

Aplikace výsledků analýzy dlouhodobého sběru dat z vytlačovacích linek

Bc. Mít Jiří

Diplomová práce
2012



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří MÍT**
Osobní číslo: **T10551**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Aplikace výsledků analýzy dlouhodobého sběru dat z vytlačovacích linek**

Zásady pro vypracování:

- 1. Literární rešerše na dané téma**
- 2. Statistické vyhodnocení**
- 3. Návrhy využití výsledků analýzy dat ve výrobě**
- 4. Závěr – shrnutí a další doporučení pro sběr dat**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce

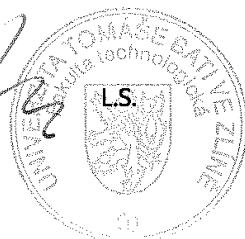
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Vilímek**

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan



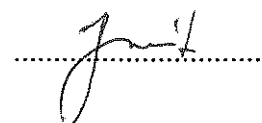

prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 1. května 2012



¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

²⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

(3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).*

³⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

(1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*

(2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*

(3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Velký význam na kvalitu a kvantitu výroby polotovarů bočnic a běhounů technologií vytlačování mají v pneumatikářenském průmyslu odtahové rychlosti. Předložená diplomová práce řeší s výpomocí statistických analýz problematiku nalezení závislostí odtahových rychlostí vytlačovacích linek pro bočnice na vybraných technologických parametrech získaných dlouhodobým sběrem dat. Jsou předloženy návrhy maximalizace odtahové rychlosti a návrhy pro sběr dat. Práce je rozdělena do dvou samostatných částí: Do části teoretické a praktické.

V teoretické části jsou formou literární rešerše nastíněny využití prostředky, vysvětleny základní pojmy z oblasti statistiky a z oblasti technologie výroby automobilových plášťů.

V praktické části jsou nejprve pomocí statistických metod identifikovány vlivné proměnné. Pro vybranou závislou proměnnou odtahovou rychlost je hledán vhodný regresní model. Jsou předloženy návrhy interpretace analýz a konkrétní aplikace výsledků statistických šetření ve výrobním závodě Barum Continental v Otrokovicích.

Klíčová slova: statistické vyhodnocení; korelace; procesní data; vytlačování; rychlost vytlačování

ABSTRACT

Extruding speed of semiproducts have big impact on the quality and quantity of production in the tire industry. This diploma thesis is looking for corelation between of extruding speed for sidewalls (as output factor) and selected processes parameters from stored process datas.

The diploma thesis is dividend into two parts: Theoreticalpart and practical part.

In the theoretical part there are explained basic knowleges about tire technology and used statistical methods .

In the practical part there were first made identification of significant variables (input factors) and than there is chosen propriet regression model for the response factor (extruding speed).

As a resusult i sis also present interpretation and practical aplication of the statistical analysis, which takes part in Barum Continetal in Otrokovice.

Keywords: Statistical evalution; corelation; process data; extruding; extruding speed

Dovoluji si tímto způsobem poděkovat Vám všem, kteří jste informací, připomínkou, dobrou radou a nápadem přispěli ke kvalitě této diplomové práce. Děkuji panu Ing. Jiřímu Jabůrkovi za navržené téma diplomové práce, Ing. Tomášovi Vilímkovi za vedení diplomové práce a odborné připomínky. Mé díky patří i Ing. Martinovi Kováříkovi za odbornou asistenci nad statistickou částí. Děkuji panu Kotasovi Vladimírovi za poskytnutá data z oblasti výroby, panu Bírešovi za informace z oblasti podnikové metrologie. Nakonec bych také rád poděkoval firmě Barum Continental a všem svým spolupracovníkům z výroby za kolegiální a své ženě a dceři za neuvěřitelnou trpělivost.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VÝZNAM PNEUMATIKY	13
1.1 DEFINICE PNEUMATIKY	15
1.2 ROZMĚRY PNEUMATIKY	16
1.3 NOVÉ ZNAČENÍ EU ŠTÍTKY.....	16
1.4 KONSTRUKCE PLÁŠTĚ.....	18
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	20
2.1 MÍCHÁNÍ SMĚSÍ	20
2.2 PŘÍPRAVA POLOTOVARŮ	21
2.3 VYTLAČOVÁNÍ	21
2.4 VYTLAČOVACÍ STROJE	22
2.5 VYTLAČOVACÍ LINKY	26
2.6 LINKA PRO VYTLAČOVÁNÍ BĚHOUNŮ	26
2.7 LINKA PRO VYTLAČOVÁNÍ BOČNIC	27
2.8 NÁNOSOVÁNÍ	29
2.9 VÝROBA PATNÍCH LAN	30
2.10 KONFEKCE	30
2.11 VULKANIZACE.....	32
2.12 VÝSTUPNÍ KONTROLA	33
3 STATISTIKA	34
3.1 STATISTICKÝ SOFTWARE	34
3.2 TESTOVÁNÍ HYPOTÉZ	36
3.3 MODELOVÁNÍ.....	38
3.4 KLASIFIKACE STATISTICKÝCH ZÁVISLOSTÍ.....	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	47
4 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	48
4.1 STATISTICKÉ ŘÍZENÍ PROCESŮ V BARUM CONTINENTAL	49
4.2 POPIS PROCESU VYTLAČOVÁNÍ Z HLEDISKA SBĚRU DAT	50
4.3 SCHÉMA SBĚRNÝCH MÍST DAT Z VYTLAČOVACÍCH LINEK.....	51
4.4 VOLBA MĚŘENÝCH PARAMETRŮ PRO ANALÝZY	53
4.5 NAVRŽENÝ PRACOVNÍ POSTUP	54
4.6 POUŽITÁ MĚŘIDLA.....	55
4.7 MSA	59
5 STATISTICKÁ ANALÝZA	64

5.1	POPIS VÝBĚROVÉHO SOUBORU	64
5.2	NORMALITA DATOVÝCH SOUBORŮ	66
5.3	VYTLAČOVACÍ LINKY DLE VELIKOSTI STŘEDNÍCH HODNOT PARAMETRŮ	71
5.4	TESTY SHODY ROZPTYLŮ U VL	76
5.5	KORELAČNÍ ANALÝZA	79
5.6	REGRESNÍ ANALÝZA	82
6	VÝSLEDKY ANALÝZ	92
6.1	KRITICKÝ BOD – ABSENCE REGRESORU ŠÍŘE V MODELU VL 9	93
6.2	NALEZENÍ ODPOVĚDI - BRAINSTORMING	93
6.3	VYHODNOCENÍ ANALÝZY ŠNEKŮ	97
6.4	ZDÁNLIVÁ KORELACE	98
6.5	NÁVRH VL 9 NA REFERENČNÍ LINKU	100
7	APLIKACE ANALÝZ	101
7.1	NÁVRH TÝKAJÍCÍ SE SBĚRU DAT:	101
7.2	NÁVRH OPTIMALIZACE	102
7.3	OPTIMALIZACE PROCESU Z HLEDISKA DISTRIBUCE ŠÍŘÍ BOČNIC	103
7.4	VYHODNOCENÍ NÁVRHŮ INTERVALŮ VYTLAČOVANÝCH ŠÍŘÍ BOČNIC NA VL	104
7.5	DISKUSE VÝSLEDKŮ	107
	ZÁVĚR	110
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	112
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	115
	SEZNAM OBRÁZKŮ	116
	SEZNAM TABULEK	118

ÚVOD

Se zaváděním informačních systémů spravujících stále větší množství provozních, analytických, technologických, ekonomických nebo environmentálních dat narůstá potřeba, možnost i povinnost z těchto dat vytěžit co nejvíce vědomostí, použitelných pro pochopení stavu věci a správné rozhodnutí. Za naměřenými daty stojí jednak úsilí čas a peníze vložené do jejich získávání, ale také, jsou-li data skutečně objektivní a nikoliv vymyšlená, obsahují skrytou vypovídací hodnotu, která se odhalí až jejich důkladnou analýzou a správnou interpretací. [1]

Velké výrobní podniky úspěšné nejen u nás, ale i na světových trzích splňují dva základní požadavky a to vysokou kvalitu a nízkou cenu poptávaného produktu. To vyžaduje velkou adaptabilitu a flexibilitu výroby orientovanou na neustálé snižování nákladů a moderní systémy řízení jakosti. Jen tak lze vyhovět stále se stupňujícím požadavkům cílových zákazníků a zájmových skupin. V takové situaci mnohdy není prostor k statistickému vyhodnocování dlouhodobých sběrů dat z výroby. Tato data slouží pouze jako zálohované databáze pro příležitostné vnitropodnikové či externí auditní kontroly. Výrobní procesy jsou regulovány přímo za chodu základními klasickými či moderními metodami řízení managementu jakosti.

Smyslem této diplomové práce je ukázkový návrh statistické analýzy, vyhodnocení a interpretace výsledků dlouhodobého sběru dat z vytlačovacích linek pneumatikářského podniku a jejich aplikací ve výrobě.

V současné době, v 21. století, jsme svědky toho, že západní trhy jsou zaplavovány zbožím diskutabilní kvality a výhodných cen z východu.

Jako členský stát EU se podílíme na snaze o zachování její konkurenceschopnosti proti východním zemím, jejichž ekonomiky rok od roku rostou. Snahou je nabízet kvalitu za rozumnou cenu a pomocí nastavených standardů a všeobecnou osvětou a informovaností o důležitých parametrech výrobků umožnit potenciálním zákazníkům se správně rozhodnout. V roce 2001 Česká republika přijala společnou legislativu EU na štítkování elektrospotřebičů.

Automobilový průmysl – jmenovitě pneumatikářská výroba zavádí v tomto roce u nás další povinné EU štítkování u pneumatik. Nařízení je platné ode dne 1. 11. 2012 a platí na pneumatiky vyrobené po 1. červenci 2012.

Cílem nového evropského nařízení je zvýšit bezpečnost a ekonomickou a environmentální účinnost silniční dopravy prostřednictvím podpory bezpečných pneumatik se sníženou spotřebou paliva a nízkou hlučností. Také stanoví požadavky na informování konečných spotřebitelů o kvalitě pneumatik na volném trhu za účelem jejich kvalifikovaného výběru a nákupu. [2]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝZNAM PNEUMATIKY

Automobily se prostřednictvím kol s pneumatikou stýkají s vozovkou nebo s povrchem, po kterém se pohybují. Kola s pláštěm (dále jen pneumatiky) mají při tom za úkol přenášet všechny síly vycházející z vozidla na vozovku a naopak přenášet síly vycházející z vozovky na vozidlo.

Pneumatika musí plnit následující funkce:

- přenášet svislé síly mezi kolem a vozovkou, tečné síly a boční síly
- umožnit pohyb vozidla v důsledku valení
- tvořit součást pérování vozidla svou pružností

Pneumatika plní na kole automobilu výše zmíněné funkce. Při plnění těchto funkcí musí pneumatika zajistit, aby jízda automobilu byla ve všech jízdních režimech co nejbezpečnější a co nejpříjemnější pro řidiče a posádku. Jízdními režimy rozumíme akceleraci, brzdění a volnou jízdu automobilu po vodorovné, klesající nebo stoupající vozovce při různých klimatických a povětrnostních podmínkách, dále pak jízdu zatáčkou buď v případě, kdy vozidlo projíždí zatáčkou bez brzdění či akcelerace, nebo v případě, že vozidlo zrychluje či zpomaluje. Průjezd zatáčkou musí být co nejbezpečnější také ve všech klimatických podmínkách. [3]

Pneumatika na kole automobilu se musí také snažit zajistit co nejstabilnější chování vozidla při náhlém natočení volantu a vybočení rejdových kol automobilu z přímého směru. Pneumatika musí zajistit dobrý tlumící efekt při přejezdu kol přes nerovnosti, ale nesmí při tom dopustit vznik ztráty nebo nedostatečného kontaktu pneumatiky s povrchem vozovky. [3]

Aby došlo ke splnění těchto požadavků, musí pneumatika: mít schopnost nést určitou zátěž bez výrazné deformace, mít schopnost tlumit nárazy, přenášet hnací a brzděné síly, vyvíjet boční síly, vyznačovat se dobrou adhezí k vozovce za různých podmínek, být rozměrově stabilní, mít určitou životnost, dobře reagovat na řízení, klást minimální valivý odpor, vyvíjet co nejméně hluku a vibrací, mít minimální hmotnost. [3]

Pneumatika

Pod pojmem pneumatika rozumíme plášť, duši, popřípadě i s ochrannou vložkou. Správně konstruovaná pneumatika musí v provozu vyhovovat těmto podmínkám [4] :

- musí umožňovat správný záběr hnacích kol, a to za všech provozních podmínek, svislé síly jsou představovány tíhou vozidla, tečné síly vznikají při akceleraci a brzdění vozidla a boční síly vznikají při jízdě v důsledku nutnosti vedení vozidla,
- tlumit otřesy a nárazy způsobené nerovnostmi terénu,
- za pomoci vhodného desénu zaručovat bezpečnou jízdu,
- vysokou životností pneumatik umožňovat nejvyšší hospodárnost dopravy.



Obr. 1 Pneumatiky [5]

Ideální pneumatiky

Ideální pneumatiky by měly zprostředkovávat perfektní jízdní, brzdné a akcelerační vlastnosti automobilu za všech teplot, v každých povětrnostních podmínkách a na všech druzích povrchů. Měly by zabezpečit ideální jízdní komfort (nízká hlučnost) při minimálním odporu valení (nízká spotřeba pohonných hmot). Všechny jmenované schopnosti by měla ideální pneumatika mít po neomezenou dobu, po co největší počet ujetých kilometrů, a souhrn všeho za minimální pořizovací cenu. [4]

Většina z výše uvedených vlastností „ideální pneumatiky“ je z hlediska její výroby a vlastností použitých materiálů navzájem protichůdná. To znamená, že je například složité vyrobit pneumatiku, která se bude pyšnit dlouhou životností (tvrdá směs + malé procento drážek v dezénu) a současně bude vykazovat vynikající chování při brzdění na mokřem povrchu (měkká směs + velké procento drážek v dezénu). [4]

Pneumatika s excelentním chováním při brzdění a akceleraci při všech teplotách (nízká tuhost směsi + speciální cenově náročné přísady) nebude již vykazovat excelentní chování při jízdě zatáčkou – malá tuhost v axiálním směru pneumatiky a nebude patřit mezi nejlevnější. Výrobci pneumatik se proto snaží najít neoptimálnější kompromisy dlouholetým vývojem, experimentováním a množstvím výrobních zkoušek pneumatik. Reálné chování a schopnosti pneumatik obutých na discích automobilu lze však zjistit pouze při provádění silničních zkoušek pneumatik. [4]

Mezi nejvíce aplikované zkoušky patří například zkouška brzdných vlastností s ABS a bez ABS regulace – zkouška se provádí na suchu a mokru u letních pneumatik a navíc na sněhu a ledu u zimních pneumatik. Další hojně prováděné zkoušky jsou: zkouška ovladatelnosti na různých druzích povrchu, zkouška vzniku podélného aquaplaningu, zkouška bočního vedení pláště v zatáčce, zkouška odporu valení, zkouška hlučnosti nebo z ekonomického hlediska velice zajímavá zkouška životnosti pláště. [3]

1.1 Definice pneumatiky

Podle normy ČSN 64 0001

Souborový termín pneumatika značí plášť, popř. s duší a vložkou, namontovaný na ráfek a naplněný tlakovým médiem. V tzv. bezdušovém provedení jde tedy pouze o plášť namontovaný na ráfek a nahuštěný. Plášť je pružná vnější část pneumatiky, která zprostředkovává styk s vozovkou, svou patní částí dosedá na ráfek a má rozhodující podíl na vlastnostech celé funkční soustavy. Z geometrického hlediska tvoří pneumatika uzavřený prstenec- toroid. Z hlediska mechanického je to tlaková nádoba, jejíž stěny tvoří pružná membrána. Strukturálně je pneumatika složitý systém s vysokými parametry. Konečně z chemického hlediska je pneumatika vyrobena především ze zesíťovaných a nezesíťovaných makromolekulárních materiálů a oceli. [4]

Podle E.T.R.T.O

Plášť pneumatiky je pružná součást kompletu pneumatiky vyrobená z kaučukových směsí a výztužných materiálů. Nahuštění pláště stlačeným plynem umožňuje přenos zatížení kola na podélnou a příčnou sílu. [6]

1.2 Rozměry pneumatiky

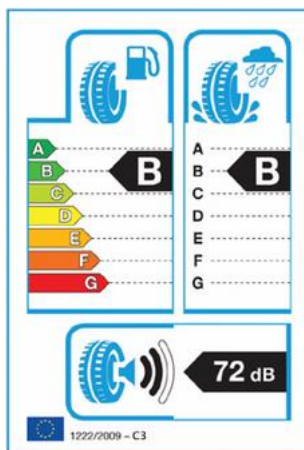
Jedná se o základní informaci, kterou je třeba zjistit při výběru nové pneumatiky. Udává se ve formátu např. „195/65 R15 95 T XL“ a tento rozměr se uvádí v TP. [7]



Obr. 2 Informace o plášti [7]

1.3 Nové značení EU štítky

Standardní silniční testy, jimiž sdělují motoristické časopisy informace o jízdních vlastnostech pneumatik, budou i nadále po zavedení povinného štítkování prodáváných pláštíů směrodatnou informací pro odborně vzdělanou a zainteresovanou část zákazníků či odběratelů pneumatik. Naproti tomu běžný uživatel, který není s danou problematikou do detailu seznámen, uvítá nově platící legislativu EU ohledně tří základních informací, jež budou nové štítky na všech nových pláštích v prodejnách sdělovat. Pro laickou veřejnost je podstatná informace o bezpečnosti na silnici, dále o spotřebě paliva a obtěžování sebe i okolí hlučností za jízdy. Nicméně faktem stále zůstává, že všechny základní sledované charakteristiky pláštíů vyžadované pro první výbavu výrobci automobilů budou i nadále nepostradatelné. [8]



Obr. 3 Štítek EU [8]

Efektivita spotřeby paliva

Palivové úspory jsou důležité pro snížení emisí CO₂ a nákladů na používání vozidla. Valící se pneumatika se deformuje a spotřebovává energii. Energie ztracená tímto způsobem je vyjádřena jako „valivý odpor“ a měří se množstvím energie spotřebované na jednotku ujeté vzdálenosti a jednotku nesené hmotnosti. Valivý odpor má přímý vliv na spotřebu pohonných hmot a životní prostředí. [8]

Přilnavost na mokřém povrchu

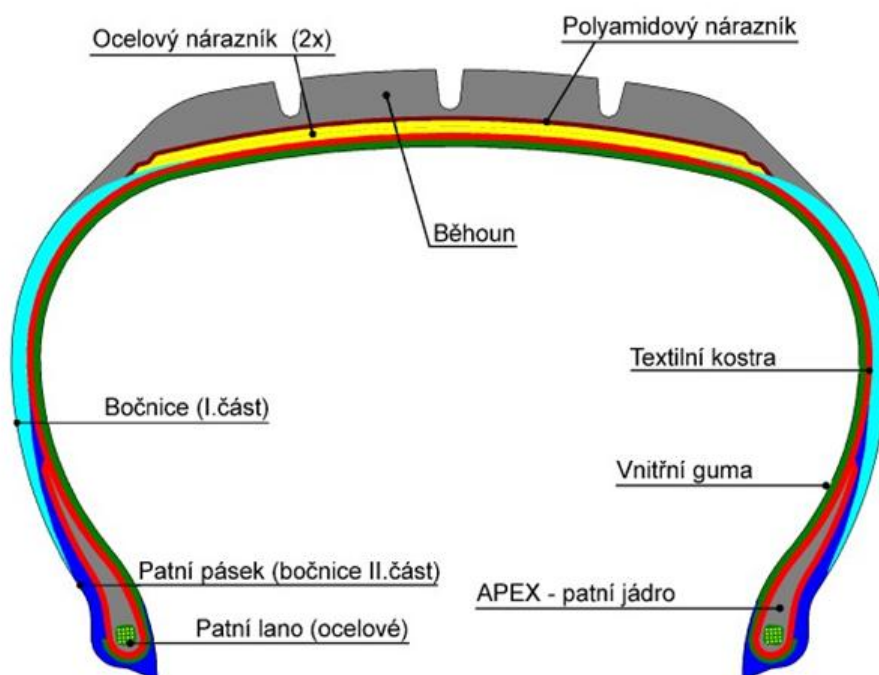
Přilnavost za mokra je nejkritičtější vlastností z pohledu bezpečnosti a souvisí se schopností pneumatiky rychle vozidlo zastavit na mokré vozovce. Lze ji vyjádřit v délce brzdné dráhy. Rozdíl mezi každou kategorií představuje brzdnou dráhu od jedné do dvou délek vozidla (3-6 metrů) při brzdění z rychlosti 80 km/hod. Rozdíl mezi kategoriemi A a F je více než 18 metrů. [8]

Vnější hluk

Jedná se o vnější hluk vydávaný pneumatikou a měří se v decibelech. Čím více černých zvukových vln na štítku, tím je pneumatika hlučnější. Jedna černá vlna označuje nejlepší výkonnost z hlediska hlučnosti. Výstupní úroveň hluku pneumatiky je minimálně 3 dB pod budoucím zákonným limitem. Znamená výstupní úroveň zvuku mezi aktuálním maximem a novou nižší mezí, která bude zavedena nařízením 661, které vyjde v platnost v letech 2012 až 2016. Tři černé vlny symbolizují nejhorší výkonnost z hlediska výstupního hluku pneumatiky. [8]

1.4 Konstrukce pláště

Každá pneumatika se skládá ze tří hlavních komponentů: pryž (80–85%), různá vlákna (12–15%) a ocelový kord (2–3%). Soudobá pneumatika je vlastně vyztužený pryžový kompozit. Základní struktura je uvedena zde na obrázku. Pláště pro osobní i nákladní automobily se skládají ze čtyř hlavních částí: koruna, rameno, bok a patka. [9]



Obr. 4 Řez osobním radiálním pláštěm [10]

- Kostra* Je základní nosná část pláště sestavená z kordových vložek (textilní nebo ocelový materiál).
- Nárazník* Uložen mezi kostrou a běhounem; zajištění odolnosti proti průrazu a obvodové pevnosti pláště. Materiál textilní, ocelový nebo jejich kombinace.
- Vnitřní guma* Folie nebo profil ze speciální plynonepropustné kaučukové směsi (halobutyl). Funkce - zabraňování prostupování síry při vulkanizaci, vyrovnávání nerovnosti uvnitř pláště, zajišťování plynonepropustnosti (bezdušový plášť).

- Běhoun* Pryžová část z kaučukové směsi o požadované tloušťce, do níž je vlisován dezén. Zajišťuje se jím přímý kontakt s vozovkou a ochrana kostry před poškozením. Musí mít maximální přilnavost k vozovce za všech klimatických podmínek, co nejvyšší životnost a odolnost proti otěru.
- Bočnice* Vyrobená z kaučukové směsi, chrání kostru v boční části, musí být odolná proti prolamování, bočnímu průrazu a povětrnostním vlivům. Nese popisy rozměru (viz Obr. 2)
- Patka* Zaručuje pevné usazení pláště na ráfku pneumatiky. Hlavní částí je neprotahitelné ocelové patní lano, kolem kterého jsou přehnuty okraje kordových vložek kostry. Je chráněna textilním či pryžovým patním páskem proti mechanickému poškození.
- Další části* Rameno pláště, meziguma, patní pásy, výplně. [10]

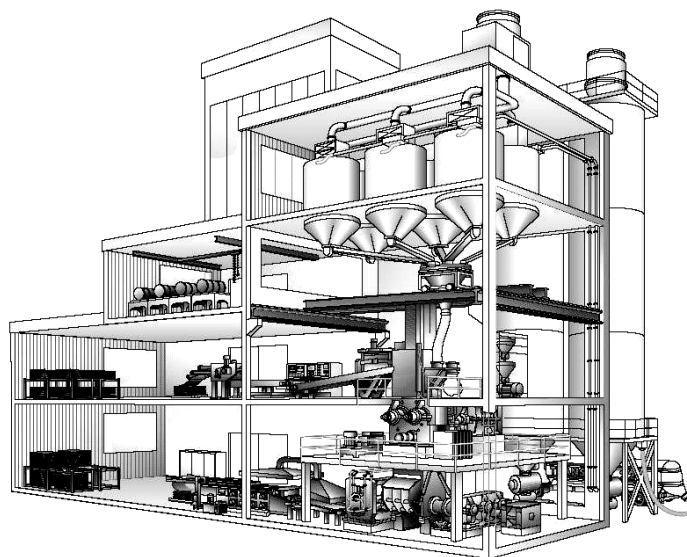


Obr. 5 Výřez vzorku pláště [11]

2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Než lze samotný výrobní proces zahájit, je třeba plášť nejprve zkonstruovat, vybrat vhodné směsi, vyrobit řadu zkušebních plášťů a podrobit je náročným testům na zkušebnách (zkoušky soudržnosti, prostupnosti plynu, kilometrového výkonu – tzv. bubnové zkoušky). Posléze nastává poslední, ale nejvýznamnější a nejnáročnější etapa testování – exploatační zkoušky v terénu, případně na zkušebních polygonech. Následuje, tam kde je vyžadován, proces homologace. [12]

2.1 Míchání směsí



Obr. 6 Míchací stanice [13]

Na počátku samotného výrobního cyklu pneumatiky je příprava, míchání gumárenské směsi. Jedná se o několikastupňový fyzikálně-mechanický a fyzikálně-chemický proces, který je velmi energeticky náročný. Jeho výsledky jsou základem pro další výrobu pláště. Každá část pneumatiky má specifické požadavky na fyzikálně mechanické a zejména užitné vlastnosti. To se odráží v širokém spektru použitých materiálů, v různosti jejich poměrů daných příslušnou recepturou směsi i v parametrech míchacího procesu. Při přípravě směsi v hnětičových linkách dochází k zapracování jednotlivých aditiv do základní elastomerní matrice, reprezentované jednotlivými druhy kaučuků, od přírodních po syntetické. Velikost

jednotlivých výrobních šarží se v závislosti na použitém výrobním zařízení pohybuje v řádech stovek kilogramů. Každý stupeň míchání je charakterizován konkrétními surovinami a také teplotní charakteristikou. Teplotní režim a jeho zvládnutí je v celém průběhu výroby pneumatik klíčovým technologickým faktorem. Většina procesů při míchání směsí se pohybuje mezi 90 a 180 °C. [12]

2.2 Příprava polotovarů

Polotovary lze podle způsobu jejich výroby rozdělit do tří základních skupin:

1. Vytlačované polotovary – běhoun, bočnice, vnitřní guma, jádro patky
2. Pogumovaný textil, ocel – kordové vložky, ségl, molino, monofil
3. Patní lana

2.3 Vytlačování

Vytlačovací stroje jsou určeny ke kontinuální nebo diskontinuální výrobě desek, fólií, tyčí, profilů, trubek a jiných výrobků z plastů nebo kaučukových směsí. Princip vytlačování spočívá v převedení materiálu do plastického stavu a vytlačení taveniny profilovaným otvorem do volného prostoru. Po vytlačení následují další operace jako fixace tvaru a rozměru (kalibrace), chlazení eventuálně vulkanizace a chlazení. [14]

Cíle vytlačování [14] :

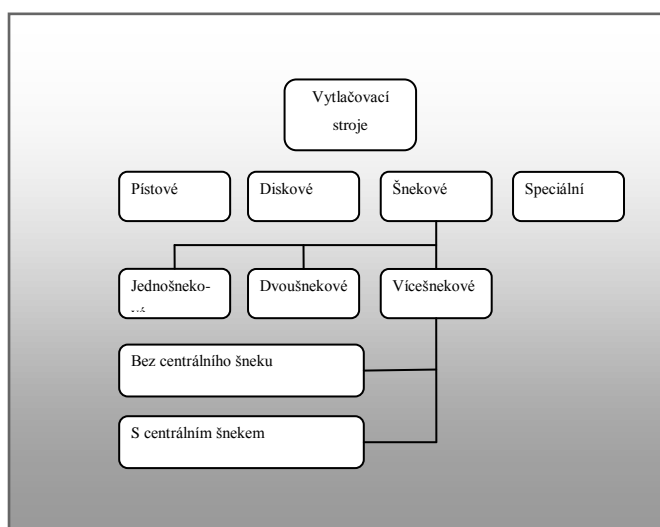
- Velká vytlačovací výkonnost úměrná otáčkám šneku a minimální závislost na protitlaku
- Rovnoměrná doprava taveniny bez pulsací
- Místně i časově rovnoměrná doprava taveniny
- Vytlačování taveniny bez orientace
- Homogenní zamíchání polymeru se všemi přísadami
- Vytlačení polotovaru či výrobku bez pórů, bublinek (příprava taveniny bez těkavých podílů i při velké výkonnosti)

Vytlačování polotovarů se skládá ze dvou etap – ohřev směsí a její homogenizace ve šnekovém tubusu. Následuje vlastní vytlačování. Tvar a rozměry jsou dány tzv. vytlačovací

hlavou a šablonou. Následně již dochází k sekání na úseky dle požadované délky, která je dána rozměrem pláště a výrobním předpisem. V případě vnitřní gumy často mluvíme spíše o procentu tažení fólie. Obvykle se v závislosti na parametrech pneumatiky a výrobního zařízení jedná o fólii o tloušťce 1-2 mm. [12]

2.4 Vytlačovací stroje

Zařízení sloužící pro vytlačování plastů i kaučukových směsí, skládající se z pracovní a pohonné části. Stroje se dělí podle hlavní pracovní části:



Obr. 7 Rozdělení vytlačovacích strojů [14]

Šnekové vytlačovací stroje

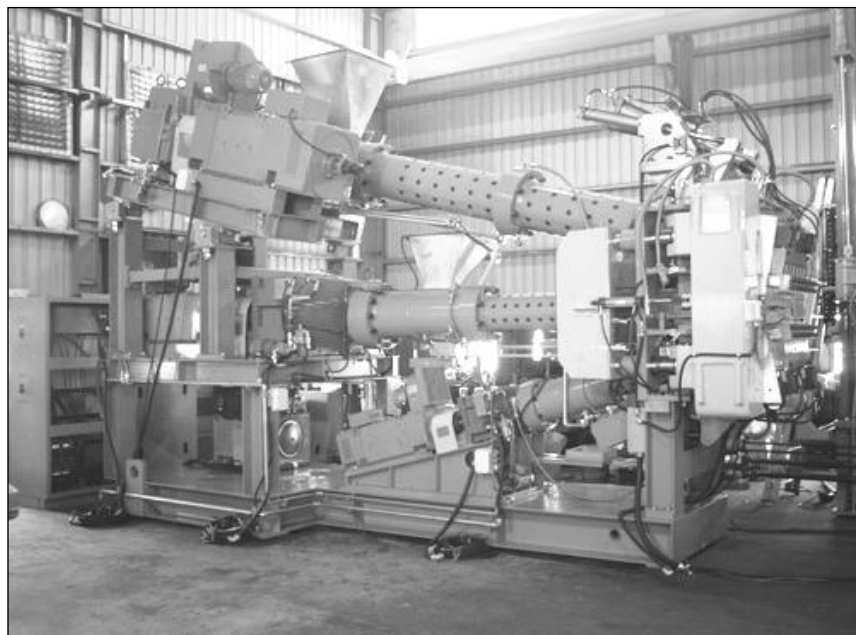
Nejpoužívanější typ vytlačovacích strojů pro zpracování kaučukových směsí. Výroba tímto strojem je kontinuální, vytlačovaný profil je „nekonečný“ a umožňuje tak využití kontinuální výroby. Ostatní typy vytlačovacích strojů se pro zpracování kaučukových směsí téměř nepoužívají. Pístový stroj pracuje na principu Weisenbergova efektu, jenž se ovšem u elastomerních směsí nerozšířil. Těchto strojů se ve výjimečných případech využívá pro zpracování plastických hmot. Nejdůležitější částí vytlačovacího stroje je šnek. Pro vytlačování kaučukových směsí se používá jednochodých nebo dvouchodých šneků. Extrudery s krátkým šnekem ($L/D = 4\div 5$) se zásobují předehřátou směsí ve tvaru pásků. Pro vytlačování přesných profilů jsou výhodnější stroje s dlouhými šneky ($L/D = 15\div 20$), které jsou zásobovány studenou směsí., nejčastěji ve formě pásků nebo granulátu. Studeného zásobování extruderů se pak obvykle používá ve spojení s kontinuální beztlakovou vulkanizací. Má-li

se zajistit dokonale neporézní profil, používá se vakuových vytlačovacích strojů s jednou až třemi vakuovými zónami, kde se odstraní zachycený vzduch nebo těžké látky ze směsi. [15]



Obr. 8 Duplex – vytlačovací stroj [16]

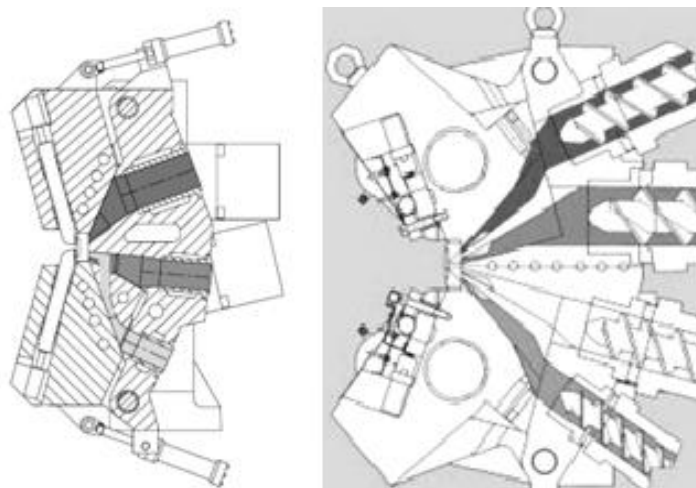
V Barum Continentalu se vytlačují bočnice a běhouny na vytlačovacích strojích se dvěma, třemi nebo čtyřmi extrudery. Jedná se o tzv. duplexy, triplexy a quadruplexy.



