

Statistické hodnocení hustoty polymerní pěny

Bc. Kamila Glogarová

Diplomová práce
2024

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Kamila Glogarová
Osobní číslo: T22651
Studijní program: N0788A270007 Řízení jakosti
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Statistické hodnocení mechanických vlastností polypropylénové pěny

Zásady pro vypracování

- Vypracování rešerše na zadané téma.
- Proměření jakostních parametrů zadaných vzorků.
- Nalezení vhodných statistických metod pro hodnocení mechanických vlastností pěny

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

Seznam doporučené literatury:

MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompndium statistického zpracování dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.

WHITEHOUSE, D. J. *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2011. ISBN 978-1-4200-8201-2.

AGGARWAL, Charu C. *Neural networks and deep learning: a textbook*. Cham: Springer, [2018].

GRAUPE, Daniel. *Deep learning neural networks: design and case studies*. Singapore: World scientific, [2016]. ISBN 978-981-3146-44-0.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr. Ing. Vladimír Pata**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 27. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORKY DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou 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);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala. V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studentky:

.....
podpis studentky

ABSTRAKT

V této diplomové práci je zkoumána hustota polymerní pěny z důvodu plnění mechanických vlastností dle požadavků zákazníka. Diplomová práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, která byla provedena v nejmenované firmě. Cílem statistického hodnocení hustoty PĚNY A je možnost nastavení systému řízení kvality a výrobního procesu nástroji řízení jakosti - vývojový diagram, regulační diagram nebo Pareto diagram.

Nejprve bylo provedeno měření vzorků pomocí měření hmotnosti a výpočtu hustoty, poté byla použita metoda pyknometru. Dosažená data byla analyzována, porovnána a vyhodnocena metodami nazvanými Exploratorná datová analýza (EDA) a Analýza rozptylu (ANOVA), které ukázaly, že mezi výpočtem hustoty a pyknometrickou metodou není statisticky významný rozdíl. Z výsledků vyplývá skutečnost, že hustota klesá s rostoucí tloušťkou polymerní desky, a proto je nutné nastavit různé parametry vytlačování pro různé typy výrobků v portfoliu, aby byla splněna požadovaná mezní hustota. Po analýze FÁZE 2 až FÁZE 5 bylo zdokumentováno, že v průběhu výrobního procesu dochází k nárůstu objemové hustoty desky o tloušťce 5 mm o 42,7 %. To dokazuje důležitost systému průběžné kontroly hustoty v průběhu celého výrobního procesu, nejen na jeho konci. Při stabilním výrobním procesu lze tento materiál použít například v automobilovém průmyslu.

Klíčová slova: statistika, řízení kvality, polymerní pěna, hustota

ABSTRACT

In this diploma thesis the bulk density of polymer foam is examined to determine its mechanical characteristics, which must be complied due to customer requirements. The thesis is divided to the theoretical part and the practical part, which was made in the unknown company. The objective of bulk density statistical evaluation of PĚNA A is possibility to set up a system of quality control and production process management by quality management tools – Flow chart, Control chart or Pareto diagram.

At first the measurements of samples were carried out by weight measuring and density calculation, than the pycnometer method was used. The reached data were analyzed, compared and evaluated by methods named Exploratory Data Analysis (EDA) and Analysis of Variance (ANOVA), that revealed there is no statistically significant difference between the density calculation and the pycnometer method. The results imply the fact, that the density decreases with increase of the polymer board's thickness, so it is necessary to set different extrusion parameters for the different types of products in the portfolio to meet the required limiting density. After analysis of PHASE 2 to PHASE 5, it was documented that there is a 42.7% increase in the 5 mm board's thickness bulk density during the production process. This demonstrates the importance of a continuous density control system throughout the production process, not just at the end. With a stable production process this material can be use in the automotive, for example.

Keywords: statistics, quality management, polymer foam, bulk density

Poděkování

Mé poděkování patří univerzitě, přesněji fakultě technologické a jejím pracovníkům, kteří se snažili nám předat cenné informace pro naši pracovní budoucnost, zvláště pak mému vedoucímu diplomové práce prof. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za přínosné poznámky a rady při zpracovávání mé diplomové práce.

Velmi ráda bych poděkovala celé mé rodině, především rodičům a sestře, kteří mě dlouhá léta mého vzdělávání podporovali.

