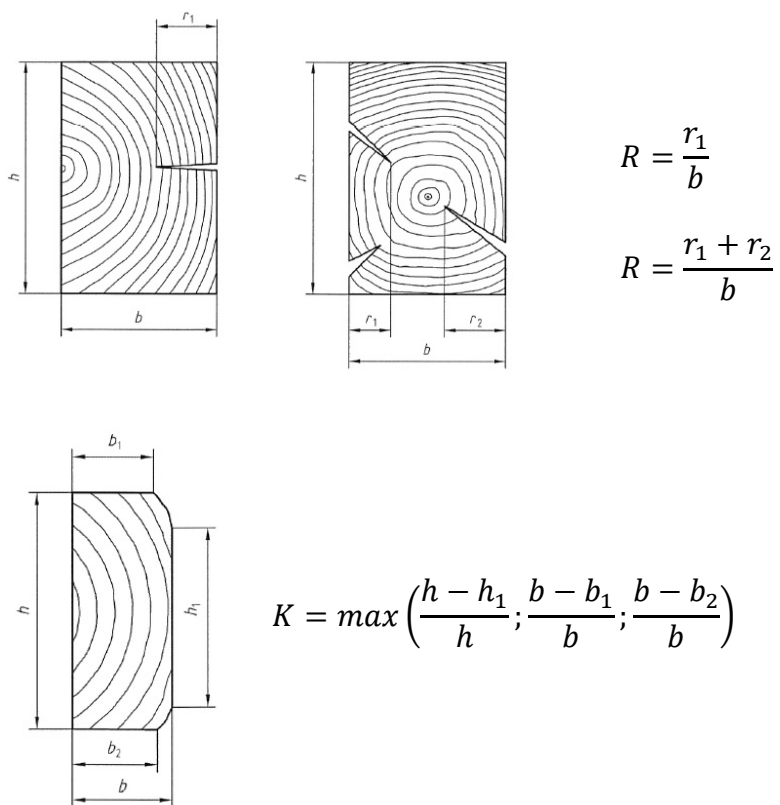
Obr. 7 Měření suků dle (ČSN 73 2824-1, 2015)

#### 4.3.1.2 Odklon vláken, šířka letokruhů



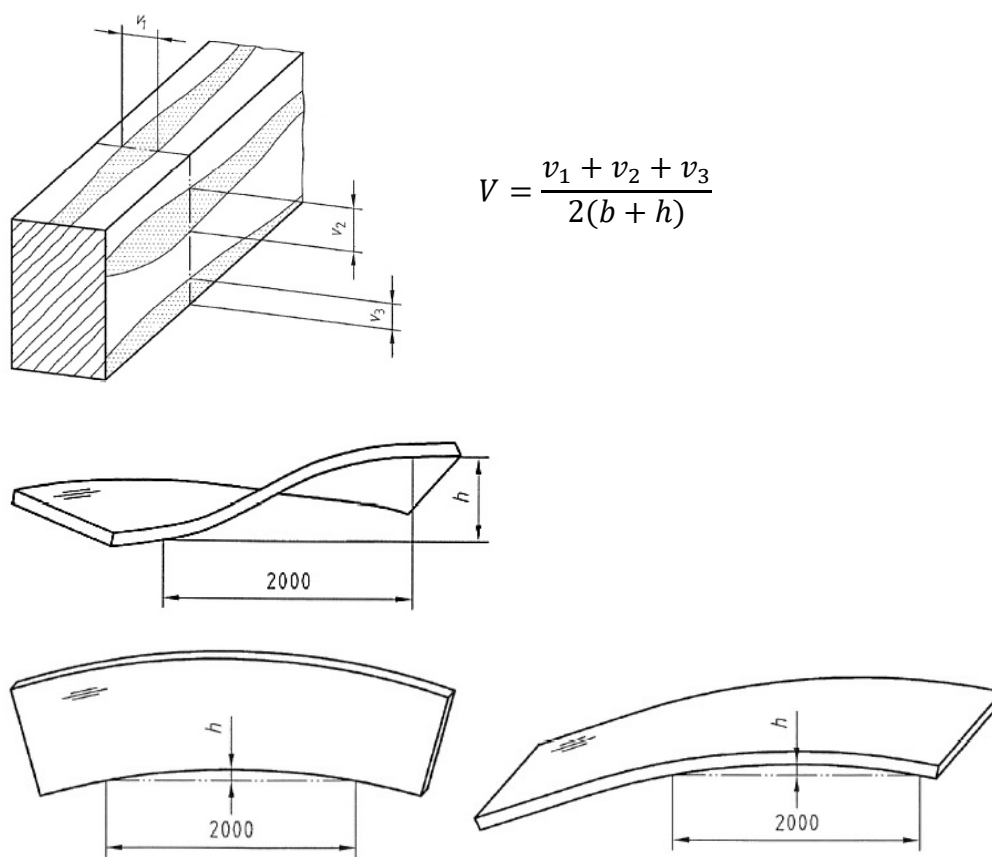
Obr. 8 Měření odklonu vláken a šířky letokruhů dle (ČSN 73 2824-1, 2015)

### 4.3.1.3 Trhliny, oblíny



Obr. 9 Měření velikosti trhlín a oblín dle (ČSN 73 2824-1, 2015)

#### 4.3.1.4 Zakřivení, zbarvení a hniloba



Obr. 10 Měření zbarvení, hniloby a zakřivení dle (ČSN 73 2824-1, 2015)

#### 4.3.2 Kvalitativní rozdělení konstrukčního dřeva

Při výrobě konstrukčního dřeva je samozřejmou prioritou zaručit udávanou pevnostní třídu dřeva. Mimo tento požadavek je nutné na konstrukční dřevo pohlížet jako na materiál tvořící viditelné části dřevěných konstrukcí, u kterých je třeba dbát na estetické hledisko, nejen na mechanickou funkci dřeva. Vyráběné kvalitativní rozdělení je uvedeno v tab. 5.

Tab. 5 Kvalitativní rozdělení konstrukčního dřeva

	KVH	Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo
Pohledové	KVH SI	LAM SI
Nepohledové	KVH NSI	LAM NSI

Pro výše uvedené kvalitativní třídy, nepohledové a pohledové, platí třídící předpisy vizuálního třídění, viz tab. 6 a tab. 7. Jak KVH tak lepené lamelové dřevo a



lepené rostlé dřevo nepohledové kvality (NSI) je vizuálně tříděno dle třídícího předpisu odpovídajícímu vizuální třídě S10. Pro pohledové kvality se tyto předpisy zpřísňují vůči výskytu estetických vad, které jsou u nepohledových kvalit povoleny, například o netoleranci zamodrání atd., viz následující tabulky tab. 6 a tab. 7.

Tab. 6 Třídící předpisy pro KVH (Stora Enso, 2015)

Znak třídění	KVH NSI	KVH SI
Suky	Do 2/5 Max. 70 mm Sukatost (shluky suků snižující pevnost nepovolena. Kůra se připočítává k suku	Do 2/5 Zdravé suky max. 50 mm Černé suky max. 30 mm Volné suky a otvory po nich nepovoleny Křídlaté suky nepovoleny
Odklon vláken	Do 12 % (120 mm/m)	Do 12 % (120 mm/m)
Šířka letokruhů	Do 6 mm	Do 6 mm
Trhliny	Výsušné radiální trhliny do 6 mm Mrazové a odlupčivé trhliny nepovoleny, trhliny vycházející přes hranu a procházející tloušťkou materiálu nepovoleny	Výsušné radiální trhliny do 4 mm Mrazové a odlupčivé trhliny nepovoleny, trhliny vycházející přes hranu a procházející tloušťkou materiálu nepovoleny
Obliny	$K \leq 1/3$ 2/3 příslušné strany průřezu musí být zachovány	Max. 5 mm šikmo měřeno
Zakřivení	Šroubové a podélné zakřivení max. 8 mm/2m	Šroubové a podélné zakřivení max. 4 mm/2m
Zbarvení, hniloba	Zamodrání povoleno Pruhovitost (hnědé a červené pruhy) do max. 2/5 povrchu povolena tvrdá a měkká hniloba nepovolena	Zbarvení nepovoleno Hniloba nepovolena
Tlakové dřevo	Do 2/5 povrchu povoleno	Do 2/5 povrchu povoleno
Napadení hmyzem	Nepovoleno	Nepovoleno
Zárost	Max. 80 mm povoleno	Nepovolen

Znak třídění	KVH NSI	KVH SI
Smolníky	Povoleny Extrémní výskyt je nežádoucí	Omezeně povoleny
Cizí dřeviny	Jedle povolena max. 10 %	nepovoleny
Vlhkost materiálu	Měřitelné rozpětí vlhkosti pro KVH je 8–18 % s tolerancí 5 % (např. 8–13, ... 12–17, 13–18 %)	
Odchyłky rozměrů (dle EN 336)	Pro tloušťku a šířku $\leq 100$ mm je tolerance -1/+3 mm Pro tloušťku a šířku $\geq 100$ mm je tolerance -2/+4 mm (odchyłky rozměrů třídy 1)	

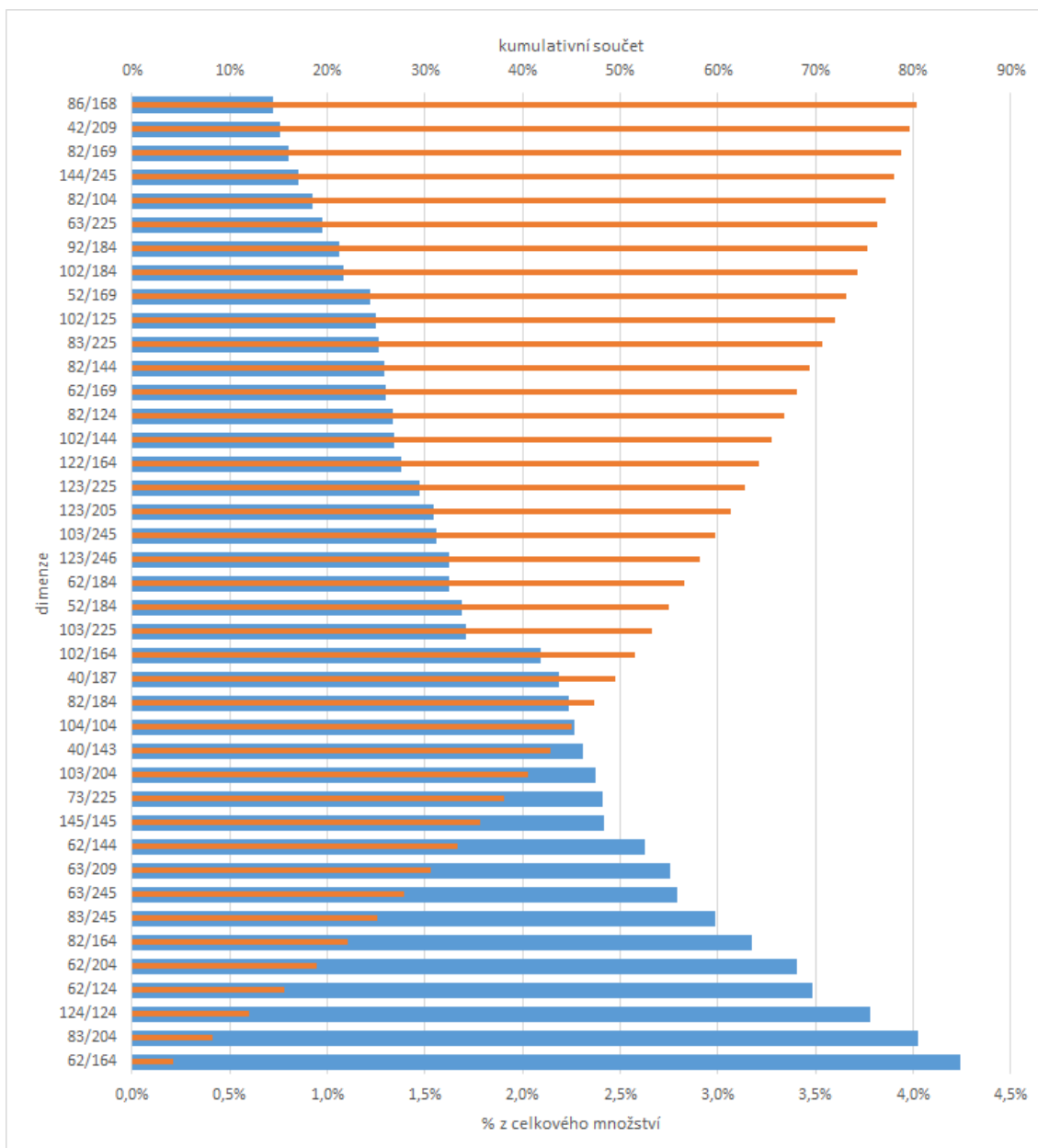
Tab. 7 Třídící předpisy pro lepení lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo (Stora Enso, 2015)

Znak třídění	LAM NSI	LAM SI
Suky	Do 2/5 Zdravé zarostlé suky do 2/5 tloušťky povoleny Sukatost (shluky suků snižující pevnost nepobolena. Kůra se připočítává k suku	Do 2/5 Zdravé zarostlé suky do 2/5 tloušťky povoleny Černé suky max. 25 mm Volné suky a otvory po nich nepovoleny Křídlaté suky nepovoleny
Odklon vláken	Do 12 % (120 mm/m)	Do 12 % (120 mm/m)
Šířka letokruhů	Do 6 mm	Do 6 mm
Trhliny	Výsušné radiální trhliny do 6 mm Mrazové a odlupčivé trhliny nepovoleny, trhliny vycházející přes hranu a procházející tloušťkou materiálu nepovoleny	Výsušné radiální trhliny do 4 mm Mrazové a odlupčivé trhliny nepovoleny, trhliny vycházející přes hranu a procházející tloušťkou materiálu nepovoleny
Obliny	$K \leq 1/10$ Max. 10 % tloušťky šikmo měřeno	Max. 5 mm šikmo měřeno
Zakřivení	Šroubové a podélné zakřivení max. 4 mm/2m	Šroubové a podélné zakřivení max. 4 mm/2m
Zbarvení, hniloba	Zamodrání povoleno Pruhovitost (hnědé a červené pruhy) do max. 2/5 povrchu	Zbarvení nepovoleno Hniloba nepovolena

Znak třídění	LAM NSI	LAM SI
	povolena tvrdá a měkká hniloba nepovolena	
Tlakové dřevo	Do 2/5 povrchu povoleno	Do 2/5 povrchu povoleno
Napadení hmyzem	Nepovoleno	Nepovoleno
Zárost	Max. 80 mm povoleno	Nepovolen
Smolníky	Povoleny Extrémní výskyt je nežádoucí	Omezeně povoleny
Cizí dřeviny	Jedle povolena max. 10 %	nepovoleny
Vlhkost materiálu	Měřitelné rozpětí vlhkosti pro KVH je 8–15 % s tolerancí 4 % (např. 8–12, ... 10–14, 11–15 %)	
Odchyly rozměrů (dle EN 336)	Pro tloušťku a šířku $\leq 100$ mm je tolerance -1/+3 mm Pro tloušťku a šířku $\geq 100$ mm je tolerance -2/+4 mm (odchyly rozměrů třídy 1)	

#### 4.3.3 Zastoupení vyráběných rozměrů

V období od prvního kvartálu 2014 do konce druhého kvartálu 2015 bylo vyráběno celkem 148 rozměrových kombinací. Pro výpočty jsou použity rozměry vstupujícího řeziva, tzn. rozměry i s nadmírami na opracování. Na Obr. 11 jsou znázorněny nejvíce zastoupené dimenze z hlediska kumulativního vyráběného objemu za toto období.

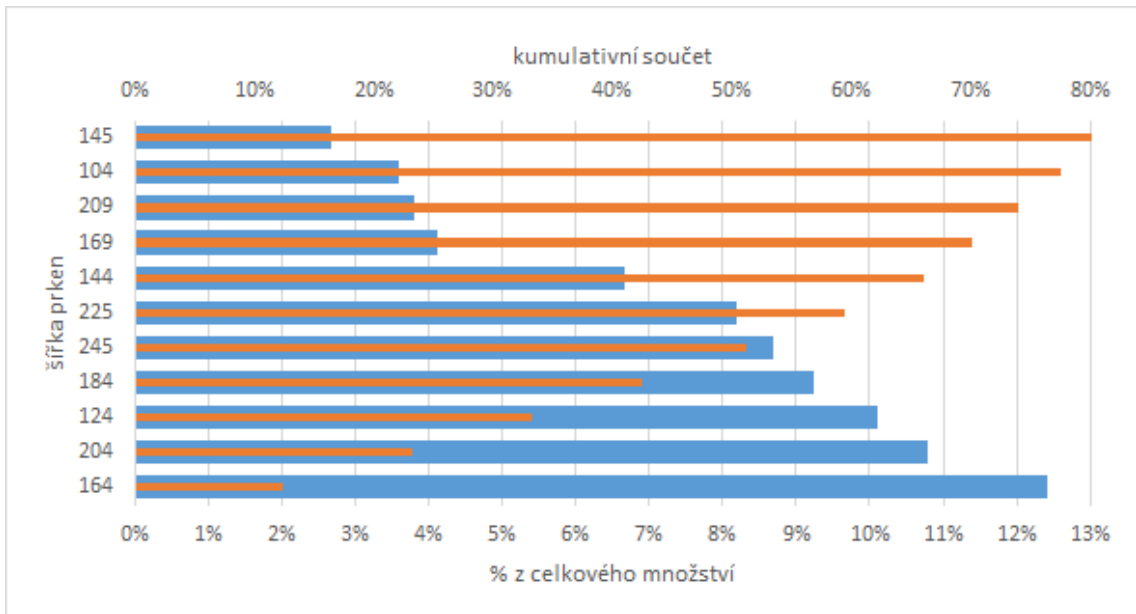


Obr. 11 Zastoupení jednotlivých dimenzí na objemu výroby za 1Q. 2014–2Q. 2015 (Stora Enso, 2015)

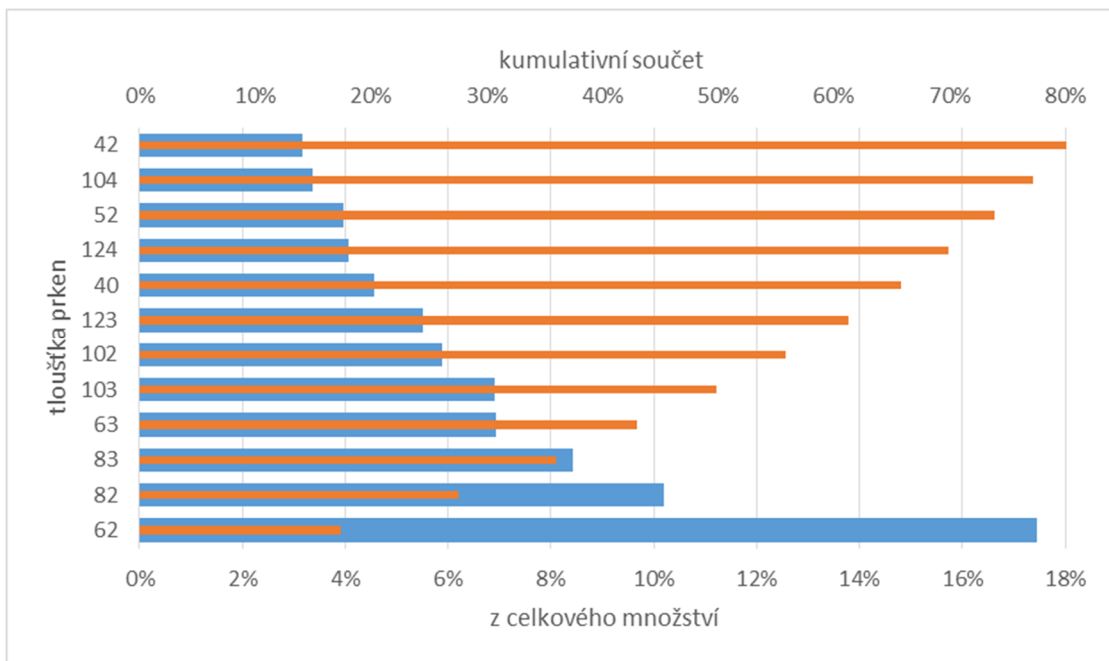
Je patrné, že se mezi vyráběnými rozměry nenachází významný dominantní zástupce. Dimenze s nejvyšším objemovým zastoupením tvořila pouze 4,2 % z celkového zpracovaného objemu řeziva. Pro dosažení 80 % vyráběného objemu bylo nutno zpracovat 41 jedinečných rozměrových variant.