Obr. 9 Triplex - vytlačovací stroj [17]

Konstrukce hlavy

Hlava pro vytlačování koextruzních profilů je mnohem složitější než hlava pro jednoduché profily. Všechny materiály, jež se současně vytlačují, musí mít stejnou rychlost atd. Jednotlivé vrstvy by měli být po vytlačení co nejlépe spojené, například při vytlačování běhounů, aby nedocházelo během reálného využívání výrobku k oddělování jeho jednotlivých částí. Hlavní částí hlavy je předšablona (předhubice) a šablona (hubice), ve které je materiál tvářen do požadovaného tvaru. Hlavy musí být řešeny tak, aby v nich nebyla mrtvá místa, kde by se materiál nevyměňoval. Do hlavy se vkládají šablony výměnné, které dávají směsi požadovaný průřez. Vlivem vysokoelastických vlastností směsi dochází k jejich narůstání. Směsi narůstají nepravidelně a šablony se proto zhotovují zkusmo. Výpočet šablon je složitý a k uspokojivým výsledkům vede zatím jen při jednoduchých tvarech. U složitějších profilů je třeba dodatečných úprav úhlů náběhu a délky vedení. [15]

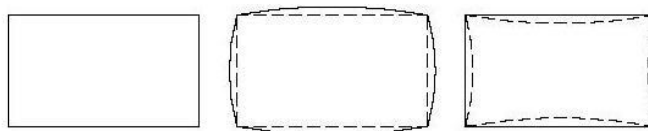


Obr. 10 Trojnásobná vytlačovací hlava triplexu firmy TROESTER a čtyřnásobná vytlačovací hlava quadruplexu firmy BERSTORFF [15]

Šablona je ve vytlačovací hlavě držena pomocí hydraulických svěráků na principu klínu, neboť styčná plocha hlavy je odkloněna o několik stupňů od svislé roviny. Šablona se vysouvá v rovině vodorovné kolmo na podélnou osu vytlačovací hlavy (rovina kolmá na tok kaučukové směsi) pomocí odklopného nosiče s ramenem. Předšablona je vyměnitelná přes

kazetu. Tvar vytlačovaného profilu je ovlivněn tvarem otvoru šablony. Tento otvor musí mít vždy o něco menší výšku než šířku, protože tloušťka výrobku se při podélném smrštění profilu zvětší. [15]

Jako nejjednodušší ukázkový případ lze zmínit např., když se vytlačuje profil s průřezem nějakého úhelníku (obdélníku, čtverce apod.), musí se počítat s tím, že v rozích je materiál nejvíc namáhán, vzniká v těchto místech velké vnitřní pnutí a navíc se v těchto místech materiál smršťuje. Proto musí mít šablona tvar cípatého obdélníku nebo cípatého čtverce apod., aby konečný tvar byl správný, jinak by stěny výrobku byly vypouklé. Viz obr. 12. Vhodný tvar se obvykle zjišťuje až praktickými zkouškami. [15]



Obr. 11 Úprava šablony na vytlačování [15]

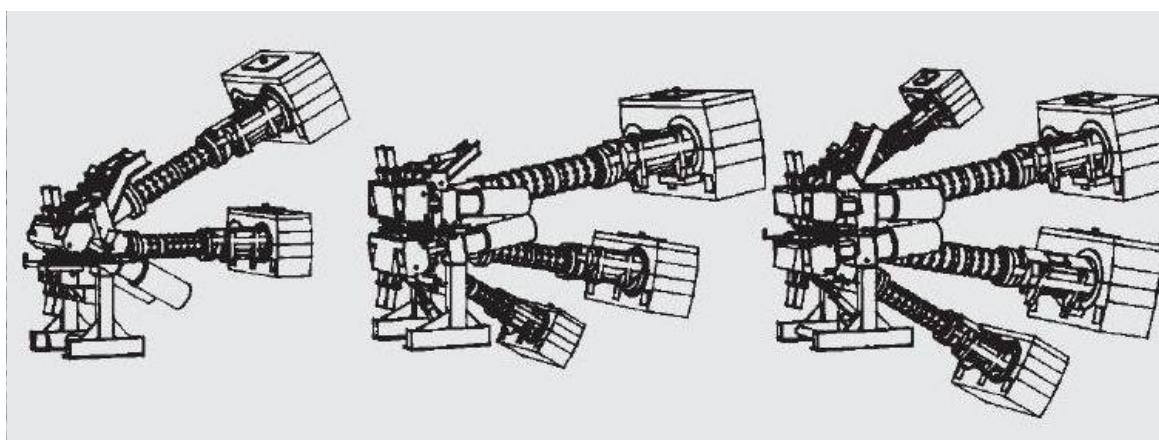
V pneumatikářenském průmyslu mají vytlačované profily mnohem složitější tvar, než je zmíněno výše, a proto se i výroba konečné šablony řídí mnohem komplikovanějšími principy.



Obr. 12 Vytlačovací hlava KRUPP [18]

2.5 Vytlačovací linky

Nejnovější technologií sdruženého vytlačování jsou plně automatizované vytlačovací linky TROESTER, KRUPP, BERSTORFF a jiné. Dva, tři, popřípadě čtyři vytlačovací stroje jsou uspořádány nad sebou a zásobované studenou nebo teplou směsí tlačící směs do jedné společné hlavy. Směsi se spojují ve vyhřívané předšabloně a finální profil je tvarován výstupní šablonou. Pro kvalitu polotovaru je nutno dodržovat přesnou regulaci teploty v jednotlivých pracovních zónách vytlačovacích strojů. Vyrábí se tak sdružené polotovary běhounů, bočnic a v poslední době i patních jader. [15]



Obr. 13 Koextruzní vytlačovací stroje – duplex, triplex a quadruplex [18]

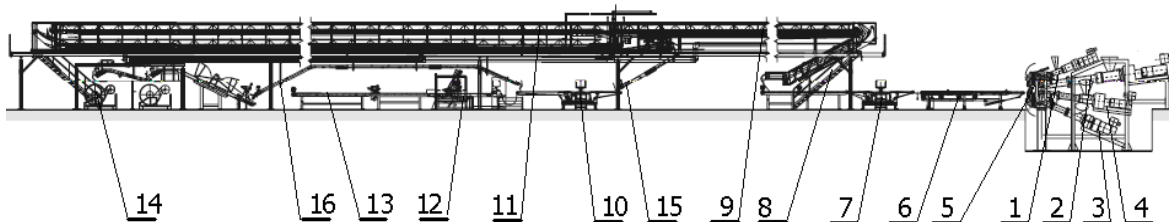
Pro špičkovou kvalitu vytlačovaných polotovarů je důležitá čistota chladicí vody. Vodu je nutno denně kontrolovat a při znečištění ihned provést výměnu. Pokud by se vytlačovaný polotovar, běhoun, bočnice a jiné chladili ve znečištěné vodě, mohlo by dojít k nedokonalé vulkanizaci a během provozu by mohlo docházet k oddělování jednotlivých částí. Běhoun by se mohl oddělit od zbytku pneumatiky a mohl zapříčinit nehodu během provozu. Při vytlačování náročných profilů, které mohou být tvořené ze tří, až čtyř směsí, se používá speciální sestava vytlačovacích strojů. Ta ústí do jedné náročné konstrukce vytlačovací hlavy, kde při vysokém tlaku dochází ke vzniku náročného profilu. [15]

2.6 Linka pro vytlačování běhounů

Běhouny pro radiální pláště se vytlačují na sdružených vytlačovacích strojích (počet strojů je roven počtu vytlačovaných vrstev), z tolika druhů kaučukových směsí z kolika vrstev má běhoun být vyroben, kdy spodní, měkčí zajišťuje adhezi ke kostře pláště a vrchní, s velkým

obsahem ztužujících sazí, dodávají plášti vysokou odolnost vůči oděru. Spojení všech směsí probíhá již ve společné vytlačovací hlavě, která je zakončena šablonou. Šablona je konstruována ze dvou částí, předšablona a vlastní šablona pro snadnější usměrnění toku každé vrstvy kaučukové směsi. Po vytlačení se běhoun musí intenzivně chladit, aby nedošlo k vulkanizaci, a současně při smršťování průchodem přes ohyby se napomáhá odstraňování vnitřního pnutí. Chlazení probíhá v několika etážových (etážových) vanách a po ochlazení běhounu se řeže pod příslušným sklonem na příslušnou délku a ukládá se do „knihových reků“ (vozíků) k převozu pro montáž pláští pneumatik. Provedení linek je závislé na velikosti běhounu a velikosti série vyráběných pláští. Doplňková zařízení linek souvisí pak s operacemi, které se mají na lince vykonávat. Technologický režim při vytlačování běhounů je ovlivněn především složením a druhem směsi, vytlačuje se dle předpisu pro vytlačování. Teploty šneků se pohybují mezi 60÷70°C a až 135°C ve vytlačovací hlavě. Tlaky se pohybují kolem 20÷25 MPa, rychlosti vytlačování kolem 35 m.s⁻¹ a otáčky šneků mezi 10÷15 ot.min⁻¹. [15]

Linka na výrobu běhounů



Obr. 14 Vytlačovací linka na výrobu běhounů pro radiální pneumatiky [15]

1, 2, 3, 4 – vytlačovací stroje, 5 – „kladivová“ vytlačovací hlava, 6 – odtahovací dopravník, 7 – úseková váha, 8, 15, 16 – odtahovací dopravníky, 9 – etážová chladička pásu profilu s vodou, 10 – kontrolní váha, 11 – ofukovací zařízení, 12 – rozřezávací zařízení, 13 – odkládací místo, 14 – dokončovací zařízení [15]

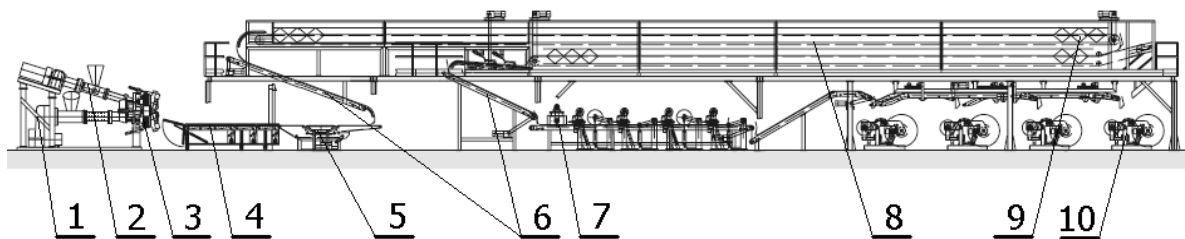
2.7 Linka pro vytlačování bočnic

Bočnice se vyrábí z kaučukové směsi, která chrání kostru v boční části. Musí být odolná proti prolamování a povětrnostním vlivům. Nese popisy rozměru.

Hlavní části šnekové vytlačovací linky [19]:

- pohonná jednotka
- šnek a dvojitý plášť stroje
- vytlačovací hlava stroje
- temperační jednotka
- zařízení pro uchycení předšablony a šablony samotné
- kontrolní a ovládací prvky
- chladicí vany
- navíjecí místa

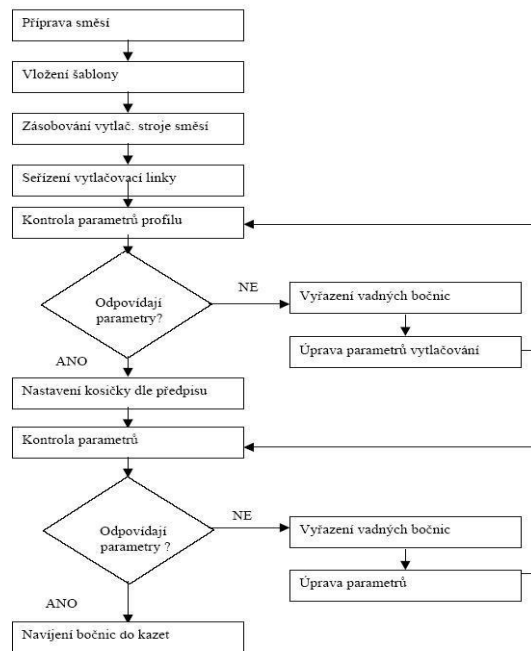
Na níže uvedeném obrázku (Obr. 15) je znázorněný průběh výroby bočnic. Na základě údajů uvedených v KANBAN kartě se musí vytlačovací linka uzpůsobit na požadované parametry. Namíchaná kaučuková směs je rozpracována do plastického stavu mezi šnekem a pláštěm vytlačovacího stroje (teplota cca 80÷90°C) a přes šablonu je vytlačována na vynášecí dopravníky. Vytlačené bočnice jsou značeny, automaticky kontrolovány a chlazeny v chladicích vanách. Po druhé automatické kontrole na výstupu linky jsou řezány na požadovanou délku (cca 55 – 90m dle kapacity kazety nikoliv délky potřebné na výrobu jednoho pláště jako u nákladních plášťů) a navíjeny do kazet, které jsou převáženy na pracoviště konfekce ke zpracování. Celý proces se řídí vytlačovacím předpisem. [19]



Obr. 15 Vytlačovací linka na výrobu bočnic pro radiální pneumatiky[15]

1,2 – vytlačovací stroje, 3- kladivová vytl. Hlava, 4- odtahovací dopravník,
5- úseková váha, 6- odtahovací dopravníky, 7- rozřezávací zařízení, 8- etážová chladička pásu profilu s vodou, 9- ofukovací zařízení, 10- dokončovací zařízení [15]

Linka na výrobu bočnic



Obr. 16 Postupové schéma při vytlačování bočnic [19]

Bočnice vznikají podobným způsobem jako běhouny, používá se opět sdružených vytlačovacích strojů, obvykle dvoušnekových (nazývají se duplexy) i vícešnekových (tříšnekové se nazývají triplexy), kdy je bočnice tvářena společně s patkovou částí. Po vytlačení se opět vzniklý polotovár chladí. Chladicí vany bývají až 40m dlouhé. Používá se opět chlazení přímo vodou a ofukem, po zchlazení se faxinkové pásy navijí do zábalů v kazetě, která se přivazuje opět k montáži pláště pneumatik. Do kazety se vejde 50÷80m nábalu kaučukové směsi. Technologický režim je zde opět nastaven dle vytlačovacího předpisu. Teploty šneků se pohybují okolo 80 °C a v rozmezí 80÷120°C ve vytlačovací hlavě. Vytlačovací tlaky se pohybují kolem 15MPa, rychlosti vytlačování kolem 40 m.s⁻¹ a otáčky šneků mezi 12÷14 ot.min⁻¹. [19]

2.8 Nánosování

Kostra pláště je tvořena jednotlivými vložkami z pogumovaného výstužného materiálu, polyamidového, polyesterového případně ocelového kordu. Jedná se o část pneumatiky, která po nahuštění nese zatížení, kterým je na pneumatiku působeno. Kordová vlákna jsou uspořádána tak, aby docházelo k optimálnímu přenosu složek sil a byla zachována celková

silová rovnováha v rámci pláště. Nánosování probíhá na vícekalandrových (válcových) linkách, obvykle třech nebo čtyřech. Vlastní kord je předem upraven, vysušen a následně v nánosovací šterbině dochází k vlastnímu procesu. Chemická příprava impregnací nebo pomocí plazmy se provádí již u výrobce. Je nutná pro kvalitní a hladké zpracování v průběhu výroby pneumatik. Dohromady pak působí jako kompozit vláknového typu. [12]

2.9 Výroba patních lan

Podílí se významně na rozložení sil v plášti a tím i na celkové pevnosti pneumatiky. Je v kontaktu s ráfkem. Nosným prvkem je soustava drátů, které jsou obaleny speciální gumárenskou směsí. [12]

2.10 Konfekce



Obr. 17 Konfekční stroj [11]

Jak plyne z anglického názvu operace – tyre building – jedná se o stavbu pneumatiky. Snahou je, aby tvarová podobnost s finálním výrobkem byla co nejvyšší. [12]

Konfekce může být podle typu a velikosti pláště několika typů:

- Jednostupňová
- Vícestupňová (dva a více stupňů)

Jednostupňová konfekce

Tato metoda má velkou výhodu v tom, že všechny operace probíhají bez přenášení polotovaru na jiný stroj. To umožňuje dokonalé položení nárazníku bez rizika vyosení, což je pro kvalitu radiální pneumatiky velmi důležité. Pracovní postup spočívá v tom, že po konfekci prvního stupně se kostra vyduje pomocí membrány a položí se na ni nárazníkový pás a běhoun. [20]

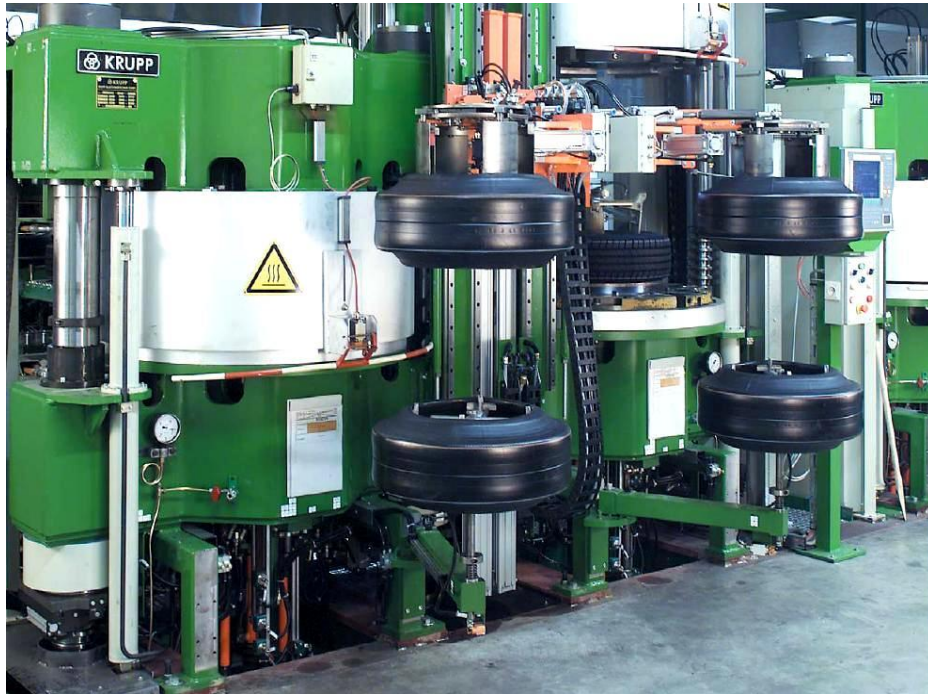
Vícestupňová (dva a více stupňů)

Konfekce osobních radiálních pláštů je v naší firmě prováděna dvoustupňovým způsobem. Tento postup je pracnější, je potřeba dvou konfekčních strojů. Při konfekci pláště radiální pneumatiky se nejprve vyrobí kompletní kostra pláště v běžném tvaru válce. Pokládání textilních vložek při konfekci pláštů radiálních pneumatik vyžaduje značnou pozornost, aby nedošlo k deformaci nití. Konfekční stroj k přípravě prvního stupně výroby pláště slouží k výrobě kostry pláště. [20]

Ve druhém stupni konfekce se ukládá pásový nárazník a běhoun na kostru pláště pneumatiky. Tato kostra (první stupeň) musí být vyduta pomocí pryžové membrány, aby tvar pláště odpovídal tvaru lisovací formy. Radiální plášť nelze vydouvat v lisu jako plášť diagonální, neboť pásový nárazník je velmi těžko obvodově protržitelný a mohlo by dojít k jeho posunu a tím ke zhoršení jakosti pneumatiky. [20]

Proto se kostra radiálního pláště vydouvá pryžovou membránou již při konfekci druhého stupně a její tvar po uložení nárazníků, běhounu a bočnic zhruba odpovídají tvaru vulkanizační formy. [20]

2.11 Vulkanizace



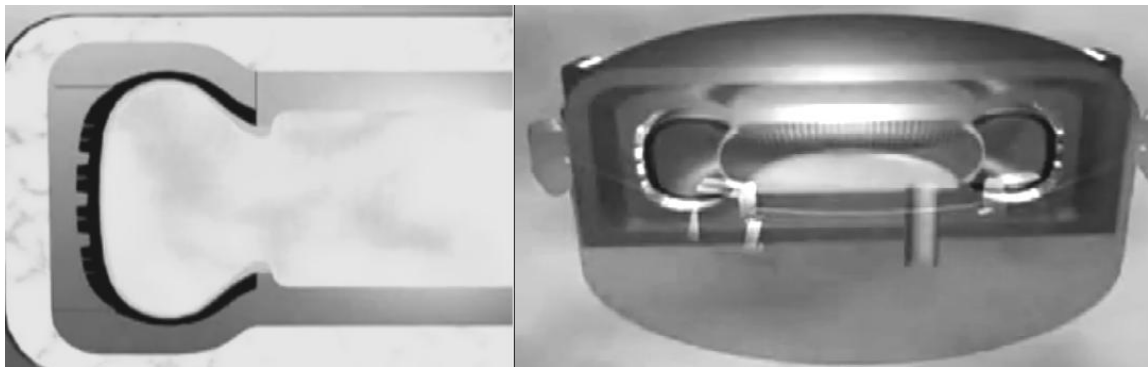
Obr. 18 Vulkanizační lisy [21]

Fyzikálně-chemický děj, při kterém dochází k transformaci gumárenské směsi na pryž; vzniká struktura, v níž jsou jednotlivé elastomerní řetězce sesíťovány většinou sírnými můstky, které napomáhají, aby bylo dosaženo zejména požadovaných fyzikálně-mechanických vlastností. Aby děj proběhl, jak má, je třeba dodržet podmínky (teplota, tlak, čas), při nichž je vulkanizace optimální, a to jak z hlediska požadovaných vlastností, tak i z ekonomického hlediska (délka procesu, produktivita, spotřeba energií apod.). Tyto podmínky jsou shrnuty v tzv. vulkanizačním předpisu. Ohřívacím médiem je většinou horká pára; pára + dusík nebo horká voda. [12]

Vulkanizační forma a membrána

Jsou významnou součástí lisovacího zařízení. Membrány jsou vyráběny ze speciálních směsí na bázi butylkaučuku, aby dobře odolávaly jak mechanickému, tak zejména tepelnému zatížení. Membrána je během vulkanizace umístěna uprostřed pláště. Formy jsou vyrobeny z hliníkových slitin nebo z oceli. Jejich konstrukce, zejména jejich povrchu, je určující pro povrch pneumatiky a především pak pro dezén. Mimo dezénových drážek zde ještě nalezneme odvodušňovací systém. Jedná se o tenké kapiláry, jimiž jsou odváděny

plynné vulkanizační zplodiny z vnitřních částí pláště tak, aby nedocházelo ke vzniku uzavřených kavit, mikroprostorů naplněných vzduchem nebo jiným plynem. Ty by se následně mohly stát příčinou větších či menších separací. Konstrukce vulkanizační formy je vedle složení a vlastností směsi, přesných polotovarů a správně provedené konfekce dalším podstatným faktorem pro výrobu kvalitní pneumatiky. Při vulkanizačním ději nedochází pouze k chemickým procesům, ale také k přesunům hmoty uvnitř vulkanizační formy. Zde se zúročují správně nastavené tokové vlastnosti směsi, které jsou dány nejen jejím složením, ale také dobrým zvládnutím míchacího procesu, úvodní etapy výrobního cyklu pneumatiky. [12]



Obr. 19 Schéma průřezu vulkanizačním lisem při vulkanizaci pláště [22]

2.12 Výstupní kontrola

Po následném vychladnutí a stabilizaci přichází plášť na výstupní kontrolu. Nejprve se provádí ořezávání přetoků a důkladná vizuální kontrola, u některých plášťů, (osobní pláště, pláště pro kamiony, autobusy apod.) následuje ještě rentgenová kontrola. Pro její smysluplnost je nutná přítomnost ocelového kordu. V průběhu této finální kontrolní etapy, která je výrobci pneumatik velmi pečlivě prováděna, je možno objevit i některé drobnější defekty uvnitř pláště, např. mikroseparace. Ty by se při uvedení do provozu mohly projevit zejména při vyšších rychlostech, což by mohlo mít nedozírné následky. Mírnější variantou by byl pokles kilometrového výkonu. Mezi běžné zkoušky lze také zařadit testy uniformity. Výstupní kontrolou je ukončen celý výrobní proces pneumatiky, která se poté přesouvá na paletizaci a do skladů a je již plně v moci logistiků a obchodníků, kteří určují jejich další cestu k uživateli. [12]

3 STATISTIKA

3.1 Statistický software

Analýza a interpretace experimentálních dat v klasických i moderních technických, oborech patří mezi neustále se rozvíjející směry zkoumání, ležící na pomezí matematické statistiky a informatiky.

Nabídka a možnosti počítačově orientovaného statistického zpracování dat pomocí programových systémů je poměrně široká. Z hlediska použití statistických metod je žádoucí mít možnost zkoumat statistické zvláštnosti dat (průzkumová analýza), ověřovat základní předpoklady o datech, hodnotit kvalitu výsledků s ohledem na základní schéma data – model – statistická metoda“, a konečně využívat i alternativních postupů statistické analýzy včetně robustních a adaptivních metod. Z toho je patrné, že oblast zpracování experimentálních dat má řadu požadavků, které nelze v plné míře zajistit bez obecně koncipovaných statistických programů. [23]

Úlohy vyhodnocení experimentálních dat v technické praxi se vyznačují těmito vlastnostmi:

- a) Rozsahy zpracovávaných dat nejsou obyčejně velké
- b) V datech se vyskytují výrazné nelinearity, neaktivity a vzájemné vazby, které je třeba identifikovat a popsat
- c) Rozdělení dat jen zřídka odpovídá normálnímu běžně předpokládanému ve standardní statistické analýze
- d) V datech se vyskytují vybočující měření a různé heterogenity
- e) Statistické modely se často tvoří na základě předběžných informací z dat
- f) Parametry statistických modelů mají mnohdy definovaný fyzikální význam, a musí proto vyhovovat velikostí, znaménkem nebo vzájemným poměrem
- g) Existuje jistá neurčitost při výběru modelu popisujícího chování dat

Ve statistických programech se vyskytují různé techniky vedoucí často i k rozporným závěrům. Některé statistické metody jsou použitelné jen pro některé typy modelů. V našich podmínkách jsou běžně dostupné a patří ve světě k nejužívanějším tyto programové a univerzální balíky vhodné ke zpracování experimentálních dat [23]:

BMDP, SAS, SPSS, STATGRAPHICS, SOLO, NCSS, MINITAB, STATISTICA aj.

Matematická statistika

Je vědecká disciplína na pomezí popisné statistiky a aplikované matematiky. Zabývá se teoretickým rozborem a návrhem metod získávání a analýzy empirických dat obsahujících prvek nahodilosti, tedy teorií plánování experimentů, výběrů, statistických odhadů, testování hypotéz a statistických modelů. S využitím aparátu teorie pravděpodobnosti se snaží odhadnout vlastnosti rozdělení pozorovaných dat, chápaných jako realizace náhodných veličin, a metodologicky plánovat sběr dat tak, aby toto odhadování bylo efektivní. Jestliže tedy teorie pravděpodobnosti na základě znalosti chování určité náhodné veličiny určuje pravděpodobnost určitého výsledku (náhodného pokusu), matematická statistika naopak na základě dat hledá vlastnosti náhodné veličiny. Tento postup se označuje jako statistická inference, statistická indukce nebo statistické usuzování. Základními typy statistické inference jsou bodový odhad, intervalový odhad a testování hypotéz. Jako statistické modelování se označuje tvorba a testování komplexních hypotéz o datech, zahrnující obvykle určování více parametrů či složitou strukturu dat. [24]

Data a jejich získávání

Statistická data, v dnešní době dostupná obvykle v podobě počítačových databází, se dají zkoumat z různých hledisek. Data především mohou být úplná a zahrnovat celou základní populaci (čili základní soubor), tedy všechny objekty našeho zájmu. Častěji však máme k dispozici jen jejich podmnožinu, zvanou ve statistice výběr, výběrový soubor, výběrová populace či vzorek. Počet objektů v této podmnožině se označuje n a nazývá rozsah výběru. Postupy získávání výběru zkoumá teorie výběru, která se zabývá mimo jiné tím, zda je výběr reprezentativní, tedy zda popisné charakteristiky výběru se až na náhodnou výběrovou chybu shodují s charakteristikami celé základní populace. Základním způsobem dosahování reprezentativnosti přitom jsou různé druhy pravděpodobnostního výběru, při nichž má každý prvek základní populace známou nenulovou pravděpodobnost, že bude obsažen ve vzorku. Není-li výběr reprezentativní, vzniká systematická chyba, která znemožňuje korektní zobecnění výsledků analýzy na celou základní populaci.