Děkuji svému partnerovi za jeho trpělivost, motivaci a bezpodmínečnou ohleduplnost, která mě provázela naším společným studiem. Jsem vděčná, že mi takto zpříjemňoval čas strávený učením.

„... protože co neroste – to umírá. Není nic mezi tím.“

– Janina Králová

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POLYMERNÍ PĚNA	12
1.1 PĚNY – ZÁKLADNÍ ÚVAHY	12
1.2 DEFINICE PĚNY	13
1.2.1 Proces metody napěňování (pěnění)	13
1.3 ROZDĚLENÍ PĚNY	14
1.3.1 Porovnání mechanismu pěnění mezi termosety a termoplasty	15
1.4 HISTORIE A VÝVOJ POLYMERNÍCH PĚN	18
1.5 VLASTNOSTI A STRUKTURA PĚNY	19
1.6 NADOUVACÍ LÁTKY.....	20
1.7 ZÁLEŽITOSTI ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ A TECHNICKÉ VÝZVY	21
1.8 TECHNOLOGIE PLNĚNÍ – TERMOPLASTY A TERMOSETY	21
1.9 APLIKACE A POUŽITÍ	22
2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY	23
2.1 ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH TEXTUR	23
2.1.1 Vláknité kompozity	23
2.1.2 Laminované kompozity.....	24
2.1.3 Kompozity z pevných částic	24
2.1.4 Symetrické lamináty.....	24
2.1.5 Nesymetrické lamináty.....	24
2.2 SENDVIČOVÉ STRUKTURY	25
2.3 APLIKACE KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	26
2.3.1 Letectví a kosmonautika	26
2.3.2 Automobilový průmysl	26
2.3.3 Námořní průmysl	27
2.3.4 Větrná energie	27
2.3.5 Výstavba a infrastruktura	27
3 STATISTICKÉ HODNOCENÍ DAT	28
3.1 PRŮZKUMOVÁ ANALÝZA JEDNOROZMĚRNÝCH DAT.....	28
3.1.1 EDA – Exploratorní analýza dat	28
3.1.2 Ověření předpokladu o datech	31
3.2 STATISTICKÁ ANALÝZA JEDNOROZMĚRNÝCH DAT.....	32
3.2.1 Postup testování statistické hypotézy.....	32
3.2.2 Testy střední hodnoty	32
3.2.3 Test shody středních hodnot.....	32
3.3 ANALÝZA ROZPTYLU.....	33

3.3.1	Jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA)	34
4	MANAGEMENT KVALITY	35
4.1	7 KLASICKÝCH NÁSTROJŮ KVALITY	35
4.1.1	Vývojové diagramy	35
4.1.2	Kontrolní tabulky	35
4.1.3	Histogramy	36
4.1.4	Išikawův diagram	36
4.1.5	Pareto diagram	36
4.1.6	Korelační diagram	36
4.1.7	Regulační diagram	36
4.2	METODY ŘÍZENÍ JAKOSTI	37
4.2.1	Metoda 5x proč	37
4.2.2	8D report	37
4.2.3	Brainstorming	37
4.2.4	Metody plánování jakosti	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
5	ZHODNOCENÍ VÝCHOZÍHO STAVU VÝROBNÍHO PROCESU	39
5.1	NALEZENÍ PROBLÉMU	39
5.2	OVĚŘENÍ PROBLÉMU S HUSTOTOU KONEČNÉHO PRODUKTU	45
6	SROVNÁNÍ MĚŘICÍCH METOD	56
6.1	NAMĚŘENÁ DATA	56
6.2	PROVEDENÍ ANALÝZY MĚŘICÍCH METOD	58
7	OVĚŘENÍ SCHOPNOSTI STABILNÍ VÝROBY	63
8	KONKRÉTNÍ NÁRŮST HUSTOTY BĚHEM VÝROBNÍHO PROCESU	70
	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	79
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM TABULEK	85
	SEZNAM PŘÍLOH	86

ÚVOD

Vzhledem k zvyšujícím se požadavkům na kvalitu výrobků a služeb začíná být pro podniky naprosto běžnou součástí zařazování managementu kvality napříč celým výrobním procesem. Podniky disponující funkčním systémem řízení jakosti mají na trhu významnou konkurenční výhodu především v rychlosti reakcí na současné požadavky a trendy objevující se na moderním trhu.