Dimenze, neboli rozměry průřezu řeziva, se vždy skládá z tloušťky a šířky. Na obr. 11 je vidět, že se tloušťky i šířky řeziva opakují, neopakují se však jejich kombinace.

Obr. 12 a obr. 13 ukazují, jaké je zastoupení jednotlivých tloušťek a šířek ve výrobě bez ohledu na jejich vzájemnou kombinaci.











Obr. 12 Zastoupení šířek prken na objemu výroby za 1Q. 2014–2Q. 2015 (Stora Enso, 2015)



Obr. 13 Zastoupení tloušťek prken na objemu výroby za 1Q. 2014–2Q. 2015 (Stora Enso, 2015)

#### 4.3.4 Kvalitativní požadavky na řezivo vstupující do výroby KVH

SORTIERRICHTLINIE		SF14		Znacka Trideni	KVHW	
Zakaznik EUROPA	Pouziti Delkove napojovane kovstrukvni rezivo	Hlavni kriteria Vady, nad povolené hranice, uprostred kusu jsou povoleny na max. 50cm			STORAENSO Version: 19.09.2006 08:04	
	Zkrouceni Libovolne		Suky na plose Jednostranne zdrave a pevne vrostle povoleny, cerne 1x/bm max Ø 40mm povoleny		Cervene pruhy do max 30% plochy	
	Pricne prohnuti Libovolne	Suky na hrane Pevne vrostle do max 50% tloustky povolena	Volne suky na plose max Ø 40 mm		Zamodran jednostranne do max 50% plochy povolena	Hniloba Tvrda hniloba jako zacervenani; hniloba nepovolena
	Podelne prohnuti Libovolne	Volne suky na hrane max Ø 40 mm	Cizi dreviny ve smrku hezka jedle povolena		Trhliny na konci L= max 100% sirky	
	Oblina max 15mm sikmo na 1m delky	Ostatni Kremenitost v pruzich povolena na 1/4 sirky a 1/2 delky			Trhliny na plose Jednostranne povoleny	Smolne kanalky 5x/bm 5x50mm
	Konce Poskozeni do 20mm delky povoleno				Hmyz Nepovoleny	Vrostla kura L= max 70mm u max 10% kusu
					Hoblovani Nehoblovano	
					<b>TOLERANCE</b>	
					Tloustka	0,0 + 1,5
					Sirka	0,0 + 1,5 mm

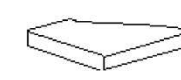
Obr. 14 Třídící předpis pro nepohledové řezivo, (Stora Enso, 2006)

# SORTIERRICHTLINIE **SF03**

Znacka Trideni  
**LB**

**STORAENSO**  
Version: 26.04.2006 09:49

Zakaznik  
**EUROPA**



**Pouziti**  
Lepený nosník syrový

**Zkrouceni**  
Libovolne

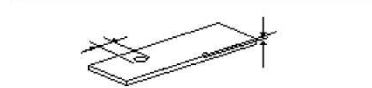
**Pricne prohnuti**  
Libovolne

**Podelne prohnuti**  
Libovolne

**Oblina**  
Ostrohranne

**Konce**  
Poskozeni do 20mm delky povolene

**Hlavni kriteria**



**Suky na plose**  
2x na 1bm max 50%sirky

**Suky na hrane**  
zdrave povoleny; cerne 2x na ks

**Volne suky na plose**  
nepovoleno

**Volne suky na hrane**  
nepovoleno

**Cizi dreviny**  
bez jedle

**Ostatni**  
Kremenitost do 20% plochy



**Cervene pruhy**  
Nepovoleno

**Zamodran**  
Nepovoleno

**Hniloba**  
Nepovoleno

**Trhliny na konci**  
L = max 50% sirky

**Trhliny na plose**  
rovna 50%delky

**Smolne kanalky**  
Jednotlive 10x100mm, 2x na 1bm  
5x50mm, male povoleny, neseskupene

**Hmyz**  
Nepovoleno

**Vrostla kura**  
Ne na hrane, na plose L = max 30% sirky

**Hoblovani**  
Nehoblovano

## TOLERANCE

Tluostka	0,0	+	1,5	
Sirka	0,0	+	1,5	mm
Delka	0,0	+	5,0	
Vlhkost	nesusene			
Vlhkost:		+/-		max

Obr. 15 Třídící předpis pro pohledové řezivo, (Stora Enso, 2006)

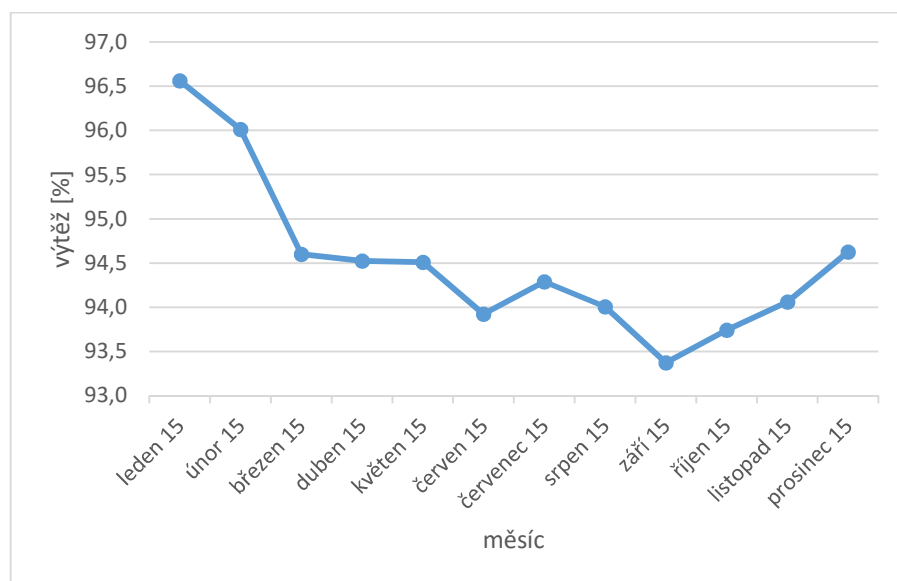
## 4.4 Parametr kvality řeziva

Velmi důležitým parametrem, který je odrazem kvality řeziva, je výtěž. Její pokles způsobuje vymanipulování nepovolených vad a s tím spojená ztráta materiálu. Výtěž se stanoví dle vzorce 1. Ve firmě se sleduje výtěž délková, tzn., že do výpočtu vstupuje pouze délka prken bez ohledu na jejich dimenzi.

$$\text{výtěž } V = \frac{\text{délka řeziva po třídění}}{\text{délka řeziva před tříděním}} \times 100 [\%] \quad 1.$$

### 4.4.1 Stávající hodnoty výtěže

Obr. 16 uvádí vývoj výtěže v jednotlivých měsících roku 2015. Průměrná hodnota výtěže byla 94,52 %.



Obr. 16 Dosahovaná výtěž v roce 2015, (Stora Enso, 2015)

## 4.5 Označování vad dřeva

V současné době je veškeré řezivo pro výrobu KVH tříděno vizuálně, bez podpory přístroji. Tedy jak prvotní třídění řeziva v adjustační stanici pilnice, kde je vyráběné řezivo tříděno do jednotlivých kvalit, nejen pro potřeby výroby KVH. Tak i na třídícím stole samotné výrobní linky KVH, obr. 18. Na třídícím stole navíc kvalifikovaní pracovníci označují začátky a konce úseků s nepovolenými vadami barevnými křídami pro jejich následné vymanipulování, viz tab. 3, tab. 6, tab. 7, obr. 17. Křída je poté



detekována snímačem a řídicí počítač zkracovací pily určuje místa zkracovacích řezů. Dále viz kapitola 5.4.1.1.



*Obr. 17 Značící křída*



*Obr. 18 Třídící stůl*



*Obr. 19 Označená vada*

#### **4.5.1 Metodika posouzení kvality práce třídičů**

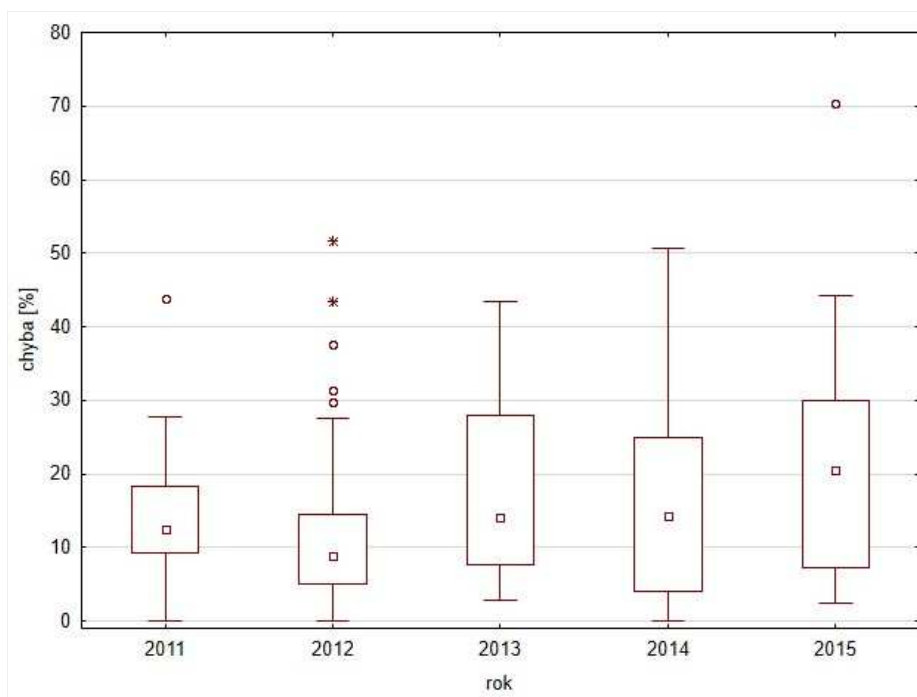
Kontrola přesnosti označování nepovolených vad je velmi důležitou součástí dohledu na výrobu. Je prováděna, jak z důvodu zajištění stálého stupně kvality výroby a minimalizování jejích výkyvů, tak z důvodu zajištění spokojenosti zákazníků a udržení minimálního počtu reklamací. Dalším důvodem dohledu na správné a přesné vyhodnocování vad je návaznost na maximální využití vstupní suroviny.

Chybovost se stanovuje dle vzorce 2. Kontroly označování se provádí s materiálem, na kterém již byly označeny vady, ale ještě nebyly vymanipulovány. Zpravidla se jedná o materiál z technologické mezi zásoby, umístěné mezi třídicím stolem a zkracovacími pilami, viz obr. 4. Spíše než v přesných pravidelných intervalech jsou kontroly označování vad prováděny podle aktuálních možností výroby, tak aby nedocházelo k prostojům linky. Cílem je však provést alespoň jednu kontrolu týdně v každé směně. Prkna jsou překontrolována za přítomnosti vedoucího kvality, směnového mistra a třídiče. Měřena je vzdálenost mezi dvěma čarami, a vzdálenost pro správné vymanipulování vady. Případně je změřena délka nepřijatelné vady, která byla přehlédnuta.

$$\text{chybovost} = \frac{\sum \text{délka vad|označených} - \text{správně označených}}{\sum \text{označených délek vad}} \times 100 [\%] \quad 2.$$

#### 4.5.2 Statistika chybovosti označování

Výstupem každé kontroly je záznam změřených hodnot, jež jsou popsány výše. Z těchto údajů je vypočítána chybovost dle vzorce 2. Na obr. 20 vidíme, že výsledky třídíčů jsou značně nekonzistentní. Medián jejich přesnosti se pohybuje přibližně v intervalu 10–20 %. Medián rozděluje soubor dat na poloviny tak, že 50 % hodnot je menších než medián a 50 % hodnot je větších. Jelikož označování provádí lidé, na kvalitu jejich práce má vliv velké množství faktorů. Některé je možno ovlivnit, například snížení množství zároveň vyráběných kvalitativních tříd, nebo provádění pravidelných důkladných školení. Jiné ovlivnit nelze, například aktuální pohled pracovníka, jeho únavu, soustředěnost, náladu, celkově jsou tyto vlivy označovány jako lidský faktor. V jedné směně jsou čtyři pracovníci, výroba probíhá ve třísměnném provozu. Na třídění se tedy podílí 12 lidí. Z toho je zřejmé, že jejich výsledky nemohou být konzistentní.



Obr. 20 Graf chybovosti označování vad, zdroj dat (Stora Enso, 2015)

## 5 METODY OPTIMALIZACE VÝROBY

Při vytipování vhodných míst pro optimalizaci výroby jsem vycházel převážně ze zkušeností pracovníků firmy. Práce se zabývá těmito hlavními možnostmi optimalizace výroby:

1. Ztráta způsobená chybným označením vad, viz kap.: 5.1.
2. Mezní rentabilní výtěž, viz kap.: 5.2.
3. Plánování výroby s ohledem na kvalitu vstupního řeziva a dosahované výtěže, viz kap.: 5.3.
4. Optimalizace práce krátkých pil s ohledem na následující frézování, viz kap.: 5.4.
5. Použití automatického třídícího stroje, viz kap.: 5.5.

### 5.1 Ztráta způsobená chybným označením vad

Chybné označení vady může být dvou druhů. Prvním je označení přípustného materiálu za nepřípustný, neboli k vymanipulování je označen materiál, který má dostatečnou kvalitu pro finální produkt. Druhým je neoznačení nepřípustné vady, neboli vada je chybně vyhodnocena, nebo přehlédnuta a tento materiál bude použit, i když je jeho kvalita nevyhovující.

V obou případech lze vyčíslit cenu této chyby. Při použití nevyhovujícího materiálu vznikají náklady na řešení reklamací, které jsou oprávněné. V případě vymanipulování materiálu s dostatečnou kvalitou, můžeme tuto ztrátu vypočítat dle vzorce 3. jako ztrátu z výtěže.

$$\text{ztráta výtěže} = (1 - \text{výtěž}) \times \text{chyba označování} \quad 3.$$

Tuto ztrátu na výtěži lze vyčíslit i finančně, kdy je zbytečně vymanipulovaný materiál seštěpkován a prodán za ztrátovou cenu štěpky, místo zhodnocení jako KVH. Ztráta se vypočítá dle vzorce 4.

$$\text{ztráta} = \text{ztráta výtěže} \times (\text{nsi} - \text{řez} - \text{štěp} \times \text{Kš}) \text{ [EUR/m}^3\text{]} \quad 4.$$

Ceny a zkratky jednotlivých položek jsou uvedeny v tab. 8

Celková ztráta pak dále závisí na objemu zpracovaného řeziva. Při stanovení této sumy postupujeme dle vzorce 5.

$$\text{celková ztráta} = \text{ztráta} \times \text{objem řeziva [EUR]} \quad 5.$$

Pro stanovení roční ztráty v důsledku chybovosti byl použit průměrný roční zpracovaný objem řeziva 160 000 m<sup>3</sup>.

## 5.2 Mezní rentabilní výtěž

Výtěž nám dává informaci pouze o poměru mezi využitým a celkovým materiálem. Pro hodnocení ekonomiky výroby je třeba výpočet rozšířit o ceny. Tuto informaci nám, po dosazení hodnot z tab. 8, poskytne vzorec 6. Ceny uvedené v tab. 8 jsou pouze orientační.

Tab. 8 Vstupní hodnoty pro vzorce 4. a 6.

zkratka	položka		jednotka
řez	Cena řeziva	150	EUR/m <sup>3</sup>
KVH <sub>NSI</sub>	Cena KVH NSI	300	EUR/m <sup>3</sup>
KVH <sub>SI</sub>	Cena KVH SI	350	EUR/m <sup>3</sup>
Šť	Cena štěpky	12 <sup>b</sup>	EUR/sprm
Kš	Koeficient sypného objemu štěpky	2,5 <sup>a</sup>	1
V	Výtěž		1

<sup>a</sup> (Trnobranský, 2003)  
<sup>b</sup> cena štěpky 325 Kč/sprm (Římalová, 2008), při 27 Kč/EUR je cena štěpky 12 EUR/sprm

$$\frac{\text{zisk}}{\text{ztráta}} = V \times \left( \text{KVH}_{\frac{\text{SI}}{\text{NSI}}} - \text{řez} \right) - (1 - V) \times (\text{řez} - \text{Kš} \times \text{Šť}) \quad [\text{EUR}/\text{m}^3] \quad 6.$$

## 5.3 Plánování výroby s ohledem na kvalitu vstupního řeziva a dosahované výtěže

Do výroby mohou vstupovat dvě kvality nakoupeného řeziva a to tříděné jako NSI, nebo SI. Třídící předpisy obou kvalit jsou uvedeny v kapitole: 4.3.4. Předpokladem

je, že díky kvalitě třídění SI řeziva bude dosaženo vyšší výtěže. Toto řezivo je však dražší než řezivo tříděné jako NSI. Je tedy nutné, dle vzorce 7., stanovit, zdali je výhodné nakupovat za vyšší cenu řezivo tříděné jako SI a dosáhnout vyšší výtěže, nebo je výhodnější nakupovat řezivo tříděné jako NSI i za cenu nižší výtěže ve výrobě. Pokud je index výhodnosti větší než jedna, vyplatí se zvolit kvalitu vstupní materiálu SI.

$$i \text{ výhodnosti} = \frac{V_{SI} \times (KVH_{NSI} - \text{řez}_{SI}) - (1 - V_{SI}) \times (\text{řez}_{SI} - Kš \times Št')}{V_{NSI} \times (KVH_{NSI} - \text{řez}_{NSI}) - (1 - V_{NSI}) \times (\text{řez}_{NSI} - Kš \times Št')} \quad 7.$$

Tab. 9 Data pro vzorec 7.

Zkratka	Položka	Výroba		Jednotka
		NSI	SI	
$V_{SI}$	Výtěž z SI řeziva	viz obr. 38 a obr. 39		%
$V_{NSI}$	Výtěž z NSI řeziva	92	84	%
$\text{řez}_{SI}$	Cena řeziva SI	viz obr. 38 a obr. 39		EUR/m <sup>3</sup>

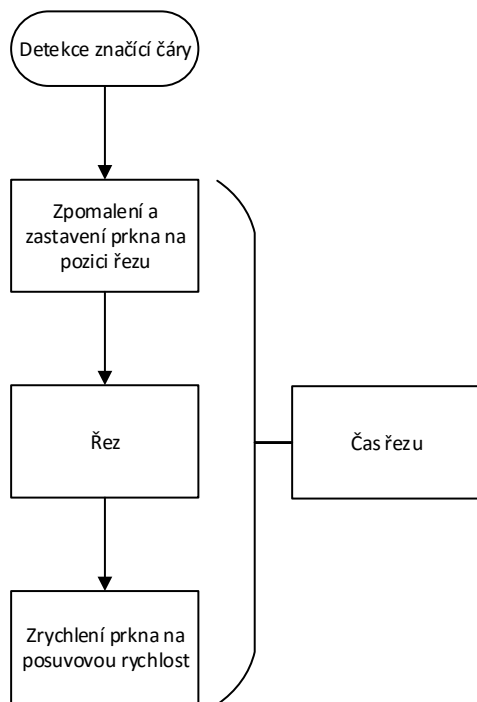
## 5.4 Optimalizace práce kráticích pil s ohledem na následující frézování

Jak v úvodu popisuje kapitola 4.2, linka výroby KVH zahrnuje zdvojený uzel kráticí pily, následovaný profilovací frézou. Tato dvě zařízení na sebe navazují bezprostředně a nevytváří se mezi nimi žádná technologická mezi zásoba. Proto je nutné přizpůsobit práci kráticích pil tak, aby kvůli jejich činnosti nevznikaly prostoje frézek.

### 5.4.1 Časy operací krácení a frézování

#### 5.4.1.1 Krácení materiálu

Kráticí pily vymanipulují nepovolené vady dřeva. Řídí se podle čar, jež zaznačil třídič technickou křídou, viz obr. 17 a obr. 19. V ideálním případě se na prkně nevyskytují žádné nepovolené vady a prkno projede kráticí pilou rychlostí podávacího dopravníku bez zpomalení a operace krácení není vůbec provedena. Pokud je na prkně značka pro krácení, musí prkno zpomalit a zastavit značkou na místě řezu, nad pilovým kotoučem. Po provedení řezu je prkno opět uvedeno do pohybu, viz obr. 21. Čas potřebný na provedení kráticího řezu byl zjištěn měřením celkového času nutného k průchodu prkna kráticí pilou a počet provedených kráticích řezů.