Explorační analýza

Explorační analýza dat (Exploratory data analysis, EDA) je souhrn metod používaných pro průzkum dat a hledání hypotéz, které stojí za to testovat (testování se v tomto kontextu označuje jako konfirmační analýza). Hlavní úkoly explorační analýzy dat jsou [24]:

- Navrhnout hypotézy o příčinách pozorovaných jevů.
- Ověřit předpoklady statistických metod, které se použijí.
- Podložit výběr vhodných statistických nástrojů a technik.
- Poskytnout základnu dalšímu sběru dat pomocí průzkumů či experimentů.

Statistická inference

Základní úlohou matematické statistiky je zobecnění (zvané v tomto oboru statistická inference, statistická indukce či statistické usuzování): zkoumá se, jak informace zjištěné o prvcích výběru zobecnit na celou populaci. Používané metody se opírají o zákon velkých čísel a příbuzné věty teorie pravděpodobnosti, jako je například Glivenkova-Cantelliho věta; která ukazuje, že při rostoucím rozsahu reprezentativního výběru se výběrové odhady obvykle limitně blíží skutečným hodnotám na celé populaci. Matematická statistika zároveň stanovuje, jak přesný tento odhad pro daná data je (intervalový odhad), anebo testuje, zda vlastnosti vzorku jsou slučitelné s předpoklady o chování celé populace (testování statistických hypotéz). [24]

3.2 Testování hypotéz

Testování hypotézy je postup, který umožňuje na základě naměřených dat určit, zda náhodná veličina, jejímiž realizacemi data jsou, vykazuje určitou vlastnost. Například lze testovat, zda se střední hodnota náhodné veličiny liší od dané konstantní hodnoty – praktickou aplikací takového testu by mohlo být, zda je soustruh dobře seřízen a střední hodnota průměru jím vyráběných součástek se rovná hodnotě předepsané výkresem. V takovém případě je možné použít t-test o jednom výběru, mají-li průměry součástek normální průběh rozdělení. [25]

Testování může zahrnovat i více proměnných. Příkladem může být test toho, zda se navzájem liší střední hodnota náhodné veličiny X ve skupinách definovaných diskretní náhodnou veličinou Y – takovýto test může být užitečný například v situaci, kdy X je výnos jabloní a

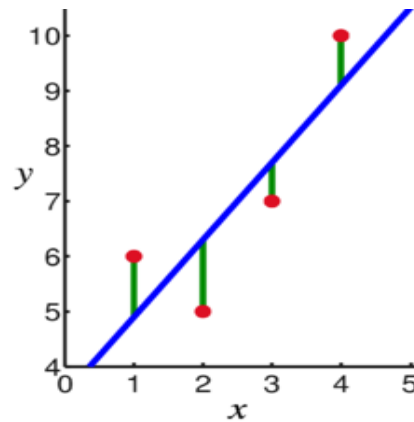
Y je značka hnojiva, kterým se stromy ošetřují, takže test zjišťuje, zda se účinky jednotlivých hnojiv od sebe statisticky významně liší. V tomto případě lze při testování využít analýzu rozptylu, jsou-li splněny předpoklady této metody. [24]

V klasické teorii testování se vychází z toho, že platí předpokládaná vlastnost zkoumaných náhodných veličin. Tento předpoklad se označuje nulová hypotéza a značí H_0 . Jelikož data jsou náhodná a náhoda může „pracovat proti nám“, nelze obvykle závěry testování vyslovit s naprostou jistotou. Proto se zároveň se předem stanoví hladina spolehlivosti α , což je míra rizika (pravděpodobnost) toho, že hypotézu H_0 zamítneme, ačkoliv ve skutečnosti platí (omyl označovaný jako chyba 1. druhu). Hladina spolehlivosti se tradičně stanovuje 0,05 nebo 0,01. Menší hladina spolehlivosti znamená větší jistotu při zamítání nulové hypotézy, ale zároveň také větší riziko chyby 2. druhu, jež spočívá v akceptování nulové hypotézy, ačkoli tato hypotéza ve skutečnosti neplatí. [24]

Dále se z dat vypočítá takzvané testovací kritérium, jehož rozdělení podmíněné předpokládanou platností nulové hypotézy je známo. Vyjde-li hodnota testovacího kritéria typická pro toto známé rozdělení, nulovou hypotézu akceptujeme či přesněji řečeno nezamítáme na základě známých dat. Naopak vyjde-li hodnota extrémní, tedy v oblasti hodnot, do níž realizace předpokládaného rozdělení padají s pravděpodobností menší než α (tj. hodnota testovacího kritéria překročí kritickou mez), usoudíme, že testovací kritérium nejspíše nepochází z předpokládaného rozdělení a nulovou hypotézu zamítneme ve prospěch opačné tzv. alternativní hypotézy, označované H_1 . [24]

- Zatímco dříve bylo třeba hledat kritické meze v tabulkách rozdělení příslušného testovacího kritéria, dnes statistické softwary vypisují takzvanou hodnotu významnosti (též zvanou signifikance nebo p-hodnota). Tato hodnota udává pravděpodobnost, že při platnosti nulové hypotézy vyjde testová statistika rovna naměřené nebo ještě extrémnější. Test se vyhodnocuje takto [24]: Je-li hodnota významnosti menší než hladina spolehlivosti ($p < \alpha$), pak zamítneme nulovou hypotézu a přijmeme alternativní hypotézu. Riskujeme chybu prvního druhu s pravděpodobností nanejvýš α .
- Je-li hodnota významnosti větší nebo rovna než hladina spolehlivosti ($p \geq \alpha$), pak nulovou hypotézu nezamítneme. Riskujeme chybu druhého druhu s pravděpodobností označovanou β . [24]

3.3 Modelování



Obr. 20 Lineární regrese: červeně jsou data (dvojice x, y), modře lineární regresní funkce, zeleně rezidua [24]

Statistické modelování znamená snahu pomocí zjištěných dat pochopit mechanismus, jakým data mohla vzniknout. Jako model se tedy chápe rozdělení pravděpodobnosti, z něhož mohla vzniknout zkoumaná empirická data. Pro účely modelování se data obvykle chápou jako složená ze signálu, to jest deterministické složky, a šumu:

$$\mathbf{data = signál + šum}$$

Data se modelují jako složená z nějaké známé deterministické matematické funkce a reziduální hodnoty, která se chová jako nedeterministický šum – neobsahuje žádnou nebo jen malou systematickou informaci:

$$\mathbf{data = deterministická funkce + náhodné reziduum}$$

Funkce, deterministická složka modelu, závisí na externích proměnných (nezávisle proměnných) a u časových řad případně i na starších hodnotách naměřených dat. [24]

Model tedy má aproximovat deterministickou (nenáhodnou) složku dat, odhadnout velikost a typ šumu a pomoci pochopit, jak modelovaná data vznikla, resp. jak lze jejich hodnoty ovlivňovat vstupními proměnnými. Matematická funkce, která je první složkou modelu, často obsahuje parametry, které je třeba odhadnout z dat tak, aby model co nejlépe vystihl

data (parametrické modelování). Zvláštními testy se zkoumá kvalita modelu a provádí se jeho interpretace. [24]

Nejjednodušší statistické modely jsou obsaženy již v základech odhadu a testování hypotéz. Například odhad výběrového průměru a jeho konfidenčního intervalu implikuje model dat jakožto součtu konstanty (střední hodnoty) a gaussovské náhodné veličiny (jejíž rozptyl ovlivňuje šířku konfidenčního intervalu). Jako modely ve vlastním smyslu se však označují složitější případy, závislé na více různých parametrech či komplexnějších pravděpodobnostních schématech. Historicky nejstarším a často používaným příkladem složitějšího statistického modelu je lineární regrese. V základní podobě její tvar vypadá takto:

hodnoty závisle proměnné y = lineární funkce nezávisle proměnné x + reziduum s normálním rozdělením,

což se přesněji a stručněji vyjádří takto:

$$y_i = a x_i + b + \epsilon_i, \quad (1)$$

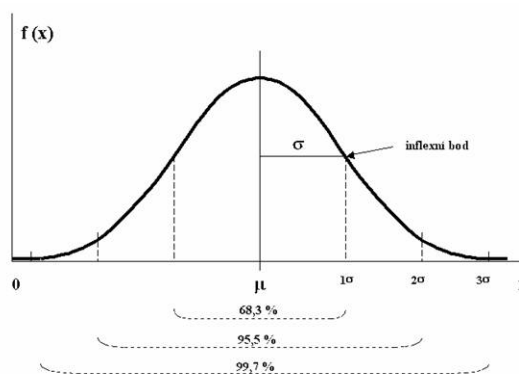
kde y je reálná závisle proměnná (vysvětlovaná proměnná), x je reálná nezávisle proměnná (vysvětlující proměnná, prediktor), i označuje pořadové číslo pozorování, ϵ_i realizaci normálně rozložené náhodné veličiny (reziduum, které modeluje šum) a parametry a , b určují tvar lineární funkce: a má význam směrnice přímky a b je úsek na ose y . Základním úkolem tohoto typu regresní analýzy je oba parametry odhadnout, například metodou nejmenších čtverců. [24]

Normální rozdělení

Rozdělení pravděpodobnosti je z mnoha důvodů nejvýznamnější v moderní statistické teorii. Poprvé bylo zaznamenáno v 18. století, kdy vědci zjistili překvapivou pravidelnost v chování chyb měření. Později se ukázalo, že velké množství náhodných veličin, které vystupují v rozmanitých odvětvích vědy a techniky, mají toto rozdělení. Jejich příkladem mohou být např. výšky a váhy živých organismů, rozměry výrobků vyráběných na automatických linkách, chyby měření, způsobené ať lidským nebo jiným faktorem a mnoho dalších. Normální rozdělení též za jistých podmínek aproximuje jiná rozdělení, nebo vyjadřuje jejich limitní chování. [25]

Při statistické analýze bývá normalita rozdělení podmínkou použití těch nejúčinnějších statistických metod. Náhodná veličina X má v celém základním souboru normální rozděle-

ní závislé na 2 parametrech: střední hodnotě μ a směrodatné odchylce $\sigma > 0$, která charakterizuje variabilitu náhodné veličiny X . Grafickým vyjádřením Gaussova normálního rozdělení je zvonovitá křivka, symetrická kolem střední hodnoty μ („parametr polohy“ – udává polohu křivky na ose x). Šířku křivky v tzv. inflexním bodě (bod obratu křivky) udává směrodatná odchylka σ („parametr rozptýlení“). Grafické vyjádření Gaussova normálního rozdělení pro náhodnou veličinu X je uvedeno na obrázku. [26]



Obr. 21 Gausovo normální rozdělení pravděpodobnosti [26]

X = spojitá náhodná veličina $f(x)$ = hustota pravděpodobnosti náhodné veličiny X ; μ = střední hodnota náhodné veličiny X ; σ = směrodatná odchylka náhodné veličiny X

Normální rozdělení s parametry μ a σ se označuje jako $N(\mu, \sigma^2)$. Fakt, že náhodná veličina X má normální rozdělení, lze zapisovat jednoduše jako $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. [26]

Tvar křivky Gaussova normálního rozdělení je ovlivněn a plně charakterizován parametry μ a σ . Přesnější interpretaci parametru rozptýlení σ přibližují vztahy, které uvádějí pravděpodobnosti různých intervalů kolem středu rozdělení. Pro každé Gaussovo normální rozdělení $(\mu; \sigma)$ platí [26]:

- V rozmezí hodnot $\mu \pm 1\sigma$ se vyskytuje 68,3 % všech jedinců populace.
- V rozmezí hodnot $\mu \pm 2\sigma$ se vyskytuje 95,5 % všech jedinců populace.
- V rozmezí hodnot $\mu \pm 3\sigma$ se vyskytuje 99,7 % všech jedinců populace.

Výskyt zbývajících 0,3 % hodnot souboru (oba extrémní konce osy x) je tak málo pravděpodobný, že z hlediska statistiky jsou takové hodnoty považovány za chybu měření („odlehle, extrémní hodnoty“) a vylučují se z dalšího hodnocení. [26]

Normované normální rozdělení

Normované (neboli standardizované) normální rozdělení je normální rozdělení se střední hodnotou, která je rovna 0 a směrodatnou odchylkou, která je rovna vždy 1. Někdy se toto rozdělení nazývá U-rozdělení (případně Z-rozdělení), protože je definováno pro teoreticky odvozenou veličinu U , která vznikne transformací původní náhodné veličiny X tak, že se od ní odečte střední hodnota celé populace a rozdíl se vydělí směrodatnou odchylkou populace. [26]

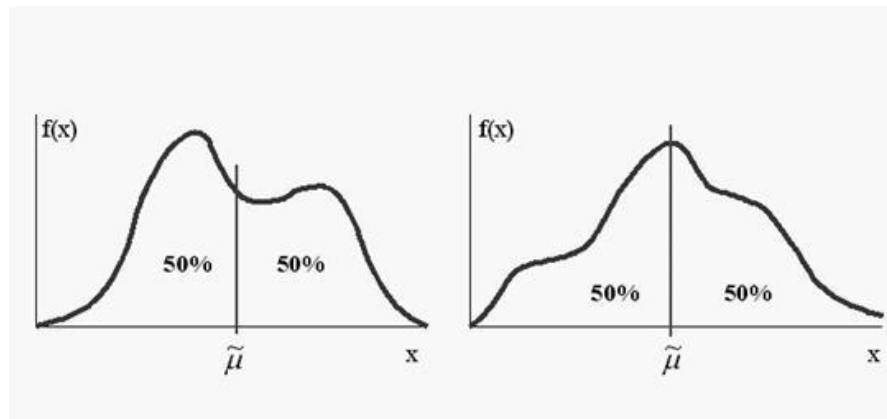
Křivka normovaného rozdělení je zvonovitá, symetrická kolem střední hodnoty stejně jako Gaussova křivka. Liší se pouze posunem na ose x (střed souměrnosti křivky NNR, tzn. střední hodnota μ je posunuta do hodnoty 0) a jednotkovou šířkou (směrodatná odchylka $\sigma = 1$). Podobně platí i shoda v procentuálním zastoupení výskytu hodnot v intervalech daných směrodatnými odchylkami symetricky kolem střední hodnoty μ . Normované hodnoty veličiny U spolu s jejich distribučními funkcemi $F(u)$ jsou tabelovány ve statistických tabulkách. [26]

Neznámé rozdělení

Některé vyhodnocované spojité náhodné veličiny neodpovídají Gaussovu normálnímu rozdělení pravděpodobností – mají pak obvykle různě nepravidelnou křivku rozdělení, často vícevrcholovou asymetrickou. Hovoříme o tzv. neznámém rozdělení pravděpodobností, které pro nepravidelnost křivky nelze popsat přesnými parametry, určujícími střed symetrie ani šířku křivky, jako tomu bylo u Gaussova normálního rozdělení. [26]

Pro popis neznámého rozdělení je používána jediná charakteristika – medián. Medián je považován za střed neznámého rozdělení, šířku křivky neznámého rozdělení nelze pro její nepravidelnost určovat. Protože je medián definován jako 50 % kvantil, dělí plochu pod křivkou rozdělení na 2 poloviny, symbolicky znázorňující podíl jedinců (50 %) v populaci, kteří mají hodnoty sledovaného znaku nižší než medián a podíl jedinců (50 %) v populaci, kteří mají hodnoty sledovaného znaku vyšší než medián. [26]

Příklady grafického vyjádření neznámého rozdělení pro spojitou náhodnou veličinu jsou uvedeny na obrázku 22.



Obr. 22 Příklady neznámého rozdělení pravděpodobností [26]

3.4 Klasifikace statistických závislostí

Statistika se zabývá především zkoumáním volné závislosti. Podle toho, o jaký druh znaků jde, můžeme ji členit následovně [27]:

- **korelační závislost** – závislost mezi kvantitativními znaky (např. vztah mezi spotřebou krmiva a dosahovaným přírůstkem u zvířat, mezi délkou klasu pšenice a počtem zrn v klasu, mezi výnosem plodiny na straně jedné a spotřebou hnojiv, zásobou živin v půdě, teplotou a závlahou na straně druhé),
- **asociační závislost** – závislost mezi kvalitativními alternativními znaky (např. vztah mezi postřikem stromů a červivostí ovoce, mezi používáním ochranných pomůcek a výskytem úrazu),
- **kontingenční závislost** – závislost mezi kvalitativními znaky množnými (např. citlivost různých plemen prasat na některé stresové podněty, vliv různých technologií na výnos jednotlivých druhů obilnin) [27]

Veškeré závislosti můžeme rozdělit na závislosti příčinné a na závislosti zdánlivé, přičemž smysl zkoumat má pouze závislost příčinnou. Zde vystupuje jeden jev jako příčina, „nezávislá“ proměnná (X) a druhý jev jako účinek, „závislá“ proměnná (Y). Každá závislost číselných znaků má dva vzájemně neoddělitelné atributy (vlastnosti), a to průběh závislosti a intenzitu závislosti.

Lineární průběh nemusí vždy vystihovat vzájemné chování obou složek dvojrozměrné náhodné veličiny.

V praxi se většina úloh omezuje jen na párové a lineární přímočaré nebo křivočaré závislosti. Vzájemná závislost dvou statistických znaků se zkoumá na dvou typických úlohách [27]:

- **regresní úloha** je úloha o jednostranné závislosti s řízenou nezávislou proměnou (často dokonce s pravidelně odstupňovanými hodnotami),
- **korelační úloha** je úloha o oboustranné závislosti s oběma pozorovanými proměnnými.

Korelační závislost

Korelační závislost je závislost mezi kvantitativními znaky. Při zkoumání korelační závislosti rozeznáváme dva základní pojmy: regresi a korelaci. Přičemž regrese vyjadřuje průběh závislosti prostřednictvím matematické funkce a korelace stupeň (těsnost) závislosti.

Typy:

- Podle počtu znaků: jednoduchá (prostá), kde $Y = f(X)$; vícenásobná, kde $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$
- Podle typu regresní funkce: na lineární a nelineární
- Podle směru změn znaků: kladná (přímá), záporná (nepřímá), křivočará,
- Podle stupně závislosti (korelace) znaků: nezávislost, volná závislost, pevná závislost [27]

Korelace

je statistická závislost dvou, nebo více proměnných. Podává informaci o statistické závislosti jevů, určuje velikost (sílu) závislosti, ale neinformuje o jejich příčině. Mírou korelace je r -koeficient, nebo index korelace. Má hodnoty od 0 do 1, udávající, jak přesně odpovídají předpokládané (očekávané) hodnoty, vyjádřené regresní funkcí - spojnicí trendu (trend, vývoj, směr, vyrovnaní měřených veličin), skutečným datům. [27]

Spojnice trendu je nejspolehlivější v případě, že se hodnota indexu (koeficientu) korelace - spolehlivosti blíží nebo rovná hodnotě 1. Analytický nástroj korelace se může použít k testování závislosti dvou statistických znaků. Závislost znamená, že hodnoty jednoho

znaku odpovídají přímo úměrně (kladná korelace) nebo neúměrně (záporná korelace) hodnotám ve druhého znaku. Pokud jsou hodnoty obou znaků nezávislé, bude korelace blízká nule. Index (koeficient) korelace se vypočítá podle vztahu [27]:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y(x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \langle y_i \rangle)^2} \quad (2)$$

$$\langle y_i \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (3)$$

kde x je x-ová souřadnice datového bodu, y je y-ová souřadnice datového bodu, n je počet datových bodů. Podle hodnoty Indexu (koeficientu) korelace určuje míru závislosti. Když bude mít Index (koeficient) korelace hodnoty [27]:

- $r = 0,0 - 0,3$ slabá závislost
- $r = 0,3 - 0,7$ průměrná závislost
- $r = 0,7 - 0,9$ silná závislost
- $r = 0,9 - 1,0$ velmi silná závislost

Regrese

Regrese určuje tvar (průběh) statistické závislosti. Regresní analýza s využitím regresních funkcí – spojnic trendů se používá ke grafickému zobrazení orientace v datech a k předpovídání. Pomocí regresní analýzy, prodloužením spojnice trendu, se dají stanovit hodnoty za, nebo před zobrazenými daty. Tím se dá provést matematická předpověď. Přesnost ma-

tematického předvídání je úměrná velikosti korelační závislosti. K určení parametrů (koeficientů) regresní funkce se používá metod nejmenších čtverců. [27]

Metoda minimálních čtverců

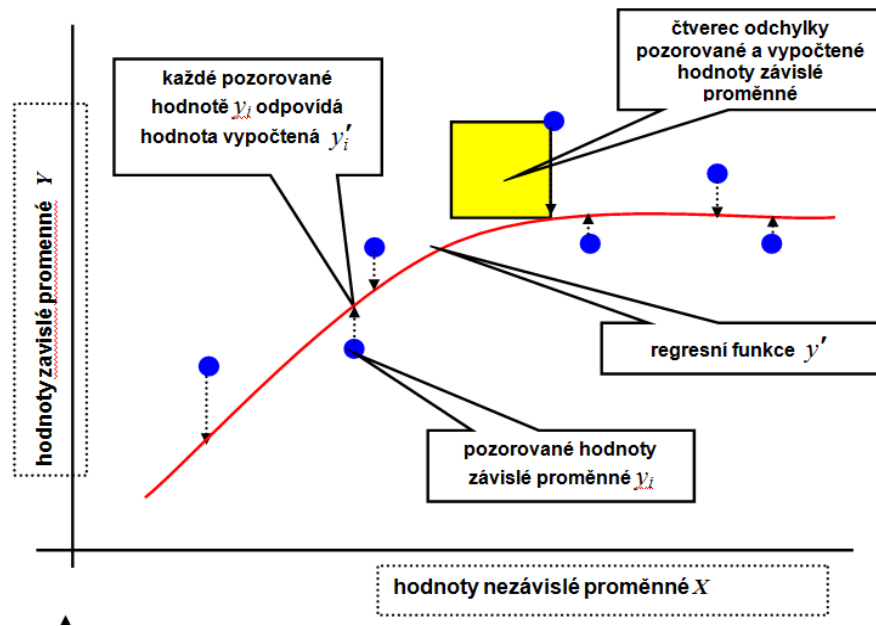
Metoda minimálních čtverců je univerzální metodou stanovení (odhadu) parametrů b_0, b_1, \dots, b_m funkce nahrazující původní naměřené hodnoty y_i závisle proměnné Y . Znamená to, že hledáme funkci, která má součet čtverců odchylek měřených údajů od teoretických co nejmenší. V geometrické představě to znamená, že hledáme takovou křivku, která co nejtěsněji přiléhá k jednotlivým bodům. Funkce této křivky by měla být co nejjednodušší, aby se dala snadno používat k výpočtu dalších potřebných hodnot. Tuto funkci nazýváme regresní funkcí. Původně neznámé koeficienty b_j jsou parametry regresní funkce. Výběr typu funkce (tj. např. kvadratická, lomená apod.) je v kompetenci řešitele úlohy. Metoda minimálních čtverců nalezne pak parametry „nejlepší“ funkce předem zvoleného typu. [27] Metoda minimálních čtverců minimalizuje součet čtverců odchylek pozorovaných (naměřených) hodnot závisle proměnné a zvolené regresní funkce. Spočívá tedy v hledání takové regresní funkce, pro kterou bude platit vztah

$$\sum_{i=1}^n |y_i - y'_i|^2 = \min \quad (4)$$

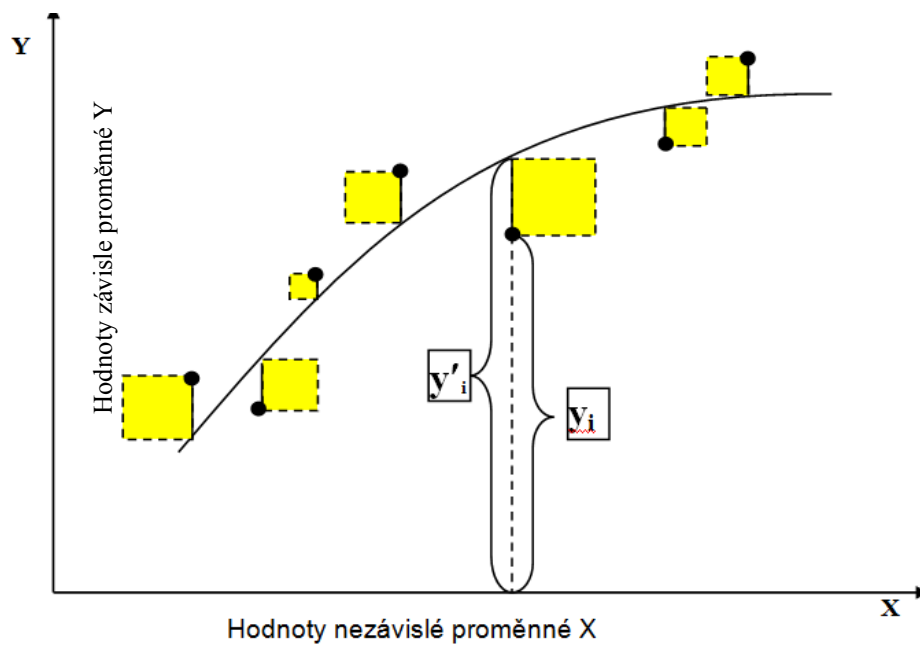
Platí pro funkce lineární i nelineární, jednoduché i vícenásobné. Je-li rozsah souboru roven n , je kritérium minimálních čtverců.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - \sum_{j=0}^m b_j f_j(x_i)]^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Existuje jediná regresní funkce zvoleného typu, která pro konkrétní data vyhovuje podmínce minimálních čtverců. [27]



Obr. 23 Určení parametrů regrese metodou nejmenších čtverců [27]



Obr. 24 Kritérium nejmenších čtverců [27]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce v teoretické části bylo vypracování literární studie seznamující s technologií výroby plášťů pneumatik včetně výrobního procesu vytlačování bočnic, jichž se primárně týká tato práce a uvedení do oblasti statistického zpracování dat. V následující praktické části jsou naznačeny předpoklady, na jejichž základě probíhalo statistické šetření. Dále je vypracována za pomoci vhodného softwaru statistická analýza výběrového souboru z dlouhodobého sběru technologických dat.

Za tímto účelem budou vybrány 4 vytlačovací linky na bočnice ve výrobním závodě v Otrokovicích zajišťující jejich kontinuální výrobu v čtyřsměnném provozu. Bude provedena analýza měřicího systému. Po dobu jedné poloviny roku budou sbírána technologická data z vytlačovacích linek a to jednou za každou směnu. Bude prozkoumáno rozložení hustoty pravděpodobnosti výskytu náhodné proměnné pro jednotlivé sledované parametry. Statisticky a matematicky adekvátními způsoby budou zajištěny předpoklady pro další zpracování datových souborů. Nejprve budou prověřeny zvláštnosti v datech. V dalším postupu budou za pomoci korelačních analýz zjišťovány vazby mezi jednotlivými zpracovávajícími charakteristikami a poté budou identifikovány významné parametry na vytlačovacích linkách.

Cílem bude vysvětlení variability odtahové rychlosti, modelového odhadu závislosti vektoru jejich podmíněných středních hodnot na více nenáhodných nezávisle proměnných – prediktorech či regresorech. Za pomoci hřebenové a krokové regrese budou vyloučeny nevýznamné nezávislé proměnné a bude sestaven konečný model. Navržená výsledná matematická funkce pro vytlačovací linky jakožto významný návrh této diplomové práce bude dále validována z hlediska Gauss-Markovových předpokladů na rezidua konečného modelu.

S ohledem požadavků na výstupní charakteristiky odtahové rychlosti bude předložen návrh na distribuci vytlačovaného portfolia šíří bočnic mezi linkami na vytlačování bočnic a budou zmíněna možná doporučení pro zlepšení procesu vytlačování a dlouhodobého sběru dat v pneumatikářském závodě v Otrokovicích.

Tato diplomová práce je jedním z velkého množství možných náhledů na proces vytlačování a nečiní si nároky jediného správného řešení a přístupu. Její výsledky jsou limitovány výběrem vyhodnocovaných parametrů, které byly určeny zadavatelem diplomové práce - pneumatikářským podnikem Barum Continental a.s.

Jednotlivé cíle diplomové práce:

- Literární rešerše na dané téma
- Statistické vyhodnocení
- Návrhy využití výsledků analýzy dat ve výrobě
- Závěr – shrnutí a další doporučení pro sběr dat

4.1 Statistické řízení procesů v Barum Continental

V Barum Continental jsou činnosti spojené se statistickým řízením a kontrolou procesů souvisejících s výrobou plášťů popisovány v technicko – organizačním postupu (TOP) a jsou k nim stanoveny konkrétní odpovědnosti a pravomoci. Cílem zkoumání způsobilosti procesů na jakost uvedených ve výkresech, specifikacích, v parametrech procesu, zkouškách výrobku atd., je vyhodnocení shody výrobních procesů s danými požadavky. Za vyhodnocení kontrolních karet používaných v pneumatikářenském závodě v Otrokovicích (SPC regulační karty, karty statistické kontroly a kontrolní karty) a další významná rozhodnutí zodpovídají vedoucí pracovníci divize Kvality a Product Industrialization. [28]

Za měření sledovaných parametrů (regulovaných znaků), jejich následný záznam a vyhodnocení naměřených hodnot plus případné nahlášení případné neshody potom mají zodpovědnost i pracovníci mezioperační kontroly (MOK). Záznamy do karet se provádí na základě kontrolního plánu (KP), který obsahuje souhrn údajů nezbytných pro řízení a kontrolu procesů jako jsou: stanovení kontrolovaného výrobku, parametru, kontrolního intervalu, způsobu měření a použitého měřidla, odpovědnosti, způsob záznamu, plán reakce, typ karty a např. rozsah měření. [28]

Vlastní regulace procesů je založena na pravidelných kontrolách prováděných v předem stanovených časových intervalech k tomu určenými pracovníky. Dále odběrem stanoveného počtu vzorků či naměřením stanoveného počtu hodnot, jejich posouzení vzhledem k předepsaným parametrům a záznam výsledku provedené kontroly do kontrolní karty. Dle výsledků vyhodnocení a zjištěných poloh statisticky významných bodů, základních ukazatelů polohy centrální tendence a variability - mediánů a rozpětí - zhodnotí MOK jakost příslušné prověřované dávky. Hodnoty mediánů a rozpětí jsou zaznamenávány do regulačních diagramů, díky kterým je možný systematické a graficky názorné sledování časového průběhu výrobního procesu. Dle polohy mediánu a rozpětí vzhledem k jednotlivým regulačním mezím se dále rozhoduje, zda proces probíhá podle předpisu či nikoliv. Proces je

chápan jako uspokojivý tehdy, je-li hodnota regulovaného parametru mezi akčními mezemi. Zásahy do procesů nebo seřízení příslušných strojních zařízení jsou namísto až tehdy, jsou-li překročeny tyto akční hodnoty anebo v případě, že hodnoty mediánů vykazují trend. [28]

Důležitým ukazatelem způsobilosti procesu jsou rovněž koeficienty způsobilosti a kritické způsobilosti procesu C_p a C_{p_k} . Za vyhovující úroveň způsobilosti lze považovat tyto hodnoty: $C_p \geq 1,33$ a současně $C_{p_k} \geq 1,33$. Je tedy zřejmé, že každý výstup z procesu kolísá. Variabilita procesu je vyjádřena velikostí kolísání – směrodatnou odchylkou. Kolísání výstupu je ovlivňováno kvalitou vstupů a schopností řízení procesních parametrů. [28]

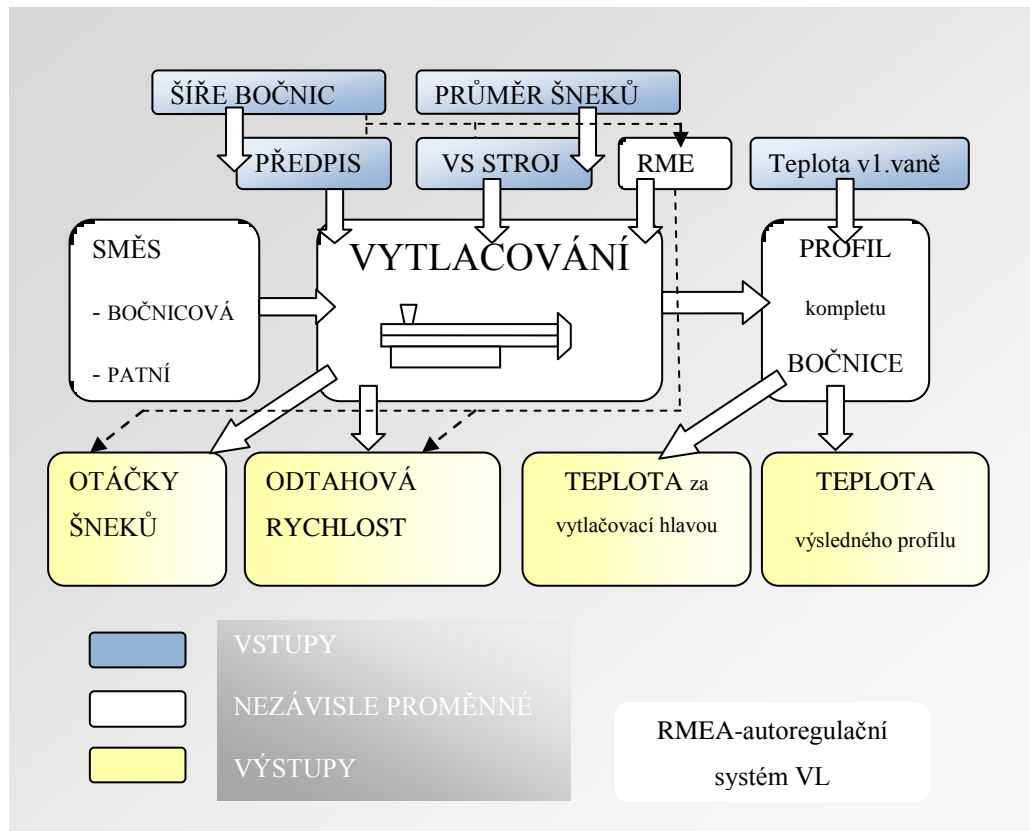
4.2 Popis procesu vytlačování z hlediska sběru dat

Vedoucím diplomové práce Ing. Tomášem Vilímkem byl zadán požadavek na statistické vyhodnocení dlouhodobého sběru technologických dat, která nejsou obvykle ve firmě z časových důvodů a také z důvodů ručních záznamů vyhodnocována.