S managementem kvality se pojí především využívání nástrojů a metod určených právě pro řízení kvality. Zakládá se zejména na sběru maximálního množství informací a dat, ale i jejich následné dokumentace, protože není možné zlepšovat a řešit problém, když nejsou k dispozici výchozí podněty. Zároveň je však nutné tato data efektivně vyhodnotit, aby z nich vyvstala funkční řešení problémů.

Cílem mé diplomové práce bylo zmapovat výchozí stav PĚNY A a její výrobní proces pro snazší pochopení hlavního problému, který musel být nejprve nalezen. K hodnocení byly využity jak kvalitativní, tak statistické nástroje a metody.

Teoretická část práce objasňuje extruzi polymerní pěny a její vlastnosti, využití pěny pro kompozitní účely, statistické metody pro vyhodnocování dat a běžně využívané metody a nástroje řízení jakosti, jež byly užity v praktické části diplomové práce.

Praktická část byla vypracovávána v nejmenované organizaci, kde byl v prvním kroku určen produkt pro zkoumání, zjištěn jeho výchozí stav a nezávažnější problém (vada) – nedodržení požadované hustoty produktu zákazníkem. V dalším postupu byl problém ověřen pomocí statistických metod EDA a ANOVA, přičemž byla navržena i alternativní metoda měření hustoty PĚNY A, u které bylo potvrzeno, že se od té původní liší statisticky nevýznamně. Statistické metody taky dokázaly různorodost hustoty u stejné šarže PĚNY A jen v případě změny tloušťky nařezaných desek. V případě využití poznatků získaných při vypracovávání diplomové práce podnikem by bylo možné nastavit kontrolní systém napříč výrobním procesem, což bylo dokázáno jako nutné pro snazší přehled o produktu a identifikaci případných vad. Tímto krokem by podnik těžil nejen finanční úsporou z včasného zachycení vad, které se nebudou dále šířit výrobním procesem, ale také snadnější a přehlednější výrobou a vývojem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POLYMERNÍ PĚNA

Obecně lze existenci hmoty rozdělit do tří různých podob, tedy fází: plynné, kapalně či pevné. Samotné plyny jsou tak ve své podstatě beztvaré, a existují, ať už přirozeně nebo uměle, dohromady s ostatními fázemi – mají schopnost proniknout do kapalně, případně pevné, fáze a tvořit tak směsi. Jednou z nich je "pěna" – tento pojem přesněji označuje sférické plynné dutiny rozptýlené v hustém kontinuu. Vznik pěny výrazně závisí na celém procesu její výroby počínaje specifickým termoplastickým polymerem a přísadou, která produkuje plyn, a končící pevnou strukturou s dutinami obklopenými (či částečně obklopenými) pevným polymerem. Produktem je pěnový nebo buněčný polymer. Termoplastické pěny mohou mít hustotu, která není podstatně nižší než hustota nepěněných polymerů. Na druhou stranu mohou mít hustoty více než 200x menší než hustoty nenapěněných polymerů. Pěny svou strukturou vycházejí přirozeně z přírody – mořské pěny, lesy, kosti, houby, nebo porézní lávové kameny. [1][2]

1.1 Pěny – základní úvahy

Terminologie jevů pro plynné směsi:

- Bubliny plynu na povrchu kapaliny – pěna
- Bubliny plynu rozptýlené v kapalině – emulzní bublina
- Bubliny kapaliny v kapalině – emulzní kapalina
- Bubliny kapaliny v pevné látce – želatinace
- Plynové bubliny v pevné látce – pěna. [2]

Běžné pěnové produkty:

- **Přírodní** – pemza, kmeny stromů, dřevo, korek, mořské organismy, ...
- **Syntetické** – potraviny: moučné těsto, obilné vločky, ...
 - plast: polštář sedadla, záchranná vesta, izolační deska, ...
 - automobilový průmysl: opěrka ruky, obložení, nárazník, ...
 - sport: polstrování helmy, chránič kolen, surfovací prkno, ...
 - zdravotnictví: pásky, těsnění, [2]

1.2 Definice pěny

Při příliš prudké změně okolních podmínek, kdy na ni systém není schopen zareagovat plynule, se přemění volné molekuly plynu na sférické molekuly, což je označováno jako tzv. pění, kdy dochází ke specifickému způsobu rozptýlení energie v určitém prostředí a není možné tak dosáhnout rovnovážného stavu. Z jiného hlediska lze pění popsat jako proces přechodu z homogenního stavu hmoty do stavu heterogenního. V cíleném procesu pění je optimální načasování stěžejní pro dosažení požadovaného výsledku, což z napěňování činí jednu z unikátních technologií, kdy je získán užitečný a stabilní výrobek z původně nestabilního napěnění.