Obr. 21 Operace zahrnující čas řezu

Čas jednoho řezu byl stanoven dle vzorce 8. pro prkna na kterých byl proveden alespoň jeden krátký řez.

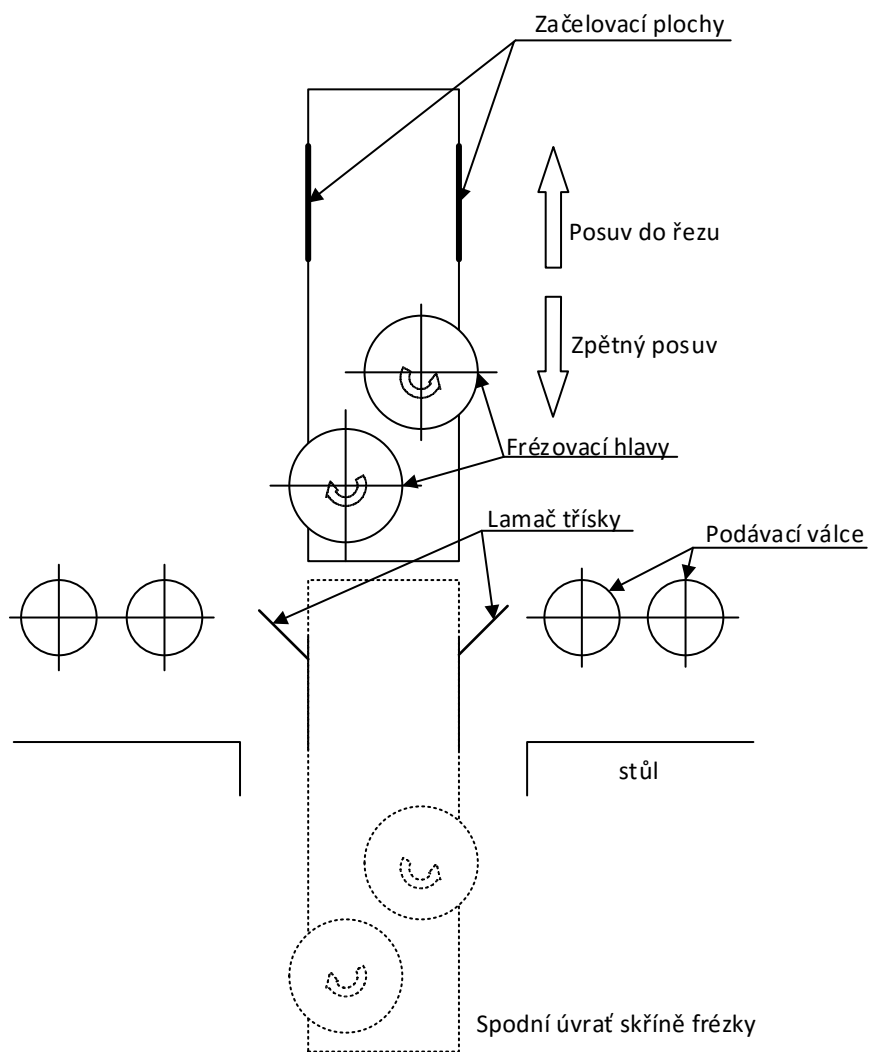
$$\text{čas řezu} = \frac{\text{čas projetí prkna pilou} - \text{čas projetí prkna pilou bez řezu}}{\text{počet řezů}} \text{ [s]} \quad 8.$$

Čas potřebný pro zpracování prkna o určité délce a s určitým počtem zkracovacích řezů určíme dle vzorce 9.

$$\text{čas zpracování prkna} = \text{počet řezů} \times \text{čas řezu} + \frac{\text{délka prkna}}{\text{rychlost posuvu}} \text{ [s]} \quad 9.$$

#### 5.4.1.2 Frézování zubovitého spoje

Aby bylo možné z prken vyrobit KVH hranol, je nutné na obou jeho koncích vyfrézovat zubovitý spoj. To se děje pomocí frézky se dvěma frézovacími hlavami, viz obr. 22 na dvou prknech zároveň. Tedy na konci prvního prkna a na začátku druhého prkna.



Obr. 22 Schéma frézky

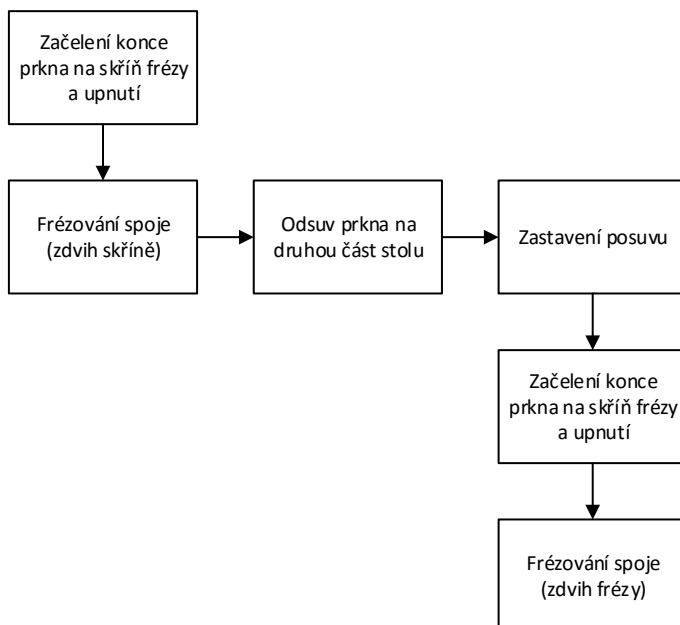


Obr. 23 Frézovací hlava



Obr. 24 Skříň frézky

Čas vytvoření zubovitého spoje na jednom prkně se skládá ze sledu operací zajišťujících samotné frézování obou konců prkna a času přesunu prkna na druhou stranu stolu. Tento čas odsunu je závislý na rychlosti posuvu a délce prkna.



Obr. 25 Posloupnost operací při frézování



Čas frézování měřen od začátku začelování prkna po uvolnění upnutí prkna, viz obr. 25.

Čas potřebný pro průchod prkna frézovací stanicí lze vyjádřit pomocí vzorce 10.

$$\text{čas průchodu frézou} = \text{čas frézování} + \frac{\text{délka prkna}}{\text{rychlost posuvu}} \quad 10.$$

#### 5.4.2 Maximální počet krátkých řezů

Jelikož jsou zkracování a frézování následné operace, je možno stanovit kolik zkracovacích řezů je možno provést pro získání vlysu o určité délce bez toho, aby došlo k prostojům frézky v důsledku nedostatku materiálu. Tyto hodnoty o počtu zkracovacích řezů a délce vlysu lze získat podílem času, který je nutný ke zpracování vlysu daných parametrů. Pokud dle vzorce 11. bude index zpomalení vyšší než 1, bude platit, že zkracování vlysu je pomalejší než frézování a dojde tedy k nedostatečnému zásobování frézky materiálem a vzniku prostojů linky.

$$\text{index zpomalení} = \frac{\frac{\text{délka vlysu}}{\text{rychlost posuvu do pily}} + \text{počet řezů} \times \text{čas řezu}}{\frac{\text{délka vlysu}}{\text{rychlost posuvu do frézky}} + \text{čas frézování}} \quad 11.$$

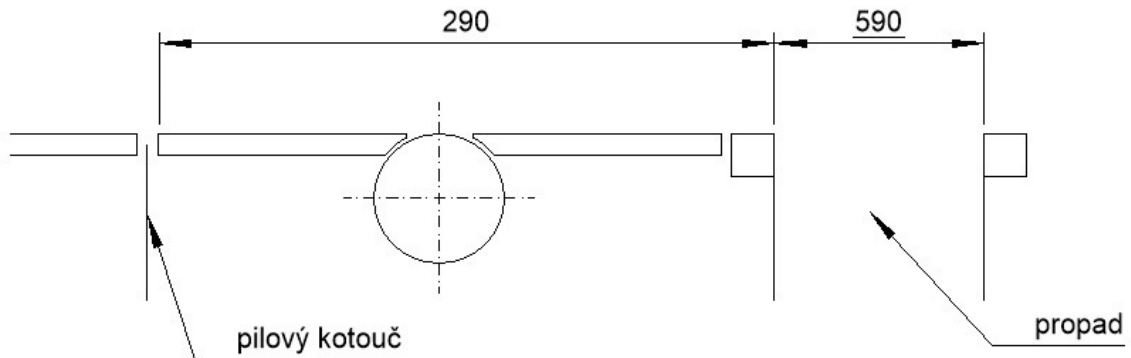
Tab. 10 Hodnoty vstupující do vzorce 11.

čas řezu	1,59	s		
posuv do zkracovací pily	140	m/min	2,3	m/s
čas frézování	4,36	s		
posuv do frézy	60	m/min	1	m/s

#### 5.4.3 Počet prováděných krátkých řezů

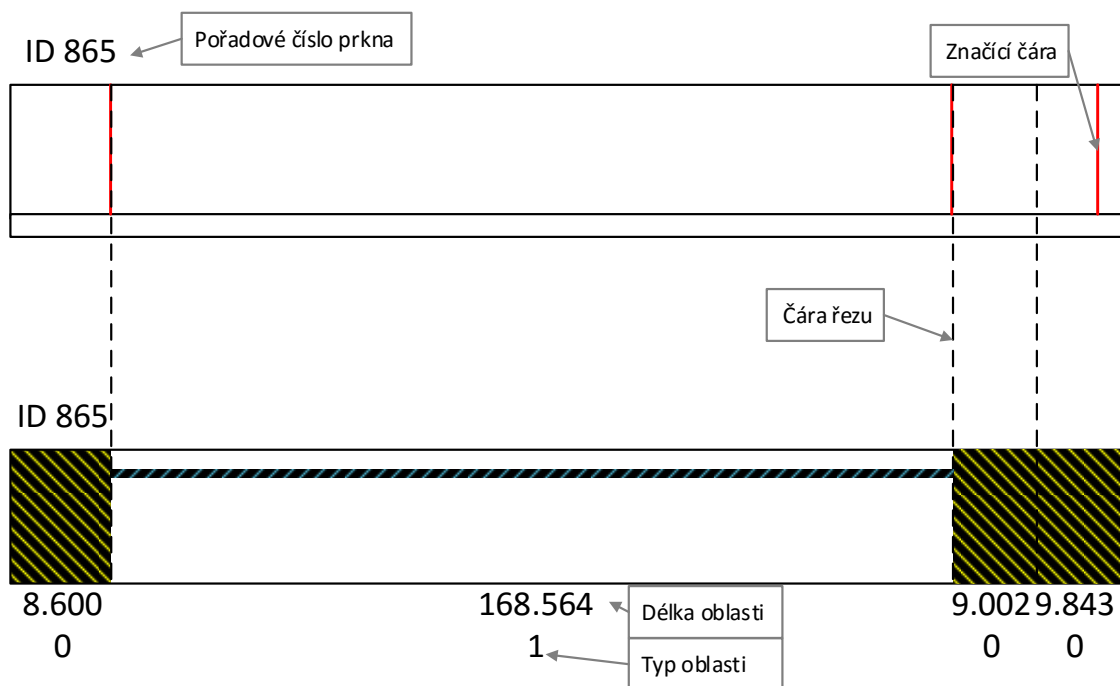
Jak popisuje kapitola: 5.4.1.1, nepovolené vady jsou vymanipulovány zkracovacími řezy. Tyto odpadové kusy jsou při nynějším nastavení dlouhé maximálně 25 cm. Tato délka však uměle navyšuje počet zkracovacích řezů. Nutný počet řezů pro vymanipulování vady je jeden nebo dva – vyskytuje-li se vada na konci prkna, nebo v jeho střední části. Veškeré řezy, které jsou vykonány navíc, jsou spjaty čistě

s požadavky technologie. V případě linky Stora Enso WP HV s.r.o. je to omezení propadu za stolem krátcí pily, viz obr. 26. V tomto místě krátký odpadní kus vymanipulovaný zkracovací pilou spadá do propadu s gravitačním skluzem, který ústí na pásový dopravník a ten dopravuje odpad do štěpkovače.



Obr. 26 Schéma krátcí pily a navazujícího propadu

Jak už bylo uvedeno, zkracovací pila je vybavena snímačem značící křídý a zároveň je snímána poloha prkna. Obr. 27 ukazuje grafický výstup na monitoru zkracovací pily.



Obr. 27 Grafický výstup na monitoru zkracovací pily

V horní části je znázorněno obdélníkem snímané prkno s rozpoznávanými značícími čárami. V případě, že je detekována značící křída, spustí se rozhodovací proces, zdali má

být proveden řez v místě značící čáry. Řídicí systém pily má dáno pravidlo, kdy délka odpadu nesmí přesáhnout 25 cm. Zároveň vynechává přebytečné značící čáry a tím snižuje počet provedených řezů vůči počtu značek na prkně. Vynechání řezu v místě značící čáry je znázorněno na levém konci spodního znázornění prkna na obr. 27. Ve spodní části je znázorněno, jak řídicí systém rozhodl o provedení řezů. Pod žlutočerně šrafovanou oblastí je zapsána délka oblasti 8,6 palce a typ oblasti 0, která značí odpad. Typ oblasti číslo 1 značí vlys pokračující do výroby KVH. Na pravé straně je uveden případ, kdy jsou na prkně dvě značící čáry, avšak vzdálenost mezi nimi je větší než 25 cm. Proto řídicí systém zkracovací pily rozhodne o vynechání řezu v místě první čáry zprava a řez je posunut tak, aby délka odpadu byla 25 cm (9,843 palce). Druhá značící čára zprava je již dodržena jelikož následuje oblast, která není odpadem.

Počet zkracovacích řezů byl vysledován pomocí grafického výstupu krátící pily, která zobrazuje o každém prkně informace jako na obr. 27. Údaje o jednotlivých prknech byly přepsány do tabulky podle schématu, viz tab. 11.

*Tab. 11 Zaznamenané hodnoty prken*

Prkno č.	ID prkna	Datum	Délka oblasti	Typ oblasti	Tloušťka	Šířka
1	865	1. 10.	8,600	0	62	164
1	865	1. 10.	168,564	1	62	164
1	865	1. 10.	9,002	0	62	164
1	865	1. 10.	9,843	0	62	164

#### **5.4.4 Návrh snížení počtu prováděných řezů**

Z výše uvedeného pravidla o pevné délce odpadního kusu vyplývá, že je počet krátících řezů uměle navyšován. Teoreticky je možné všechny odpadové kusy odstranit nejvýše dvěma řezy a to je i naším cílem. Pokud to není v rámci technologie možné, tak alespoň tento počet řezů minimalizovat.

Data, která byla zaznamenaná podle vzoru z tab. 11 byla zpracována tak, aby bylo dosaženo sečtení sousedících odpadových oblastí na jednom prkně, označené jako 0 a tak vznikl údaj o celkové délce odpadového kusu. Osamocené odpadové oblasti, tzn. ty které ani jednou stranou nesousedily s další odpadovou oblastí na stejném prkně, nebyly dále zpracovávány.

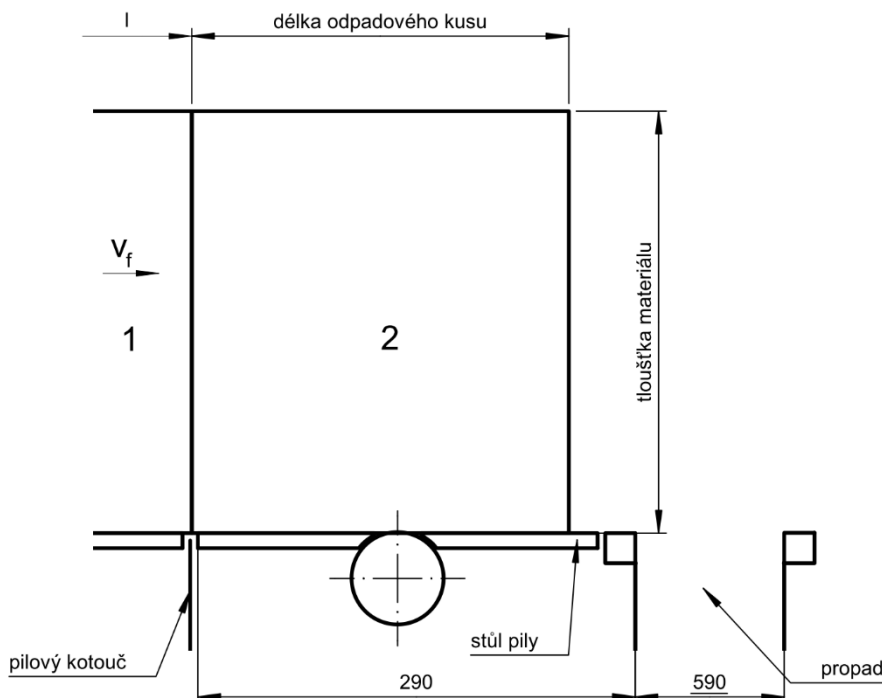
Pro tyto kumulativní délky byl vypočten potřebný počet řezů na jejich odstranění dle vzorce 12.

$$\text{počet řezů} = \frac{\text{kumulativní délka odpadního kusu}}{\text{navrhovaná délka odpadního kusu}} \quad 12.$$

#### 5.4.4.1 Optimalizace délky odpadového kusu vůči délce propadu

Maximální délka odpadového kusu je nastavována kvůli metodě odstranění odpadového kusu z výrobní linky. Cílem je tuto délku nastavit co nejvyšší, aby bylo dosaženo maximální úspory řezů krátící pily.

Jak je vidět na obr. 28, odpadový kus spadá do gravitačního propadu za stolem krátící pily. Přitom je tlačěn následujícím vlysem 1, který je poháněn dopravníkem pily rychlostí posuvu,  $v_f$ . Podmínkou je, že odpadový kus musí klesnout pod hranici svrchní plochy stolu dříve, než narazí do konstrukce propadu. Musí tedy klesnout alespoň o svoji tloušťku aby bylo zabezpečen volný průjezd vlysu, který pokračuje na úrovni stolu pily. Tento čas byl stanoven dle vzorce 13.



Obr. 28 Schéma krátící pily s odpadovým kusem

Trajektorie odpadového kusu vychází z teorie vodorovného vrhu. Protože je ale odpadní kus neustále tlačěn následným vlysem, je třeba zanedbat zpomalení v horizontálním směru a počítat pouze se zrychlením ve vertikálním směru způsobeném gravitační silou. Odpadový kus musí spadnout pod hladinu stolu pily dříve, než se jeho začátek dostane k hraně propadu, čas je stanoven dle vzorce 14. Pro stanovení efektivní délky propadu bylo uvažováno, že odpadový kus začne padat ve chvíli, kdy celá jeho délka opustí hranu stolu pily. Podmínkou pro úspěšné a tedy včasné propadnutí odpadového kusu do propadu je, aby čas pádu dle tloušťky materiálu (vzorec 13) byl menší než čas pádu dle efektivní délky propadu, vzorec 14.

$$\text{čas pro pád dle tloušťky} = \sqrt{\frac{2 \times \text{tloušťka materiálu}}{\text{gravitační zrychlení}}} \text{ [s]} \quad 13.$$

$$\text{možný čas pádu dle efekt. délky propadu} = \frac{\text{délka propadu} - \text{délka kusu}}{\text{prům. rychlost posuvu}} \text{ [s]} \quad 14.$$

Tab. 12 Parametry vstupující do vzorců 13 a 14

Parametr	Hodnota	Jednotka
Tloušťka materiálu	0,28	m
Délka propadu	0,59	m
Průměrná rychlost posuvu	Dle vzorce 18	m/s
Gravitační zrychlení	9,81	m/s <sup>2</sup>

Základní rychlost posuvu krátící pily je 140 m/s ,viz tab. 10. Po provedení krátícího řezu je ale vlys teprve urychlován na plnou rychlost posuvu. Proto je třeba stanovit sníženou rychlost posuvu. Tato rychlost byla stanovena na základě času pro zpomalení prkna při nájezdu na pozici krátícího řezu. Program krátící pily začne snižovat rychlost posuvu 30 cm před dosažením pozice pro krátící řez. Čas ujetí dráhy pro zpomalení byl stanoven dle vzorce 15. Délka dráhy pro zpomalení má zabezpečit přesné zastavení místa řezu nad pilovým kotoučem krátící pily. Pro zrychlení žádný takový požadavek není, proto byla stanovena vzdálenost pro dosažení plné rychlosti posuvu stanovena na 20 cm.