Z toho důvodu, že vytlačovací linky na bočnice nebyly dosud ve v pneumatikářenském podniku Barum Continental srovnávány na základě hlubších statistických analýz mezi sebou navzájem, naskytá se zde zcela evidentní prostor pro předpoklad doplnit tyto chybějící informace a vyzískat z nich poznatky, které by pomohly dodat návrhy na optimalizování procesu vytlačování v celém podniku na základě komplexních analýz.

Snahou diplomové práce bude pochopení vlivu vzájemných interakcí mezi sledovanými charakteristikami, stanovení jejich středních hodnot a posouzení vlivů způsobujících variabilitu z hlediska dlouhodobých odhadů pomocí korelačních a regresních analýz. Jako nejvhodnější se pro tento úkol naskytla nabídka zpracování výběrového reprezentativního souboru získaného z dlouhodobě měřených technologických dat, která byla dále zaznamenávána s vědomím jejich dalšího zpracování statistickým softwarem pro účely této práce. Prostředkem bude na základě vzájemného srovnání vytlačovacích linek z hlediska vybraných měřených parametrů najít sofistikovanými statistickými metodami regresní model takové funkce, která by pokud možno co nejlépe vystihovala vliv těchto nezávislých vysvětlujících charakteristik na firmou sledovanou odtahovou rychlost, jakožto nejvýznamnější proměnnou určující produktivitu vytlačovacích strojů. Diplomová práce by tímto mohla přispět ke komplexnějšímu pochopení technologie vytlačování i z hlediska dlouhodobého sběru dat. Jelikož technologie vytlačování se významně podílí na celkové produkci

výrobního závodu, byla zvolena právě tato technologie s užším zaměřením na vytlačování bočnic, jako ukázková pro další statistická šetření dlouhodobě sbíraných dat pro jiné technologie. Vytlačování bočnic bylo zvoleno z důvodu nižšího počtu sledovaných parametrů. Níže zmíněný obrázek zobrazuje popis technologie vytlačování z pohledu sbíraných dat mezioperační kontrolou (MOK).



Obr. 25 Schéma procesu vytlačování z hlediska dlouhodobého sběru dat

4.3 Schéma sběrných míst dat z vytlačovacích linek

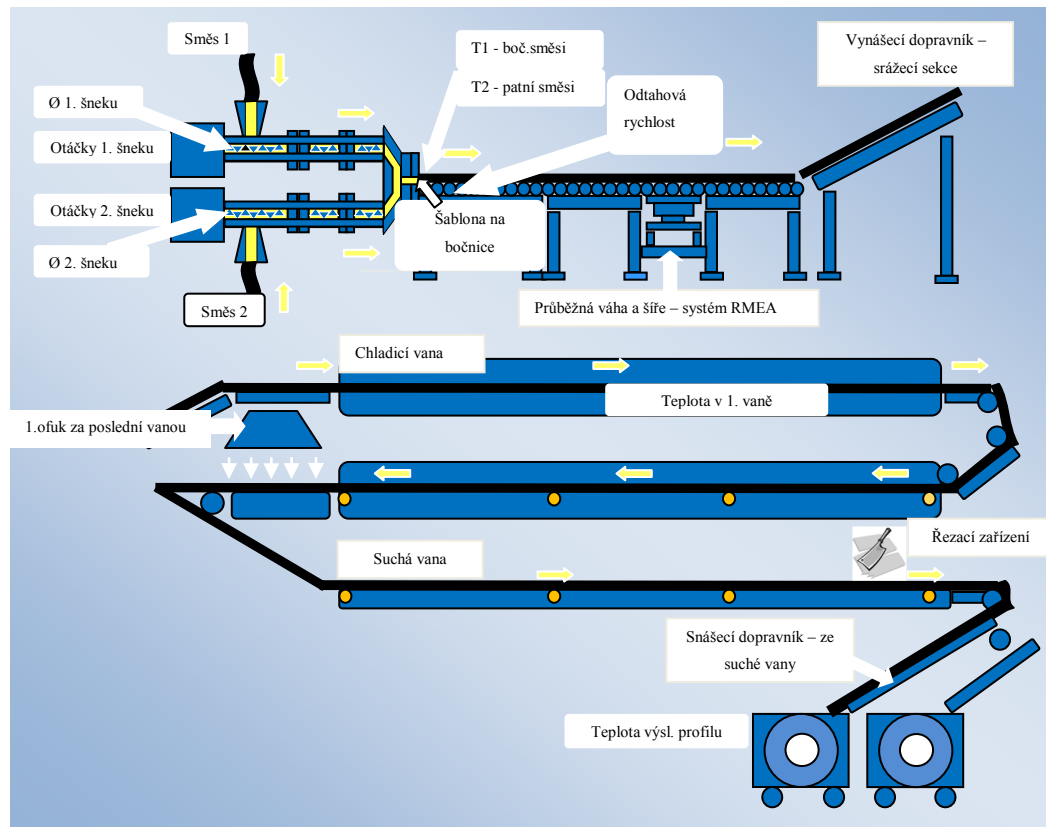
Ve výrobním podniku v Otrokovicích jsou na vytlačování sruženého kompletu bočnice složeného z patní a bočnicové směsi využívány kontinuálně v nepřetržitém třísměnném provozu pracující dvoušnekové vytlačovací stroje, tzv. duplexy s koextruzní vytlačovací hlavou. Vytlačovaný profil se pohybuje v mezích pro VL předepsaných odtahových rychlostí po dopravním pásu přes strojní zařízení zachycující průběžnou váhu a průběžnou šíři bočnice, který je napojený na autoregulační systém RMEA, jež aktuální stav kontinuálně vyhodnocuje a koriguje velikosti otáček šneků, tlaků, teplot a rychlosti odtahu v závislosti

na naměřených datech. Do tohoto systému má možnost částečně operativně vstupovat obsluha VL, čítající jednoho až tři pracovníky.

Nekonečný pás bočnice vystupuje po vynášecím dopravníku tzv. srážecí sekce do patra, kde je umístěna různě dlouhá chladicí vana. Její význam je kromě ochlazení vytlačené bočnice na žádanou výslednou teplotu také zajištění správné konfekční lepivosti a dále uvolnění zbytkových – reziduálních napětí vznikajících v materiálu kaučukové směsi při průchodu vytlačovací hlavou.

Poté co se pás bočnice chladí přímým ponořením do vody v 1. vaně anebo je ochlazován sprchováním svrchu zavěšenými sprchami, přechází do sekce druhé suché vany. Zde – většinou na konci je pás bočnice vysoušen tzv. „ofuky“, zařízením, které zajišťuje, aby byl materiál zbavený nežádoucí povrchové vrstvy vody, která by mohla způsobovat různé vady při dalším zpracování materiálu na konečný produkt – plášť pneumatiky. Na konci suché vany nebo na konci třetího pásu, bývá přítomno u modernějších VL řezací zařízení. To zajišťuje správnou délku bočnicového pásu, který se na konci VL navíjí do kartuší o jisté maximální metráži. V materiálech – předpisu pro bočnice se uvádí kromě počáteční i koncová rychlost odtahu.

V diplomové práci nás primárně zajímá vlastní výrobní kapacita vytlačovacích strojů a důraz na počáteční odtahovou rychlost, která reflektuje kvalitu nekonečného pásu bočnice, jelikož je ovládána spolu s dalšími výše zmíněnými parametry samoregulačním systémem RMEA a má tedy podstatný vliv na průběžnou váhu a šíři bočnic.



Obr. 26 Schéma VL na výrobu bočnice se zobrazením míst měření

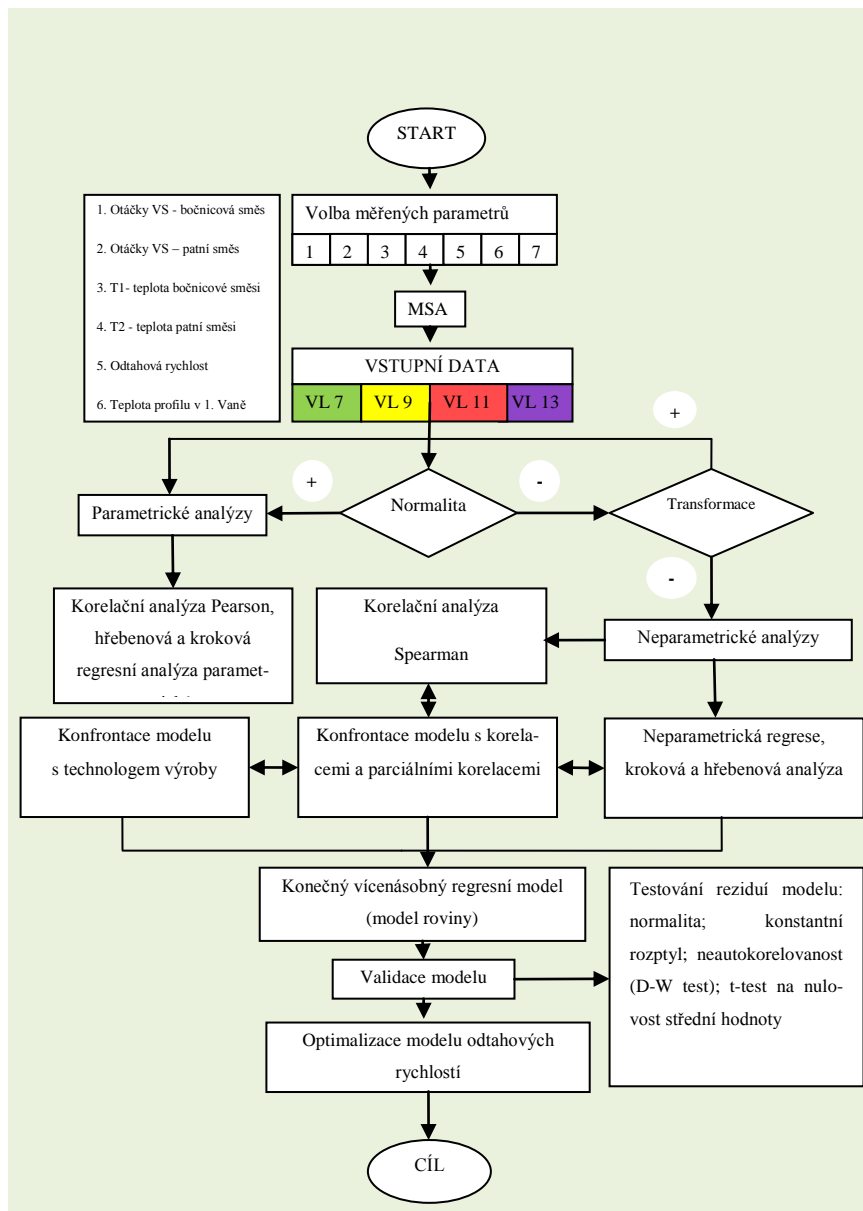
4.4 Volba měřených parametrů pro analýzy

V této diplomové práci jsou v rámci statistických analýz zohledňovány tyto níže uvedené parametry. Některé jsou dány konstrukcí vytlačovacích strojů a linek, zbývající byla opísána z automatického sběru dat a ostatní charakteristiky – teploty za vytlačovací hlavou -byly měřeny mezioperační kontrolou. Kde není v závorce uvedeno jinak, jedná se o přepis z automatického sběru dat. Směsi bočnicová a patní, šíře bočnice a průměry šneků jsou nezávisle proměnné dané výrobním předpisem a konstrukcí extrudérů.

1. Průměr šneku vytlačovacího stroje pro bočnicovou směs
2. Průměr šneku vytlačovacího stroje pro patní směs
3. Otáčky šneku s bočnicovou směsí
4. Otáčky šneku s patní směsí
5. Šíře bočnice
6. Odtahová počáteční rychlost

7. T1- teplota bočnicové směsi za vytlačovací hlavou (ruční měření)
8. T2 - teplota patní směsi za vytlačovací hlavou (ruční měření)
9. Teplota vody v 1. vaně
10. Teplota výsledného profilu (ruční měření)

4.5 Navržený pracovní postup



Obr. 27 Postup práce v diplomové práci

4.6 Použitá měřidla

S výjimkou měření teplot za vytlačovací hlavou a měření teploty výsledného profilu byly všechny ostatní sledované statistické znaky opisovány z aktuálních záznamů automatického sběru v počítačích. Výše zmiňované parametry: směsi bočnicová a patní, šíře bočnic a průměry šneků jsou nezávisle proměnné. Jedná se o stanovené hodnoty dané výrobním předpisem a konstrukcí extrudérů, které v průběhu provádění datových záznamů nebyly změněny. Vedení mezioperační kontroly dostalo za úkol zkontrolovat způsob sběru dat u vytlačovacích linek (operační definice měření a sběru dat) a zajistit provedení MSA dle standardu Continental se stávajícími sběrateli dat. Měřidla pro otáčky šneků, odtahovou rychlost, teplotu v 1. vaně pro automatický sběr dat jsou pravidelně kalibrována.

Tab. 1 Kategorie tříd přesnosti

Třída přesnosti	Kategorie
0,1	Etalony, normály
0,2	Laboratorní
0,5	Laboratorní
1	Laboratorní
1,5	Provozní
2,5	Provozní

Otáčky šneku

Otáčky – automatické měření

Otáčky extruderu pro bočnicovou směs (horní šnek) a otáčky extruderu pro patní směs (dolní šnek) jsou sledovány přepočtem z otáček motoru.

$$n_2 = n_1 / i$$

(6)

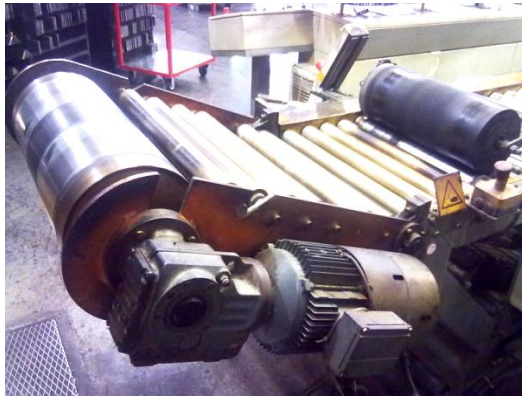
Kde n_2 jsou otáčky šneku, n_1 jsou otáčky motoru, a i je převodový poměr převodovky mezi šnekem a motorem. Otáčky motoru jsou měřeny a regulovány dle inkrementálního snímače otáček TTL, 1024 pulsů na otáčku. Pokud je tedy zadán požadavek na rychlost otáčení šneku n_2 , je tato rychlost přepočítána dle vzorce (6) a motor se točí výslednými požadova-

nými otáčkami n_1 . Přesnost výstupních otáček je ověřena prakticky měřicím přístrojem otáček Voltcraft DT- 20LK a lze ji kdykoli ověřit při otevřené hlavě puštěním šneku v ručním režimu.

Popis:

Místo měření: sledováno přepočtem z otáček motoru.

Tab. 2 Měření odtahové rychlosti

Měřená veličina	
Odtahová rychlost	
<i>Rychlost – automatické měření</i>	
Místo měření	Odtahový válec
Použité měřidlo	OTÁČKOMĚR
Rozsah měření	0 – 70 m/min
Třída přesnosti	1%
Hodnota dílku	0,1
Maximální dovolená chyba měření	0,7 m/min z HMR
Podmínky měření	23°C

Kalibrace:

Použitý etalon: Infračervený kalibrátor 9130 C; 0,5 %


Tab. 3 Nejistota měření pro odtahovou rychlost

Konvenčně pravá hodnota	Hodnota kalibrovaného měřidla	Chyba kalibrovaného měřidla	Nejistota měření U
m/min	m/min	m/min	%
0	0,0	0,0	0,3
32	32,0	0,0	0,3
41	41,0	0,0	0,3

Poznámka: Měření technologické otáčky na strojním zařízení

Uvedené rozšířené nejistoty měření jsou součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95%. V souladu s TPM - měřidlo vyhovuje uvedené třídě přesnosti.

Tab. 4 Měření teplot bezdotykovým teploměrem

Měřená veličina	
Teplota bočnicové směsi A	
Teplota patní směsi B	
Teplota výsledného profilu C	
<i>Teplota – ruční měření</i>	
Místo měření	Za vytlačovací hlavou (A,B) Výsledný profil (C)
Použité měřidlo	bezkontaktní TEPLOMĚR OPTEX Thermo-Hunter PT- 3LF
Rozsah měření	- 70°C až + 200°C
Třída přesnosti	1% (TP + 1 digit)
Hodnota dílku	0,1°C

Maximální dovolená chyba měření	2,3°C
Podmínky měření	21°C


Kalibrace: Použitý etalon: Otáčkoměr Ono Sokki HT 5500; 0,5 %

Tab. 5 Nejistota měření pro ruční měření teploty

Konvenčně pravá hodnota	Hodnota kalibrovaného měřidla	Chyby kalibrovaného měřidla	Nejistota měření U
°C	°C	°C	°C
50	49,4	-0,6	0,6
100	99,5	-0,6	0,6
150	149,6	-0,6	0,6
200	200,0	-0,6	0,6

Uvedené rozšířené nejistoty měření jsou součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření $k=2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95%. V souladu s TPM. Měřidlo vyhovuje uvedené třídě přesnosti.

Tab. 6 Měření teploty vody v 1. chladicí vaně

Měřená veličina	
Teplota vody v 1. vaně	
<i>Teplota – automatické měření</i>	
Místo měření	Chladicí vana

Použité měřidlo	Odporový snímač T 1002, měřicí odpor Pt 100
Rozsah měření	- 50°C až +600 °C
Třída přesnosti	0,5 %
Hodnota dílku	1°C
Maximální dovolená chyba měření	3,25 °C

4.7 MSA

Z důvodu eliminace lidského faktoru, jakožto nejčastější příčiny hrubých chyb měření, bylo vedoucím diplomové práce Ing. Tomášem Vilímkem doporučeno, aby byla provedena pro ručním způsobem měřené parametry, tj. v našem případě teploty, které budou dále statisticky zpracovávány - analýza systému měření MSA. Studie slouží ke zjištění % R&R z opakovatelnosti měřicího systému a reprodukovatelnosti měřicího systému v případech, kdy působí vliv pracovníků. Umožňuje se tím rozhodnout, zda je měřicí systém vhodný, omezeně vhodný, nebo zda vyžaduje zlepšení. Konečná kritéria pro přípustnost konkrétního měřicího systému závisí na prostředí tohoto měřicího systému a jeho účelu.

Analýza systému měření je schopna posoudit [29]:

- Variabilitu systému měření (R&R studií měřidla) – opakovatelnost a reprodukovatelnost
- Polohu výsledků – přesnost (strannost, vychýlení), tj. průměrnou referenční hodnotu (kalibrace), dále stabilitu (z regulačních diagramů) a také linearitu, což je rozdíl mezi hodnotami strannosti v předpokládaném pracovním rozsahu měřidla (pomocí testování hypotéz)

Požadavky metrologie na pro provoz vytlačování bočnic před provedením MSA jsou:

- Uvolnění strojního zařízení ke zkoušce
- Určení 3 pracovníků (operátorů) k provedení zkoušky ve spolupráci s divizí kvality
- Zajištění kalibraci měřidla (měřicího systému) před vlastním měřením

Požadavky metrologie na divizi kvality [29]:

- Určení typu studie
- Určení dne a časového rozvržení zkoušky
- Zajištění formulářů pro provedení zkoušky
- Zajištění průběhu zkoušky v provozu vytlačování bočnic

Opakovatelnost a reprodukovatelnost (R&R)

Opakovatelnost a reprodukovatelnost / R&R je rozhodující pro posouzení měřicího systému. Reprezentuje až 99,73 % variability systému měření způsobené:

- operátorem (souvislost s reprodukovatelností)
- měřicím zařízením (souvislost s opakovatelností)

Počítá se z opakovatelnosti i reprodukovatelnosti. Celkové kolísání se však někdy lépe vysvětlí pomocí jednotlivých hodnot. [29]

Opakovatelnost / kolísání způsobené zařízením je kolísání měření, ke kterému dochází, když jeden pracovník opakuje stejné měření nebo kontroluje znak vícekrát s použitím stejného měřicího systému.

Reprodukovatelnost / kolísání způsobené pracovníky je mírou vlivu pracovníků, jestliže měření opakují nebo znak kontrolují vícekrát různí pracovníci s použitím stejného měřicího systému.

Je-li reprodukovatelnost příliš velká vzhledem k opakovatelnosti, příčinou může být [29]:

- Pracovník možná nemá dostatečné zkušenosti s používáním nebo čtením měřicího systému
- Měřicí systém nebyl správně kalibrován

Je-li opakovatelnost příliš velká vzhledem k reprodukovatelnosti, příčinou může být [29]:

- Měřicí systém je třeba seřadit
- Měřicí systém potřebuje pevnější konstrukci
- Je třeba zvolit lepší umístění kusu nebo místa měření
- Musí se zlepšit místo měření

POPIS PRŮBĚHU MSA

Na uvolněné vytlačovací lince bylo provedeno měření třemi operátory nově zkalibrovaným digitálním teploměrem značky Optex 3LF (viz „Měřidla“), který byl dále využíván pro měření teploty za vytlačovací hlavou pro bočnicovou a pro patní směs a na měření teploty výsledného profilu za účelem vyhodnocení v této diplomové práci ze záznamů prováděných po dobu půl roku, třikrát během každého dne – tj. na každé směně.

Každým jednotlivým operátorem bylo provedeno deset náměrů teploty přibližně ve stejném místě průběžně vytlačovaného kompletu profilu z bočnicové a patní směsi a to jak v místě profilu kde se nachází bočnicová směs, tak i v místě, kde se nachází směs patní. Všechny údaje byly zaznamenávány. Bylo dohodnuto, že pro podnikové potřeby je dostatečnou přesností teploty uvedená na jedno desetinné místo, což splňuje předpoklad, aby kontrola systému měření byla provedena s přesností vyšší nejméně o 1 řád, než je přesnost, v níž bylo prováděno měření pro diplomovou práci, stejně jako je tomu v případě záznamů MOK.

Vyhodnocení bylo provedeno podnikovým metrologem Vladimírem Bírešem ve statistickém softwaru Minitab, který je v Barumu používán.

Jako hrubý odhad se používá následující kritérium pro chování systému [29]:

0 až 10%	%R&R: Měřicí systém je v pořádku.
10 až 30%	%R&R: Měřicí systém lze přijmout pro určité použití a účel, jinak se vyžaduje jeho zlepšení.
přes 30%	%R&R: Měřicí systém vyžaduje zlepšení. Vykonejte vše pro identifikaci problémů a dejte je odstranit.

Výsledky MSA:

Gage R&R for Value

Upper process tolerance limit = 130

Tab. 7 Vyhodnocení R&R studie pro rozptyl

		Study Var	%Study Var	%Tolerance
Source	StdDev (SD)	(6 * SD)	(%SV)	(SV/Toler)
Total Gage R&R	0,278687	1,67212	99,63	9,76
Repeatability	0,264575	1,58745	94,58	9,27
Reproducibility	0,087560	0,52536	31,30	3,07
Operator	0,040521	0,24313	14,49	1,42
Operator*Sample	0,077619	0,46571	27,75	2,72
Part-To-Part	0,024174	0,14504	8,64	0,85
Total Variation	0,279734	1,67840	100,00	9,80

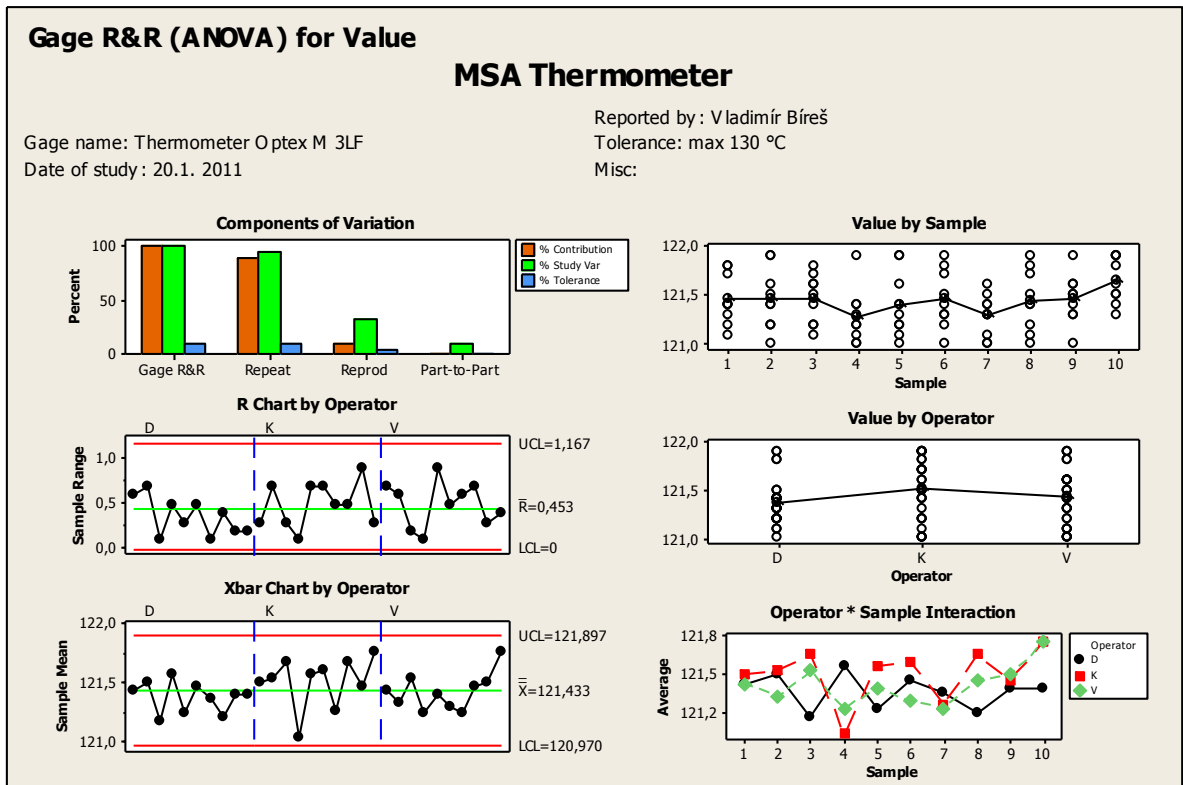
Number of Distinct Categories = 1

Tab. 8 Podmínky pro vyhodnocení R&R studie

%R&R	< 10%	Acceptable
	10% to 30%	Marginal
	>30%	Not acceptable

Total Gage R&R je 9,76 % což odpovídá limitu do 10% a proto je měřidlo pro uvedené měření vyhovující.

Níže je studie reprodukovatelnosti systému měření vyhodnocená statistickým softwarem Minitab.



Obr. 28 Výsledky R&R studie ANOVA pro rozptyl měřidla při MSA

5 STATISTICKÁ ANALÝZA

Požadavkem výrobního podniku bylo jednak porovnat všechny vytlačovací linky z hlediska středních hodnot a rozptylů a dále z informačního potenciálu uloženého v dlouhodobě shromažďovaných dostupných technologických datech zaznamenávaných mezioperační kontrolou identifikovat významné prediktory – nezávislé proměnné parametry významně ovlivňující u vytlačovacích linek výstupní charakteristiku odtahovou rychlost vytlačovací linky. Tato odtahová rychlost je významným ukazatelem jak kvality požadovaného výstupního profilu bočnice, tak i samotné produktivity vytlačovací linky.

5.1 Popis výběrového souboru

Za tímto účelem a po diskusi s vedoucím diplomové práce Ing. Tomášem Vilímkem byl zvolen pro firmu nejvíce aktuální výběrový soubor dat z vytlačovacích linek pro bočnice o velikosti více jak 500 krát provedeném měření na každé vytlačovací lince pro 7 sledovaných parametrů, což čítá celkem 2070 řádků dat. Výběrový soubor dat byl v průběhu celého roku přepisován z ručních záznamů vedených v protokolech mezioperační kontrolou do tabulkového procesoru Microsoft Excel.

Ve výběrovém souboru čítajícím cca 500 hodnot pro každý jednotlivý měřený parametr, byly na všech 4 vytlačovacích linkách zpracovávány kontinuální výrobou pouze dvě směsi. V koextruzním vytlačování bočnic je bočnicová směs vytlačována horním extrudérem a patní směs dolním extrudérem při sdruženém vytlačování do společné vytlačovací hlavy. Komplet bočnice se v průřezu skládá z poměrného zastoupení těchto obou částí – bočnicové a části patní. Teploty ve vytlačovacích hlavách a dále za vytlačovacími hlavami včetně měřených odtahových rychlostí za hlavou, mají spolu s měřením (zde nezpracovávaných dat automatického sběru z RMEA) úsekové váhy a úsekové levé/pravé šíře zajistit standardizovaný profil bočnice pro specifikovaný konkrétní plášť. Odtahová rychlost zohledňující výkonnostní kapacitu vytlačovacích strojů, která do velké míry reguluje v mírách tolerance povolené výkyvy v rovnoměrnosti šíře a tloušťky bočnic po celém objemu je korigována spolu s otáčkami šneků a úpravou teplot a tlaků ve vytlačovacích strojích autoregulačním systémem RMEA.