Pro vznik bublin je nezbytné dostačující množství molekul plynu, které po shromáždění musí být schopny překonat odpor okolní matrice. Pro proces je proto stěžejní znát tzv. kritický poloměr bubliny, přičemž při jeho překročení se shluky plynu zhroutnou a nejsou schopny procesu pění. [2]

1.2.1 Proces metody napěňování (pění)

Nejběžněji využívaným způsobem je zavádění plynu do taveniny, po té zpění daného plynu a řízení ztuhnutí taveniny ve stavu, kdy je zabráněno bublinám plynu zhroutnout se do kapalného stavu nebo zkondenzovat. Z fyzikálního hlediska jsou bybliny plynu považovány za fázi slabou, a proto je nutné vyvažovat je podle součtu okolního tlaku a strukturální síly, aby forma bublin byla zachována. [2]

Metody implementace plynu do kapalných a pevných látek:

- Rozpouštění plynu tlakem a/nebo vmícháním do pevné/kapalné látky
- Vhánění plynu do taveniny, např. vstřikování za pomoci plynu
- Chemická reakce za účelem uvolnění plynu v kapalině/tavenině
- Částečný rozklad roztaveného polymeru
- Smíchání zapouzdřené polymerní plynné fáze do pevné/kapalné látky za účelem další expanze při zpracování
- Reakce s kapalinou za vzniku bublin, např. hydrogenuhličitan sodný ve vodě
- Vtahování vzduchu do kapaliny pro vysokoteplotní/nízkotlaké (vakuové) procesy.

[2]

Polymery jsou specifickou složitou skupinou materiálů, a velmi se svými vlastnosti odlišují od materiálů, jako je dřevo, kov či sklo. Vznik polymerů je zapříčiněn reakcí mezi funkčními skupinami anebo adicí volných částic za vzniku polymeru s dlouhým řetězcem. [2]

1.3 Rozdělení pěny

Polymery můžeme rozdělit na 2 hlavní skupiny, podle jejich reakce na tepelné změny:

- a) **Termosety** – disponují organickými trojrozměrnými strukturami, které zapříčiňují nemožnost opakovatelného zpracování již vyrobeného produktu. Obvykle mají síťovou strukturu, která po dokončení reakce vyvolané teplem pění. V důsledku toho jeho tekutost již nereaguje na teplo, zejména po vytvoření trojrozměrné struktury.

Na konci 19. století bylo možné snadno získat fenol, glycerol nebo formaldehydy jako vedlejší produkty ropy a uhelného dehtu. Ty byly společně s mírnou párou a tlakem zreagovány v relativně snadném zařízení do podoby termosetových výrobků za vlivu komprese při jejich tvarování.

Pomocí dodání těkavých či při nízkých teplotách vroucích kapalin a za nepřítomnosti vody je možné vyrobit pěny polyuretanové obsahující uzavřené buňky. Obecně jsou využívány polyuretany z asi 25% pro pěny tuhé a z asi 50% pro pěny flexibilní, zároveň celková výroba všech pěn vyrobených po celém světě zahrnuje asi polovinu pěn polyuretanových. [1][2]

- b) **Termoplasty** – přechází z pevného do roztaveného stavu, a naopak v reakci na změny teploty. je možné opakovaně zpracovávat. Právě termoplasty jsou označovány za nejprvotnější semisyntetické polymery. V 70. letech 19. století proběhla komercializace kastrované celulózy (celuloidu). Komercializace termoplastů však vyžadovala vysokou čistotu monomerů a zařízení pro vysoký tlak a teplotu, což byly podmínky, kterých se podařilo dosáhnout až na počátku a v polovině dvacátého století. [1][2]