Čas zpracování prkna s jedním krátkým řezem bude měřen již pro potřeby kapitoly 5.4.1.1. Čas, kdy je prkno bez pohybu, bude stanoven měřením. Čas, kdy není prkno v pohybu, bude měřen od zastavení prkna pro řez, po uvedení do pohybu po krátkém řezu.

$$\text{čas zpomalení} = \frac{t_1 - \frac{\text{délka prkna}}{\text{rychlost posuvu}} - \text{čas bez pohybu}}{2} [\text{s}] \quad 15.$$

Kde  $t_1$  je čas projetí prkna pilou s provedením 1 řezu

Průměrná snížená rychlost posuvu bude vypočtena dle vzorce 16.

$$\text{snížená rychlost posuvu} = \frac{\text{dráha pro zrychlení}}{\text{čas ujetí dráhy pro zpomalení}} [\text{m/s}] \quad 16.$$

Sníženou rychlost posuvu je možné aplikovat pouze na dráhu, kdy prkno zrychluje na plnou rychlost posuvu a zároveň těžiště odpadového kusu překonalo hranu stolu krátké pily. Proto je dráha snížené rychlosti posuvu stanovena dle vzorce 17.

$$\text{dráha sníž. posuvu} = \text{délka zrychlení} - \text{délka stolu} - \frac{\text{délka odp. kusu}}{2} [\text{m}] \quad 17.$$

Průměrná rychlost posuvu se bude měnit s délkou odpadového kusu dle vzorce 18.

$$\text{průměrná rychlost posuvu} = \frac{l_{\text{odpad}}}{\left( \frac{l_{\text{sníž}}}{v_{f \text{ sníž}}} + \frac{l_{\text{odpad}} - l_{\text{sníž}}}{v_f} \right)} [\text{m/s}] \quad 18.$$

Kde:  $l_{\text{odpad}}$  délka odpadového kusu,

$l_{\text{sníž}}$  dráha sníženého posuvu, dle vzorce 17,

$v_f$  rychlost posuvu,

$v_{f \text{ sníž}}$  snížená rychlost posuvu, dle vzorce 16.

## 5.5 Použití automatického třídícího stroje

V porovnání strojního třídění s vizuálním tříděním třídičů je značně odlišný již přístup k řezivu. Zatímco lidé mají paměť a řídí se podle svých předchozích zkušeností a při rozhodování jsou ovlivňováni kvalitou předchozích prken, nebo pocitem z celé dávky, pro stroj je každé prkno jedinečné. Kvalita předchozího prkna nemůže ovlivnit třídění současného. Například při výběru pohledové kvality z řeziva, které má jako dávka mnoho vad, bude i kvalita vybrané pohledové kvality horší, jelikož lidé se rozhodnout, že příslušný kus už je dostatečně dobrý oproti ostatním v dávce. Automatické třídění má tyto potencionální výhody:

- Snížení zastoupení monotónní, náročné a rizikové práce třídiče.
- Zvýšení rychlosti a výkonu linky.
- Zvýšení flexibility produktů dle přání zákazníka.
- Zvýšení kontroly nad procesem třídění.
- Zvýšení konzistence třídění.

### 5.5.1 Nároky kladené na zařízení

Při úvahách o změně technologie na strojní třídění je požadováno, aby nepoklesl výkon linky. Také není požadavek na změnu rozměrů vyráběných sortimentů, proto je u rozměrových požadavků vycházeno dle kapitoly 4.3.3. Při stanovení základních parametrů stroje bylo postupováno tedy postupováno tak, že výkon scanneru musí být vyšší, nebo roven nejpomalejšímu místu linky. Maximální výkon jednotlivých částí linky jsou uvedeny v tab. 13.

Tab. 13 Maximální výkon jednotlivých uzlů linky, (Stora Enso, 2015)

Uzel	taktů/min
Třídění	17
Frézky	18
Lisy	16

Z hodnot v tab. 13 je vidět, že třídění není v rámci rychlosti linky úzkým místem, i při instalaci výkonnějšího zařízení nedojde ke zvýšení výkonu. Úzkým místem linky

jsou lisy a výkon strojního třídiče musí být vyšší, nebo alespoň roven jejich výkonu. Minimální podávací rychlost udává vzorec 19.

$$\text{podávací rychlost} = \text{takt lisů} \times (1 + (1 - \text{výtěž})) \times \text{délka prkna [m/min]} \quad 19.$$

Tato podávací rychlost je však ideálním stavem, kdy by mezi prkny nebyly žádné mezery a proluky. Prkna by musela strojem projíždět čelo na čelo. Takové podávání není prakticky možné. Proto pro stanovení minimální podávací rychlosti scanneru bude tato rychlost zdvojnásobena.

### 5.5.2 Druhy strojního třídění

Při stanovení pevnostní třídy řeziva nedestruktivními metodami je využívána celá řada nepřímých měření pevnosti:

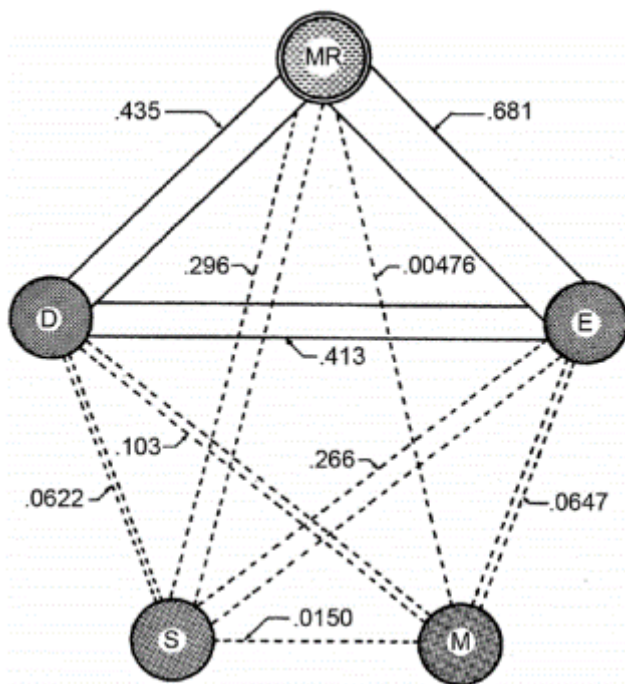
- Optické snímání vad.
- Snímání průhybu při známém průřezu řeziva a zatěžovací síle.
- Snímání vlastní frekvence řeziva.
- Snímání hustoty dřev na základě absorpce záření.
- Kombinace metod.

Užití třídících strojů upravuje ČSN EN 14 081: Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti - Část 4: Strojní třídění - Nastavovací hodnoty třídícího stroje pro systémy s kontrolou vztaženou na stroj, 2009.

#### 5.5.2.1 *Mechanické*

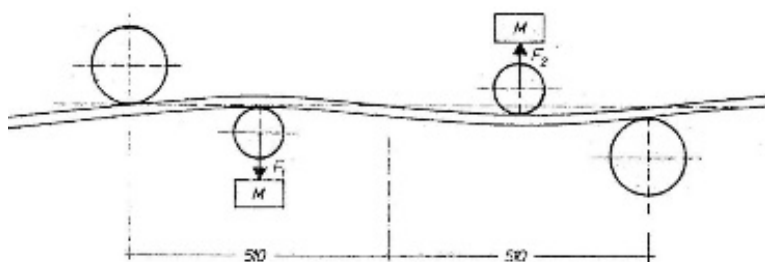
Mechanické třídící stroje často využívají silné korelace mezi modulem pružnosti a pevností dřeva v ohybu. Těsnou návaznost mezi modulem pružnosti a mezí pevnosti v ohybu uvádí (Larsen, 2003) koeficientem determinace  $R^2 = 0,51-0,73$ . Koeficient determinace mezi hustotou a pevností v ohybu uvádí mezi 0,16-0,4.



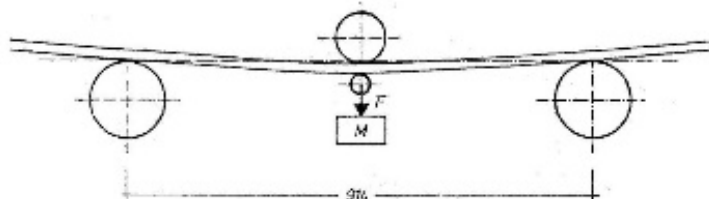


Obr. 29 Diagram korelačních koeficientů mezi proměnnými ve dřevě dle (Ross, 2015). D-hustota, E-modul pružnosti, M-vlhkost dřeva, MR-mez pevnosti v ohybu, S-odklon vláken

Route Timgrader



Computermatic



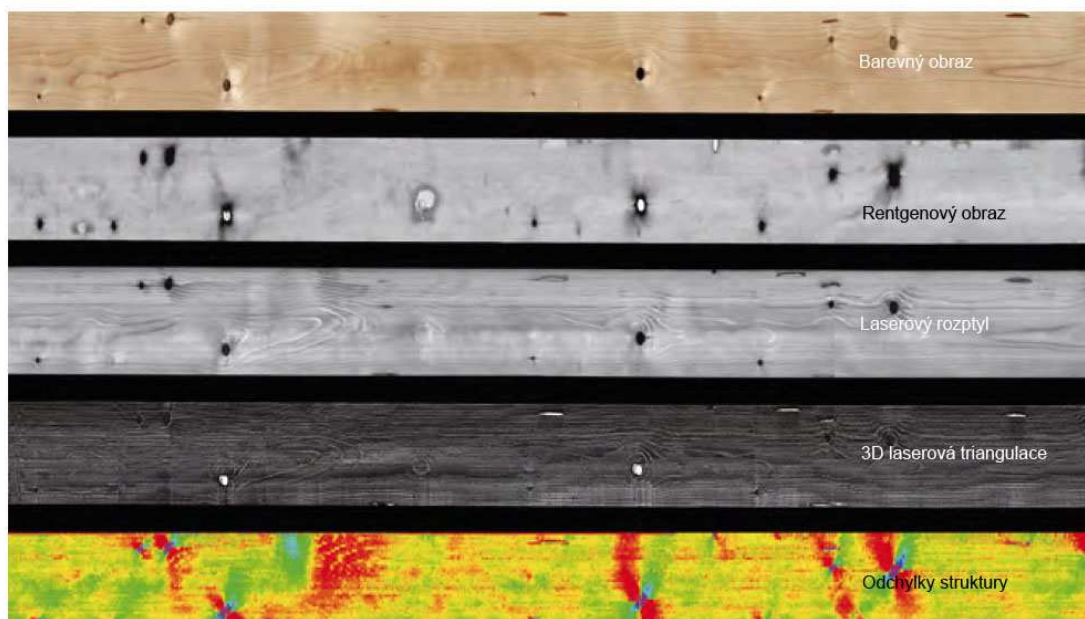
Obr. 30 Schéma nečastějších ohybových třídičů, (ČSN EN 14 081-4, 2009)

Hlavní nevýhodou mechanických ohybových třídičů je nemožnost vyhodnocení pevnosti koncových částí prkna. Proto je nutné tyto konce dotřídřovat ručně vizuálním tříděním, tedy za pomoci kvalifikovaného pracovníka. Další společnou nevýhodou všech nevizuálních metod je nevyhodnocení estetických charakteristik prkna. Tedy například

přítomnost zabarvení, smolníků atd. Vyhodnocení těchto vlastností je pro výrobu ve Stora Enso WP HV velmi důležité, jelikož vyrábí i pohledové kvality.

### 5.5.2.2 *Kombinované*

Kombinované scannery pro třídění řeziva používají oba již popsané přístupy pro určení příslušné třídy pevnosti. Využívají jak vyhodnocení vad detekovaných a měřených na povrchu řeziva, stejně jako třídič při vizuálním třídění řeziva, tak i fakt, že existují korelace mezi například hustotou dřeva a pevností v ohybu, jak je vidět na obr. 29. Informaci o hustotě řeziva získávají scannery bezkontaktně hlavně pomocí rentgenového záření. Takto získají kompletní hustotní mapu kusu řeziva i v jeho průřezu a může tak detekovat i skryté vady dřeva, například trhliny. Příklad vstupních obrazů řeziva je uveden na obr. 31.

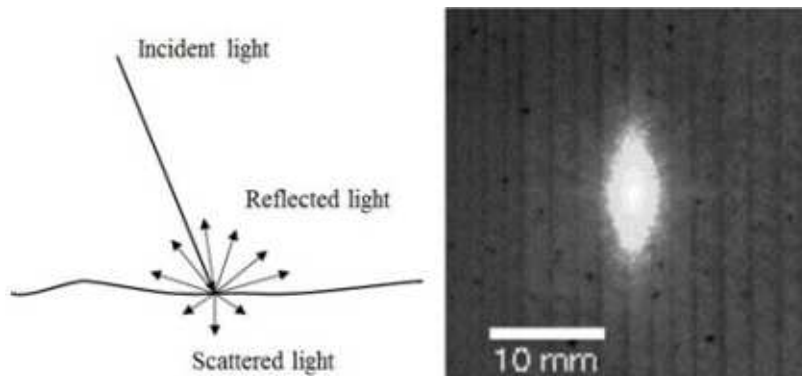


Obr. 31 *Obrazové mapy vstupující do softwaru scanneru dle (Microtec, 2015)*

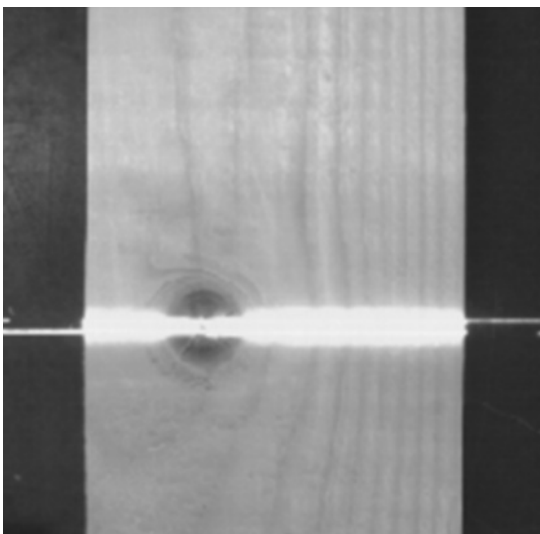
Nejfrekventovanější optické systémy pro detekci charakteristik řeziva byly vyvinuty pro vyhodnocení vzhledu. Nejčastějším typem snímače je CCD (charge coupled device), tento typ se běžně využívá ve fotoaparátech, videokamerách apod. Obrazy ze snímače zpracovává obrazový procesor, který vyhledává vady na povrchu dřeva. Při detekci vad struktury dřeva, zejména přítomnosti suků je využíván tzv. tracheidový efekt, kdy je dřevo osvětleno jasným zdrojem světla, například laserem, světlo je díky odrazům

od lumenů tracheid vedeno podél vláken a vytváří osvětlenou oblast, která je větší než šířka původního paprsku laseru, viz obr. 32. (Larsen, 2003).

Využití tracheidového jevu ukazuje obr. 33, kdy je pouhým okem znatelný rozdíl v šířce osvětlené oblasti v poměru k původní šířce paprsku laseru. Scanner díky analýze šířky rozptýleného světla dokáže stanovit přítomnost vad struktury dřeva.



Obr. 32 „tracheidový efekt“ (Larsen, 2003)



Obr. 33 Rozptýlení světla na povrchu dřeva (Larsen, 2003)

### 5.5.3 Návrh umístění scanneru

Při úvaze o možném umístění scanneru se nabízí dvě řešení. Prvním je pouhé nahrazení stávající technologie ručního třídění strojním. Tedy umístit scanner do stávající linky na výrobu KVH. Druhým řešením je umístit scanner mimo linku výroby KVH a navázat na linku již vytríděný materiál s označenými vadami a operaci třídění a označování z linky zcela vynechat.

### 5.5.3.1 Umístění scanneru ve stávající lince

Při výměně stávající technologie ručního třídění za třídění automatické, je třeba stanovit nutné změny linky tak, aby mohl být scanner nainstalován a provozován dle svých nároků na technologické uspořádání. Pro hodnocení, zdali je takové nasazení vhodné, bylo stanoveno využití scanneru dle vzorců 20 a 21.

$$\text{využití podávací rychlosti} = \frac{\text{požadovaná podávací rychlost}}{\text{podávací rychlost scanneru}} [\%] \quad 20.$$

$$\text{využití kapacity prken} = \frac{\text{požadovaný počet prken} \left[ \frac{\text{prken}}{\text{min}} \right]}{\text{kapacita scanneru} \left[ \frac{\text{prken}}{\text{min}} \right]} [\%] \quad 21.$$

### 5.5.3.2 Umístění scanneru mimo výrobní linku KVH

Třídící automaty jsou velmi výkonné stroje, a proto se naskýtá myšlenka umístit scanner jako samostatný stroj a na výrobní linku KVH navázat vytríděné a označené řezivo. Umístění scanneru mimo linku KVH možná využít scanner i pro třídění materiálu, který není určen pro výrobu KVH. Tento návrh v sobě nese zvýšené investiční náklady na vybudování obslužné technologie scanneru, i náklady na výstavbu vhodných prostor.

Při stanovení času potřebného k vytrídění materiálu pro zásobování výroby KVH bylo nejprve nutno podle vzorce 22 stanovit počet prken, které je třeba vytrídít pro jednu směnu výroby KVH.

$$\text{počet prken} = \frac{\text{směnový výkon} \times (1 + (1 - \text{výtěž}))}{\text{délka prkna}} [\text{ks}] \quad 22.$$

Kde: směnový výkon = celková délka vyrobeného KVH za směnu [m].

Z počtu prken potřebných pro jednu směnu byl vypočítán čas, který scanner na toto třídění spotřebuje, viz vzorec 23. Do vzorce vstupuje konstanta 1,1, která navyšuje čas třídění o 10 %. Tato hodnota byla použita, pro předpokládané prostoje vzniklé

například nastavováním parametrů třídění, drobnými výpadky zásobování a nestandardními situacemi vyžadující zásah obsluhy.

$$\text{doba třídění} = \frac{\text{počet prken}}{\text{minutový výkon}} \times 1,1 \text{ [min]} \quad 23.$$

Po vypočtení času spotřebovaného na vytrídění řeziva pro naplnění kapacity KVH, je možné stanovit nevyužitý čas scanneru, viz vzorec 24.

$$\text{nevyužitý čas scanneru} = \text{doba třídění} - \text{časový fond směny [min]} \quad 24.$$

#### **5.5.4 Ekonomické hodnocení jednotlivých variant umístění**

##### **5.5.4.1 Umístění scanneru ve výrobní lince KVH**

Při využití první navrhované varianty, a to tedy nasazení scanneru do linky výroby KVH je potenciál nejvyšší úspory v nákladech na třídiče. V současném provozu jsou 4 třídiči na jedné směně, tzn. 12 třídičů na třech směnách. Při hodnocení efektivnosti investice byla použita metoda doby splacení, viz vzorec 25, pro obě cenové hranice scannerů a pro ušetření platů všech 4 pracovníků na směnu. Obsluha scanneru tedy bude v kompetenci dalších stávajících pracovníků na lince.

$$\text{doba splacení} = \frac{\text{pořizovací cena}}{\text{roční cash flow}} \text{ [let]} \quad 25.$$

Stavení úspory mezd vychází z mediánu hrubé mzdy, který pro kategorii pracovníků dle CZ-ISCO 75: Zpracovatelé potravin, dřeva, textilu a pracovníci v příbuzných oborech za období 1 pololetí 2015 byl 17099 Kč/měsíc, (Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2015). Při vyčíslení nákladů na jednoho pracovníka je nutno brát v úvahu veškeré mzdové náklady, tzv. super hrubou mzdu a nikoliv jen měsíční hrubou mzdu. Super hrubá mzda se skládá z hrubé mzdy navýšené o 25 % za pojistné na sociální zabezpečení a 9 % za zdravotní pojištění.

$$\text{superhrubá mzda} = \text{hrubá mzda} + 34 \% \text{ [Kč]} \quad 26.$$

#### 5.5.4.2 Umístění scanneru mimo výrobní linku KVH

Při zvažování této varianty je nutné počítat s náklady na investici do obslužných mechanizací i do budovy pro umístění scanneru. Tyto náklady nebudou zanedbatelné, ale můžeme zvýšit příjmy z provozu scanneru v podobě třídění dalšího řeziva, které není určeno pro výrobu KVH.