Následná měření teploty v 1. vaně a výsledného profilu mají zajistit sledování nejen ochlazení kaučukové směsi na požadovanou výstupní teplotu, ale významným důvodem zajištění správné teploty ve vanách a jejich příslušná délka má význam jednak pro zajištění

správné konfekční lepivosti, ale také zajišťuje uvolnění reziduálních napětí uvnitř materiálu způsobených jeho stlačením ve vylačovací hlavě. Tím je zabezpečen výstupní profil v náležité kvalitě polotovaru, který je dále zpracováván pro interního zákazníka na 1. a 2. stupni konfekce.

Tab. 9 Rozsah naměřených hodnot sledovaných parametrů VL

Vylačovací linka			Rozsah naměřených hodnot (nejmenší vs největší)			
Sledovaný statistický znak			VL 7	VL 9	VL 11	VL 13
1.	Průměr VS horního - bočnicová směs	[mm]	200	200	120	150
2.	Průměr VS spodního - patní směs	[mm]	150	200	120	150
3.	Odtahová rychlost	[m/min]	15,9 - 38	30 - 49	5,7 - 29,9	15,3 - 32
4.	Šíře bočnice	[mm]	125 - 200	100 - 160	45 - 235	70 - 175
5.	Otáčky VS s bočnicovou směsí	[ot/min]	6,1 - 25,6	6,9 - 46,6	3,73 - 58,5	1,74 - 31,3
6.	Otáčky VS s patní směsí	[ot/min]	11,8 - 29,2	9,8 - 29,5	12 - 28,5	8,6 - 29,8
7.	Teplota bočnicové směsi za VH	[°C]	94 - 132	106 - 139	93 - 128	83 - 138
8.	Teplota patní směsi za VH	[°C]	100 - 137	110 - 150	101 - 127	95 - 132
9.	Teplota vody v 1. vaně	[°C]	11 - 28	15 - 30	8 - 23	14 - 29
10.	Teplota výsledného profilu	[°C]	15 - 31	15 - 27	16 - 27	17 - 27

5.2 Normalita datových souborů

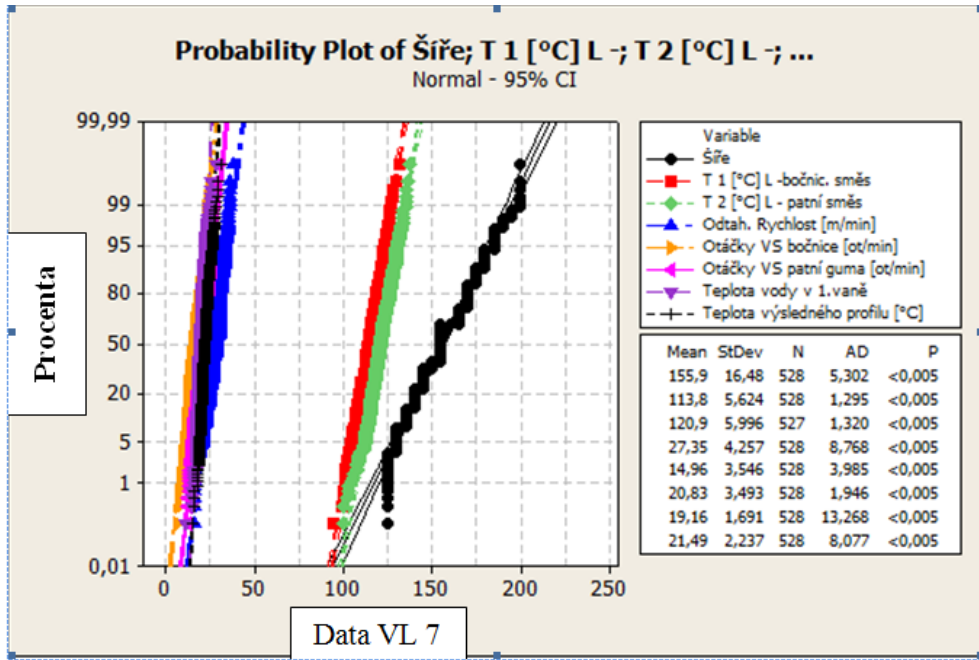
Vstupní parametry byly nejprve prověřeny statistickým softwarem MINITAB na normalitu. Prokázalo se Kolmogorov-Smirnovým testem, Anderson-Darlingovým testem i exploratorní diagnostikou, že data nepochází z normálního rozdělení. Vzhledem k velké variabilitě výroby se jedná o zcela pochopitelně o asymetrická rozdělení, kdy ve všech případech nemají data lineární průběh závislosti. Vytlačovací linky mají různou stavbu, některé byly konstruovány původně pro malosériovou výrobu (krátké loty, časté přehozy), liší se velikostí průměrů šneků, způsobem chlazení vytlačovaného pásu profilu bočnic a délkou chladičích van. Vytlačovací linky v hlavní výrobě pro osobní radiální pláště vytlačují bočnice pro velké série, pro standardní pláště, dále pro SPARE TIRES a VAN TIRES, zatímco bočnice na vysokorychlostní pláště HTC I, II, jsou vytlačovány v malých sériích pro VAN pláště a UHP pláště.

Grafy typu Probability Plots znázorňují, do jaké míry je rozdělení našeho datového souboru blízké normálnímu rozdělení. Čím je datový soubor bližší normálnímu rozdělení, tím více se hodnoty blíží přímce, která mu odpovídá.

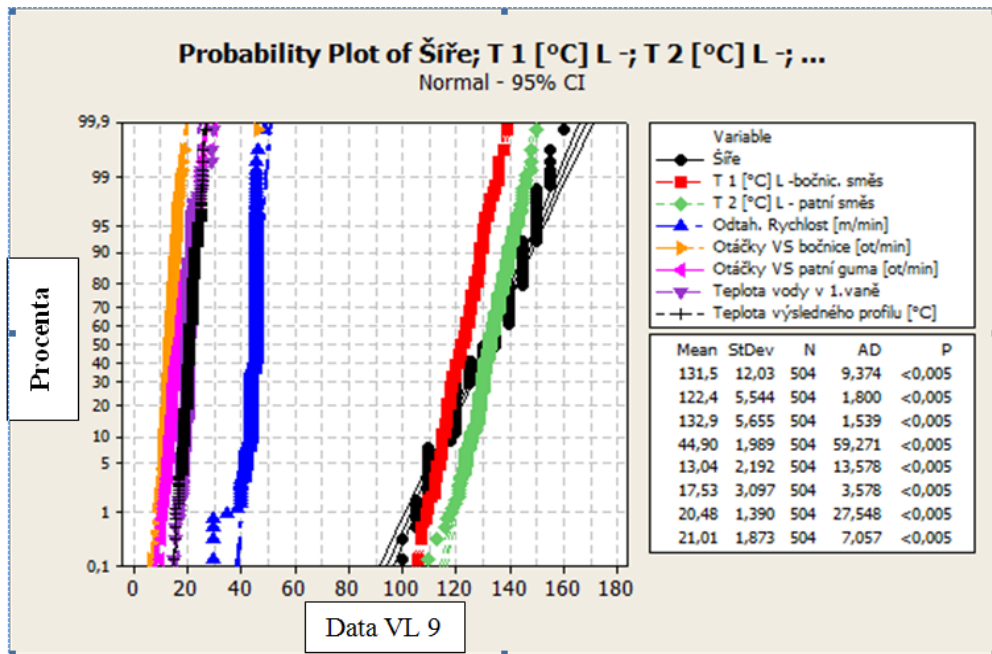
V případě dat z vytlačovacích linek vykazují všechny VL díky značné heterogenitě vytlačovaného portfolia bočnicových šíří nenormální rozdělení sledovaných proměnných veličin. Kolmogorov – Smirnovým testem byly analyzovány parametry všech VL na normalitu.

Tab. 10 Testování normality

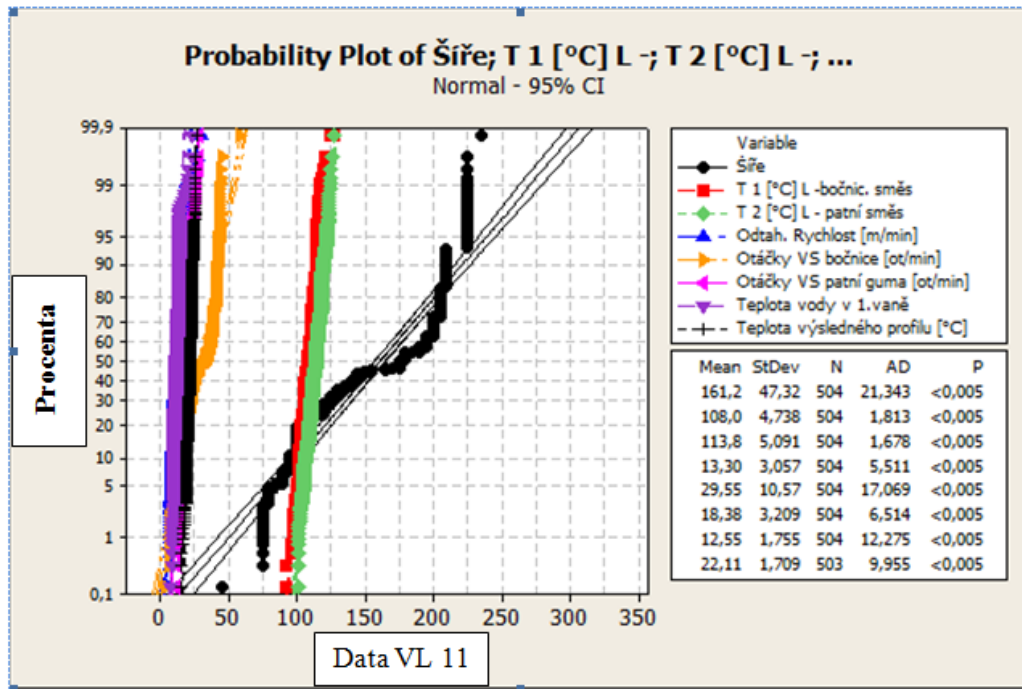
H_0 : Data jsou normálně rozdělena
H_A : Non H_0
$1 - \alpha = 0,95$
$n \gg 100$
Typ testu: Kolmogorov - Smirnovův



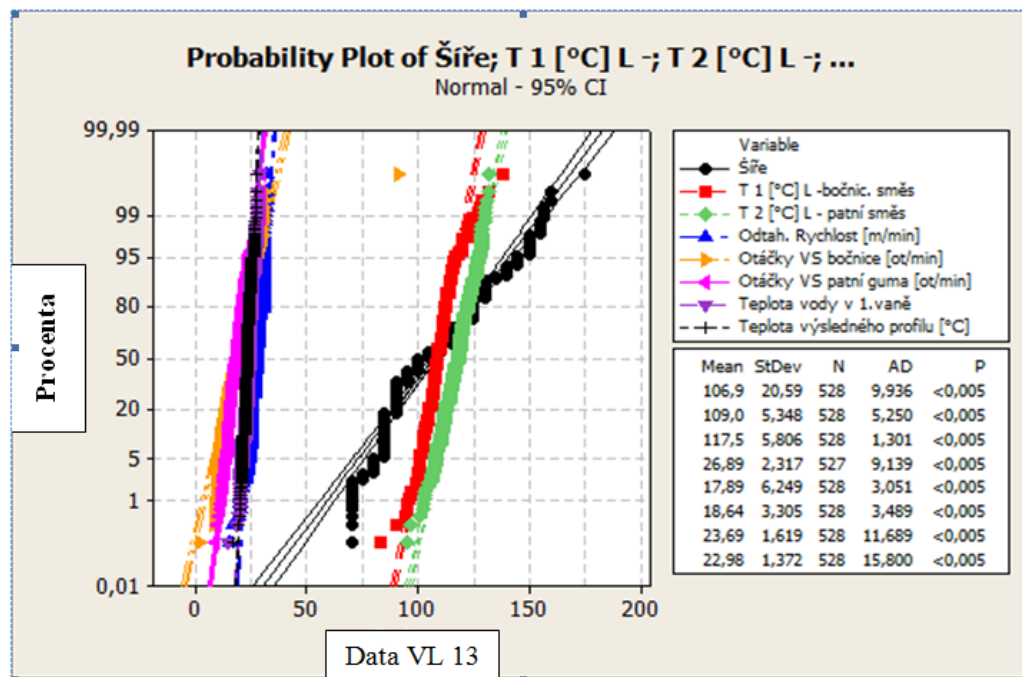
Obr. 29 Testování normality na VL7



Obr. 30 Testování normality na VL 9



Obr. 31 Testování normality na VL 11



Obr. 32 Testování normality na VL 13

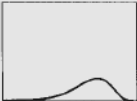
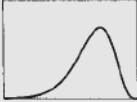
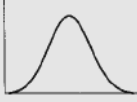
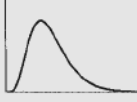
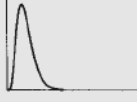
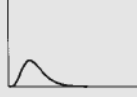
Asymetrie rozdělení není způsobena subjektivními hrubými chybami, ani omyly. Objektivní systematické chyby byly taktéž zamítnuty, jelikož proces vytlačování bočnic splňuje veškeré požadavky na jakost výstupního profilu, je stabilní a regulovatelný. Splňuje dané

hodnoty C_p způsobilosti výrobního procesu, tzn. přípustnou velikost rozptylu a zároveň hodnotu centrování středních hodnot aritmetických průměrů na střed, tj. C_{pk} .

Při statistické analýze se nabízela možnost rozdělit heterogenní datové soubory do menších sobě blízkých skupin, které byly zjištěny vyhodnocením procesu u jednotlivých linek dle časových řad a tak zajistit výsledky blížící se normálnímu rozdělení. Tato varianta byla ale zamítnuta, jelikož výrobní podnik dal jasný podnět na vyhodnocení linek jako samostatných kompaktních celků z hlediska odtahových rychlostí a vliv ostatních parametrů na tuto vysvětlovanou proměnnou nejvhodnějším matematickým modelem, což by bylo později velmi problematické zajistit pokud by všechny modely po individuálním vyhodnocení v různých sekcích pro daný parametr měly být integrovány zpátky v jediný celek konečného modelu.

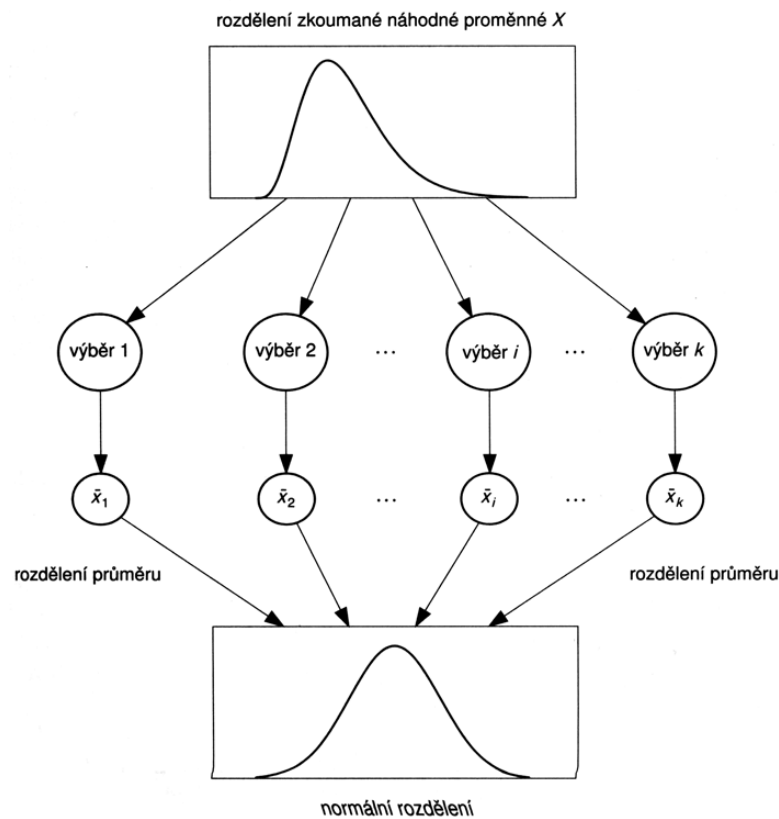
Diplomová práce zde nevyhodnocuje procesní data, která jsou stěžejní pro průběžné vyhodnocování procesu, jako jsou teploty a tlaky uvnitř extrudérů, ani průběžnou šíři bočnic a průběžnou váhu v kontinuální výrobě. Tyto parametry jsou automaticky vyhodnocovány systémem RMEA a dále korigovány v přípustných tolerancích operátory a pracovníky vytlačovacích linek.

S datovými soubory bylo ponejprv pracováno tak, že byla hledána vhodná transformace (nabídka možných transformací pomocí vhodných funkcí je na obr. níže), která stabilizuje rozptyl a přispívá k linearizaci závislosti a tím vrací asymetrii rozložení do podoby klasického Gaussova rozdělení (Box-Coxova). Pokud byla takováto stabilizující transformace dat nalezena, další postup probíhal pomocí robustních technik. Tam, kde se podařilo transformovat data, musela se u konečného modelu provést zpětná retransformace parametrů modelu, abychom se dostali do původního měřítka.

Problém	Transformace	Efekt
	$X = X^3$	snižuje (extrémní) zešíkmení zleva
	$X = X^2$	snižuje zešíkmení zleva
	$X = X^1$	žádný účinek
	$X = X^{1/2} = \sqrt{X}$	snižuje zešíkmení zprava
	$X = \ln X$	snižuje zešíkmení zprava
	$X = -X^{-1/2} = -1/\sqrt{X}$	snižuje (extrémní) zešíkmení zprava

Obr. 33 Příklady funkcí pro transformaci dat [30]

Ve většině případů bylo využito předpokladů vyplývajících z centrálního limitního teorému, který vychází z premisy, že řada v praxi sledovaných náhodných veličin má rozdělení blízké normálnímu, neboť je lze vyjádřit nebo představit si jako součty či průměry velkého počtu nezávislých náhodných veličin. Tedy pokud by výběrový soubor spojitých číselných dat z VL byl rozdělen na menší a menší výběrové soubory a u každého z nich bychom posuzovali hodnoty aritmetického průměru a rozptylu, potom rozdělení hustoty výskytu náhodně proměnné by se přibližovalo normálnímu rozdělení, jelikož jsme se přiblížili velikostí souboru základnímu. Z toho vyplývá, že pro využití centrální limitní věty nezáleží tolik na počtu dat. Po konzultaci se supervizorem bylo dohodnuto, že při vyšším počtu než 100 dat není při předpokladu CLV nezbytně nutné datové soubory reálně navyšovat, aby se velikostí přiblížil ZS a tudíž vykazoval normální rozdělení. V datových souborech bylo přítomno velké množství odlehlých pozorování. Všechny tyto hodnoty jsou z výrobního hlediska v pořádku, jsou hodnotami povolenými výrobním předpisem pro vytlačování a byly jednotlivě konzultovány s vedoucím DP Ing. Tomášem Vilímkem.



Obr. 34 Centrální limitní věta [30]

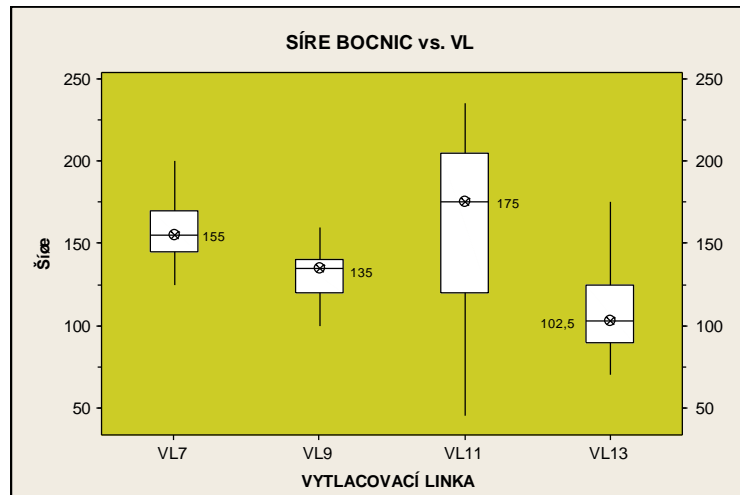
Při vyhodnocování bylo pracováno s mediány, které jsou imunní vůči vychýleným hodnotám a nevyžadují předpoklad normality dat. Z mediánů vycházejí všechny neparametrické testy, u kterých je pouze podmínka spojitosti distribuční funkce, tudíž jsou nezávislé na typu rozdělení.

5.3 Vytlačovací linky dle velikosti středních hodnot parametrů

V níže vyhotovených box-plotech lze vidět značné rozptyly způsobené velkou variabilitou portfolia bočnic, vyráběného na vytlačovacích linkách a dále velké množství odlehlých pozorování, která jsou povolenými hodnotami výrobním předpisem.

VSTUPY:

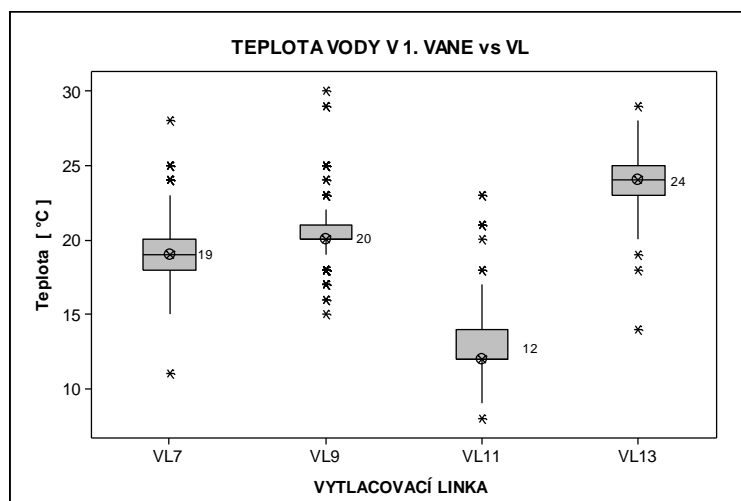
1) ŠÍŘE BOČNICE



Obr. 35 Boxplot šíře bočnic vs VL

Předpoklad, že VL11 a VL13 pro vysokorychlostní pláště na HTC I, II, které vyrábí v malých sériích velký sortiment širší bočnic, budou vykazovat velké rozptyly, se projevil i v box-plotovém grafickém zobrazení.

2) TEPLOTA VODY V 1. VANĚ

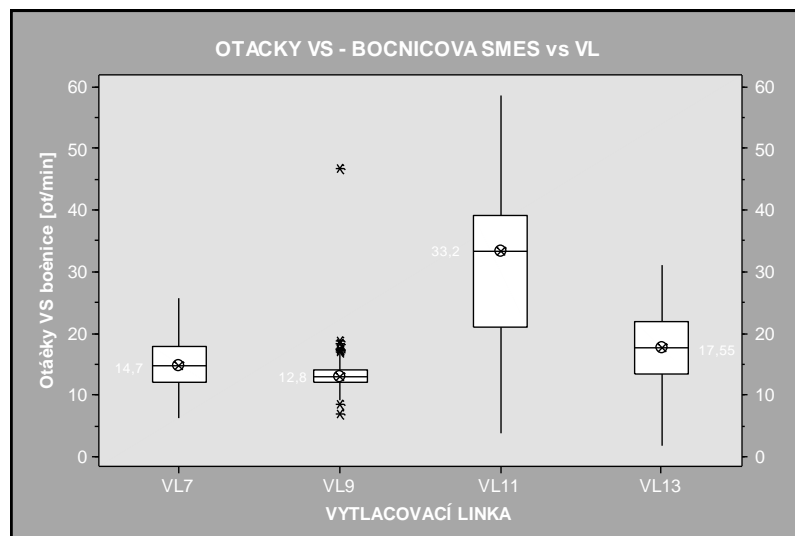


Obr. 36 Boxplot teplota vody v 1. vaně vs VL

VL11 ukazuje významně nižší hodnoty teploty ve vanách, způsobené nižší vytlačovací rychlostí a tedy menším průchodem objemu vytlačovaného materiálu přes vytlačovací hlavu.

VÝSTUPY:

1) OTÁČKY ŠNEKU S BOČNICOVOU SMĚSÍ



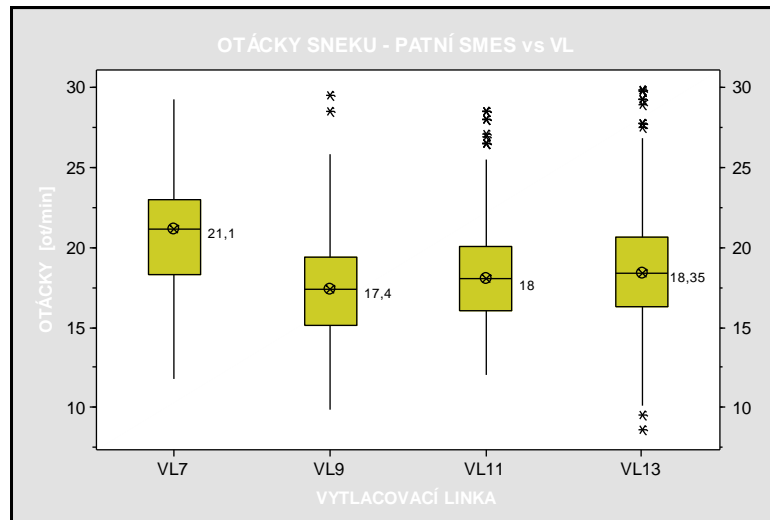
Obr. 37 Boxplot otáčky VS s bočnicovou směsí vs VL

Na grafu je patrná vysoká variabilita otáček a u VL11 a VL13. Na základě testu byla zamítnuta nulová hypotéza o shodě rozptylů na všech linkách, viz Obr. 45.

Tab. 11 Levenův test shody rozptylů

H_0 : Rozptyly jsou shodné
H_A : Non H_0
$1 - \alpha = 0,95$
$n \gg 100$
Typ testu: Levenův

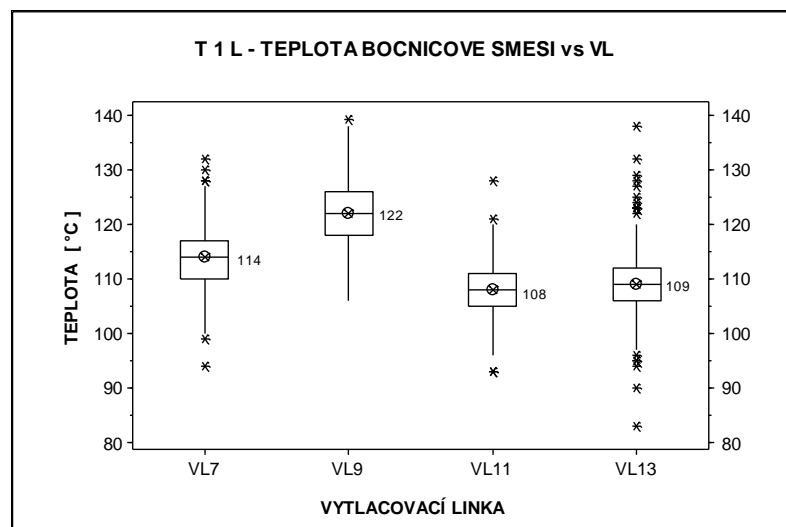
2) OTÁČKY ŠNEKU S PATNÍ SMĚSÍ



Obr. 38 Boxplot Otáčky VS s patní směsí vs VL

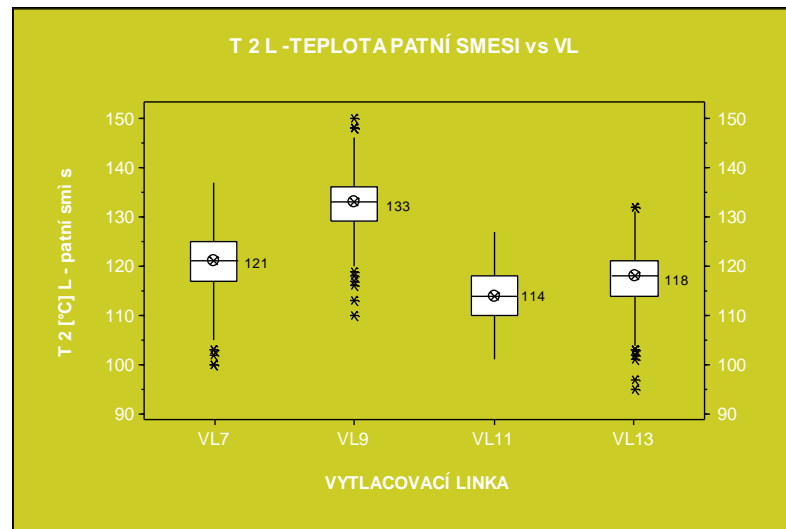
Poté co byl transformací dat eliminován vliv vychýlených hodnot, bylo provedeno testování shody rozptylů VL u otáček extrudéru s patní směsí. Na základě tohoto testu - viz Obr. 44, nebyla zamítnuta nulová hypotéza. Podobnost rozptylů je pravděpodobně způsobena standardizovanou velikostí patní části kompletu profilu bočnice – viz Obr. 49

3) T1 – TEPLOTA BOČNICOVÉ SMĚSI ZA VYTLAČOVACÍ HLAVOU



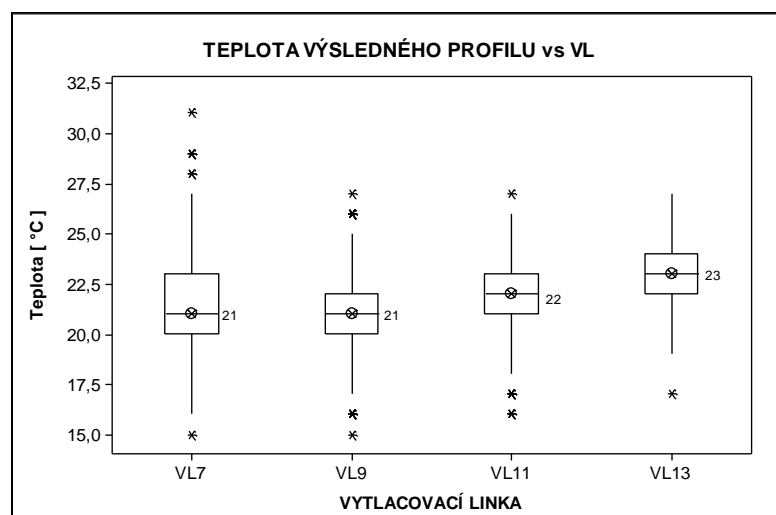
Obr. 39 Boxplot Teplota bočnicové směsi vs VL

4) T2 – TEPLOTA PATNÍ SMĚSI ZA VYTLAČOVACÍ HLAVOU



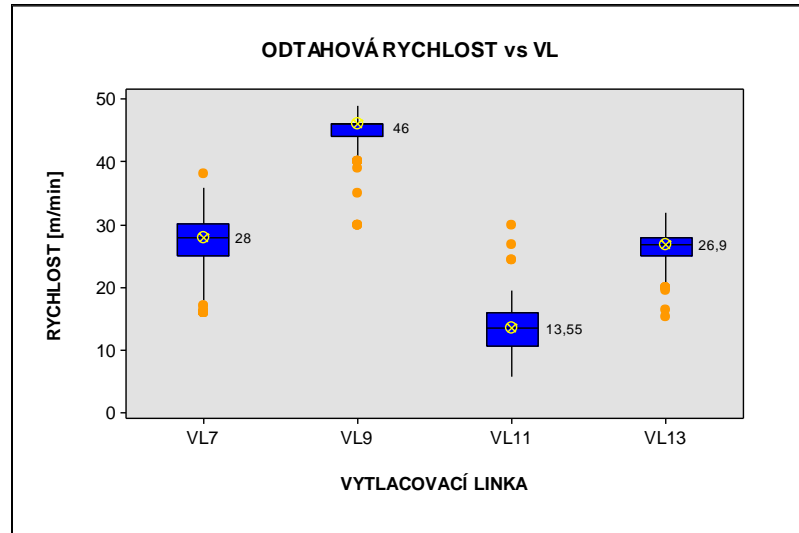
Obr. 40 Boxplot Teplota patní směsi vs VL

5) TEPLOTA VÝSLEDNÉHO PROFILU



Obr. 41 Boxplot Teplota výsledného profilu vs VL

6) ODTAHOVÁ POČÁTEČNÍ RYCHLOST



Obr. 42 Boxplot Odtahová rychlost vs VL

5.4 Testy shody rozptylů u VL

Datové soubory z VL byly prověřovány i z hlediska, zda rozdíly v rozptylech jsou u jednotlivých parametrů na všech vytlačovacích linkách statisticky významné či nikoliv. Níže je uvedeno několik příkladů.