Postupy výroby pěn se pro termosety a termoplasty výrazně liší, i když její podstatou je v obou případech řízená teplota a tlak. V případě termosetových pěn závisí úspěšná výroba především na teplotních podmínkách a teplotě, receptuře materiálu a její reakční kinetice. U termoplastických pěn je nutno věnovat zásadní pozornost samotnému typu

zařízení pro výrobu pěn, zdali je schopen zpracovávat termoplasty (– s ohledem na specifické tepelně-reverzibilní vlastnosti) s přiváděným plynem. [2]

Na konci 2. světové války konkurovaly termoplasty komerčně termoplastům. Po celém světě zabírají termoplasty více než 80% komerčního trhu polymerů. Avšak dominantu na trhu s nízkohustotními pěнами si drží polyuretanové termosety. [1]

1.3.1 Porovnání mechanismu pění mezi termosety a termoplasty

- Termosety: – Plyn v rámci systému: Chemická reakce
 - Pění: Vývoj plynu
 - Stabilizace: Polymerizace, X-linking a chlazení
- Termoplasty: – Plyn v rámci systému: Rozpouštění/rozklad
 - Pění: Přesycení
 - Stabilizace: Chlazení

[2]

Vzhledem k využití pěnových výrobků lze jejich následující jedinečné vlastnosti hodnotit jako nevýhody, ale i výhody. Z estetického hlediska jsou bubliny v produktu vidět, pokud tedy výrobek už dále není nijak upraven. Dále obsah dutin ve výrobku značně ovlivňuje i jeho mechanické vlastnosti. Zároveň je snižována rychlost přenosu tepla z důvodu vysokých izolačních vlastností struktury materiálu obsahujícího dutiny (- což může vést k reakcím akumulace tepla). [2]

Termoplasty vhodné k pění

Napění je v konečném důsledku možné téměř všechny čerpatelné termoplasty. V konečné analýze termoplastické pěny obsahují polymery nadouvací plyny generované z dávkovaných pěnotvorných činidel. Příspěvky pro určité aplikace mohou obsahovat také i plniva a výztuhy, ovšem mezi primární složky patří zejména polymery a pěnidla. [2]

Ve skutečnosti ve většině případů neexistují zcela krystalické polymery, stejně tak i polymery amorfní. Pro lepší specifikaci, kde přesně se v tomto spektru dané polymery nachází, se využívá označení stupně krystalinity. Krystalinita se může pohybovat od 0 % (zcela amorfní) do 100 % (zcela krystalické), znát přesnější hodnotu krystalinity může výrazně ovlivnit fyzikální, technologické a mechanické vlastnosti polymeru. Pro získávání této hodnoty jsou využívány různé typy měření (rentgenové difrakční vzorky, měření

hustoty, tepelná analýza), které fungují na různých principech, přičemž jsou následně jejich výsledky srovnávány. [3]

Dvě obecné třídy termoplastických polymerů:

- a) **Amorfni polymery** – vyznačují se nepravidelným a neutříděným molekulárním uspořádáním, ale také svou sklovitou křehkostí při pokojové teplotě. Řadí se zde materiály jako polystyren, tuhý polyvinylchlorid, polykarbonát či ABS.

Pro získání tzv. gumové struktury polymeru je důležité docílit zvýšení pohyblivosti molekulárních řetězců, což se děje pomocí zahřívání. Tato přeměna je nazývána skelný přechod. Při dalším zvyšování teploty se však již žádný další přechod neděje, ale materiál je tekutějším. Opět sklovité struktury polymer nabude v případě jeho ochlazení pod přechodnou oblast. Typickou vlastností amorfních polymerů je volné místo kolem řetězců polymeru (tzv. volný svazek), které může být nahrazeno právě organickými přísadami nebo pěnотvornými plynovými činidly. Volné svazky představují cca 10 - 15% z celkového objemu amorfního polymeru.

Amorfni polymery definované náhodným propletením řetězců mají náchylnost propouštět světlo. S rostoucím procentem krystalinity se polymer stává postupně méně průhledným. [2][3]

Tři nejběžnější metody pro stanovení vlastností amorfních polymerů: termická analýza pomocí diferenčního skenovacího kalorimetru (teplota skelného přechodu), dynamická mechanická analýza (tuhost, deformovatelnost) a tahová zkouška (pevnost v tahu, prodloužení). [3]

Vlastnosti amorfních polymerů:

- Relativně nízká teplotní odolnost.
- Nedisponují ostrým bodem tání (vliv náhodně uspořádané molekulární struktury).
- Nenáchylné ke smršťování při chlazení.
- Odolnost výsledného produktu závisí na teplotě aplikace vůči teplotě skelného přechodu.