Pro stanovení ceny třídění scanneru bylo vycházeno z ceny pracovníka a jeho výkonu při třídění. Jeden pracovník adjustační stanice je schopen vytřídit jedno prkno za 2 sekundy, tj. 30 prken za minutu a 1800 prken za hodinu při mzdě stanovené vzorcem 26. Náklady na pracovníka pro vytřídění jednoho prkna stanovuje vzorec 27.

$$\text{cena třídění} = \frac{\text{super hruná mzda}}{\text{počet prken}} \text{ [Kč/prkno]} \quad 27.$$

Pro to, aby bylo výhodné řezivo třídít pomocí scanneru, je nutné, aby cena třídění byla nižší než při třídění pracovníky. Tato cena je stanovena jako:

$$\text{limitní cena třídění} = \text{výkon scanneru} \times \text{cena třídění člověka} \text{ [Kč/min]} \quad 28.$$

Možné roční výnosy byly stanoveny jako příjmy z pronájmu třídícího času scanneru, viz vzorec 28. Tyto částky jsou maximálními cenami, kdy je třídění pomocí scanneru stejně nákladné jako třídění člověkem. Jako úspora mezd bylo počítáno s úsporou stávajících 12 třídičů na lince KVH. Protože však scanner bude vyžadovat obsluhu, bylo počítáno s jedním pracovníkem na směnu jako s obsluhou scanneru.

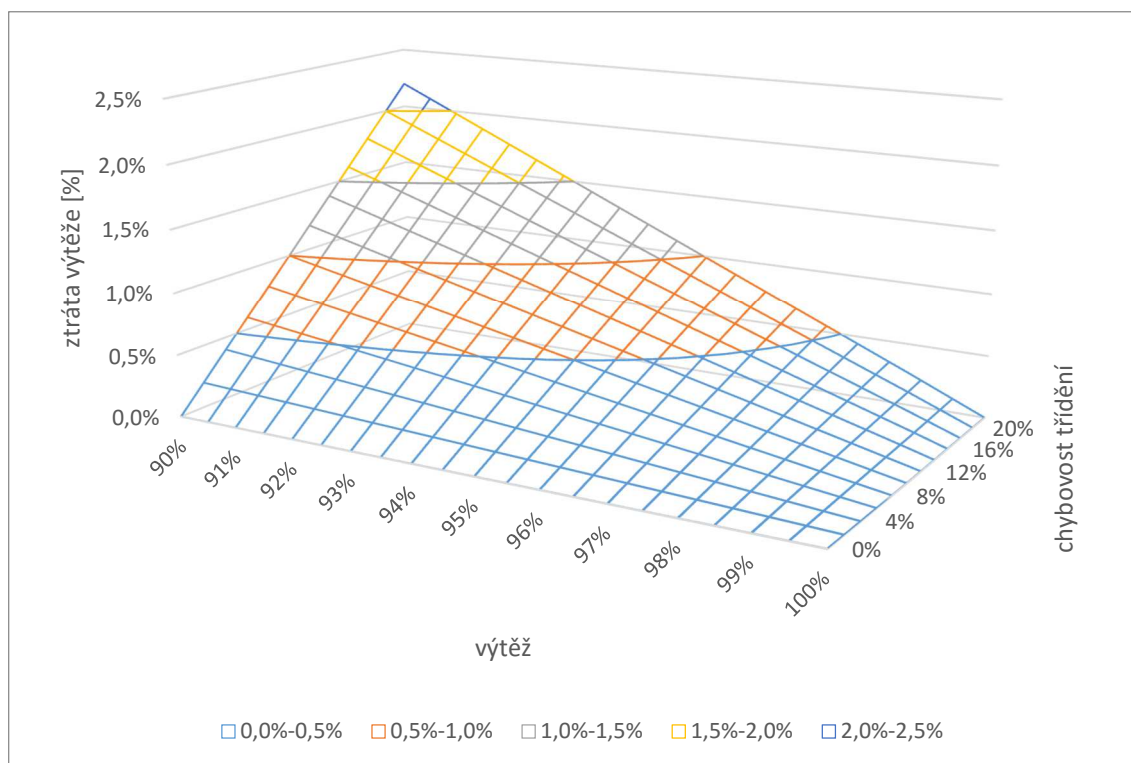
Pro hodnocení doby návratnosti investice byl použit stejný vzorec, 25, jako u kapitoly v níž bylo počítáno s umístěním scanneru do linky KVH.

Pro stanovení doby splacení investice byla použita pouze cena scanneru bez dalších nákladů na budovu, technologii a podobně.

## 6 VÝSLEDKY

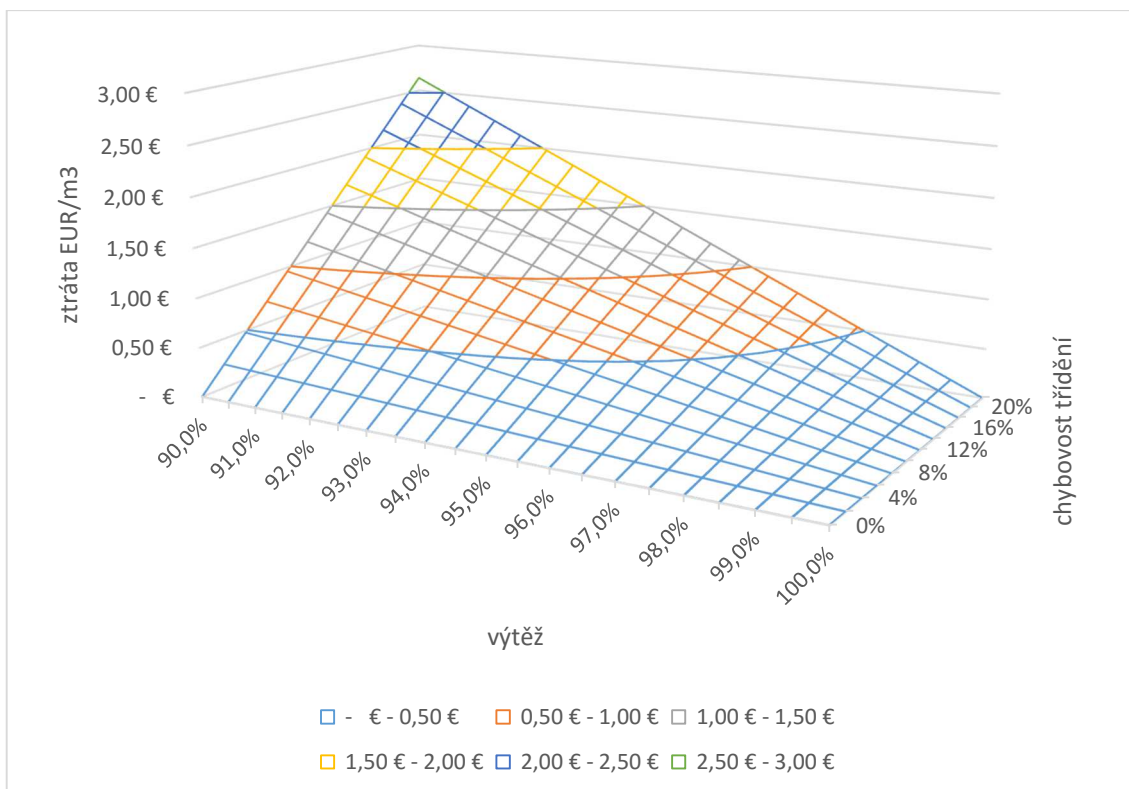
### 6.1 Ztráta způsobená chybným označováním vad

Následující obr. 34 ukazuje závislost ztráty výtěžě na výtěži a chybovosti třídíčů vypočtenou dle vzorce 3.



Obr. 34 Graf závislosti ztráty výtěžě na chybovosti a výtěži

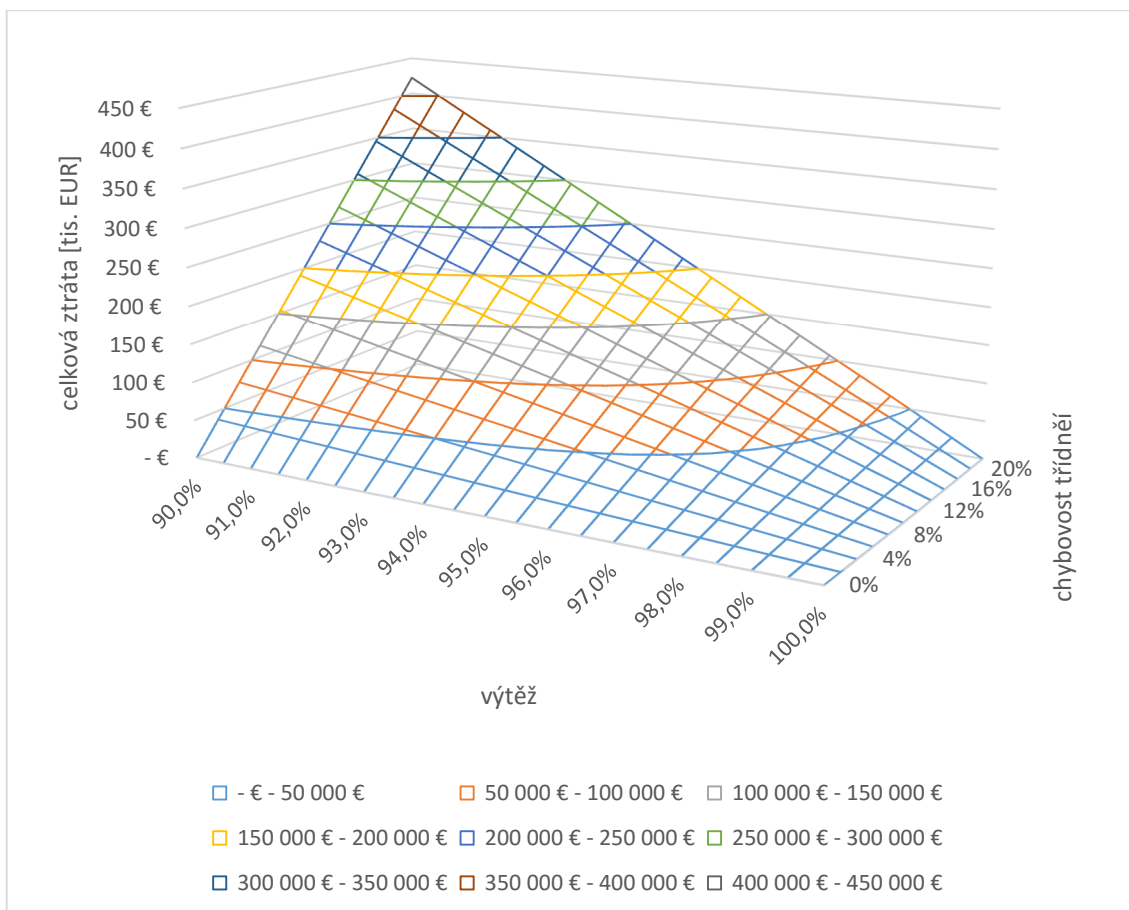
Tato ztráta výtěžě byla pomocí vzorce 4. převedena do finanční ztráty, která vzniká díky chybným rozhodnutím třídíčů. Obr. 35 vyčísluje tuto ztrátu v eurech na metr krychlový zpracovaného řeziva.



Obr. 35 Graf závislosti chybovosti a výtěže na ztrátě

Lepší představu o celkové roční ztrátě poskytuje obr. 36, který je výstupem vzorce 5. Z grafu vyčteme roční peněžní ztrátu při dané výtěži a chybovosti třídičů. Při použití průměrného objemu produkce 160 000 m<sup>3</sup>/rok, průměrné výtěži 94,52 % za rok 2015 a střední chybovosti třídičů 20 % byla za rok 2015 tato ztráta 210 432 euro.

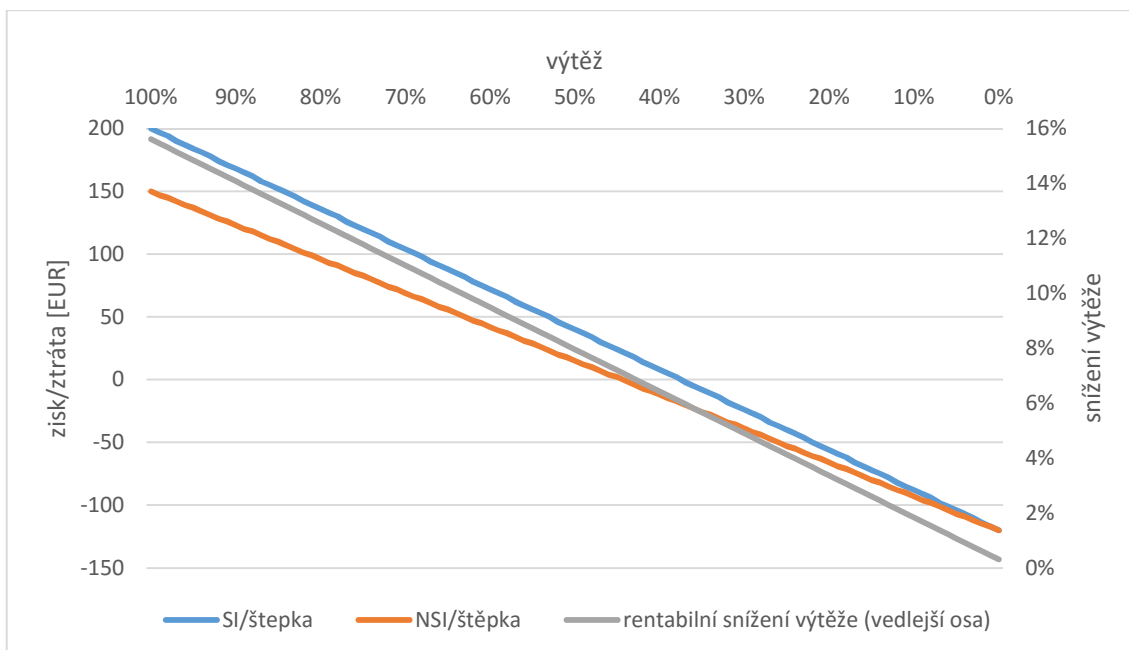




Obr. 36 Graf celkové roční ztráty

## 6.2 Mezní rentabilní výtěž

Je výtěžím, při které nedosahuje produkce ani zisk ani ztrátu. Zájmem firmy je tedy vždy dosahovat vyšší než mezní rentabilní výtěž. Proto při třídění a značení vad dřeva je nutno dbát na to, aby výtěž z řeziva neklesla pod hodnoty uvedené v tab. 14.



Obr. 37 Graf rentability výtěže

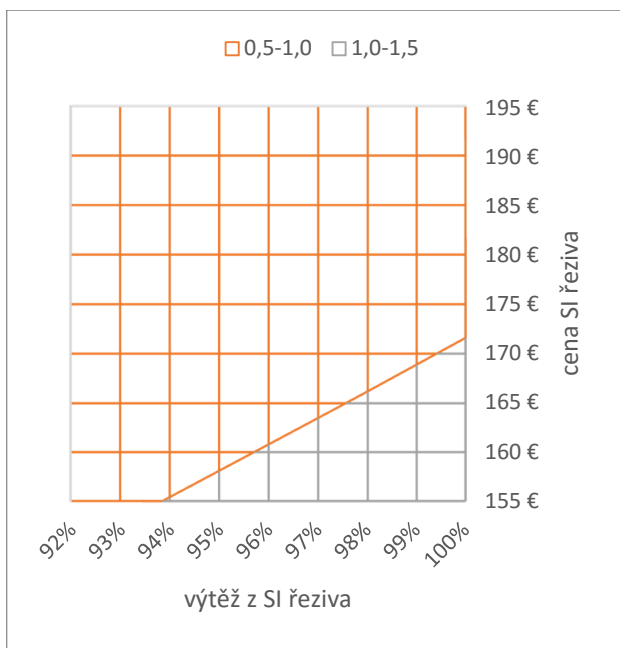
Na obr. 37 je vidět závislost výtěže na zisku, případně ztrátě. Pro výpočet byly použity hodnoty z tab. 8 ve vzorci 6. Z tohoto můžeme konstatovat při jaké výtěži je výroba rentabilní a kdy je již ztrátová. Tyto hodnoty shrnuje tab. 14. Grafem na obr. 37 se můžeme řídit také v situaci, kdy je nutné rozhodnout se, zdali prknu přiřadit kvalitu NSI, nebo snížit výtěž vykrácením nepovolených vad a povýšit kvalitu na SI. Jak je vidět na obr. 37, čára rentabilní snížení výtěže, je výhodnější ztratit od 15 do 8 % z výtěže pro NSI kvalitu, vyřezáním nepřijatelné vady pro SI, a povýšit kvalitu prkna na SI.

Tab. 14 Mezní rentabilní výtěž

SI/ štěpka	38 %
NSI/ štěpka	45 %

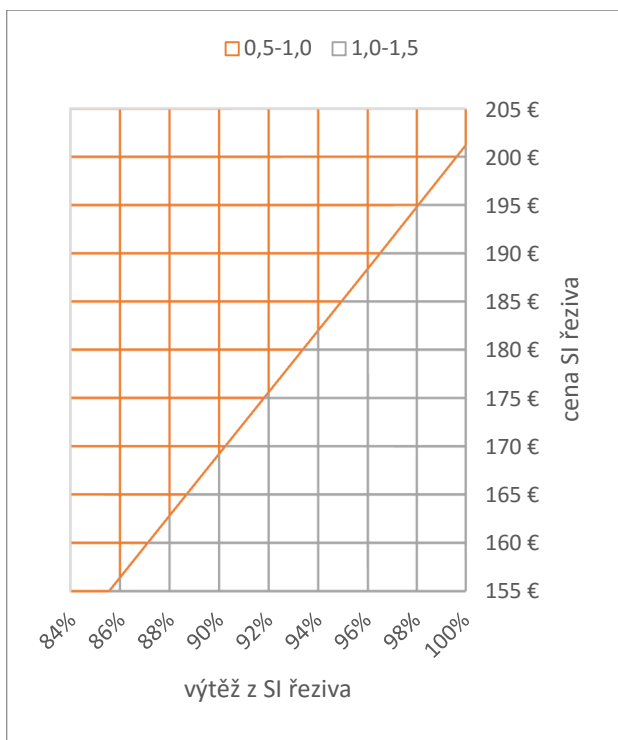
### 6.3 Plánování výroby s ohledem na kvalitu vstupního řeziva a dosahované výtěže

Na obr. 38 a obr. 39 je znázorněna závislost ceny a výtěže na index výhodnosti vstupního SI materiálu. Pokud je vyráběn KVH NSI, tak z tab. 9 je dáno, že do výroby vstupuje řezivo NSI v ceně 150 EUR/m<sup>3</sup> při dosahované výtěži 92 %. Na otázku, zdali je výhodné, aby do výroby vstupovalo řezivo tříděné jako SI, dává odpověď obr. 38. V oblasti hodnot vyšších jak jedna je výhodné připlácet za řezivo kvality SI.



*Obr. 38 Graf indexu výhodnosti SI řeziva pro výrobu KVH NSI*

Obdobně jako na obr. 38 je vidět na obr. 39 index výhodnosti vstupu SI řeziva avšak tentokrát při vstupu do výroby KVH SI. Je zde vidět daleko vyšší oblast, kde je index výhodnosti vyšší než jedna, kde je výhodné připlácet za řezivo tříděné jako pohledové. Větší oblast výhodnosti u obr. 39 než u obr. 38 je způsobena tím, že pohledová kvalita KVH se prodává za vyšší cenu.



Obr. 39 Graf indexu výhodnosti SI řeziva pro výrobu KVH SI

## 6.4 Optimalizace práce krátících pil s ohledem na následující frézování

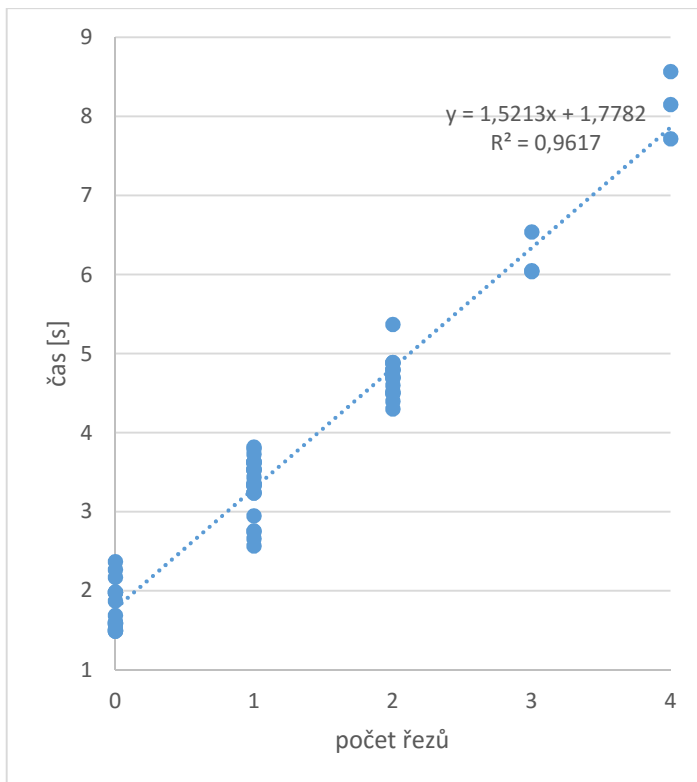
### 6.4.1 Časy operací

#### 6.4.1.1 Krácení materiálu

Průměrné časy projetí prkna pilou a průměrné časy na jeden řez, které byly stanoveny dle vzorce 8, jsou uvedeny v tab. 15. Časy byly sledovány na 68 prknech. Na obr. 40 je vidět lineární závislost času spotřebovaného na projetí prkna pilou a počtu provedených řezů.