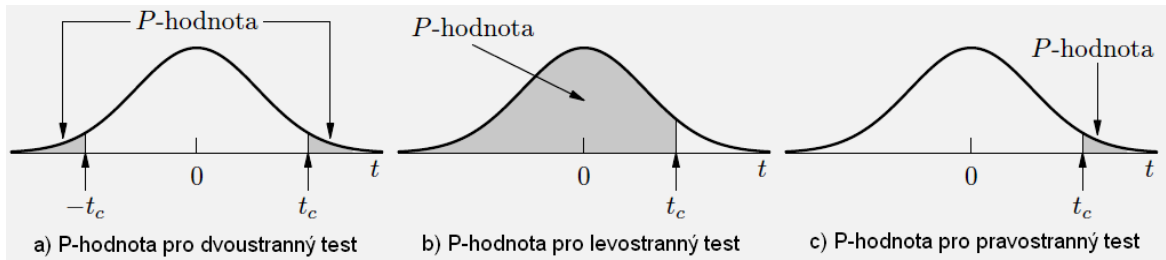
Rozhodování bylo prováděno na základě velikosti tzv. P-hodnoty. P-hodnota může být interpretována jako pozorovaná hladina významnosti testu hypotézy.

Definice P-hodnoty

Nechť T je testová statistika, t_c je pozorovaná hodnota testové statistiky. Pak P -hodnota testu hypotézy se rovná

- $2 \cdot \min(P(T \leq t_c), P(T \geq t_c))$ pro dvoustranný test,
- $P(T \leq t_c)$ pro levostranný test,
- $P(T \geq t_c)$ pro pravostranný test,

kde pravděpodobnosti jsou počítány za podmínky, že nulová hypotéza je správná. [31]



Obr. 43 P-hodnota [31]

Rozhodovací kritérium pro test hypotézy pomocí P-hodnoty

Jestliže P-hodnota je menší nebo rovna zadané hladině významnosti, pak zamítněte nulovou hypotézu, jinak nezamítněte nulovou hypotézu.

Obecná metoda testu hypotézy založená na P-hodnotě je uvedena v následujícím postupu, který se nazývá přístup k testování hypotézy založený na P-hodnotě [31]:

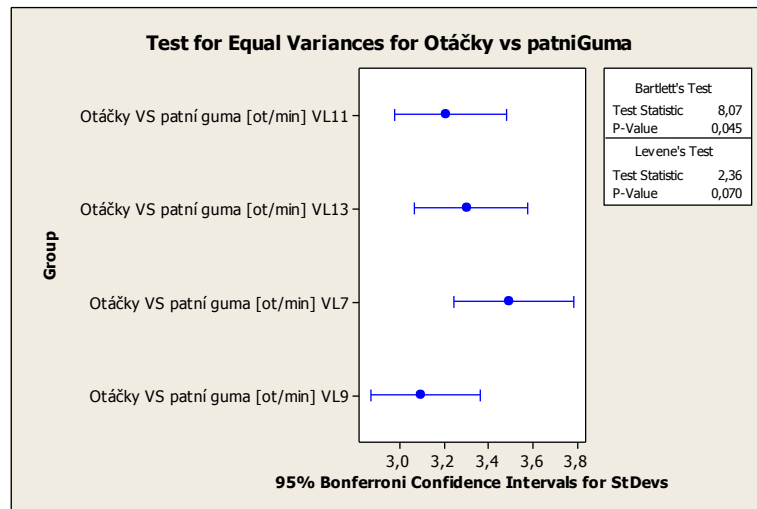
1. Formulujte nulovou a alternativní hypotézu.
2. Zvolte hladinu významnosti α .
3. Vypočítejte hodnotu testové statistiky.
4. Určete P-hodnotu.
5. Jestliže $P \leq \alpha$ zamítněte H_0 , jinak nezamítněte H_0 .
6. Formulujte slovně závěr.

V následujících analýzách budeme vzhledem k nenormálnímu rozdělení dat přednostně uvažovat neparametrické testy.

V našem případě konkrétně pro testování shody rozptylů byly formulovány vstupy následovně:

Tab. 12 Levenův test shody rozptylů

H_0 : Rozptyly jsou shodné
H_A : Non H_0
$1 - \alpha = 0,95$
$n \gg 100$
Typ testu: Levenův test - neparametrický



Obr. 44 Test shody rozptylů pro Otáčky VS patní směs

Tab. 13 Test shody rozptylů Otáčky s patní směsí

Results for: Worksheet 6

Test for Equal Variances: Otáčky vs patníGuma versus Group

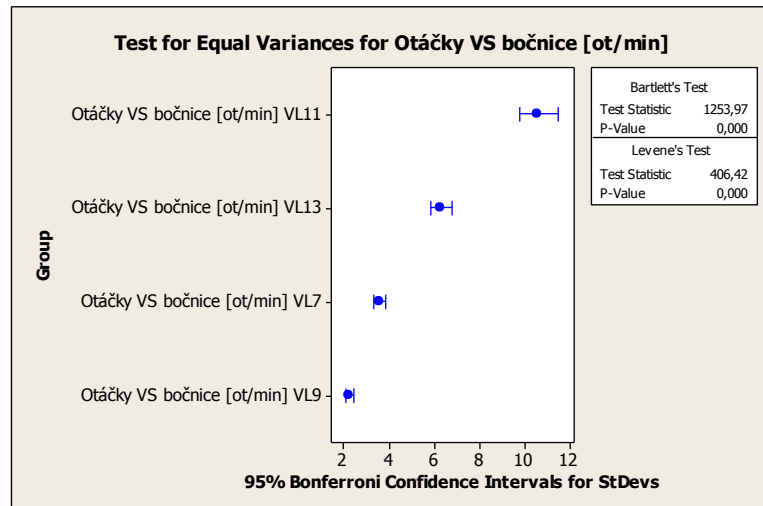
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Group	N	Lower	StDev	Upper
Otáčky VS patní guma [ot/min] VL11	504	2,97387	3,20906	3,48182
Otáčky VS patní guma [ot/min] VL13	528	3,06765	3,30464	3,57857
Otáčky VS patní guma [ot/min] VL7	528	3,24278	3,49330	3,78287
Otáčky VS patní guma [ot/min] VL9	504	2,87048	3,09749	3,36077

Bartlett's Test (Normal Distribution)
 Test statistic = 8,07; p-value = 0,045

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
 Test statistic = 2,36; p-value = 0,070

Parametrický test vyhodnotil P-value hodnotu 0,045. Analyzována data byla testována i Levenovým neparametrický test, jehož výsledky byly upřednostněny. Hodnota P-value Levenova testu je větší než smluvní velikost $\alpha = 0,05$, tj. chyby I. druhu, proto nezamítáme nulovou hypotézu H_0 o shodě rozptylů na VL linkách pro vyhodnocovaný rozptyl parametru „otáčky vytlačovacího stroje pro patní směs“.



Obr. 45 Test shody rozptylů pro Otáčky VS bočnicová směs

```

Bartlett's Test (Normal Distribution)
Test statistic = 1253,97; p-value = 0,000

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 406,42; p-value = 0,000

```

Obr. 46 Výsledky testu o shodě
rozptylů pro Otáčky VS bočnicová
směs

Na základě parametrického i neparametrického Levenova testu byla zamítnuta shoda rozptylů. Jelikož hodnota P-value je nulová, tj. menší než smluvní velikost $\alpha = 0,05$, zvětšuje se nám pravděpodobnost velikosti chyby II. druhu. Proto zamítáme nulovou hypotézu o shodě rozptylů na VL linkách pro charakteristiku „otáčky vytlačovacího stroje na bočnicovou směs“ ve prospěch hypotézy alternativní.

5.5 Korelační analýza

Z důvodu obsáhlosti kompletního statistického vyhodnocení, týkajícího se všech vytlačovacích linek na bočnice v Barum Continental, které přesahuje kapacitní možnosti diplomových prací a také z důvodu zachování vnitropodnikového know-how, budou předloženy vzorové podrobnější analýzy z vytlačovací linky VL11 a u ostatních VL pouze samotné výsledky. Vyhodnocení a identifikace významných parametrů, stupně síly jejich závislosti bez rozlišení na vstupní – výstupní, bude provedeno za účelem návrhu optimalizace vstupních proměnných na základě požadavků na výstupní charakteristiku odtahovou rychlost.

Předpokladem konstrukce vhodného modelu jsou statisticky významné korelace mezi sledovanými charakteristikami.

Correlations: Šíře; Otáčky VS bočnice [ot/min]

Pearsoncorrelationof Šíře and Otáčky VS bočnice [ot/min] = 0,894

P-Value = 0,000

Tab. 14 Korelace Šíře bočnic vs Otáčky VS bočnic. směs

Tests of Assumptions Section

Assumption	Value	Probability	Decision(.050)
Skewness Normality (Group=1)	-2,9490	0,003188	Reject normality
Kurtosis Normality (Group=1)	-53,9769	0,000000	Reject normality
Omnibus Normality (Group=1)	2922,1996	0,000000	Reject normality
Skewness Normality (Group=2)	-3,1001	0,001935	Reject normality
Kurtosis Normality (Group=2)	-13,9414	0,000000	Reject normality
Omnibus Normality (Group=2)	203,9730	0,000000	Reject normality
Variance-Ratio Equal-Variance Test	20,0527	0,000000	Reject equal variances
Modified-Levene Equal-Variance Test	812,2827	0,000000	Reject equal variances

Tab. 15 Spearmanova korelace šíře vs OB

Spearman Rank Order Correlations (Spreadsheet1)			
MD pairwise deleted			
Marked correlations are significant at p <.05000			
Variable	C4	C13	
C4	1,000000	0,826097	
C13	0,826097	1,000000	

Vysoký korelační koeficient 0,894. Ano, existuje silná přímá závislost.

Correlations: Šíře; Otáčky VS patní guma [ot/min]

Pearsoncorrelationof Šíře and Otáčky VS patní guma [ot/min] = -0,409

P-Value = 0,000

Tab. 16 Korelace Šíře bočnic vs Otáčky VS s patní směsí

Tests of Assumptions Section

Assumption	Value	Probability	Decision(.050)
Skewness Normality (Group=1)	-2,9490	0,003188	Reject normality
Kurtosis Normality (Group=1)	-53,9769	0,000000	Reject normality
Omnibus Normality (Group=1)	2922,1996	0,000000	Reject normality
Skewness Normality (Group=2)	5,5311	0,000000	Reject normality
Kurtosis Normality (Group=2)	0,2202	0,825718	Cannot reject normality
Omnibus Normality (Group=2)	30,6413	0,000000	Reject normality
Variance-Ratio Equal-Variance Test	217,4040	0,000000	Reject equal variances
Modified-Levene Equal-Variance Test	1243,0319	0,000000	Reject equal variances

Tab. 17 Spearmanova korelační analýza šíře vs OP

Spearman Rank Order Correlations (Spreadsheet1)			
MD pairwise deleted			
Marked correlations are significant at p <,05000			
Variable	C4	C14	
C4	1,000000	-0,433816	
C14	-0,433816	1,000000	

Tab. 18 Statisticky významné korelace u VL 11

Odtahová rychlost vs šíře bočnic	-0,741
Otáčky VS s bočnicovou směsí vs šíře bočnic	0,894
Otáčky VS s patní směsí vs šíře bočnic	-0,409
Otáčky VS s bočnicovou směsí vs odtahová rychlost	-0,621
Otáčky VS s patní směsí vs odtahová rychlost	0,530

Na základě korelační analýzy a pozdější analýzy redundancí byly vytipovány 3 statisticky významné nezávisle proměnné (barevně závislé):

Tab. 19 Významné proměnné v modelu

Šíře
T 1 L -bočnic. směs[°C]
T 2 L - patní směs[°C]
Odtahová rychlost[m/min]
Otáčky VS bočnice [ot/min]
Otáčky VS patní guma [ot/min]
Teplota vody v 1.vaně[°C]
Teplota výsledného profilu [°C]

Optimalizace teoreticky mohla probíhat z hlediska tří významných parametrů.

Významné parametry:

1. Odtahová rychlost
2. Otáčky VS se směsí patní guma
3. Šíře bočnic

Zadavatel diplomové práce vyjádřil zájem provést následující regresní analýzu, kde budou uvažovány vlivy ostatních parametrů na výstupní parametr odtahovou rychlost.

5.6 Regresní analýza

Poté, co byla jakožto závisle proměnná vybrána odtahová rychlost, byla nejprve regresní analýzou vyhodnocena predikce (odhad) tohoto významného parametru na nejobsáhlejším modelu nezávisle proměnných.

Lineární trend měl vyšší interpolační a extrapolací kritéria. Protože byl v datových souborech zcela evidentní vysoký rozptyl, polynomická aproximace vyšších řádů, tj. kvadratická nebo kubická funkce nebyla použita.

Sekvenční postupy

Výhodné aplikovat pro stanovení závisle a nezávisle proměnných na základě redundancí (větší množství informace nebo vyhodnocovaných charakteristik než je nezbytné).

Jedná se o automatizovaný výběr regresorů (z množiny možných regresorů), kterou určí uživatel, pomocí statistického programu. Sekvenční postupy využívají v zásadě 2 postupy nebo jejich kombinaci [32] :

- **Sestupný výběr**

Je založený na principu výpočtu nejbohatšího modelu, načež se jednotlivé nezávisle proměnné (postupně) vylučují z modelu. V každém kroku se vylučuje ta proměnná, která v daném modelu nejméně přispívá k vysvětlení regresního modelu.

- **Vzestupný výběr**

Jedná se o opak předchozího postupu, kdy se vychází z „prázdné“ množiny regresorů a v každém kroku se vybere za z (nezařazených) nezávisle proměnných, která v daném kroku nejvíce vysvětluje závisle proměnnou.

Kroková regrese (Stepwise regression)

Vzestupný výběr je každém kroku kombinován pokusem o zjednodušení pomocí sestupného výběru. Tímto způsobem jsme z našich nezávisle proměnných postupně vyloučili vliv veškerých teplot, jakožto statisticky nevýznamných parametrů z hlediska konečného regresního modelu. [32]

Stepwise Regression: Odtahová rychlost versus Šíře; T 1 [°C] -bočn; ...
Alpha-to-Enter: 0,15 Alpha-to-Remove: 0,15

Response is Odtah. Rychlost [m/min] on 7 predictors, with N = 503

N(cases with missing observations) = 1 N(all cases) = 504

Tab. 20 Kroková regresní analýza

Step	1	2	3	4
Constant	21,015	15,070	12,670	8,559
Šíře	-0,048	-0,041	-0,040	-0,041
T-Value	-24,71	-20,61	-20,70	-20,86
P-Value	0,000	0,000	0,000	0,000
Otáčky VS patní guma		0,260	0,268	0,267
T-Value		8,94	9,29	9,31
P-Value		0,000	0,000	0,000
Teplota vody v 1.vaně			0,176	0,175
T-Value			3,66	3,65
P-Value			0,000	0,000
T 1 L -bočnic. směs				0,039
T-Value				2,19
P-Value				0,029
S	2,06	1,91	1,89	1,88
R-Sq	54,93	61,14	62,15	62,52
R-Sq(adj)	54,84	60,98	61,93	62,21
Mallows Cp	99,0	18,6	7,1	4,3

Mallowovo Cp ukazuje na model tří regresorů (viz šedá zvýraznění)

Hřebenová regrese (Ridge regression)

Statistická metoda regrese používaná v případě existence multikolinearity, což je situace, kdy mezi statistickými znaky (náhodnými veličinami) existuje silná závislost, která se dá přibližně vyjádřit lineárním vztahem. Multikolinearita může být příčinou zavádějících výsledků regrese. Jedná se o parciální derivační postup, při kterém uvažujeme vždy jednu závisle proměnnou za determinant a ostatní regresory uvažujeme jako konstanty a zkoumáme vliv zvoleného regresoru na model. [32]

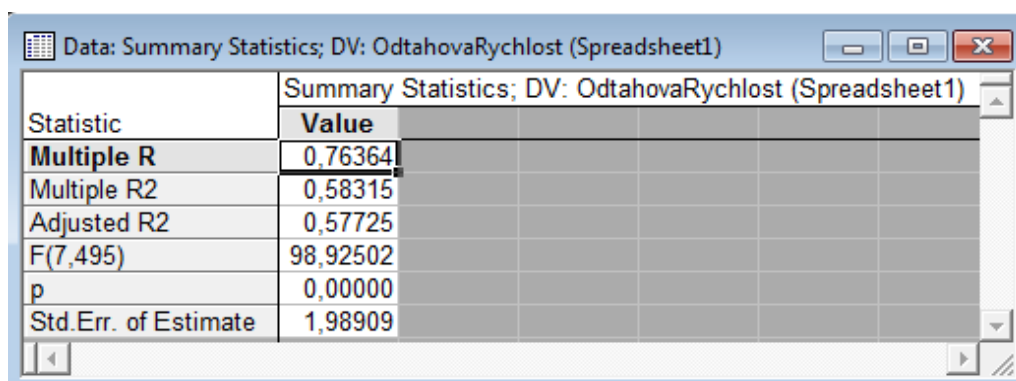
Tab. 21 Hřebenová regrese analýza

Ridge Regression Summary for Dependent Variable: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)						
N=503						
Ridge Regression Summary for Dependent Variable: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)						
I=,10000 R= ,76364204 R2= ,58314917 Adjusted R2= ,57725431						
F(7,495)=98,925 p<0,0000 Std.Error of estimate: 1,9891						
	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(495)	p-level
Intercept			7,753954	2,490380	3,11356	0,001955
šíře	-0,497046	0,050278	-0,032121	0,003249	-9,88602	0,000000
Otacky_vs_Bocnice	-0,093733	0,048195	-0,027125	0,013947	-1,94485	0,052359
Otacky_vs_PatniGuma	0,275322	0,030397	0,262352	0,028965	9,05742	0,000000
Teplota vody v 1. vaně	0,087871	0,028966	0,153060	0,050455	3,03359	0,002544
Teplota výsledného profilu	0,004673	0,029012	0,008365	0,051934	0,16107	0,872102
T1_bocnice	0,041628	0,033047	0,026864	0,021327	1,25966	0,208386
T2_patniSmes	0,024734	0,034147	0,014852	0,020504	0,72436	0,469188

Tab. 22 Klasická regrese

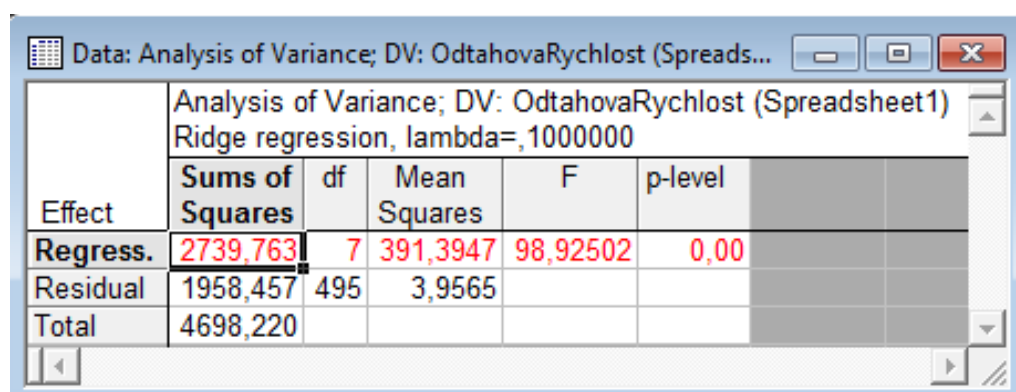
Regression Summary for Dependent Variable: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)						
N=503						
Regression Summary for Dependent Variable: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)						
R= ,79177205 R2= ,62690297 Adjusted R2= ,62162685						
F(7,495)=118,82 p<0,0000 Std.Error of estimate: 1,8818						
	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(495)	p-level
Intercept			9,043712	2,473824	3,6558	0,000284
šíře	-0,722332	0,067000	-0,046680	0,004330	-10,7810	0,000000
Otacky_vs_Bocnice	0,086837	0,063547	0,025129	0,018389	1,3665	0,172403
Otacky_vs_PatniGuma	0,275835	0,031144	0,262842	0,029677	8,8566	0,000000
Teplota vody v 1. vaně	0,096088	0,029124	0,167374	0,050730	3,2993	0,001039
Teplota výsledného profilu	0,020272	0,029114	0,036288	0,052116	0,6963	0,486577
T1_bocnice	0,059125	0,034515	0,038156	0,022274	1,7130	0,087330
T2_patniSmes	-0,012033	0,035997	-0,007226	0,021615	-0,3343	0,738313

Tab. 23 Koeficient determinace



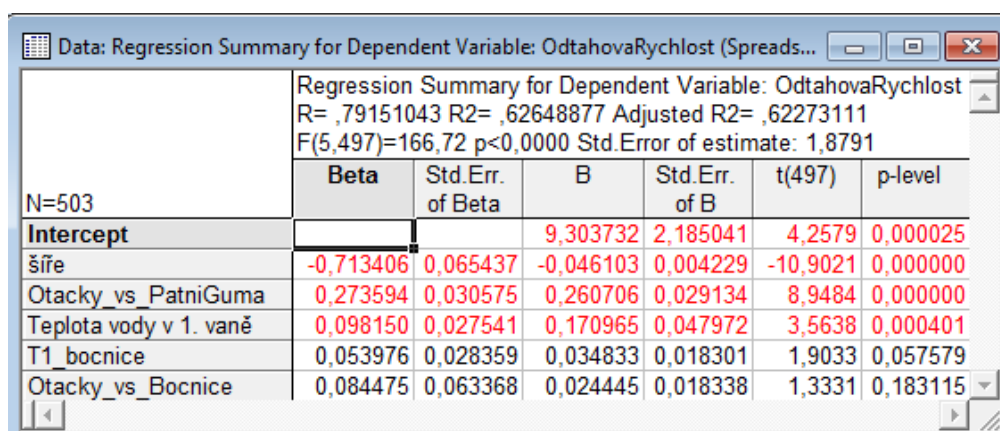
Statistic	Value
Multiple R	0,76364
Multiple R2	0,58315
Adjusted R2	0,57725
F(7,495)	98,92502
p	0,00000
Std.Err. of Estimate	1,98909

Tab. 24 ANOVA pro výsledný model



Effect	Sums of Squares	df	Mean Squares	F	p-level
Regress.	2739,763	7	391,3947	98,92502	0,00
Residual	1958,457	495	3,9565		
Total	4698,220				

Tab. 25 Forward regression – dopředná regresní analýza



	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(497)	p-level
N=503						
Intercept			9,303732	2,185041	4,2579	0,000025
šíře	-0,713406	0,065437	-0,046103	0,004229	-10,9021	0,000000
Otacky_vs_PatniGuma	0,273594	0,030575	0,260706	0,029134	8,9484	0,000000
Teplota vody v 1. vaně	0,098150	0,027541	0,170965	0,047972	3,5638	0,000401
T1_bocnice	0,053976	0,028359	0,034833	0,018301	1,9033	0,057579
Otacky_vs_Bocnice	0,084475	0,063368	0,024445	0,018338	1,3331	0,183115

Tab. 26 Backward regression - zpětná regresní analýza

Data: Regression Summary for Dependent Variable: OdtahovaRychlost (Spread...

Regression Summary for Dependent Variable: OdtahovaRychlos
 R= ,78838240 R2= ,62154680 Adjusted R2= ,61927153
 F(3,499)=273,17 p<0,0000 Std.Error of estimate: 1,8877

	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(499)	p-level
N=503						
Intercept			12,67014	0,974612	13,0002	0,000000
šíře	-0,625170	0,030195	-0,04040	0,001951	-20,7041	0,000000
Otacky_vs_PatniGuma	0,281093	0,030252	0,26785	0,028827	9,2918	0,000000
Teplota vody v 1. vaně	0,101177	0,027615	0,17624	0,048101	3,6639	0,000275

Tab. 27 Parciální korelace

Data: Variables currently in the Equation; DV: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)

Variables currently in the Equation; DV: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)
 Ridge regression, lambda=,1000000

Variable	Beta in	Partial Cor.	Semipart Cor.	Tolerance	R-square	t(495)	p-level
šíře	-0,497046	-0,406062	-0,286886	0,333139	0,666861	-9,88602	0,000000
Otacky_vs_Bocnice	-0,093733	-0,087082	-0,056438	0,362546	0,637454	-1,94485	0,052359
Otacky_vs_PatniGuma	0,275322	0,377053	0,262840	0,911387	0,088613	9,05742	0,000000
Teplota vody v 1. vaně	0,087871	0,135100	0,088033	1,003693	-0,003693	3,03359	0,002544
Teplota vysledneho profilu	0,004673	0,007239	0,004674	1,000489	-0,000489	0,16107	0,872102
T1_bocnice	0,041628	0,056527	0,036554	0,771102	0,228898	1,25966	0,208386
T2_patniSmes	0,024734	0,032540	0,021020	0,722242	0,277758	0,72436	0,469188

Tab. 28 Redundance

Data: Redundancy of Independent Variables; DV: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)

Redundancy of Independent Variables; DV: OdtahovaRychlost (Spreadsheet1)
 R-square column contains R-square of respective variable with all other independent variables

Variable	Toleran.	R-square	Partial Cor.	Semipart Cor.
šíře	0,333139	0,666861	-0,406062	-0,286886
Otacky_vs_Bocnice	0,362546	0,637454	-0,087082	-0,056438
Otacky_vs_PatniGuma	0,911387	0,088613	0,377053	0,262840
Teplota vody v 1. vaně	1,003693	-0,003693	0,135100	0,088033
Teplota vysledneho profilu	1,000489	-0,000489	0,007239	0,004674
T1_bocnice	0,771102	0,228898	0,056527	0,036554
T2_patniSmes	0,722242	0,277758	0,032540	0,021020

Tab. 29 VIF faktor (analýza multikolinearity)

Data: Collinearity statistics for terms in the equation (Spreadsheet1)

Collinearity statistics for terms in the equation (Spreadsheet1)
 Sigma-restricted parameterization

Effect	Tolerance	Variance Infl fac	R square	OdtahovaRychl ost Beta in	OdtahovaRychl ost Partial	OdtahovaRychl ost Semi-par	OdtahovaRychl ost t	OdtahovaRychl ost p
šíře	0,167905	5,955753	0,832095	-0,722332	-0,436072	-0,295984	-10,7810	0,000000
Otacky_vs_Bocnice	0,186651	5,357603	0,813349	0,086837	0,061304	0,037516	1,3665	0,172403
Otacky_vs_PatniGuma	0,777062	1,286898	0,222938	0,275835	0,369850	0,243152	8,8566	0,000000
Teplota vody v 1. vaně	0,888613	1,125349	0,111387	0,096088	0,146687	0,090579	3,2993	0,001039
Teplota vysledneho profilu	0,889226	1,124574	0,110774	0,020272	0,031280	0,019116	0,6963	0,486577
T1_bocnice	0,632719	1,580481	0,367281	0,059125	0,076769	0,047030	1,7130	0,087330
T2_patniSmes	0,581678	1,719165	0,418322	-0,012033	-0,015023	-0,009177	-0,3343	0,738313

Hlavní diagonální prvky v invertované korelační matici neukazují na přítomnost multikolinearity, až na otáčky VS s bočnicovou směsí, což je regresor, který reflektuje regresor šíří bočnic. Jako nejvhodnější pro popis variability v závisle proměnné šíře se jeví model tří regresorů, ve kterém je významná včetně všech parametrů i konstanta na $\alpha = 0,05$

Validace navrženého regresního modelu

Validace je z hlediska statistického zpracování dat testováním spolehlivosti a platnosti získaných výsledků vzhledem ke skutečnosti - tento postup se nazývá validace testu. Kvalitativní anebo nezávislá kvantitativní validace je důležitá zejména tam, kde zkoumaný jev nelze úplně oddělit od dalších vlivů a kde je interpretace výsledků složitá. Validace se používá při kvantitativním i kvalitativním výzkumu a existují také různé postupy jejího vyčíslení. Míra validity znamená odpověď na otázku, zda zkoumáme to, co chceme zkoumat. [33]

V této diplomové práci byl regresní model pro odtahovou rychlost vytlačovacích linek validován z pohledu statistické významnosti jejich parametrů, interpolačních kritérií, G-M předpokladů reziduí a zdánlivé regrese.

Tab. 30 Validace – model s T1 bočnice a bez tohoto parametru

Validace	Model bez T1bočnice	Model s T1 bočnice
Akaikovo kritérium	2073,735	2070,889
Schwarzovo kritérium	2090,626	2092,002
Hannan-Quinnovo kritérium	2080,361	2079,171
Koeficient determinace	0,621688	0,625308
Adjustovaný koeficient determinace	0,619418	0,622305

Dle předchozích kritérií validace výsledného modelu se jeví lepší model s T1 bočnice. Tuto skutečnost potvrzují také závěry krokové a hřebenové regrese.

Tab. 31 Validace – model s Otáčkami VS s bočnicovou směsí a bez tohoto parametru

Validace	Model bez Otáčky bočnice	Model s Otáčky bočnice
Akaikovo kritérium	2073,735	2072,764
Schwarzovo kritérium	2090,626	2093,877
Hannan-Quinnovo kritérium	2080,361	2081,046
Koeficient determinace	0,621688	0,623912
Adjustovaný koeficient determinace	0,619418	0,620897

Dle předchozích kritérií validace výsledného modelu se jeví lepší model bez parametru otáčky šneku s bočnicovou směsí. Tuto skutečnost potvrzují také závěry krokové a hřebennové regrese. I když informační kritéria napovídají o zapojení této proměnné do modelu, nemůžeme tak učinit, protože dle VIF tato proměnná reflektuje (je silně kolineární) s proměnnou „šíře“, kterou do modelu zapojíme.