- Houževnaté, křehké při nízkých teplotách.
- Poddajné, náchylné k prodlužování při teplotách vyšších než je teplota skelného přechodu.
- Účinné spojování s podklady.
- Nutné sušit materiály před použitím na jejich teplotu skelného přechodu.

[3]

b) **Krystalické polymery** – v pevném stavu jejich molekuly disponují uspořádanou a pravidelnou strukturou – tvořena sférolity o velikosti mikronů, jejichž páskovité prvky se označují jako lamely utvářené molekulami. Krystalické polymery jsou obecně neprůhledné, protože složené řetězce zabalené do lamel působí tak, že odrážejí světlo. [3]

Jedná se o významnou skupinu plastových materiálů pro technicko-průmyslové aplikace. Ideální krystalické polymery téměř neexistují, tudíž se využívá přesnějšiho značení semikrystalické polymery, protože v materiálu existuje více fází nežli jedna (krystalická i amorfní). Tento dvoufázový model je předpokladem pro využívání charakterizace materiálů pomocí krystalinity. Běžně využívané jsou tři metody pro stanovení krystalinity využívající principu: termodynamiky, difrakce a spektroskopie. [4]

Polymery vykazující pružnou páteř a malé postranní řetězce nebo přívěsné skupiny, jako je PTFE nebo UHMWPE, mohou krystalizovat na 90 % nebo více.

Oproti tomu materiály s velkými závěsnými skupinami a rozvětvením, kam se řadí LDPE nebo PP, jsou schopny krystalizovat kolem 50 %.

Zvláštním případem je PET, který je při velmi pomalém chlazení schopen krystalizovat kolem 20 %, avšak při chlazení rychlém zůstává amorfní. [2]

Obecně při zahřívání běžného krystalického polymeru dochází k tomu, že jeho amorfní část prochází teplotou skelného přechodu, a tak se v této části molekulové řetězce stávají pohyblivějšími. Naproti tomu částice krystalické struktury zabezpečují tuhost polymeru – polymer zachovává svůj pevný stav i nad teplotou skelného přechodu. V případě krystalických polymerů je mnohem zásadnější jejich teplota tání, která může mít rozmezí několik jednotek stupňů Celsia v závislosti na

dokonalosti vytvořených krystalitů. Lze tedy definovat krystalický polymer nad teplotou tání jako tekutinu. [2]

1.4 Historie a vývoj polymerních pěn

Ve 40. letech 19. století byl přírodní kaučukový latex napěněn uhličitanem amonným, objevení formaldehydového polymeru, též zvaného fenolický, se uvádí k období 70. let 19. století. Následující čtyři desetiletí nebylo možné jej komercializovat, z důvodu pění fenolu během reakce. Baekeland zjistil, že je zapotřebí využít teplo a tlak, aby se tomuto jevu během reakce zabránilo. Berthelot syntetizoval monomer styrenu již v roce 1866, avšak industrializace samotného polystyrenu proběhla až na konci 20. let 20. století, přičemž jeho napěnění se uvažuje kolem 40. let 20. století, zřejmě z důvodu řešení propadů v tlustostěnných vstřikovaných výrobcích. To vše jsou důvody, proč se za období výrazného vývoje syntetických pěn vydává až 20. století. [1]

Buněčný přírodní kaučuk neboli pěnový kaučuk, byl plně komercializován na počátku 20. století. Fenolické a močovinné pěny byly vyvinuty ve 30. letech 20. století, vstřikovaný polystyren napěněný hydrogenuhličitanem sodným během 2. světové války. Polystyrenová pěna s nízkou hustotou byla vyrobena z pelet impregnovaných uhlovodíkem při vstřikování a vytlačování – 40. léta 20. století. Polyetylen byl v 60. letech 20. století pěnovým vstřikováním s dusíkem. K výrobě vysoce hustotních komerčních dílů byl v 60. letech 20. století použit polyetylen vstřikovaný společně s dusíkem, také byl v tomto období extrudován v podobě nízkohustotní pěnové desky, ale také byl extrudován polyvinylchlorid ve vysoce hustotní podobě. V následujícím desetiletí byla provedena extruze polypropylenové pěny s uhlovodíkovými pěnotvornými činidly. Vysoce hustotní polyethylentereftalát ve formě fólie se poprvé podařilo vyrobit v 90. letech 20. století. [1]