Tab. 15 Stanovení času krátícího řezu

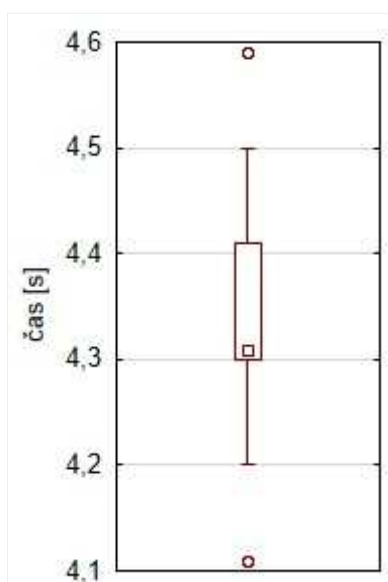
Počet řezů	Průměrný čas zpracování [s]	Průměrný čas jednoho řezu [s]
0	1,78	
1	3,35	1,58
2	4,70	1,36
3	6,21	1,50
4	8,15	1,93
průměrný čas jednoho řezu [s]		1,59



Obr. 40 Graf závislosti času projetí prkna pilou na počtu řezů

#### 6.4.1.1 Frézování zubovitého spoje

Průměrný naměřený čas frézování zubovitého spoje je 4,36 s. Změřeno bylo 47 cyklů frézování. Výsledky měření jsou zpracovány na obr. 41.



Obr. 41 Krabicový graf naměřených časů frézování

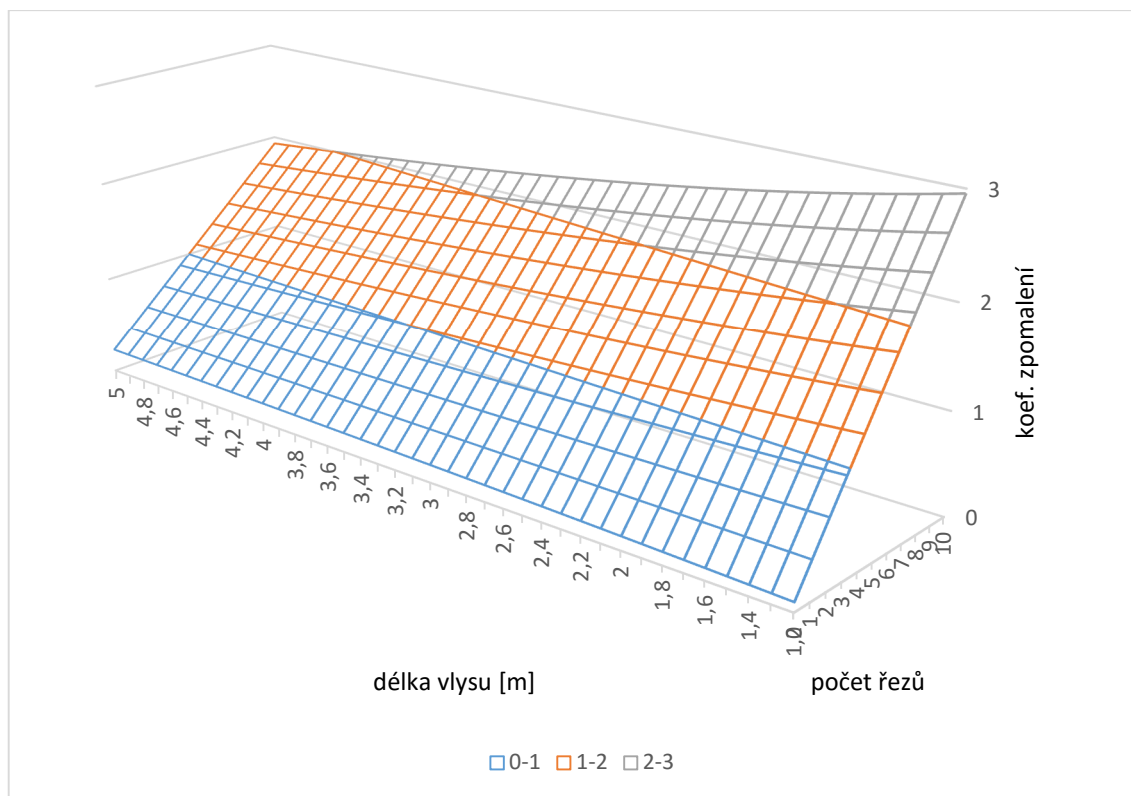
#### 6.4.1 Maximální počet krátkých řezů

Výstupem vzorce 9 je následující tab. 16, která obsahuje koeficient zpomalení pro danou délku vlysu a počet krátkých řezů vedoucí k jeho vyrobení. Hodnoty vyšší než 1, červeně podbarvené, ukazují, že výroba vlysu je pomalejší než frézování spoje. Proto bude docházet k nedostatečnému zásobení frézek.

Tab. 16 Závislost časů zpracování vlysu krácením a frézováním dle vzorce 11.

délka vlysu	počet zkracovacích řezů										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2	0,09	0,38	0,67	0,95	1,24	1,53	1,81	2,10	2,38	2,67	2,96
1,3	0,10	0,38	0,66	0,94	1,22	1,51	1,79	2,07	2,35	2,63	2,91
1,4	0,10	0,38	0,66	0,93	1,21	1,49	1,76	2,04	2,32	2,59	2,87
1,5	0,11	0,38	0,65	0,93	1,20	1,47	1,74	2,01	2,28	2,56	2,83
1,6	0,12	0,38	0,65	0,92	1,18	1,45	1,72	1,99	2,25	2,52	2,79
1,7	0,12	0,38	0,65	0,91	1,17	1,43	1,70	1,96	2,22	2,49	2,75
1,8	0,13	0,38	0,64	0,90	1,16	1,42	1,68	1,94	2,19	2,45	2,71
1,9	0,13	0,38	0,64	0,89	1,15	1,40	1,66	1,91	2,17	2,42	2,67
2	0,13	0,39	0,64	0,89	1,14	1,39	1,64	1,89	2,14	2,39	2,64
2,1	0,14	0,39	0,63	0,88	1,13	1,37	1,62	1,87	2,11	2,36	2,61
2,2	0,14	0,39	0,63	0,87	1,12	1,36	1,60	1,84	2,09	2,33	2,57
2,3	0,15	0,39	0,63	0,87	1,10	1,34	1,58	1,82	2,06	2,30	2,54
2,4	0,15	0,39	0,62	0,86	1,09	1,33	1,57	1,80	2,04	2,27	2,51
2,5	0,16	0,39	0,62	0,85	1,09	1,32	1,55	1,78	2,01	2,25	2,48
2,6	0,16	0,39	0,62	0,85	1,08	1,30	1,53	1,76	1,99	2,22	2,45
2,7	0,16	0,39	0,62	0,84	1,07	1,29	1,52	1,74	1,97	2,19	2,42
2,8	0,17	0,39	0,61	0,84	1,06	1,28	1,50	1,72	1,95	2,17	2,39
2,9	0,17	0,39	0,61	0,83	1,05	1,27	1,49	1,71	1,93	2,15	2,37
3	0,17	0,39	0,61	0,82	1,04	1,26	1,47	1,69	1,91	2,12	2,34
3,1	0,18	0,39	0,61	0,82	1,03	1,25	1,46	1,67	1,89	2,10	2,31
3,2	0,18	0,39	0,60	0,81	1,02	1,23	1,45	1,66	1,87	2,08	2,29
3,3	0,18	0,39	0,60	0,81	1,02	1,22	1,43	1,64	1,85	2,06	2,26
3,4	0,19	0,39	0,60	0,80	1,01	1,21	1,42	1,62	1,83	2,04	2,24

délka vlysu	počet zkracovacích řezů										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3,5	0,19	0,39	0,60	0,80	1,00	1,20	1,41	1,61	1,81	2,01	2,22
3,6	0,19	0,39	0,59	0,79	0,99	1,19	1,39	1,59	1,79	1,99	2,20
3,7	0,20	0,39	0,59	0,79	0,99	1,18	1,38	1,58	1,78	1,98	2,17
3,8	0,20	0,39	0,59	0,79	0,98	1,18	1,37	1,57	1,76	1,96	2,15
3,9	0,20	0,40	0,59	0,78	0,97	1,17	1,36	1,55	1,75	1,94	2,13
4	0,21	0,40	0,59	0,78	0,97	1,16	1,35	1,54	1,73	1,92	2,11
4,1	0,21	0,40	0,58	0,77	0,96	1,15	1,34	1,53	1,71	1,90	2,09
4,2	0,21	0,40	0,58	0,77	0,95	1,14	1,33	1,51	1,70	1,89	2,07
4,3	0,21	0,40	0,58	0,76	0,95	1,13	1,32	1,50	1,68	1,87	2,05
4,4	0,22	0,40	0,58	0,76	0,94	1,12	1,31	1,49	1,67	1,85	2,03
4,5	0,22	0,40	0,58	0,76	0,94	1,12	1,30	1,48	1,66	1,84	2,02
4,6	0,22	0,40	0,58	0,75	0,93	1,11	1,29	1,46	1,64	1,82	2,00
4,7	0,22	0,40	0,57	0,75	0,93	1,10	1,28	1,45	1,63	1,80	1,98
4,8	0,22	0,40	0,57	0,75	0,92	1,09	1,27	1,44	1,62	1,79	1,96
4,9	0,23	0,40	0,57	0,74	0,91	1,09	1,26	1,43	1,60	1,77	1,95
5	0,23	0,40	0,57	0,74	0,91	1,08	1,25	1,42	1,59	1,76	1,93



Obr. 42 Graf závislost koeficientu zpomalení dle tab. 16

#### 6.4.1.1 Počet prováděných krátkých řezů

Počet zkracovacích řezů na 1479 prknech byl 2421. 354 prken splňovalo podmínku, že více než dvě sousedící oblasti byly označeny nulou, tedy jako odpad a musely tedy být odstraněny dvěma nebo více řezy. Celkový počet řezů provedených na těchto 354 prknech při maximální délce odpadu 25 cm byl 1214, to je 50,1 % z celkového počtu řezů.

#### 6.4.2 Optimalizace délky odpadového kusu vůči délce propadu

Čas potřebný pro pád odpadového kusu o tloušťku materiálu, dle vzorce 13, je 0,24 sekundy.

Měření času, kdy bylo prkno bez pohybu, bylo provedeno na 58 případech. Průměrná délka času bez pohybu je 1,149 sekund, viz tab. 17.

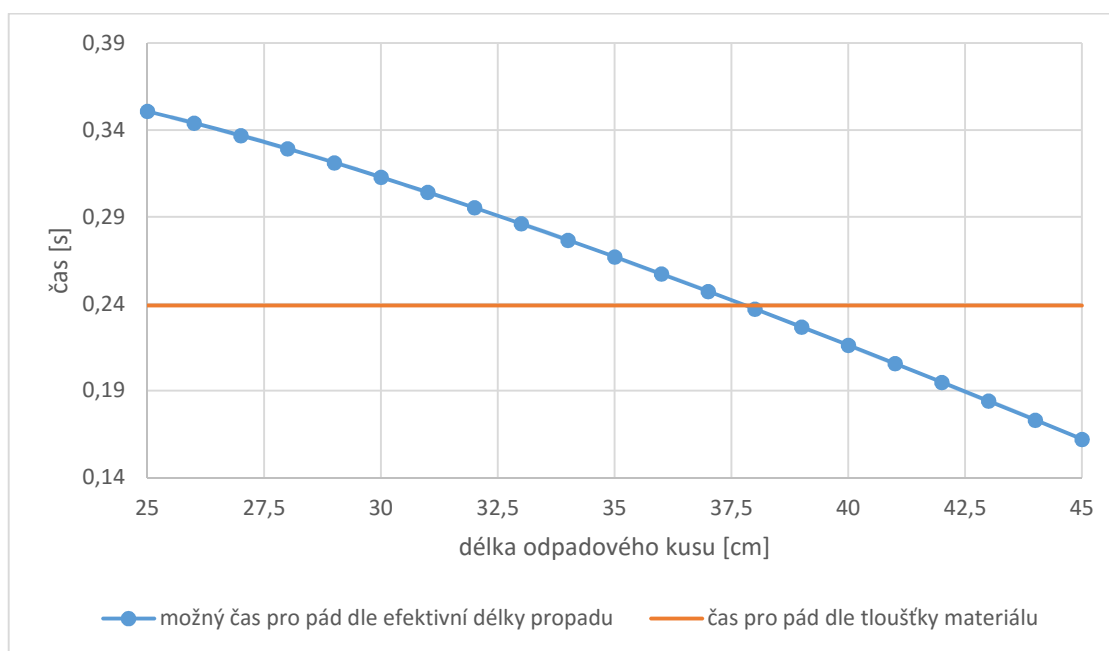
Po dosažení průměrného času bez pohybu prkna do vzorce 15, je čas zpomalení 0,24 sekund. Snížená rychlost posuvu, dle vzorce 16., je 0,82 m/s.



Tab. 17 Popisná statistika měření času kdy bylo prkno bez pohybu

Stř. hodnota	1,149
Chyba stř. hodnoty	0,012
Medián	1,140
Směr. odchylka	0,090
Rozptyl výběru	0,008
Špičatost	-1,202
Šikmost	-0,042
Minimum	1
Maximum	1,29
Počet	58

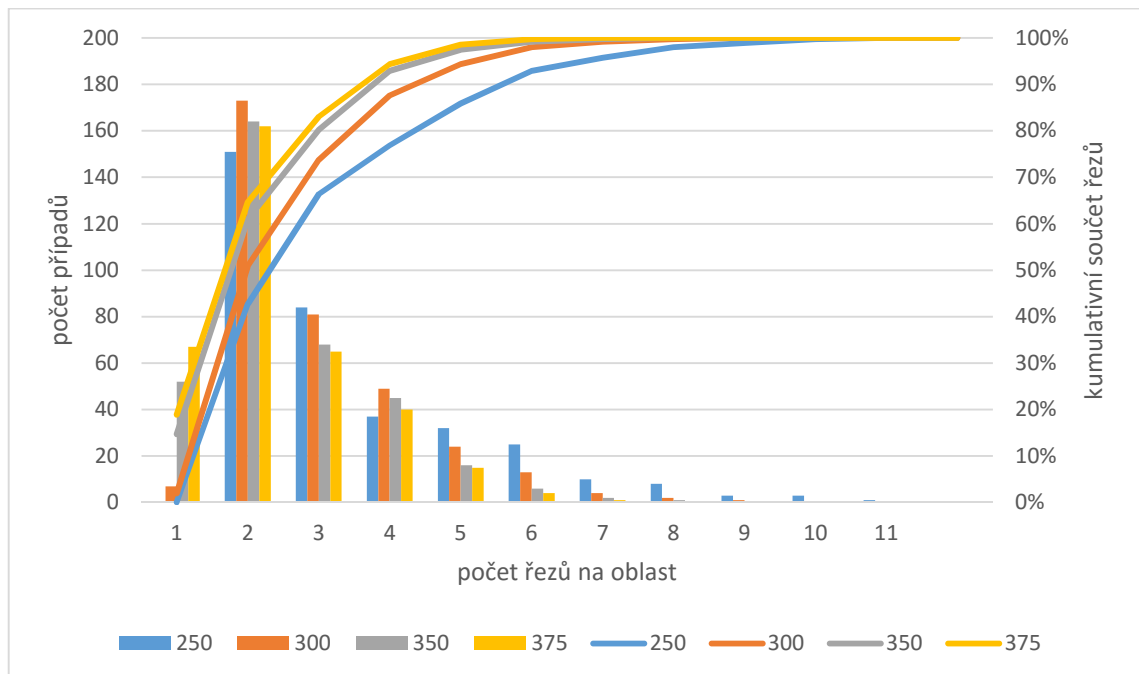
Dle podmínky v kapitole 5.4.4.1, že možný čas pádu dle efektivní délky propadu, viz vzorec 14, musí být vyšší než čas pro pád dle tloušťky, viz vzorec 13, je maximální délka odpadového kusu 37,5 cm. Závislost času pádu dle efektivní délky propadu na délce odpadového kusu zobrazuje obr. 43.



Obr. 43 Graf závislost možného času pro pád dle efektivní délky propadu

### 6.4.2.1 Optimalizace počtu řezů

Jak je vidět na obr. 44, počet krátkých řezů má snižující se tendenci, tedy nejvíce vad je odstraněno dvěma řezy. Počet řezů se zvyšující se délkou odpadového kusu klesá. Jak je uvedeno v tab. 18 při srovnání současné délky odpadu 25 cm s maximální možnou délkou vypočtenou, viz kapitola 6.4.2, 37,5 cm se počet řezů redukuje o 29,8 %, maximální počet řezů na jednom prkně se snižuje z 11 na 7 a pro vymanipulování mnoha vad by stačil pouze jeden řez. Snížení počtu řezů se týká pouze těch vad, které v původním nastavení vyžadovaly 2 a více řezů, jejich zastoupení bylo 50,1 %. Celkový počet řezů proto klesne o 15,2 %. Četnosti řezů pro jednotlivé maximální délky odpadu ukazuje obr. 44.



Obr. 44 Graf závislosti počtu řezů na maximální délce odpadu [mm]

Tab. 18 Počet řezů v závislosti na maximální délce odpadu

	počet řezů při délce odpadu			
	250 mm	300 mm	350 mm	375 mm
Stř. hodnota	3,43	2,95	2,55	2,41
Medián	3	2	2	2
Modus	2	2	2	2
Směr. odchylka	1,81	1,32	1,21	1,14
Minimum	2	1	1	1
Maximum	11	9	8	7
Součet	1214	1043	902	852
Snížení počtu řezů	0,0%	14,1%	25,7%	29,8%
Celkové snížení počtu řezů	0,0%	7,2%	13,1%	15,2%

Tab. 19 Délka odpadu v závislosti na maximální délce odpadu

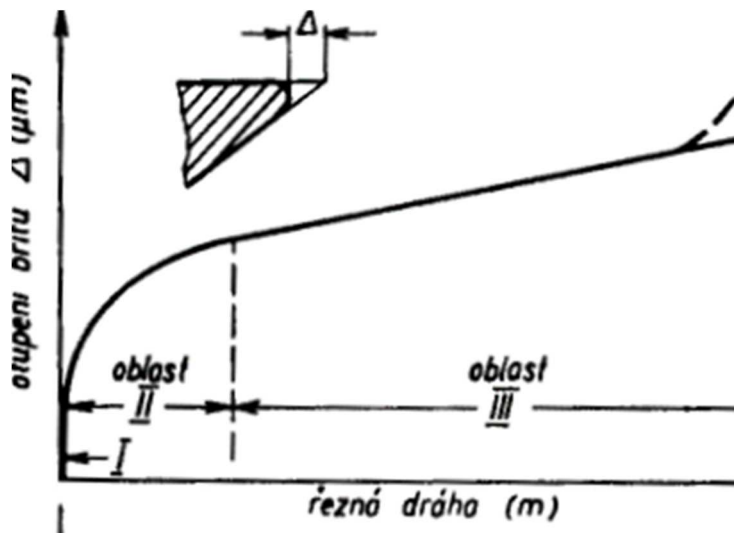
	kumulativní délka/počet řezů při délce odpadu			
	250 mm	300 mm	350 mm	375 mm
Stř. hodnota	206,5	235,4	278,4	295,2
Medián	209,9	242,4	288,6	304,9
Modus	183,0	274,5	274,5	274,5
Směr. odchylka	28,0	42,0	48,0	50,6
Minimum	147,0	152,3	175,1	188,5
Maximum	250,0	299,0	349,3	375,0

#### 6.4.2.2 Optimalizace počtu řezů

Snížení počtu zkracovacích řezů povede k úspoře času, který by byl třeba na vykonání zkracovacích řezů. Celý úsek zkracovacích pil tedy bude pracovat rychleji a budou eliminovány prostoje frézky vzniklé nedostatečným zásobováním materiálu. Při nejvyšší délce odpadu 375 mm bude dle obr. 44 zhruba 80 % vad vykráceno čtyřmi a méně zkracovacími řezy. To při porovnání s tab. 16 znamená, že ve většině případů bude zkracování probíhat rychleji než frézování a nebude tedy docházet k prostojům frézky.