Tab. 32 Výsledný regresní model

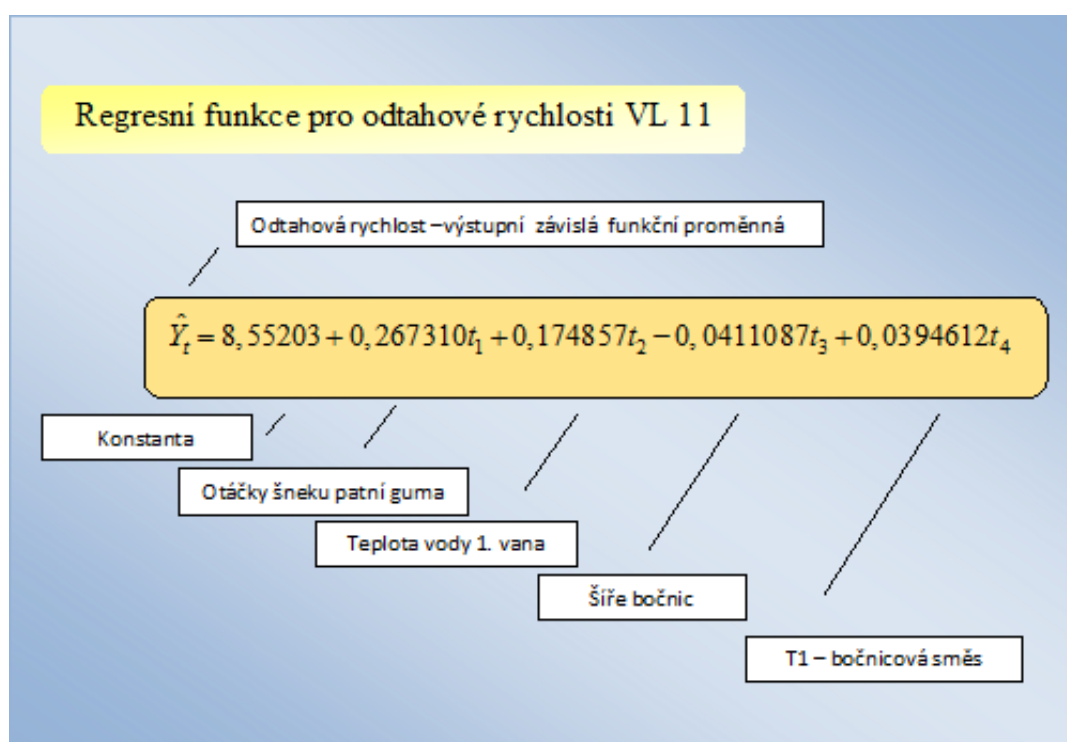
	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota	
const	9,29720	2,18258	4,260	2,45e-05	***
OtkyVSbonice	0,0244626	0,0183194	1,335	0,1824	
OtkyVSpatnguma	0,260597	0,0290990	8,956	6,75e-018	***
Teplotavodyv1_v	0,171043	0,0479232	3,569	0,0004	***
e	-0,0461010	0,00422467	-10,91	5,27e-025	***
T1_C_L_bonic_sm	0,0349014	0,0182792	1,909	0,0568	*

Tab. 33 Validace výsledného modelu

Koeficient determinace	0,626645
Adjustovaný koeficient determinace	0,622897
F(5, 498)	167,1703
P-hodnota(F)	4,3e-104

Logaritmus věrohodnosti	-1029,544
Akaikovo kritérium	2071,088
Schwarzovo kritérium	2096,423
Hannan-Quinnovo kritérium	2081,026
Durbin-Watsonova statistika	2,04109
p-hodnota	0,672117

V obecném odhadu regresní funkce pro vytlačovací linky figurovaly všechny nezávislé proměnné.



Obr. 47 Obecný odhad parametrů pro VL 11

Test vhodnosti modelu:

Tab. 34 Alternativní regresní model

	koeficient	směr. chyba	t-podíl	p-hodnota	
const	8,55203	2,11169	4,050	5,94e-05	***
OtkyVSpatnguma	0,267310	0,0286839	9,319	3,77e-019	***
Teplotavodyvl_v	0,174857	0,0478755	3,652	0,0003	***
e	-0,0411087	0,00196894	-20,88	4,85e-070	***
T1_C_L_bonic_sm	0,0394612	0,0179715	2,196	0,0286	**

Tab. 35 Kritéria vhodnosti modelu

Koeficient determinace	0,625308
Adjustovaný koeficient determinace	0,622305
F(4, 499)	208,1904
P-hodnota(F)	6,7e-105
Logaritmus věrohodnosti	-1030,444
Akaikovo kritérium	2070,889
Schwarzovo kritérium	2092,002
Hannan-Quinnovokritétium	2079,171

Komentář: Tímto modelem se vysvětluje 62% variability.

Whiteův test heteroskedasticity

Nulová hypotéza: není zde heteroskedasticita

Testovací statistika: $LM = 3,859$ s p-hodnotou = $P(\text{Chi-Square}(2) > 3,859) = 0,145221$

Z hlediska zdánlivé regrese je model zcela v pořádku, jelikož $R^2_{adj} \leq DW$.

Rezidua navrženého modelu nevykazují heteroskedasticitu ani autokorelaci, tudíž model je zcela validní.

Model

V diplomové práci se ale nejednalo o pouze obecný odhad parametrů a nebylo smyslem zajistit pouze jistou prognózu chování vytlačovacích linek na základě statistického vyhodnocení zvoleného výběrového souboru. Zadaným úkolem výrobního pneumatikářského

podniku bylo najít návrh co nejmýstižnějšího modelu chování vytlačovacích linek při jistém sortimentu vytlačovaných šíří bočnic. Cílem modelu je vysvětlení variability náhodné veličiny y (závisle proměnné, vysvětlované proměnné, odezvy) – závislosti její střední hodnoty na více nenáhodných nezávisle proměnných – prediktorech či regresorech, zpravidla označovaných písmenem x . [32]

Nejedná se tedy jen o obecnou predikci - odhad – v našem případě závislosti odtahové rychlosti jakožto závisle proměnné na nejobsáhlejším modelu nezávisle proměnných, které nám byly dány k dispozici pro statistickou analýzu. Byl zkoumán navíc také vliv zvolených regresorů s důrazem na modelování vzájemných vztahů mezi významnými závislými proměnnými čili hledání odhadu vektoru podmíněných středních hodnot závisle proměnné. [32]

V takovémto případě byla snaha odhadnout regresní koeficienty a co možná nejvíce zjednodušit model na významné parametry nejvíce ovlivňující odtahové rychlosti vytlačovacích linek. Proto zde byla za tímto účelem provedena sekvenčními postupy kroková a hřebenová regrese, která určila statisticky významné parametry. Výsledný model lze považovat nejvýše za doporučení, které by bylo vhodné prověřit experimentem DOE, nikoliv za důkaz.

6 VÝSLEDKY ANALÝZ

Z hlediska vyseparovaných nezávislých proměnných, tzn. veškerých teplot jakožto statisticky nevýznamných, vykazoval konečný regresní model dvě hlavní varianty v rámci posuzování vytlačovacích linek VL 7, VL 9, VL 11 a VL 13.

- V první skupině – tzn. pro VL 7, VL 11 a VL 13 je kromě parametru „otáček šneku s patní směsí“ jako vlivná nezávisle proměnná veličina – „šíře bočnic“, o níž bylo zmíněno, že je reflektována parametrem „otáčky VS bočnicová směs“.
- V druhé skupině – se osamoceně a ponejprv zcela nepochopitelně ocitla VL 9, u níž vymizel zcela parametr „šíře bočnic“ a byl nahrazen nezávisle proměnnou „otáčky šneku s bočnicovou směsí“.

Tab. 36 Výsledné MODEL Y pro VL

VÝSLEDNÝ REG. MODEL PRO ZÁVISLÝ PARAMETR NA VL - ODTAHOVÁ RYCHLOST	
VL7	$26,5 + 0,426$ otáčky šneku patní směs – $0,052$ šíře bočnic
VL9	$40,8 + 0,092$ otáčky šneku patní směs + $0,191$ otáčky šneku boč. směs
VL11	$15,1 + 0,260$ otáčky šneku patní směs – $0,041$ šíře bočnic
VL13	$25,6 + 0,243$ otáčky šneku patní směs – $0,030$ šíře bočnic

6.1 Kritický bod – absence regresoru šíře v modelu VL 9

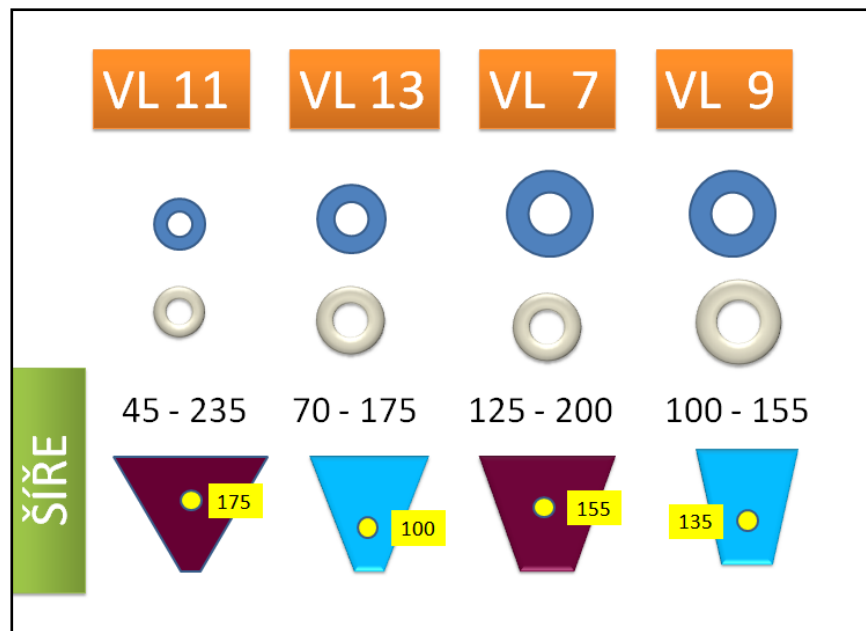
Tab. 37 Regresory ve výsledných MODELECH

REGRESORY výsledného MODELU pro určení závislého parametru odtahová rychlost u VYTLAČOVACÍCH LINEK		
VL9	Otáčky VS s patní směsí	Otáčky VS s bočnicovou směsí
VL7	Otáčky VS s patní směsí	Šíře bočnic
VL11	Otáčky VS s patní směsí	Šíře bočnic
VL7	Otáčky VS s patní směsí	Šíře bočnic

VL 11 vykazovala nejpřesvědčivější výsledky v korelačních a regresních analýzách. V konečném modelu, který byl výsledkem sekvenčních postupů u této vytlačovací linky, figurovaly jako významné regresory – šíře bočnic a otáčky VS se směsí patní gumy, stejně jako u VL 7 a VL 13. VL 9, která se nachází v podniku v hlavní výrobě osobních radiálních plášťů a má nejvyšší odtahové rychlosti překvapila konečným regresním modelem, který vzbuzoval podezření ohledně pravdivosti algoritmu konečných modelů ostatních vytlačovacích linek. Odtahová rychlost, jakožto závislá proměnná, zde nebyla ovlivňována na ostatních třech linkách významným parametrem šíří bočnic. Toto zjištění se zpočátku jevilo jako velmi podstatný problém, kde v analýzách nastala zásadní chyba. Vystala otázka přítomnosti skrytého vlivu zdánlivé regrese od tohoto prediktoru.

6.2 Nalezení odpovědi - brainstorming

Pro vyhodnocení této problematické situace, kdy bylo nemožné akceptovat podezření na fiktivní záznamy dat u této VL byl proveden brainstorming. Metodou otázek a kumulace co největšího množství odpovědí byl vytipován významný možný vstupní parametr konstrukce VS, který by mohl být zodpovědný za eliminaci vlivu zdánlivé regrese od parametru šíře u VL 9 a jeho vliv u VL 7, VL 11 a VL 13 a to průměr šneku vytlačovacího stroje.

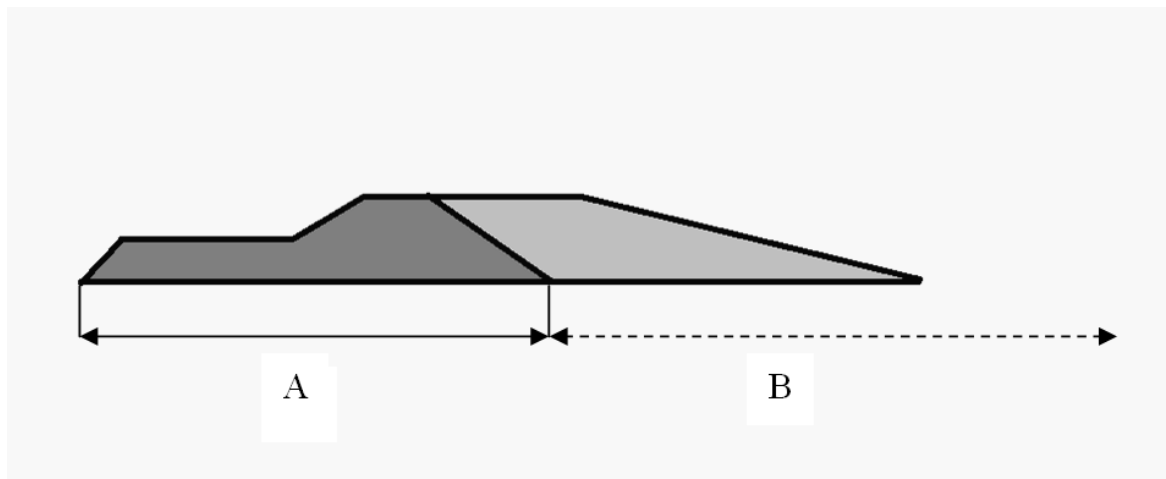


Obr. 48 Závislost průměru šneků a šíří vytlačovaných bočnic

Návrh řešení byl porovnat střední hodnoty všech statisticky zkoumaných charakteristik ve vztahu k průměru šneků a vyhodnotit možný skrytý vliv případné zdánlivé korelace a regrese shlukovou analýzou a PCA analýzou, viz dále.

Výsledky byly následující:

Disproporce průměru šneků v kontrastu s podobností středních odtahových rychlostí mezi VL 7 a VL 13, kdy první má průměr šneku pro bočnicovou směs 200 mm a druhá má průměr pro tutéž směs 150, zatímco obě vytlačovací linky mají průměry šneků pro směs patní stejné – 150 mm poukázala na vhodnost přezkoumání přístupu k dimenzování šneků podle zaběhlého empirického předpokladu v koncernu Continental, potažmo i v Barumu. Větší průměry šneků na bočnicové směsi a menší průměry šneků na vytlačování směsí patních si se dávaly na VS z toho důvodu, že komplet bočnice je chápán jako součet standardu velikosti patní části a pohyblivé velikosti části bočnicové, která tvoří „rozdíly“ v širších bočnic. Čili narůstající hodnota pro parametr šíří bočnic je ovlivňována bočnicovou oblastí v kompletu, a pro tyto narůstající objemy jsou voleny větší průměry šneků na vytlačování (viz obr. níže).



Obr. 49 Komplet bočnice: A – patní část (standardizovaná), B bočnicová část

Zatímco všechny ostatní vytlačovací linky mají kombinaci průměru šneků pro vytlačování patní směsi VL7 – 150 mm, VL11 – 120 mm, VL13 – 150 mm, tak jediná VL9 má průměr šneků pro vytlačování patní směsi 200 mm. Vzhledem k velmi slabé variabilitě šíří a největším průměrům šneků u této nejvýkonnější linky se vliv zdánlivé regrese od tohoto parametru nemohl projevit. Na základě následných úvah vysvětlujících stávající konfrontační situaci, byly vyhotoveny shlukovou analýzou a PCA analýzou diagramy, které odhalily další vztahy a objasnily vliv zdánlivé korelace a zdánlivé regrese od parametru šíře u vytlačovacích linek VL7,11,13 a jejich absenci u VL9.

Tab. 38 Parametry o VL z výroby

	VL7	VL 9	VL 11	VL 13
Ø šneku bočnicová směs [mm]	200	200	120	150
Ø šneku patní směs [mm]	150	200	120	150
Otáčky šneku bočnicová směs [ot/min]	7-25	7-20	7-43,5	5-35
Otáčky šneku patní směs [ot/min]	7-28	7-25	13-36	5-35
Odtahová rychlost [m/min]	20-35	20-46	8-18,5	5-40
Šíře bočnic [mm]	125-200	100-155	45-235	70-175

V analýze šneků bylo dále zjištěno, že není statisticky významný rozdíl mezi linkou VL7 a VL13, co se týká střední hodnoty odtahových rychlostí.

T-testu předcházela F-test. σ^2 – neznámo, nahrazeno s^2 . T-test se konstruoval na základě předpokladu neshody rozptylů pro oba VS (VL7 a VL9).

Tab. 39 T-test pro shodu středních hodnot

H_0 : Shoda středních hodnot
H_A : Non H_0
$1 - \alpha = 0,95$
$n \gg 100$
Typ testu: T-test

Two-Sample T-Test and CI: VL7; VL13

Two-sample T for VL7 vs VL13

	N	Mean	StDev	SE Mean
VL7	528	27,35	4,26	0,19
VL13	527	26,89	2,32	0,10

Difference = mu (VL7) - mu (VL13)

Estimate for difference: 0,460

95% CI for difference: (-0,046; 0,874)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2,18 P-Value = 0,059 DF = 814

Obr. 50 T-test pro střední hodnoty

$P\text{-value} > \alpha (0,05) \Rightarrow$ nezamítáme hypotézu o shodě středních hodnot.

To znamená, že na obou linkách může být ponechána stejná konfigurace šneků (150 bočnice a 150 patní guma). Jelikož se jedná o data s nenormálním rozdělením, byl vyhodnocen ještě neparametrický test Mann - Whitney, který však prokázal rozdílnost v mediánech a tedy existenci vlivu průměru šneků na odtahové rychlosti. Vzhledem k tomu, že výběry pocházejí z asymetrických rozdělení, byly upřednostněny závěry, které poskytl neparamet-

rický test. Toto zjištění poukázalo na vliv průměru VS pro patní směs, je rozhodující, zatímco vliv průměru VS pro bočnice má až sekundární význam.

6.3 Vyhodnocení analýzy šneků

Sedm zkoumaných parametrů, tj. odtahová rychlost, teplota směsi bočnice, teplota patní směsi, otáčky šneku s bočnicovou směsí, otáčky šneku s patní směsí, teplota vody v 1. vaně a šíře bočnic bylo porovnáváno z hlediska velikosti středních hodnot – mediánů. Níže jsou uvedeny vyhodnocené výsledky

Tab. 40 Vyhodnocení analýzy šneků

VYTLAČOVACÍ LINKA		VL7		VL9		VL11		VL13	
1.	Ø šneku - bočnicová směs / patní směs	200	150	200	200	120	120	150	150
0.	SLEDOVANÉ PARAMETRY VYTLAČOVACÍCH LINEK	POŘADÍ STŘEDNÍCH HODNOT / velikost mediánu							
2.	Otáčky VS s bočnicovou směsí	3		4		1		2	
		14,7		12,8		33,2		17,6	
3.	Otáčky VS s patní směsí		1		4		3		2
			21,1		17,4		18,0		18,4
4.	Šíře bočnice	2		3		1		4	
		155		135		175		100	
5.	Teplota bočnicové směsi za VH	2		1		4		3	
		114		122		108		109	
6.	Teplota patní směsi za VH	2		1		4		3	
		121		133		114		118	

7.	Odtahová rychlost	2	1	4	3
		28,0	46,0	13,6	26,9
8.	Teplota vody v 1. vaně	3	2	4	1
		19	20	12	24
9.	Teplota výsledného profilu	3	3	2	1
		21	21	22	23

6.4 Zdánlivá korelace

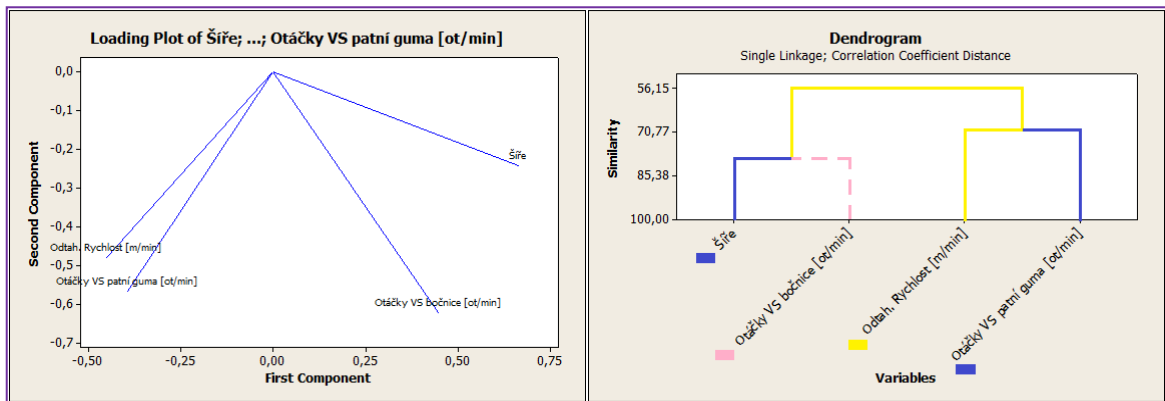
Shluková analýza zde byla použita pro přehledné znázornění korelací mezi statisticky významnými regresory. PCA analýza zde byla použita z toho důvodu, aby bylo zřetelné, které komponenty (shluk regresorů nebo samotný regresor) se nejvíce podílí na celkové variabilitě z hlediska standardizovaných korelací.

Jako nejlepší pro statistické zpracování se jevila linka VL11, kde adjustovaný index determinace vyšel 61 %. Na ostatních linkách se adjustované determinační koeficienty pohybovaly kolem hodnoty 20 %.

Zdánlivá korelace - zachycuje situaci statistického vyhodnocování, kdy charakteristika závislosti indikuje závislost statistických znaků (náhodných veličin), které jsou ve skutečnosti prakticky nezávislé. Zdánlivá korelace nastává v případě, že souvislost hodnot statistických znaků (náhodných veličin) je dána jejich závislostí na nějakém třetím znaku (veličině). [34]

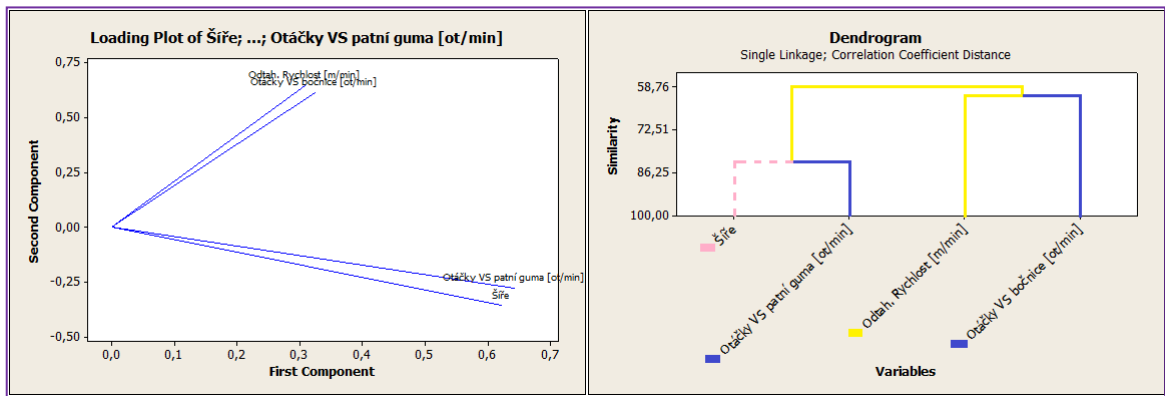
Vysoký adjustovaný index determinace u linky VL11 byl způsoben vysokým rozptylem parametru šíře. Vysoká variabilita parametru šíře dala prostor pro zdánlivou korelaci mezi tímto parametrem a ostatními parametry v modelu. To byl také zřejmě důvod, proč byl vysoký adjustovaný index determinace.

Linka VL7



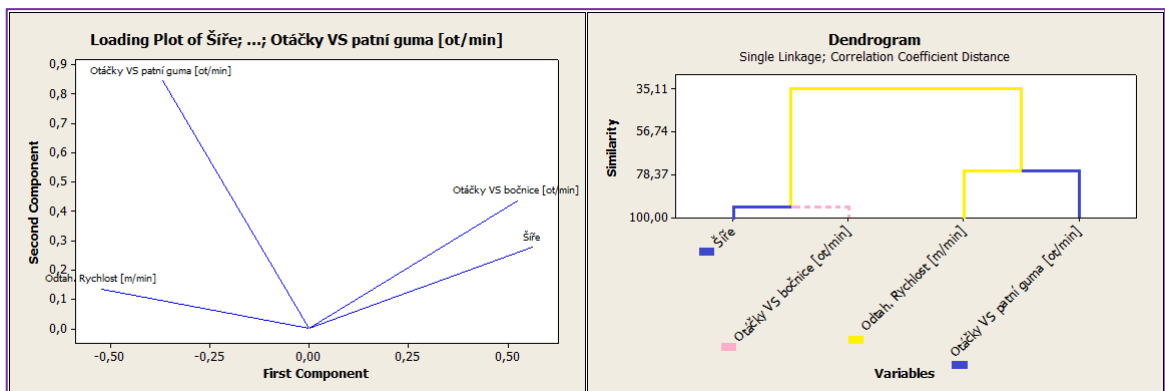
Obr. 51 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL

Linka VL9



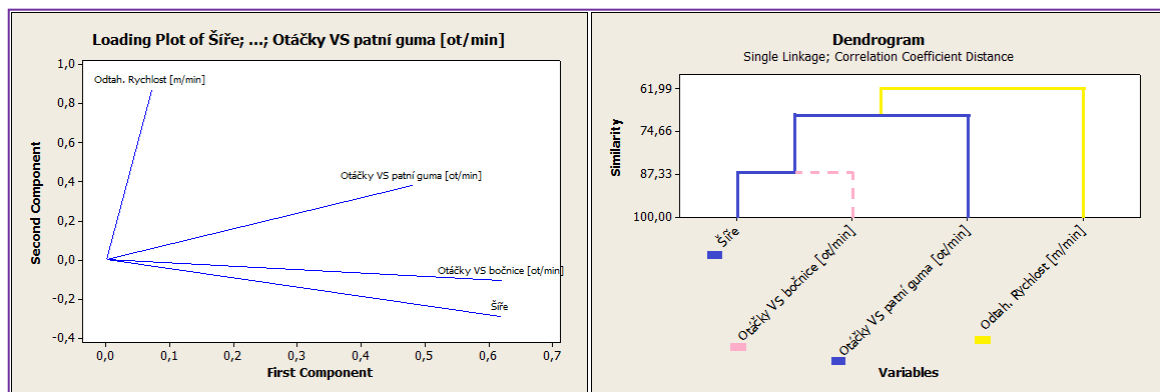
Obr. 52 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL 9

Linka VL11



Obr. 53 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL 11

Linka VL13



Obr. 54 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL 13

6.5 Návrh VL 9 na referenční linku

U linky VL9 byl eliminován vliv zdánlivé korelace díky nízké variabilitě parametru Šíře, tudíž jako jediná linka není zrcněna touto „statisticky významnou proměnnou“. Tato linka,

která má největší šneky (200 patní guma a 200 bočnice) tedy může být použita jako referenčníve statistickém modelování. U této linky byly identifikovány na základě krokové a hřebenové regrese, doplněné o závěry z analýzy redundancí a parciálních korelací, statisticky významné parametry otáčky patní guma a otáčky bočnice.

Na grafu PCA pro vytlačovací linku VL9 je viditelné, že vliv zdánlivé regrese ze strany parametru šíře je eliminován díky vyššímu průměru šneků, než jsou na linkách VL7, VL11 a VL13. Podle navrženého regresního modelu pro VL9 by bylo možné maximalizovat odtahové rychlosti tím, že by byly navýšeny otáčky VS pro bočnicovou a pro patní směs na maximální povolenou hodnotu. Na této lince by bylo možné vytlačovat jakýkoliv rozměr šíří a nikterak by tato skutečnost nezkreslovala matematicko-statistické modelování zdánlivou korelací.

7 APLIKACE ANALÝZ

7.1 Návrh týkající se sběru dat:

- 1) Statisticky významné a nevýznamné parametry
 - 2) Závislé a nezávislé parametry
 - 3) Parametry důležité z procesního hlediska
-
1. Výsledkem analýzy byly vytipovány 4 statisticky významné parametry z původních sledovaných. Jedná se o odtahovou rychlost, šíři bočnic, otáčky šneku s patní směsí a otáčky šneku s bočnicovou směsí. Doporučení se dále týká návrhu zrušení ručních záznamů do statistických protokolů hodnot následujících statisticky nevýznamných parametrů - teplot: teplota směsi bočnicové za vytlačovací hlavou, teplota směsi patní za vytlačovací hlavou, teplota v 1. vaně a teplota výsledného profilu.
 2. Pro zvolený závislý parametr odtahovou rychlost a optimalizaci z hlediska vlivu ostatních parametrů na tuto vysvětlovanou charakteristiku byly vypracovány dva typy konečných regresních modelů. První model je platný pro VL7, VL11 a VL13. Zde jsou nezávislými parametry otáčky šneku s patní směsí a šířka bočnice. U druhého modelu platného pro VL9 jsou závislým parametrem namísto šíře bočnic otáčky šneku s bočnicovou směsí.
 3. Z procesního hlediska je významným zjištěním zásadní vliv parametrů otáček šneku se směsí bočnicovou a se směsí patní na sledovaný parametr odtahovou rychlost a na její maximalizaci v algoritmu zohledňujícím v stávajícím stavu průměru šneků i šíři vytlačovaných bočnic. Návrh se týká doporučení automatického sběru dat.

7.2 Návrh optimalizace

1. Při zachování stávajícího stavu vytlačovacích strojů a vytlačovacích linek.

Rekonstrukce či stavba nových vytlačovacích linek je záležitostí finančně a časově velmi náročná a vyžaduje vhodné naplánování. Proto byla touto diplomovou prací navrhována varianta zohledňující vliv aktuálních průměrů šneků u VL7, VL9 a VL11 na odtahovou rychlost maximalizací parametru otáčky šneku s bočnicovou směsí a minimalizací parametru šíře bočnic. Jelikož průměry šneků těchto tří VL jsou menší nežli u referenční linky VL9 – 200 x 200 mm, projevuje se vliv parametru šíře bočnic v jejich konečném regresním modelu. Navržená optimalizace vychází z předpokladu dosažení vyšších odtahových rychlostí a produktivity VL tehdy, budou-li vytipovány vhodné intervaly velikostí šíří bočnic pro každou VL samostatně, zohledněním její přirozené výkonnosti dané průměrem a otáčkami šneků. Optimalizace sortimentu šíří bočnic v závislosti na výkonnosti vytlačovací linky je dále předložena v bodu 7.2.

2. Při inovaci či nákupu vytlačovacích strojů a vytlačovacích linek.

Jedním z přínosů této diplomové práce je zásadní zjištění ohledně vztahu mezi parametry odtahová rychlost, šíře bočnic a průměr šneků vytlačovacích strojů. Pokud by firma Barum Continental provedla rekonstrukce všech vytlačovacích strojů na optimální kombinaci průměru šneků pro vytlačování směsi bočnicové a směsi patní na 200 x 200 mm a současně s tím adekvátně rekonstruovala i ostatní přídatná strojní zařízení vytlačovacích linek, bylo by možné dosáhnout maximalizace algoritmu pro požadovaný výstupní parametr odtahová rychlost pouze na základě dvou závislých proměnných – a to na otáčkách VS s patní směsí a na otáčkách VS s bočnicovou směsí. V takovém případě by vysvětlovaná proměnná odtahová rychlost nebyla závislá na parametru šíře bočnic.