Dalším kladem toho snížení počtu řezů je snížení opotřebení kotoučů zkracovacích pil. Snížení opotřebení bude kopírovat snížení zkracovacích řezů. Pokud

bude nastavena maximální délka odpadu na 375 mm tak dle tab. 18 bude snížen počet zkracovacích řezů o 15,2 %. O stejnou hodnotu klesne i otupení pil klesne o 15,2 % (za předpokladu lineární závislosti otupování břitu viz obr. 45). Tato lineární závislost otupení na počtu řezů, řezné dráze, na obrázku reprezentuje oblast III.



Obr. 45 Průběh otupení břitu (Prokeš, 1978)

Ve zkracovacích pilách jsou instalovány pilové kotouče o průměru 700 mm a 132 zuby osazenými SK plátky. Tyto kotouče jsou v obou zkracovacích pilách vyměňovány a ostřeny v intervalu čtrnácti dní. Tento interval lze prodloužit o součin hodnoty úspory opotřebení a současného intervalu ostření kotouče. V tomto případě o 2,13 dne.

V situaci současné výroby se výměna pilových kotoučů provádí v době odstávky výroby. Proto postup prodloužení intervalu výměny pilových kotoučů není použitelný, jelikož výměna pilového kotouče vyžaduje zastavení výrobní linky a takto způsobený prostoj bude daleko vyšší ztrátou, než přinese úspora v prodloužení intervalu ostření nástroje. Proto navrhuji pilové kotouče vyměňovat ve standardních čtrnácti denních intervalech a snížení otupení využít jako prodloužení životnosti kotouče, jelikož při ostření bude třeba odebrat méně materiálu, protože otupení břitu, viz obr. 45, bude menší.

## 6.5 Použití automatického třídícího stroje

Jako vhodný typ automatického třídícího stroje byl vybrán scanner s optickým snímáním vad, zejména z důvodu zaměření části produkce na KVH pohledové kvality.

### 6.5.1 Nároky kladené na zařízení

Pro požadovaný výkon strojního třídiče byla použita hodnota nejpomalejšího zařízení v lince. Tímto úzkým místem linky je dvojce lisů s teoretickým výkonem (dle tab. 13) 8 taktů za minutu pro každý, tedy 16 taktů za minutu pro oba lisy. Dle vzorce 19 byla stanovena minimální podávací rychlost na 84,8 m/min. Po avizovaném zdvojnásobení podávací rychlosti je minimální požadovaná podávací rychlost 169,6 m/min.

Tab. 20 Přehled základních požadavků na scanner

Minimální rychlost [m/min]	169,6
Minimální počet prken [ks/min]	16
Délka prken [m]	3–5
Šířka [mm]	60–280
Tloušťka [mm]	40–140
Dřevina	Smrk, jedle
Certifikace	EN 14081
Značící zařízení	Ano/ možnost připojení

### 6.5.2 Přehled dostupných scannerů a jejich vybavenost

Tab. 21 Souhrn výrobců a modelů scannerů

Výrobce	Model	
Weinig	CombiScan+ series	(LUXSCAN Technologies Sarl, 2015)
	Easyscan series	(LUXSCAN Technologies Sarl, 2015)
Woodeye	Woodeye 5	(Innovativ Vision AB, 2015)
Microtec	Goldeneye 30x–80x	(Microtec, 2015)
Pinomatic	Wood vision EVO3	(Pinomatic Oy, 2015)
FinScan	BoardMasterNOVA	(FinScan Oy, 2015)

Pro některé výrobce nebyl zpracován výčet základních vlastností, jelikož nesplňují základní požadavky na scanner kladené. Například firma FinScan (FinScan Oy, 2015) nabízí scanner pouze pro příčnou dopravu. Počet výrobců scannerů bude jistě v budoucnu stoupat, v práci je uveden přehled ke konci prvního pololetí 2015.

V tab. 22 a tab. 23 jsou uvedeny základní parametry scannerů. Tyto parametry jsou však pouze orientační jelikož všichni výrobci uvádí, že vlastnosti scannerů lze modifikovat podle konkrétních požadavků zákazníků. Firma Woodeye dokonce uvádí pouze jeden parametr svého scanneru a to kapacitu vytříděných prken za minutu.

Tab. 22 Nabídka scannerů Weinig dle (LUXSCAN Technologies Sarl, 2015) (LUXSCAN Technologies Sarl, 2015), a WoodEye dle (Innovativ Vision AB, 2015)

	Weinig		Woodeye 5
	CombiScan+ C	Easy scan	
Maximální rychlost [m/min]	120 – 300	180	
Počet prken [ks/min]	80	20	30
Min./max. délka prken [m]	0,8–6,5*	1,2–6,5	
Min./max. šířka prken [mm]	25–310 *	40–150 /50–260	
Min./max. tloušťka prken [mm]	12 – 100 *	10–60 /10–100	
Dřeviny smrk, jedle	ano	ano	
Pracovní výška [mm]	920 *	920	
Laserová kamera 2 S – 4 S	Standard	Standard	
čárový laser	Standard		
bodový laser	Volitelné	Volitelné	
LED osvětlení	Standard	Standard	
Barevná kamera 2 S – 4 S	Volitelné	Standard	
Vysoké rozlišení barevné kamery 2 S – 4 S	Volitelné		
Rentgen (X-ray)	Volitelné		
Skip sensors	Volitelné		
Technologie rozpoznání zúžení šířky	Volitelné	Ne	
Mechanizace scanneru	Volitelné		

	Weinig		Woodeye 5
	CombiScan+ C	Easy scan	
Skener tvaru	Volitelné		
Měření pevnosti	Volitelné		
Vlhkoměr	Volitelné		
Značící stanice	Volitelné		
Detektor kovu	Volitelné		

Tab. 23 Nabídka scannerů Microtec dle (Microtec, 2015)

model	Dimenze – 3D triangulation	Snímání odchyly struktury (rozptyl laseru)	Barevné snímání	Rentgen (X-ray)	Resonanční frekvence (laseroový interferometr)	Maximální rozměry	Maximální podávací rychlost [m/min]	Certifikace 14081
301	D	S	C	Ne	Ne	100x300	100	Ne
302	D	S	C	Ano	Ne			
306	D	S	C	Ano	Ano			
501	D	S	C	Ne	Ne		300	
502	D	S	C	Ano	Ne			
506	D	S	C	Ano	Ano			
701	D	S	C	Ne	Ne		450	Ano
702	D	S	C	Ano	Ne			

model	Dimenze – 3D triangulation	Snímání odchylyk struktury (rozptyl laseru)	Barevné snímání	Rentgen (X-ray)	Resonanční frekvence (laserový interferometr)	Maximální rozměry	Maximální podávací rychlost [m/min]	Certifikace 14081
706	D	S	C	Ano	Ano		1200	Ano
801	D	S	C	Ne	Ne			
802	D	S	C	Ano	Ne			
806	D	S	C	Ano	Ano			

### 6.5.3 Návrh umístění scanneru

#### 6.5.3.1 Umístění scanneru ve stávající lince

Při osazení scanneru do stávající linky navrhuji jej umístit na místo nynějšího třídícího stolu. Toto řešení je navrhováno z důvodu nejmenší náročnosti na zásah do stávající linky. Nutné by byly pouze úpravy v podobě prodloužení svislého dopravníku, snížení řetězového dopravníku s obracečem prken na úroveň válečkové tratě vedoucí k boxům a odstranění třídícího stolu, na jehož místo by byl scanner umístěn. Návrh řešení viz příloha 2. Toto řešení však není ideální, jelikož scanner má daleko vyšší kapacitu než je kapacita linky. Toto dokládá tab. 20, kdy kapacita linky je 16 prken/min, nebo 169,9 m/min. Kdežto jak uvádí tab. 22 a tab. 23 kapacity scannerů se rámcově pohybují od 20 do 80 prken/min, nebo 100–1200 m/min. Využití scanneru v tomto umístění ukazuje následující tab. 24 sestavená podle vzorců 20 a 21.

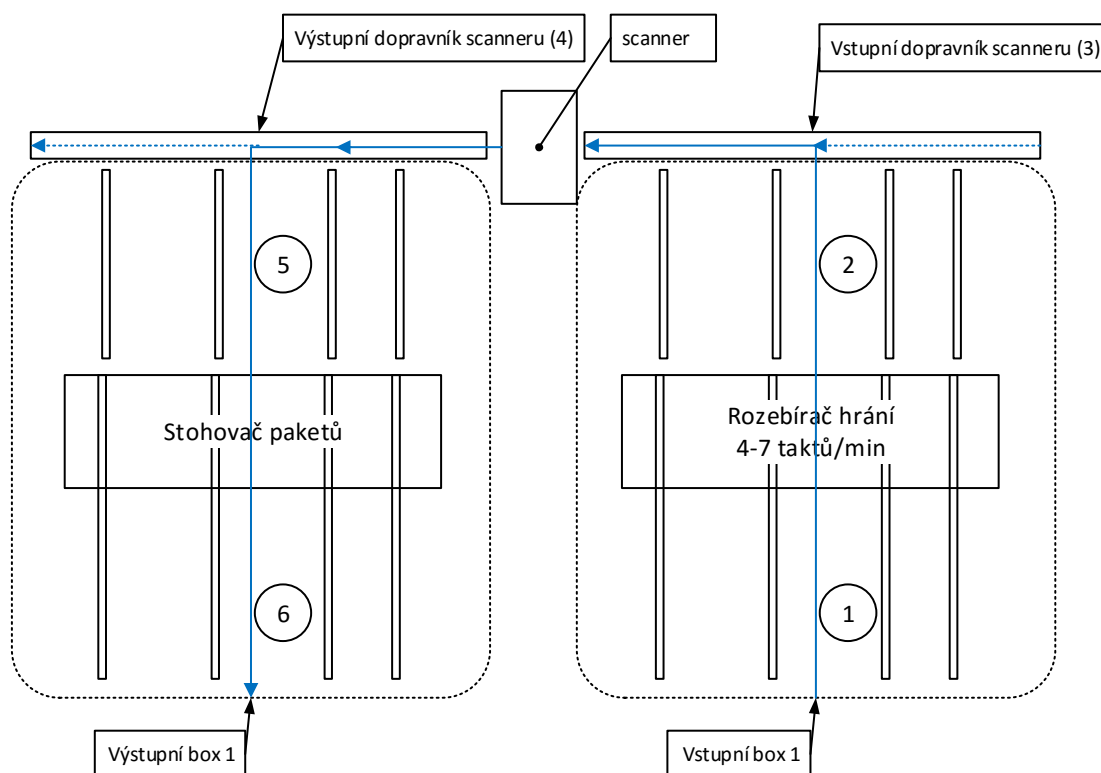


Tab. 24 Využití potencionálního výkonu scanneru ve stávající lince

limit	linky	scanneru		využití scanneru	
prken/min	10	20	80	85%	21%
m/min	169,6	169,9	1200	100%	14%

### 6.5.3.2 Umístění scanneru mimo výrobní linku KVH

Jak je uvedeno v tab. 24, scanner umístěný v lince KVH by byl značně nevyužitý, proto je vhodné zvážit řešení, kdy by byl scanner umístěn samostatně a tím by bylo umožněno třídít i materiál, který není určen pro výrobu KVH. Pro scanner je v tomto případě nutné vybudovat obslužnou technologii obstarávající přísun a odsun materiálu. Schématický návrh uzlu scanneru s obslužnou technologií je na obr. 46.



Obr. 46 Uzel scanneru s obslužnou mechanizací

Toto řešení má i nevýhody a to nejen investici do prostor a vybavení mechanizace obsluhující tříděč, ale i náklady na dopravu vytríděného materiálu na linku výroby KVH. Při tomto řešení se také stane značná část linky KVH přebytečnou, jak ukazuje příloha 3. Linku by bylo možné zásobovat pomocí boxu kvality 2, to však není ideální z důvodu, že tento box lze obsluhovat pouze pomocí bočního vozíku. Proto bylo uvažováno s navážením vytríděného materiálu původním vstupem řeziva a bylo navrženo pouze

zjednodušení soustavy vstupních dopravníků. Při úpravě těchto vstupních dopravníků však nezbyvá místo pro obraceč prken. Proto navrhuji umístit snímač otočení prkna do místa za krátkou pilou a uzpůsobit činnost dosavadního obraceče, tak aby prkna byla otočena pravou a levou stranou stejně.

*Tab. 25 Stanovení počtu rozebíračů hráně pro zásobování scanneru*

rychlost scanneru	prken/min	20	20	80	80
rychlost rozebírače	taktů/min	4	7	4	7
počet prken ve vrstvě	ks	4	4	4	4
potřebný počet rozebíračů	ks	1,25	0,71	5,00	2,86

Počet vstupních boxů na obr. 46 je třeba sladit s počtem potřebných rozebíračů určených dle tab. 25 tak, aby bylo zaručeno dostatečné zásobování scanneru materiálem. Počet výstupních boxů je dán počtem tříděných kvalit řeziva, to nejen pro účely KVH. Počet současně využívaných výstupních boxů by měl být větší nebo roven počtu vstupních boxů aby nedocházelo ke zpomalování scanneru.

*Tab. 26 Čas třídění materiálu pro výrobu KVH*

Minutový výkon scanneru [ks/min]	počet směn	
	1	3
20	257 min (4,3 hod)	770 min (12,8 hod)
80	64 min	192 min (3,2 hod)

V tabulce vidíme, že pro zajištění materiálu pro celodenní výrobu KVH je třeba od 3,2 do 12,8 hodin, zbylý čas je možno využít pro třídění dalšího materiálu, tento nevyužitý čas ukazuje tab. 27

Tab. 27 *Nevyužitý čas scanneru*

Výkon scanneru [prken/min]	Počet směn		
	1	2	3
20	x	190 min (3,2 hod)	670 min (11,2 hod)
80	288 min (4,8 hod)	768 min (12,8 hod)	1248 min (20,8 hod)

#### 6.5.4 Ekonomické hodnocení jednotlivých variant umístění

Požizovací cena scannerů se pohybuje v rámci 300 000–600 000 EUR, což při kurzu 27 Kč/EUR je 8,1–16,2 mil. Kč.

##### 6.5.4.1 Umístění scanneru ve výrobní lince KVH

V současném provozu jsou 4 třídiči na jedné směně, tzn. 12 třídičů na třech směnách. Při hodnocení efektivnosti investice byla použita metoda doby splacení, viz vzorec 25, pro obě cenové hranice scannerů a pro ušetření platů všech 4 pracovníků na směnu. Obsluha scanneru tedy bude v kompetenci dalších stávajících pracovníků na lince.

Tab. 28 *Výpočet měsíčních mzdových nákladů na zaměstnance*

Hrubá měsíční mzda		17099 Kč
Pojistné na sociální zabezpečení za zaměstnavatele	25 %	4274,75 Kč
Pojistné na zdravotní pojištění za zaměstnavatele	9 %	1538,91 Kč
Měsíční mzdové náklady na zaměstnance		22913 Kč
Hodinová mzda při 160 hod/měsíc		143,2 Kč

Tab. 29 *Doba splacení investice*

Požizovací cena	16 200 000 Kč	8 100 000 Kč
Roční úspora mezd	3 299 472 Kč	3 299 472 Kč
Doba splacení [let]	4,91	2,45

Tato doba splacení však zahrnuje pouze náklady na scanner, ale do výsledné doby splacení se dále promítnou náklady na úpravu stávající linky, náklady spojené se snížením objemu výroby při záběhu stroje, školení personálu atd.

#### 6.5.4.2 Umístění scanneru mimo výrobní linku KVH

Cena třídění řeziva člověkem byla stanovena z hodinového výkonu člověka a jeho hodinové mzdy, dle tab. 28, vzorcem 27 na 0,0796 Kč/kus.

Pro to, aby bylo výhodné řezivo třídit pomocí scanneru, je nutné, aby cena třídění byla nižší než při třídění pracovníky. Tato cena, byla stanovena vzorcem 28, viz tab. 30.

Tab. 30 Limitní cena třídění

Výkon scanneru [ks/min]	Cena třídění	
	[Kč/min]	[Kč/hod]
20	1,59	95,47
80	6,36	381,87

Možné výnosy z pronájmu volného času scanneru jsou stanoveny z nevyužitého času scanneru, viz tab. 27 a limitní ceny třídění, viz tab. 30.

Tab. 31 Možné denní výnosy z pronájmu nevyužité doby scanneru v Kč

Výkon scanneru [prken/min]	Počet směn		
	1	2	3
20	x	303	1067
80	1830	4885	7940

Výpočet ročních možných výnosů počítá se 231 pracovními dny za rok.

Tab. 32 Výpočet možných ročních výnosů v Kč

Směn provozu	1		2		3	
Výkon scanneru [prken/min]	80	20	80	20	80	20
Roční úspora Mezd [Kč]	3 024 516	2 749 560	2 749 560	2 474 604	2 474 604	2 474 604
Roční výnos z pronájmu [Kč]	422 840	69 996	1 128 530	246 418	1 834 220	246 418
Suma ročních výnosů [Kč]	3 447 356	2 819 556	3 878 090	2 721 022	4 308 824	2 721 022

Jelikož jsou roční výnosy v tab. 32 stanoveny pro cenu třídění, která je rovna ceně třídění lidmi, jsou možná tyto výnosy nadhodnoceny. Proto jsou v tab. 33 uvedeny doby splacení scanneru při škále předpokládaných ročních výnosů. Mimo tyto kalkulované výnosy by bylo dobré zvážit další přínosy scanneru a to z pohledu toho, že může poskytnout příležitosti pro zlepšení v dalších úsecích výroby. Například optimalizace sušících programů, jelikož scanner zdigitalizuje rozprostření vlhkosti ve dřevě současně s tvarem každého prkna, tím také mírou jeho zborcení.

Tab. 33 Doba splacení scanneru v letech

Cena scanneru [mil. Kč]	Roční výnosy scanneru [mil. Kč]							
	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5,5
8,1	5,4	4,1	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,5
16,2	10,8	8,1	6,5	5,4	4,6	4,1	3,6	2,9

## **7 DOPORUČENÍ JEDNOTLIVÝCH METOD OPTIMALIZACE VÝROBY**

### **7.1 Ztráta způsobená chybným označováním vad**

Tuto ztrátu je dobré označit spíše jako možný potenciál ke zlepšení práce třídičů. Jak již bylo řečeno, dosáhnout naprosté správnosti je nemožné jelikož dřevo je velmi rozmanitý materiál a každý člověk bude mít na jednotlivé vady mírně odlišný názor. Zejména pokud se jedná o vady čistě pohledové. Pro snížení této chybovosti doporučuji zvýšení počtu pravidelných školení třídičů. Bude tím možné docílit snížení roční ztráty, která byla v roce 2015 vypočtena na 210 000 EUR. Častějším opakováním a ukázkami správného hodnocení vad bude tento vzor udržován v čerstvější paměti třídičů.

### **7.2 Mezní rentabilní výtěž**

Mezní rentabilní výtěž se zakládá na vztahu mezi cenou řeziva a cenou KVH, kdy pro zajištění rentability výroby je nutné dosahovat výtěže vyšší než je hodnota mezní rentabilní výtěže.

Využitím znalosti této metody je situace, při níž třídič rozhoduje o přiřazení prkna do pohledové nebo nepohledové třídy kvality. Při znalosti mezní rentabilní výtěže pro obě kvality bude třídič schopen se správně rozhodnout o zvolení třídy kvality pro dané prkno. Toto rozhodnutí nebude dělat na základě domněnky, ale jasného faktu. Proto doporučuji seznámit třídiče s hodnotami mezních rentabilních výtěží a vysvětlit jim, že při třídění je výhodné zvětšit oblast s nepovolenými vadami, které budou následně vymanipulovány, až o 10 % a zařadit prkno do pohledové kvality, než jej s vyšší výtěží nechat v nepohledové kvalitě.