7.3 Optimalizace procesu z hlediska distribuce šíří bočnic

Pro optimalizaci byl použit Simplexův algoritmus.

Simplexový algoritmus je algoritmus pro řešení úloh lineárního programování. Algoritmus efektivně prohledává základní řešení úloh lineárního programování, kterých je konečný počet a hledá mezi nimi řešení takové, které je optimální a poskytuje nejlepší hodnotu. [35] Ta je zajištěna hledáním extrému zadané kriteriální (účelové) funkce – konečného regresního modelu při vstupních omezujících podmínkách daných v našem případě povolenými hodnotami otáček extrudérů se směsí bočnicovou a patní a také šíře bočnic. To vše se zachováním stávajících aktuálních průměrů šneků vytlačovacích strojů. Níže je uvedena optimální distribuce šíří bočnic z podnikového portfolia v prověřovaném časovém období na základě nastavených parametrů na jednotlivých vytlačovacích linkách.

Pozn.: Pro optimalizaci byly použity níže uvedené omezující podmínky. Výsledné návrhy jsou platné za předpokladu maximalizace parametru otáčky šneku s patní směsí u linek VL11, VL7 a VL13 a u VL9 nastavení parametrů otáčky VS s patní směsí a otáčky VS s bočnicovou směsí taktéž na maximální povolenou hranici.

Tab. 41 Navržená optimalizace odtahových rychlostí a šíří bočnic

Vytlačovací linka		VL 7	VL 9	VL 11	VL 13
Limitní povolené hodnoty a hodnoty dané konstrukcí vytlačovacích linek	Šnek bočnic. sm.	Ø200	Ø200	Ø120	Ø150
	Šnek patní sm.	Ø150	Ø200	Ø120	Ø150
	Šíře	125- 200	100- 155	45- 235	70- 175
	Odtah. rychlost	25-35	20-46	8-18,5	5-40
	Otáčky bočn. sm.	7-25	7-20	13-36	5-35
	Otáčky patní sm.	7-28	7-25	7-43,5	5-35
Regresory z konečného modelu pro VL	Šíře bočnic	0,0518	0	0,041	0,030
	Otáčky bočn. sm.	0	0,191	0	0
	Otáčky patní sm.	0,426	0,092	0,260	0,243

Parametry	Šíře bočnic	45	0	125	45
	Otáčky bočn. sm.	0	20	0	0
	Otáčky patní sm.	28,0	25,0	43,5	35,0
Výsledné vyhodnocení	Návrh odtahové rychlosti	36,097	47,407	21,323	32,742
	Návrh na sortiment šíří	45-150	150-235	45-125	125-200

7.4 Vyhodnocení návrhů intervalů vytlačovaných šíří bočnic na VL

Tab. 42 Návrh intervalů šíří bočnic pro VL

VYTLAČOVACÍ LINKA	NÁVRH INTERVALU ŠÍŘÍ BOČNIC [mm]	Předpokládaná ODTAHOVÁ RYCHLOST [m/min]
VL 7	45 - 150	36,097
VL 9	150 - 235	47,407
VL 11	45 - 125	21,323
VL 13	125 - 200	32,742

VL7

VL 7 s konfigurací průměrů šneků 200 x 150 mm je optimálně předurčena zřejmě pro střední šíře. Doporučuje se zde vytlačovat střední šířky sortimentu.

Návrh intervalu: 45-150 mm

VL9

Na lince VL9 lze vytlačovat největší šířky z celé vyhodnocované výběrové databáze určené pro všechny vytlačovací linky. Důvodem je nejsilnější konfigurace průměrů šneků 200 x 200 mm. Protože parametr šíře bočnic koreluje s otáčkami patní gummy, dá se usuzovat, že když budeme maximalizovat tyto otáčky patní gummy společně s otáčkami bočnic, dostaneme maximální odtahové rychlosti. U této linky jsou největší průměry šneků, proto lze na této VL vyrábět nejširší sortiment šíří.

Návrh intervalu: 150-235 mm

VL11

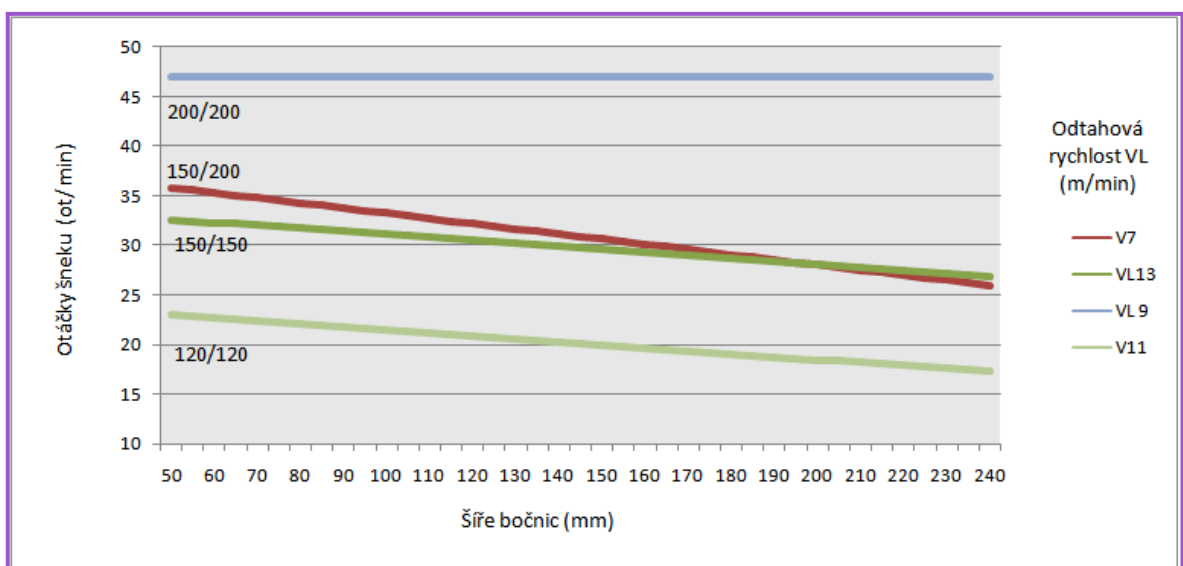
Na tuto VL je vhodné vyrábět nejmenší šíře bočnic z celé vyhodnocované databáze určené pro všechny vytlačovací linky. Důvodem je nejslabší konfigurace průměrů šneků 120 x 120mm. Pro dosažení maximálních odtahových rychlostí je nutné maximalizovat parametr otáčky šneku s patní směsí a současně minimalizovat parametr šíře bočnice.

Návrh intervalu: 45-125 mm.

VL13

Linka VL13 s konfigurací průměrů šneků 150 x 150 mm je určena pro větší šířky.

Návrh intervalu: 125-200 mm



Obr. 55 Maximalizace odtahových rychlostí na základě konečných modelů

Grafické vyjádření konečného matematického modelu odtahových rychlostí jednotlivých linek nám ukazuje vliv konstrukce – zde průměru šneků vytlačovacích strojů na odtahovou rychlost a potvrzuje závěry analýz. Se vzrůstajícím průměrem šneku vytlačovacího stroje se nám zvyšuje odtahová rychlost.

1. Porovnání VL7 a VL13 ukazuje primární význam průměru šneku pro patní směs. Při stejném průměru šneků pro patní směs (150 mm) původní rozdíl v odtahových rychlostech u menších šířek postupně klesá. A kolem hodnoty šířky 200 mm nabývá nepatrné výhody symetrický duplex oproti disproporcím 150 x 200, kde je nutno pro dosažení požadované odtahové rychlosti maximalizovat otáčky menšího šneku pro patní směs. Porovnání VL9 a VL11 ukazuje evidentní, skoro dvojnásobný nárůst velikosti odtahové rychlosti při zvýšení průměru šneků o 80 mm.
2. Srovnání VL9 a VL7 + VL13 naznačuje, že VL7 a VL13 mají téměř srovnatelné odtahové rychlosti, což ukázal dvouvýběrový t-test pro shodu středních hodnot. Přesto vykazují významně nižší hodnoty oproti hodnotám odtahové rychlosti VL9. Z grafu je zřejmé, že rozdíl není způsobený větším průměrem šneku pro bočnicovou směs, který má VL7 stejný jako VL9 (200 mm) ale vlivem o 50 mm menšího průměru šneku u VL7 a VL13 pro vytlačování směsi patní.
3. Větší šířky bočnic by se měly přednostně vyrábět na VL9, zatímco na VL11 by se měly vyrábět šířky menší.
4. Závěr z hlediska odtahových rychlostí se jeví jako optimální konfigurace průměrů šneků pro vytlačovací stroje VL 200 x 200 mm, při níž je eliminována závislost na parametru šířky.

Na základě grafu lze modelovat kapacitní profily vytlačovacích linek na základě změny sortimentu šířky bočnic.

7.5 Diskuse výsledků

Diplomová práce se zabývá statistickou analýzou dlouhodobého sběru dat a následně navrhuje aplikaci výsledků ve výrobě. Nejprve byly vybrány sledované statistické znaky a byly shromážděny výběrové soubory dat za dobu jednoho a půl roku. Výběrové soubory byly statisticky analyzovány softwarem MINITAB, STATISTICA, GRETL a NCSS. V první části byla data prověřena Kolmogorov-Smirnovým testem na normalitu. Normální průběh rozložení nezávislé proměnné nebyl shledán u žádného parametru. Diskusí o každé konkrétní vychýlené hodnotě byl zamítnut vliv systematických chyb, také chyb vzniklých selháním lidského faktoru, chyb vzniklých v důsledku chybného měření anebo vzniklých poruchou přístrojů. Z tohoto důvodu nebyly vychýlené hodnoty vyloučeny, ale bylo využito robustních metod pracujících s mediány namísto aritmetických průměrů. Pomocí transformací bylo dosaženo přiblížení se normálnímu rozdělení. V ostatních případech byla data z důvodu robustnosti dále vyhodnocována neparametrickými testy a metodami. V dalším kroku byly zjišťovány závislosti mezi jednotlivými sledovanými charakteristikami a jejich velikost korelačními a regresními analýzami. Jako statisticky významné proměnné byly identifikovány tyto charakteristiky: odtahová rychlost, otáčky šneku s patní směsí, otáčky šneku s bočnicovou směsí a šíře bočnic. Naproti tomu jako statisticky nevýznamné parametry byly vyhodnoceny tyto charakteristiky: teplota bočnicové směsi za vytlačovací hlavou, teplota patní směsi za vytlačovací hlavou, teplota vody v 1. vaně, teplota výsledného profilu. Statistická významnost byla stanovena na základě krokové a hřebenové regresní analýzy. Pro zvolený parametr odtahovou rychlost byl navržen pomocí těchto metod konečný model zohledňující tyto regresory: šíři bočnic, otáčky šneku s patní směsí a otáčky šneku s bočnicovou směsí. Tento model byl validován z hlediska Gauss-Markových předpokladů. Zatímco u tří vytlačovacích linek VL7, VL11 a VL13 figurovaly v konečném algoritmu regresory otáčky šneku s patní směsí a šíře bočnic, u VL9 byl regresor šíře nahrazen parametrem otáčkami šneku s bočnicovou směsí.

Vlivem absence regresoru šíře v algoritmu pro VL9 nastala situace konfrontování správnosti všech konečných modelů. Problém osvětlila analýza zohledňující vliv průměru šneků na sledované statistické znaky a také shluková analýza a PCA analýza. Díky zásadnímu významu velikosti průměru šneků, který se projevil na VL9 s konfigurací 200 x 200mm, byl potlačen vliv zdánlivé korelace a zdánlivé regrese od parametru šíře bočnic a jako nejvýznamnější regresory byly vyhodnoceny otáčky šneků.

Závěry z analýz šneků (viz Tab. 40) byly následující:

1. Čím větší průměry šneků, tím více se eliminuje vliv šíří.
2. S vyšším průměrem šneků lze dosáhnout vyšší odtahové rychlosti.
3. Menší průměry šneků musíme kompenzovat vyššími otáčkami extruderu pro bočnicovou směs.
4. Pokud máme menší průměry šneků pro patní směs než pro směs bočnicovou, musíme kompenzovat většími otáčkami extruderů s patní směsí.
5. U linek VL7, VL11 a VL13 otáčky extruderů s bočnicovou směsí silně korelují s parametrem šíře bočnic. U VL9 korelují však otáčky extruderu s patní směsí s šíří bočnic. To si vysvětlujeme větším průměrem šneku pro patní směs. Viz další analýzy a zjištění uvedená dále.
6. S narůstající odtahovou rychlostí vzrůstají teploty.
7. V analýze šneků bylo zjištěno, že není statisticky významný rozdíl mezi linkou VL7 a VL13, co se týká střední hodnoty odtahových rychlostí. Vyplývá z toho, že podstatným faktorem jsou průměry šneků pro směs patní gummy.
8. Porovnání linek VL7 a VL9 nám ukazuje při stejné konfiguraci šneků pro bočnice rozdíl odtahových rychlostí, jehož nejpravděpodobnějším vysvětlením je opět rozdíl v průměru šneků pro vytlačování směsi patní gummy.

Z výsledků analýzy simplexovým algoritmem provedené v samotném závěru diplomové práce vychází návrh na novou a první tohoto typu - přestavbu VL7 na kombinaci průměrů šneků 200 x 150mm oproti stávající konfiguraci 150 x 200mm. Návrh vyplývá z přehodnocení preferování větších průměrů šneků pro vytlačování měkčí bočnicové směsi z důvodů zmíněných na straně 92. Doporučení této DP je výměna šneku VL7 průměru 150mm pro patní směs za šnek o průměru 200mm určený pro bočnicovou směs a sledování velikostí hodnot odtahových rychlostí. Předpokládá se, že tato VL7 se přiblíží vyšším hodnotám odtahových rychlostí VL9 (viz Obr. 55) a pravděpodobně se i v tomto případě bude eliminovat vliv parametru šíře.

Navazující návrh této diplomové práce vyplývá z regresního modelu pro VL9. Jedná se o návrh úpravy všech komponent VL9, aby byla reálně schopna vytlačovat veškerý sortiment šíří – viz VL11 (Obr. 35). Pokud by se nezamítlo, že tato linka je neovlivněna parametrem šíře bočnice a zároveň VL7 by po záměně šneků neprokázala jednoznačný větší význam většího průměru šneku pro patní směs, je nasnadě aplikovat alternativní doporučení na

přestavbu vytlačovacích strojů u všech vytlačovacích linek v Barum Continental na průměry šneků 200 x 200mm pro patní a bočnicové směsi. V takovém případě je předpokládána možnost maximalizování odtahových rychlostí vytlačovacích linek pouze na základě nastavení otáček šneků a bez nutnosti zohledňování vlivné proměnné šíře bočnic.

ZÁVĚR

Součástí praktické části diplomové práce byl výběr statisticky sledovaných parametrů z dlouhodobého sběru dat a jejich statistická analýza. Výsledky statistických analýz ukázaly, že nejvýznamnější charakteristika je průměr šneku vytlačovacího stroje. Proto vysvětlující parametry pro maximalizaci odtahových rychlostí jsou v konečném regresním modelu u linky, která má maximální průměry šneků samotné otáčky šneků. Model platí pouze za předpokladu, že vícešnekový vytlačovací stroj má průměry všech šneků (v této DP u VS pro vytlačování bočnic) 200mm. Ostatní modely pro linky s jinou konfigurací průměrů šneků jsou ovlivňovány zdánlivou regresí a korelací od parametru šíře.

Jelikož takový předpoklad splňuje pouze VL9, jsou v DP navrhovány dva způsoby optimalizace odtahových rychlostí, které si kladou za cíl snížení variability a přiblížení se normálnímu rozdělení nezávislé proměnné a zvýšení produktivity VL.

První způsob optimalizace je popsán v diskusi výsledků. Jedná se o přestavbu VS na kombinaci šneků o průměru 200mm buďto pouze pro patní směsi a ponechání 150mm průměru na šneky bočnicové anebo by mohla být aplikována kompletní rekonstrukce linek odpovídající průměrům 200 x 200mm. Cílem je eliminace vlivu významného parametru šíře bočnic na požadovanou charakteristiku odtahovou rychlost.

Výsledkem tohoto prvního návrhu je výměna šneku pro vytlačování patní směsi u VL7 naplánovaná na příští rok. Šnek o průměru 150mm nyní určený pro vytlačování patní směsi bude vyměněn za šnek průměru 200mm, určený v současnosti na vytlačování bočnicové směsi.

Druhý způsob optimalizace odtahových rychlostí vychází ze stávajícího stavu VL. Návrh se týká rovnoměrného rozložení spektra vytlačovaných šíří bočnic mezi jednotlivými linkami ve výrobě. Zúžení sortimentu vytlačovaných šíří na každé VL do užších intervalů odpovídajících více konstrukčním předpokladům VL by bylo vhodné aplikovat jak při stávajícím stavu konstrukce VL, tak i v případě, že by byla rekonstrukcí VL dosažena eliminace vlivu charakteristiky šíře bočnic na odtahové rychlosti.

Výsledkem tohoto druhého návrhu diplomové práce je sledování a statistické vyhodnocení rozdílu v hodnotách odtahových rychlostí konkrétního rozměru šíře bočnice a jeho výroba na více vytlačovacích linkách, přičemž bude zohledňována velikost průměrů šneků VS na odtahovou rychlost. V našem případě byla testována bočnice šíře 75mm. Ta byla původně

vytlačována na VL13 s průměrem šneků 150x150mm, která byla zkušebně testována na VL9 s konfigurací průměrů šneků 200x200mm. Nárůst odtahové počáteční rychlosti byl z původních 25 m/min na nových 44 m/min. Což svědčí o správnosti předpokladů DP a dále o vhodnosti doporučení pro redistribuci šíří bočnic mezi jednotlivými vytlačovacími linkami.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KUPKA, Karel. *Statistické řízení jakosti*. Pardubice: TriloByte, 1997, 191 s. ISBN 80-238-1818-X.
- [2] *Vaševěc.cz* [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:
<http://www.vasevec.cz/blogy/evropa-podporuje-bezpecne-ekologicke-pneumatiky>
- [3] *Pneuservis v Rokytnici, Poradce při výběru pneumatik,OMW dealer* [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: [Vaševěc.cz](http://www.vasevec.cz) [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z:
<http://www.vasevec.cz/blogy/evropa-podporuje-bezpecne-ekologicke-pneumatiky>
- [4] GREPLOVÁ, K. *Pneumatika jako rozhodující prvek podvozku závodního automobilu*. Brno, 2006. 37 s. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=245. Bakalářská. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [5] *Qingdao Golden Pegasus Industrial Trading Co., Ltd* [online]. [cit. 2012-03-22]. Dostupné z: <http://www.goldenpegasus.com/>
- [6] GENERAL INFORMATION: TYRE DEFINITION. *European Tyre and Rim Technical Organisation: Standards Manual – 2011* [online]. s. 12 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: http://www.etrto.org/files/files/ETRTO/Index_Publications_SM/STANDARDS_MANUAL_2011_GENERAL_INFORMATION.pdf
- [7] Pneu - Technické info. *Czpnue.cz: www.czpnue.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.czpnue.cz/pneu-technicke-info/>
- [8] Rady a podpora: Budoucí označení pneumatik v EU. GOODYEAR. *GOODYEAR: Safety together* [online]. 2010 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z:
http://www.goodyear.eu/cz_cs/tire-advice/future-eu-tire-label/
- [9] HOLZMULLER, W. *Fyzika polymerů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966.
- [10] BARUM CONTINENTAL. *Gumárenská technologie: učební texty Barum Continental spol. s r.o.* Otrokovice, 2008.
- [11] Tire Building Machines for the Production of High Performance PCR and LTR Tires: ThyssenKrupp Elastomertechnik. [online]. 2012 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z:
<http://www.40n4w.com/design/D/TK/t/RM/pdf/4710614e.pdf>

- [12] Svět se točí pod pneumatikou: Logistic News. In: BREJCHA, Jiří. [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: http://www.logisticnews.cz/pdf/05_2008/reliant_5_16_19.pdf
- [13] Gummimischtechnik Freudenberg: The mixing room specialists: ThyssenKrupp Elastomertechnik. [online]. s. 18 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.40n4w.com/design/D/TK/t/RM/pdf/4810010e.pdf>
- [14] MAŇAS, Miroslav a Josef HELŠTÝN. *Výrobní stroje a zařízení: Gumárenské a plastikařské stroje II.* vydání první. Vysoké učení technické v Brně, listopad 1990.
- [15] DVOŘÁK, Zdeněk. *Zpracovatelské procesy gumárenské pro konstrukční směry.* Zlín, 2009.
- [16] [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://best-b2b.com/userimg/973/984-1/tyre-duplex-extrusion-line-395.jpg>
- [17] [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://best-b2b.com/userimg/973/984-1/tyre-duplex-extrusion-line-395.jpg>
- [18] Extrusion Lines for Performance Tire Manufacturing: Kautschuktechnik. [online]. s. 18 [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.hf-tiretechgroup.com/downloads/docs/ed24235bc923f3567f8c67a6427ebeaf>
- [19] ZPĚVÁKOVÁ, Václava. *Projekt optimalizace výrobního zařízení ve vytlačovací dílně firmy Barum Continental spol. s r.o.* Zlín, 2005. Diplomová. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Kotasová Markéta
- [20] SEĎA, Michal. *Instalace a nastavení linky pro výrobu radiálních pláštů s navíjeným běhounem.* Zlín, 2010. Diplomová. Univerzita Tomáše Bati. Vedoucí práce Bílek Ondřej.
- [21] Hydraulic Curing Presses for Passenger, Truck, Tractor and Earth-Mover Tires: ThyssenKrupp Elastomertechnik. [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.40n4w.com/design/D/TK/t/RM/pdf/4710617e.pdf>
- [22] *MICHELIN TIRE: How a tire is made* [online]. [cit. 2012-04-19]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=K474RYse9P8&feature=related>
- [23] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Statistická analýza experimentálních dat.* Vyd. 2. uprav. rozš. Praha: ACADEMIA, 2004, 953 s. ISBN 80-200-1254-0.

[24] Matematická statistika. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-19]. Dostupné z:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Matematick%C3%A1_statistika

[25] JAROŠ, František. *Pravděpodobnost a statistika*. 3. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2002, 299 s. ISBN 80-708-0474-2.

[26] Statistika a výpočetní technika: Pravděpodobnostní rozdělení spojité náhodné veličiny pro základní soubory. *Veterinární a farmaceutická univerzita Brno* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/stat/FVL/Teorie/Predn2/rozdeleniZS.htm>

[27] 9.Měření závislostí ve statistice. [online]. s. 19 [cit. 2012-04-22]. Dostupné

z: fsi.uniza.sk/kkm/old/zamestnanci/novak/p_09.doc

[28] BARUM CONTINENTAL SPOL. S R.O. *Technicko-organizační postup: Postup při kontrole a statistickém řízení procesů*.

[29] BARUM CONTINENTAL SPOL. S R.O. *Technicko-organizační postup: Analýza měřících systémů*.

[30] Základy zpracování dat: chemometrie, statistika. [online]. s. 25 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://fch.upol.cz/skripta/zzd/chemo/prednasky/prezentace1.pdf>

[31] KOVÁŘÍK, Martin a Petr KLÍMEK. *Metody statistické analýzy: matematická statistika v programu XLStatistics*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 135 s. ISBN 978-80-7454-010-3.

[32] ZVÁRA, Karel. *Regrese*. Vyd. 1. Praha: Matfyzpress, 2008, 253 s. ISBN 978-80-7378-041-8.

[33] *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Validita>

[34] Zdánlivá korelace. In: *Leccos: Seznam písmen* [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://leccos.com/index.php/clanky/zdanлива-korelace>

[35] Simplexový algoritmus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-22]. Dostupné z:

http://cs.wikipedia.org/wiki/Simplexov%C3%BD_algoritmus

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CLV	Centrální limitní věta
CO ₂	Oxid uhličitý
C _p	Index způsobilosti procesu
C _{pk}	Kritický index způsobilosti procesu
DP	Diplomová práce
EDA	Explorační analýza dat
E.T.R.T.O.	Evropská technická organizace pro pneumatiky a ráfky
EU	Evropská unie
HMR	Horní mezní rychlost
HTC	High Tech
KP	Kontrolní plán
MOK	Mezioperační kontrola
MSA	Analýza systému měření
Obr.	Obrázek
PCA	Analýza hlavních komponent
R&R	Reprodukovatelnost a opakovatelnost
RMEA	Autoregulační systém vytlačovacích linek
Tab.	Tabulka
TOP	Technicko organizační postup
TP	Třída přesnosti
UHP	Ultra – High Performance
VH	Vytlačovací hlava
VL	Vytlačovací linka
VS	Vytlačovací stroj

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Pneumatiky [5]	14
Obr. 2 Informace o plášti [7]	16
Obr. 3 Štítek EU [8].....	17
Obr. 4 Řez osobním radiálním pláštěm [10].....	18
Obr. 5 Výřez vzorku pláště [11]	19
Obr. 6 Míchací stanice [13]	20
Obr. 7 Rozdělení vytlačovacích strojů [14].....	22
Obr. 8 Duplex – vytlačovací stroj [16]	23
Obr. 9 Triplex - vytlačovací stroj [17].....	23
Obr. 10 Trojnásobná vytlačovací hlava triplexu firmy TROESTER a čtyřnásobná vytlačovací hlava quadruplexu firmy BERSTORFF [15].....	24
Obr. 11 Úprava šablony na vytlačování [15].....	25
Obr. 12 Vytlačovací hlava KRUPP [18].....	25
Obr. 13 Koextruzní vytlačovací stroje – duplex, triplex a quadruplex [18]	26
Obr. 14 Vytlačovací linka na výrobu běhounů pro radiální pneumatiky[15].....	27
Obr. 15 Vytlačovací linka na výrobu bočnic pro radiální pneumatiky[15]	28
Obr. 16 Postupové schéma při vytlačování bočnic [19]	29
Obr. 17 Konfekční stroj [11].....	30
Obr. 18 Vulkanizační lisy [21]	32
Obr. 19 Schéma průřezu vulkanizačním lisem při vulkanizaci pláště [22]	33
Obr. 20 Lineární regrese: červeně jsou data (dvojice x, y), modře lineární regresní funkce, zeleně rezidua [24]	38
Obr. 21 Gausovo normální rozdělení pravděpodobnosti [26]	40
Obr. 22 Příklady neznámého rozdělení pravděpodobností [26]	42
Obr. 23 Určení parametrů regrese metodou nejmenších čtverců [27]	46
Obr. 24 Kritérium nejmenších čtverců [27].....	46
Obr. 25 Schéma procesu vytlačování z hlediska dlouhodobého sběru dat.....	51
Obr. 26 Schéma VL na výrobu bočnic se zobrazením míst měření	53
Obr. 27 Postup práce v diplomové práci.....	54
Obr. 28 Výsledky R&R studie ANOVA pro rozptyl měřidla při MSA	63
Obr. 29 Testování normality na VL7	67
Obr. 30 Testování normality na VL 9.....	67

Obr. 31 Testování normality na VL 11	68
Obr. 32 Testování normality na VL 13	68
Obr. 33 Příklady funkcí pro transformaci dat [30]	70
Obr. 34 Centrální limitní věta [30]	71
Obr. 35 Boxplot šíře bočnic vs VL	72
Obr. 36 Boxplot teplota vody v 1. vaně vs VL	72
Obr. 37 Boxplot otáčky VS s bočnicovou směsí vs VL	73
Obr. 38 Boxplot Otáčky VS s patní směsí vs VL	74
Obr. 39 Boxplot Teplota bočnicové směsi vs VL.....	74
Obr. 40 Boxplot Teplota patní směsi vs VL	75
Obr. 41 Boxplot Teplota výsledného profilu vs VL	75
Obr. 42 Boxplot Odtahová rychlost vs VL	76
Obr. 43 P-hodnota [31]	77
Obr. 44 Test shody rozptylů pro Otáčky VS patní směs	78
Obr. 45 Test shody rozptylů pro Otáčky VS bočnicová směs	79
Obr. 46 Výsledky testu o shodě rozptylů pro Otáčky VS bočnicová směs	79
Obr. 47 Obecný odhad parametrů pro VL 11	89
Obr. 48 Závislost průměru šneků a šíří vytlačovaných bočnic.....	94
Obr. 49 Komplet bočnice: A – patní část (standardizovaná), B bočnicová část.....	95
Obr. 50 T-test pro střední hodnoty.....	96
Obr. 51 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL	99
Obr. 52 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL 9	99
Obr. 53 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL 11	99
Obr. 54 Graf PCA vlevo a graf shlukové analýzy pro VL 13	100
Obr. 55 Maximalizace odtahových rychlostí na základě konečných modelů.....	105

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Kategorie tříd přesnosti	55
Tab. 2 Měření odtahové rychlosti	56
Tab. 3 Nejistota měření pro odtahovou rychlost.....	57
Tab. 4 Měření teplot bezdotykovým teploměrem.....	57
Tab. 5 Nejistota měření pro ruční měření teploty	58
Tab. 6 Měření teploty vody v 1. chladicí vaně	58
Tab. 7 Vyhodnocení R&R studie pro rozptyl	62
Tab. 8 Podmínky pro vyhodnocení R&R studie.....	62
Tab. 9 Rozsah naměřených hodnot sledovaných parametrů VL	65
Tab. 10 Testování normality	66
Tab. 11 Levenův test shody rozptylů.....	73
Tab. 12 Levenův test shody rozptylů.....	77
Tab. 13 Test shody rozptylů Otáčky s patní směsí	78
Tab. 14 Korelace Šíře bočnic vs Otáčky VS bočnic. směs.....	80
Tab. 15 Spearmanova korelace šíře vs OB	80
Tab. 16 Korelace Šíře bočnic vs Otáčky VS s patní směsí.....	80
Tab. 17 Spearmanova korelační analýza šíře vs OP.....	81
Tab. 18 Statisticky významné korelace u VL 11	81
Tab. 19 Významné proměnné v modelu	81
Tab. 20 Kroková regresní analýza	83
Tab. 21 Hřebenová regresní analýza.....	84
Tab. 22 Klasická regrese.....	84
Tab. 23 Koeficient determinace	85
Tab. 24 ANOVA pro výsledný model	85
Tab. 25 Forward regression – dopředná regresní analýza	85
Tab. 26 Backward regression - zpětná regresní analýza.....	86
Tab. 27 Parciální korelace	86
Tab. 28 Redundance	86
Tab. 29 VIF faktor (analýza multikolinearity).....	86
Tab. 30 Validace – model s T1 bočnice a bez tohoto parametru.....	87
Tab. 31 Validace – model s Otáčkami VS s bočnicovou směsí a bez tohoto parametru.....	88
Tab. 32 Výsledný regresní model	88

Tab. 33 Validace výsledného modelu	88
Tab. 34 Alternativní regresní model	90
Tab. 35 Kritéria vhodnosti modelu	90
Tab. 36 Výsledné MODELKY pro VL	92
Tab. 37 Regresory ve výsledných MODELECH.....	93
Tab. 38 Parametry o VL z výroby	95
Tab. 39 T-test pro shodu středních hodnot	96
Tab. 40 Vyhodnocení analýzy šneků	97
Tab. 41 Navržená optimalizace odtahových rychlostí a šíří bočnic	103
Tab. 42 Návrh intervalů šíří bočnic pro VL.....	104