### **7.3 Plánování výroby s ohledem na kvalitu vstupního řeziva a dosahované výtěže**

Při plánování výroby nastává situace, kdy je možné nakoupit řezivo tříděné jako pohledové, obecně tříděné dle přísnějších kritérií. Metoda vyhodnocení je založena na výpočtu indexu, který obsahuje cenu vstupního materiálu, cenu výstupního produktu a dosahovanou výtěž z řeziva.

S vyšší vizuální třídou roste i cena takto tříděného řeziva a je nutné stanovit kdy je přínos výtěže z řeziva vyšší kvalitativní třídy vyšší, než zvýšené náklady na takové řezivo. Čím vyšší cena řeziva je, tím vyšší výtěže musí být dosaženo. Pro uplatňování této znalosti bude třeba sledovat dosahované výtěže při zpracování řeziva pohledové kvality pro výrobu jednotlivých kvalit KVH a tyto hodnoty využít při rozhodnutí, zdali je výhodné vyrábět z pohledového řeziva za nabízenou cenu, nebo není. Mezní vztah ceny a výtěže stanovuje index, který pokud je vyšší než 1 je výhodné využít do výroby pohledové řezivo.

#### **7.4 Optimalizace práce krátících pil s ohledem na následující frézování**

Při zkracování prken pro vymanipulování nepovolených vad hrozí nebezpečí prostojů. Prostoje vznikají, když operace zkracování je pomalejší než následující frézování. Jakýkoliv prostoje je ve výrobě nechtěný a je žádoucí prostoje v maximální míře eliminovat. Pro vztah operací krácení a frézování platí, že pokud bude prováděno pět a více zkracovacích řezů na výrobu jednoho vlysu, nebo čtyři zkracovací řezy na výrobu vlysu dlouhého tři a půl metru a méně, vznikne na frézování prostoje kvůli nedostatečnému zásobování materiálem. Pokud budou prováděny tři a méně řezů, bude vždy zkracování rychlejší než frézování.

Jednou z cest jak snížit počet zkracovacích řezů, je odstranit technologická omezení, která jejich počet uměle navyšují. Navrhují proto navýšit nejvyšší délku odpadového kusu. Pro stanovení maximální délky odpadového kusu byl uvažován čas potřebný k pádu do propadu ve vztahu k času, který se odpadový kus nachází nad propadem a může do něj padat. Teoretická maximální délka odpadového kusu je 375 mm. Výpočet je však velmi zjednodušený, nezohledňuje skutečný průběh zrychlení kusu, tření mezi odpadovým kusem a vlysem, ani rotaci vzniklou postupným posunem přes hranu stolu zkracovací pily. Při realizaci tohoto návrhu proto doporučuji postupné navyšování délky odpadového kusu o dva centimetry s tím, že bude sledována bezchybnost propadávání odpadových kusů do propadu. Pokud budou odpadové kusy bez problému padat do propadu, je možné opět navýšit maximální délku. Pokud se odpadové kusy začnou v propadu zasekávat, bránit průjezdu vlysu, je nutné snížit maximální délku na nejbližší nižší hodnotu, kdy propadávání probíhalo bezproblémově.

Vedlejším pozitivním jevem snížení počtu prováděných řezů je pokles otupení pilových kotoučů. Tuto výhodu není rozumné využívat prodloužením intervalu jejich výměny, protože tato výměna způsobí prostoj výroby. Výměnu kotoučů bude lepší provádět ve stávajícím cyklu při odstávce, která je zavedená i pro údržbu ostatních strojů. Snížení opotřebení se pak promítne ve sníženém úběru materiálu zubu při broušení, jelikož bude menší poloměr zaoblení břitu otupěného zubu. Tím dojde k prodloužení životnosti nástroje a poklesu nákladů na jejich obnovu.

## **7.5 Použití automatického třídícího stroje**

V současném charakteru výroby Stora Enso WP HV s.r.o., kdy je dáván velký důraz na estetické vlastnosti zejména pohledové kvality KVH přichází v úvahu použití třídícího stroje s optickým snímáním vad dřeva. Třídící stroj na čistě mechanickém principu je zcela nevhodný. Porovnání vlastností optických scannerů s nároky linky ukazuje znatelné nevyužití rychlosti scanneru a počtu zpracovatelných prken za minutu. Z tohoto titulu jsem zvážil umístění scanneru mimo linku výroby KVH. Tím vzniká možnost třídít i další materiál, který není určen pro výrobu KVH. Z hlediska využití scanneru je tato možnost zajímavá, ale její provedení by bylo spojené s vysokými investičními náklady na obslužnou mechanizaci a budovu. Další nevýhodou takového řešení je nutnost dalšího převozu materiálu. Proto navrhuji umístit optický scanner do stávající linky výroby KVH na místo stávajícího třídícího pultu i za cenu nižšího využití stroje.

Mimo výhody spřažené přímo s operací třídění, vyhodnocování vad dřeva a zjednodušenou organizací pracovníků může mít strojní třídění i další přínosy. Každé prkno vyhodnocené scannerem musí být zdigitalizováno, aby bylo možné vyhodnotit jeho parametry. Scanner je tedy možným zdrojem údajů o zpracovaném řezivu. Nasbíraná data mohou být využita například k optimalizaci sušících programů, požezových schémat, nadmír na sesýchání, nebo jako jasný podklad pro kontrolu kvality třídění nakupovaného řeziva.



## 8 ZÁVĚR

Všechna témata, kterým se práce věnuje, mají za úkol zlepšit, či ulehčit výrobu nebo její plánování. V úvodu se práce zaměřuje na plánování a sledování výroby. Jsou zde provedeny výpočty ztrát chybným vyhodnocením vad dřeva a je uvedeno, jaká je ztráta při dané výtěži a chybě označování vad. Za rok 2015 dosáhla ztráta chybným označováním vad zhruba 210 000 EUR (5,7 mil. Kč). Pro účely plánování výroby je stanoveno, zdali je výhodné připlácet na vstupu do výroby za řezivo pohledové kvality a při jakých vyráběných sortimentech, ceně řeziva a výtěže je tento krok vhodný. Pro případ nákupu řeziva tříděného jako pohledové při ceně 175 EUR je výhodné z něj vyrábět pohledové KVH pouze při výtěži vyšší než 92 %. V následující kapitole je dokázáno při jaké výtěži je vhodné řezivo určit k výrobě pohledového sortimentu KVH nebo pro výrobu nepohledového KVH. Závěr lze zjednodušit, následovně: pokud se výtěž konkrétním kusu řeziva sníží až o 10 % a bude tím vhodné pro výrobu pohledového KVH je výhodné kus určit k výrobě pohledové kvality.

Z hlediska vylepšení nynější technologie je zpracována časová návaznost úseku krácení a frézování. Bylo zjištěno, že pokud je vlys vyráběný čtyřmi řezy a je dlouhý 3,5 m a kratší, nebo je vyráběn více než pěti řezy, bude mezi krácením a frézováním vznikat prostoj. Rozboru je podrobena otázka délky odpadového kusu odřezávaného krátící pilou. Bylo zjištěno, že 50 % vlysů je vyráběno dvěma a více řezy a je u nich možné prodloužit délku odpadového kusu. Maximální délka odpadového kusu byla vypočtena na 37,5 cm. Při takové úpravě, by se snížilo celkové množství krátících řezů o 15 % a zhruba 83 % vlysů by bylo vyráběno třemi a méně řezy a tím by došlo ke snížení počtu prostojů způsobených krácením.

Poslední část je věnována náhradě vizuálního třídění dřeva za strojní třídič. Jako nejvhodnější řešení byl vybrán optický scanner, který nejpřesněji napodobuje klasické lidmi prováděné vizuální třídění. Aktuální výkonové vlastnosti scannerů dostačují, ba značně převyšují, požadavky které byly stanoveny dle nejpomalejšího místa linky (lisů) na 16 prken/min (170 m/min). Jsou vypracovány dva návrhy na umístění scanneru - do stávající linky a mimo linku výroby KVH. Doporučeno bylo umístit scanner do stávající linky z důvodu, že umístění scanneru mimo stávající linku výroby KVH by bylo finančně daleko náročnější, zejména kvůli výstavbě halý a obslužné technologie pro scanner. Dále

by vznikl požadavek na další transport řeziva. Vzhledem k těmto komplikacím je umístění do stávající linky výhodnější i za cenu nižšího využití scanneru. Návratnost investice do nákupu scanneru byla stanovena na 2,5–5 let, pro pořizovací cenu scanneru 8–16 mil. Kč.

## 9 SUMMARY

This thesis deals with optimisation production line of finger joint construction timber in Stora Enso WP HV s.r.o. in Ždírec nad Doubravou. For optimisation were selected three regions of interest.

The first was preparation and valuation of production. For production preparation was calculated ratio of profitability between two input timber qualitative classes, according their price and yield. The profitability ratio shows when is better to buy timber with higher grade rang for higher price and when not. Each piece of timer can be used for SI or NSI (for exposed or hidden structures) quality class. There was calculated index of profitability which quality class should be chosen for the one piece of timber. The index was included price of timber, its usual yield and price of final product. The all amount of timber was sorted by workers and the workers do mistakes which are losses. The lost causes by wrong sorting were 210 000 EUR in year 2015. The amount of lose could be decreased by more frequent workers training.

The next region of interest was relation between operations cutting and joint milling. These are close related operations and their contradiction costs downtime. The aim was determine conditions which cause downtimes. For out cutting unallowed wood defects was used trimming circular saw with fix setup length of wood waste piece (25 cm). In situation where the unallowed area was bigger than maximum wood waste piece length, the trimming saw did more cuts and great amount of cuts cause downtimes. In purpose for avoid these downtimes was suggested method of increasing the maximum length of wood waste piece in circular saw set-up. The maximum length was established by calculation based on trajectory of free fall (37,5 cm). In my opinion, the calculation was too simply and it neglected piece lean. For nowadays application I was recommended increase the maximum length by two centimetres steps and after each increase check if there are problems with waste pieces falling.

Sorting is a very important part of production, but the job is very monotonous and costs a great amount of worker attention during all day. Because this and for economical purposes was suggested improvement of line by automatic sorting machine. Two main types of automatic sorting machines were offered, mechanical and combined-optical principles. For the Stora Enso WP HV s.r.o. purposes was chosen a combined-optical

scanner because it can classify the surface appearance what is necessary for company aims because it produces finger jointed construction timber for exposed structures. For scanner placing were suggested two variants. The first was replace the sorting table by scanner, which is easier and lower cost. But there is a big disadvantage, the utilization of scanner capacity will be low. Payback time of scanner in this solution was between two and half and five years. The second variant was located scanner in separated line, this will allow bigger scanner utilization, but this variant includes much bigger investment needs cause by building production hall and necessary technological equipment. The last disadvantage of this variant is requirement to transport batch of timber one more time than now. After consideration these two methods I was suggested place scanner in current production line.

## 10 SEZNAM CITOVANÉ LITERATURY

Beranovský, J., Truxa, J. & a kol., 2004. Alternativní energie pro váš dům. Praha: EkoWatt.

ČSN 73 2824-1, 2015. Třídění dřeva podle pevnosti – Část 1: Jehličnaté řezivo. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 14 081-4, 2009. Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti - Část 4: Strojní třídění - Nastavovací hodnoty třídícího stroje pro systémy s kontrolou vztaženou na stroj. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 14081–1, 2011. Dřevěné konstrukce – Konstrukční dřevo obdélníkového průřezu tříděné podle pevnosti – Část 1: Obecké požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 15497, 2015. Konstrukční rostlé dřevo spojované zubovitým spojem – Požadavky na funkční vlastnosti a výrobní požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 1912, 2012. Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti – přiřazení vizuálních tříd a dřevin. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

ČSN EN 338, 2010. Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

FinScan Oy, 2015. FinScan products. [Online], citováno 11. 17. 2015, dostupné na: <http://www.finscan.fi/en/boardmasternova>.

Innovativ Vision AB, 2015. WoodEye brochure. Linköping (Švédsko): Innovativ Vision AB.

Larsen, S. a. H. J., 2003. Timber Engineering. New York: J. Willey.

LUXSCAN Technologies Sarl, 2015. CombiScan. Ehlerange (Lucembursko).

LUXSCAN Technologies Sarl, 2015. EasyScan. Ehlerange (Lucembursko).

Microtec, 2015. Goldeneye. Bressanone / Brixen (Itálie).

Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2015. informační systém o průměrném výdělku. [Online], citováno 16. 11. 2015, dostupné na: <http://www.ispv.cz/cz/Vysledky-setreni/Aktualni.aspx>.

Pinomatic Oy, 2015. Pinomatic Oy. [Online], citováno 17. 11. 2015, dostupné na: [http://www.pinomatic.fi/site?node\\_id=90](http://www.pinomatic.fi/site?node_id=90).

Prokeš, S., 1978. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. 2. editor Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury.

Ross, R. J., 2015. Nondestructive Evaluation of Wood. 2. editor USDA Forest Service, Forest Products Laboratory: General Technical Report.

Římalová, J., 2008. Optimalizace způsobu zpracování a prodeje štěpek na pile Stora Enso Timber Ždírec s.r.o. Brno: Diplomová práce.

Stora Enso, 2006. Třídící předpis pro nepohledové řezivo. Ždírec nad Doubravou

Stora Enso, 2006. Třídící předpis pro pohledové řezivo. Ždírec nad Doubravou

Stora Enso, 2012. Solid construction timber brochure.

Stora Enso, 2015. Podnikové materiály, Ždírec nad Doubravou

## 11 SEZANAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Letecký snímek areálu Stora Enso ve Ždírci nad Doubravou (Stora Enso, 2015)	9
Obr. 2 Zubovitý spoj (Stora Enso, 2012)	13
Obr. 3 Diagram návaznosti norem	15
Obr. 4 Schéma výrobní linky KVH	18
Obr. 5 Grafická výstup scanneru orientace prken	19
Obr. 6 Měření velikosti suků dle (ČSN 73 2824-1, 2015)	20
Obr. 7 Měření suků dle (ČSN 73 2824-1, 2015)	21
Obr. 8 Měření odklonu vláken a šířky letokruhů dle (ČSN 73 2824-1, 2015)	21
Obr. 9 Měření velikosti trhlin a oblín dle (ČSN 73 2824-1, 2015)	22
Obr. 10 Měření zabarvení, hniloby a zakřivení dle (ČSN 73 2824-1, 2015)	23
Obr. 11 Zastoupení jednotlivých dimenzí na objemu výroby za 1Q. 2014–2Q. 2015 (Stora Enso, 2015)	27
Obr. 12 Zastoupení šířek prken na objemu výroby za 1Q. 2014–2Q. 2015 (Stora Enso, 2015)	28
Obr. 13 Zastoupení tloušťek prken na objemu výroby za 1Q. 2014–2Q. 2015 (Stora Enso, 2015)	28
Obr. 14 Třídící předpis pro nepohledové řezivo, (Stora Enso, 2006)	29
Obr. 15 Třídící předpis pro pohledové řezivo, (Stora Enso, 2006)	30
Obr. 16 Dosahovaná výtěž v roce 2015, (Stora Enso, 2015)	31
Obr. 17 Značící křída	32
Obr. 18 Třídící stůl	32
Obr. 19 Označená vada	32

Obr. 20 Graf chybovosti označování vad, zdroj dat (Stora Enso, 2015) .....	33
Obr. 21 Operace zahrnující čas řezu .....	37
Obr. 22 Schéma frézky .....	38
Obr. 23 Frézovací hlava.....	39
Obr. 24 Skříň frézky .....	39
Obr. 25 Posloupnost operací při frézování .....	39
Obr. 26 Schéma kráticí pily a navazujícího propadu.....	41
Obr. 27 Grafický výstup na monitoru zkracovací pily .....	41
Obr. 28 Schéma kráticí pily s odpadovým kusem .....	43
Obr. 29 Diagram korelačních koeficientů mezi proměnnými ve dřevě dle (Ross, 2015). D-hustota, E-modul pružnosti, M-vlhkost dřeva, MR-mez pevnosti v ohybu, S-odklon vláken.....	48
Obr. 30 Schéma nečastějších ohybových třídičů, (ČSN EN 14 081-4, 2009).....	48
Obr. 31 Obrazové mapy vstupující do softwaru scanneru dle (Microtec, 2015).....	49
Obr. 32 „tracheidový efekt“ (Larsen, 2003) .....	50
Obr. 33 Rozptýlení světla na povrchu dřeva (Larsen, 2003) .....	50
Obr. 34 Graf závislosti ztráty výtěže na chybovosti a výtěži .....	54
Obr. 35 Graf závislosti chybovosti a výtěže na ztrátě .....	55
Obr. 36 Graf celkové roční ztráty .....	56
Obr. 37 Graf rentability výtěže .....	57
Obr. 38 Graf indexu výhodnosti SI řeziva pro výrobu KVH NSI .....	58
Obr. 39 Graf indexu výhodnosti SI řeziva pro výrobu KVH SI.....	59
Obr. 40 Graf závislosti času projetí prkna pilou na počtu řezů .....	60



Obr. 41 Krabicový graf naměřených časů frézování .....	60
Obr. 42 Graf závislost koeficientu zpomalení dle tab. 16 .....	63
Obr. 43 Graf závislost možného času pro pád dle efektivní délky propadu .....	64
Obr. 44 Graf závislosti počtu řezů na maximální délce odpadu [mm] .....	65
Obr. 45 Průběh otupení břitu (Prokeš, 1978).....	67
Obr. 46 Uzel scanneru s obslužnou mechanizací .....	72

## 12 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Historický vývoj pily ve Ždírci nad Doubravou (Stora Enso, 2015).....	8
Tab. 2 Charakteristické hodnoty pro třídu pevnosti C24, při 20 °C a RW 65 % dle (ČSN EN 338, 2010).....	14
Tab. 3 Požadavky pro vizuální třídu S10 dle (ČSN 73 2824-1, 2015).....	15
Tab. 4 Standardně vyráběné rozměry KVH (Stora Enso, 2015) .....	17
Tab. 5 Kvalitativní rozdělení konstrukčního dřeva .....	23
Tab. 6 Třídící předpisy pro KVH (Stora Enso, 2015) .....	24
Tab. 7 Třídící předpisy pro lepení lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo (Stora Enso, 2015).....	25
Tab. 8 Vstupní hodnoty pro vzorce 4. a 6.....	35
Tab. 9 Data pro vzorec 7.....	36
Tab. 10 Hodnoty vstupující do vzorce 11.....	40
Tab. 11 Zaznamenané hodnoty prken.....	42
Tab. 12 Parametry vstupující do vzorců 13 a 14 .....	44
Tab. 13 Maximální výkon jednotlivých uzlů linky, (Stora Enso, 2015) .....	46
Tab. 14 Mezní rentabilní výtěž .....	57
Tab. 15 Stanovení času krátkého řezu .....	59
Tab. 16 Závislost časů zpracování vlysu krácením a frézováním dle vzorce 11.....	61
Tab. 17 Popisná statistika měření času kdy bylo prkno bez pohybu .....	64
Tab. 18 Počet řezů v závislosti na maximální délce odpadu .....	66
Tab. 19 Délka odpadu v závislosti na maximální délce odpadu.....	66
Tab. 20 Přehled základních požadavků na scanner .....	68

Tab. 21 Souhrn výrobců a modelů scannerů.....	68
Tab. 22 Nabídka scannerů Weinig dle (LUXSCAN Technologies Sarl, 2015) (LUXSCAN Technologies Sarl, 2015), a WoodEye dle (Innovativ Vision AB, 2015).	69
Tab. 23 Nabídka scannerů Microtec dle (Microtec, 2015).....	70
Tab. 24 Využití potenciálního výkonu scanneru ve stávající lince .....	72
Tab. 25 Stanovení počtu rozebíračů hraně pro zásobování scanneru .....	73
Tab. 26 Čas třídění materiálu pro výrobu KVH .....	73
Tab. 27 Nevyužitý čas scanneru .....	74
Tab. 28 Výpočet měsíčních mzdových nákladů na zaměstnance .....	74
Tab. 29 Doba splacení investice .....	74
Tab. 30 Limitní cena třídění .....	75
Tab. 31 Možné denní výnosy z pronájmu nevyužité doby scanneru v Kč .....	75
Tab. 32 Výpočet možných ročních výnosů v Kč.....	76
Tab. 33 Doba splacení scanneru v letech.....	76

## 13 TECHNICKÉ DOKUMENTACE A PŘÍLOHY

Seznam samostatných příloh:

1. Výkres č. 1: Současné řešení linky,
2. Výkres č. 2: Navrhované řešení linky,
3. Výkres č. 3: Řešení linky se zásobováním vytříděného řeziva.