Významný rozvoj polymerních pěn je zaznamenán v první polovině 20. století, kdy se jednalo především o laboratorní experimenty a testy pro různá použití. Protože pěnové polymerní materiály nabízejí speciální vlastnosti pro spoustu odvětví a využití, byl vývoj pěnových technologií ve druhé polovině 20. století výrazně urychlen. Po roce 1980 se průmysl začal zabírat problematikou životního prostředí, a to jak v případě polymerních materiálů, tak i nadouvadel, což přispělo k dalšímu posílení pěnového průmyslu. Bylo to stěžejní období pro překlenutí z vědeckého přístupu k technologii výroby polymerních pěn na přístup praktický. Stále narůstající spotřeba polymerních pěn již předstihla spotřebu kovů a dřeva. [2]

Zásadní milníky ve vývoji technologie výroby polymerních pěn:

1931	Pěnový polystyren
1937	Pěnový polyuretan
1941	Pěnový polyethylen
1944	Extrudovaná polystyrenová pěna
1945	Tuhá PU pěna
1952	Pružná PU pěna
1954	Roztažitelné kuličky
1959	Výroba tuhé PU pěny
1962	Vstříkování PS pěny
1962	Extrudovaná ethylenová pěna
1967	Twin Screw pro pěnu
1967	ABS pěna; vstříkovací forma
1968	Tuhá izokyanurátová pěna
1972	Extrudovaná propylenová pěna
1984	Výrobek z pěnového polypropylenu
1990	Extruze PET pěny

Obrázek 1 – Tabulka významných technologických pokroků [2]

1.5 Vlastnosti a struktura pěny

Vzhledem ke spojení plynu s polymerní matricí je možné označit tuto strukturu za kompozitní, takže hlavní specifika konečného materiálu jsou dána volbou a rozložením jeho složek. Přestože je hmotnost plynu zanedbatelná, podíl bublinové struktury výrazně ovlivňuje hustotu výrobků, avšak tepelná vodivost a měrné teplo se odvíjejí právě od samotné hmotnosti jednotlivých prvků a složek. Mezi nejzásadnější parametry udávající vlastnosti pěnových struktur se řadí: rozložení velikosti buněk, hustota buněk, obsah otevřených buněk, poměr roztažnosti a integrity buněk.

Právě takto široký rozsah možností a vlastností se v průběhu vývoje zaměřil na konkrétní technologie pění a postupy pro konkrétní typy pěn, protože každá má své speciální charakteristiky, se kterými se při výrobním procesu musí počítat. Zásadním rozdílem druh převládající fáze – polymerní nebo bublinková. V prvním případě vlastnosti udává zejména sám polymer, protože konvekční přestup tepla v (plynné) bublině je

zanedbatelný, naopak v případě druhém (vysoce expandovaná pěna) je schopnost polymeru udržet plyn v bublině mnohem vyšší, a proto se na koncových vlastnostech materiálu podílí polymer méně.

Nejenže množství a rozmístění buněk je kritickým parametrem při určování konečné konfigurace vlastností dané polymerní pěny, ale také povaha buněk (otevřené buňky versus uzavřené buňky) hraje podobně důležitou roli při určování vlastností, které následně určují možnosti použití pěny. Otevřené buňky jsou žádoucí pro průmysly zabývající se mokřými a mastnými aplikacemi, poněvadž mají kapiláry, které umožňují jedinečné vlastnosti absorpce tekutin. Pěny s takto otevřenými buňkami se také dobře osvědčují v aplikacích tlumení zvuku, kde jsou schopny tlumit četné zvukové vlny. [2] [5]

1.6 Nadouvací látky

Téměř každý plyn lze označit za nadouvadlo, ale pro technologii pění lze využít pouze některé z nich. Volba nadouvadla je jedním z klíčových parametrů, kterým je ovlivněna konečná podoba a vlastnosti pěny. Obecně lze konstatovat, že je při procesu jednodušší zavést jakýkoliv jiný plyn než vzduch, ačkoliv se pěna v konečném důsledku právě ze vzduchu a polymeru sestává. Většina vyfukovacích činidel, případně extruze pěn, je využívána především jako katalyzátor. Proces pění lze dle nadouvacího činidla rozdělit do 3 etap:

- a) **IMPLEMENTACE** – tzn. zavádění určeného množství plynu do patrice polymeru, aby se vytvořil roztok polymer–plyn.
- b) **UVOLNĚNÍ** – roztok polymer–plyn uvolňován, vyznačuje se neviditelnými strukturními prvky a plně viditelnou buněčnou strukturou.
- c) **EVAKUACE** – nastává přeměna roztoku polymer–plyn na plně diferencovanou (viditelnou) buněčnou strukturu, přičemž se mění polymerní pěna ze stavu naplněného vyfukovacím činidlem do stavu naplněného vzduchem. [2]

Ač je v konečném důsledku pěna tvořena pouze polymerem a vzduchem, není vhodné využívat vzduch jako nadouvací činidlo, protože obsahuje vysoký podíl O₂, což by mělo za výsledek oxidaci polymeru, taktéž je výzvou i dusík pro svou nízkou rozpustnost. [2]

1.7 Záležitosti životního prostředí a technické výzvy

Z důvodu neustálého globálního oteplování, kterým je prostřednictvím výroby obecně polymerních materiálů ve vysokých objemech přispíváno, jsou neustále zaváděny nové normy, které udávají podmínky zpracování a materiály, které jsou zakázány – a to vše s ohledem na šetrnost životního prostředí. To se dotýká především výroby termoplastických pěn, kde bylo dříve žádoucí využívat vyfukovací činidla na bázi CFC a HCFC – a ty jsou výrazně nebezpečné pro životní prostředí, proto je vývoj a hledání nových vyfukovacích činidel šetrných k životnímu prostředí, ale zároveň s odpovídajícími vlastnostmi konečných produktů, stále aktuální.

I přes velkou výzvu a výrazné výrobní i ekonomické omezení je povzbudivé zjištění, že průmyslové společnosti v pěnovém průmyslu po celém světě aktivně pracují na změně vyfukovacích látek, aby ochránily ozonovou vrstvu, čímž po této stránce pěnový průmysl obecně zesílil. [2]

1.8 Technologie plnění – termoplasty a termosety

Každá z technologií disponuje svými specifiky, která se s výhodou využívají pro výrobu stabilních polymerních produktů.

Za nejvyžívanější metodu lze označit reaktivní pění, které funguje na základě chemické reakce, při níž reaguje plyn společně s polymerní maticí. Konkrétním příkladem může být pěna z polyuretanu, kdy jsou využity obsažené polyoly a izokyanát (velmi reaktivní), ten je schopen reagovat s vodou za vzniku oxidu uhličitého, který se snadno rozpíná.

Obecně u všech metod vždy závisí na složení materiálu, volbě reaktantů i přesné poměry, které jsou při výrobě použity. To vše je totiž schopno výrazně ovlivnit konečnou hustotu, velikost a povahu buněk, ale i rozměry konečných výrobků. [2]

Pění rozpustné se vyznačuje využitím rozpouštění fyzikálních vyfukovacích činidel v matici polymeru, nejčastěji u termoplastů. Tento způsob se u extruze využívá s výhodou kontinuálního zpracování při vysokých rychlostech, což je při velkoobjemových produkcích vyžadováno. Podstatou je dosáhnout pomocí speciální konstrukce šneku

homogenizovaného roztoku plynu a taveniny, kde se plyn může rozpouštět. Aby došlo k pění, je takto připravený roztok dopraven do nízkotlakého prostředí.

Neméně důležitou technologií je kalení taveniny (příp. roztoku). Základem pro vznik tohoto postupu byla metodika aerogelů zabývající kompatibilitou mezi kapalinou a kapalinou – nahrazení rozpínané pevné látky kapalinou plynu. Tím je oxid křemičitý o vysokém tlaku a teplotě s obsahem kyseliny, která je následně nahrazena alkoholem a pak vzduchem, přičemž vzniká aerogel. [5] [10]

Metodika	Princip	Praxe	Trh [%]
Reaktivní pění	Reakce/Zpracování	X-PE, PU, X-PVC	58
Rozpustné pění	Zpracování/Rozpouštění	PP, PS, PE	38
Tavné kalení	Roztok/Kalení	Aerogel	Pod 4

Obrázek 2 – Rozdělení a zastoupení technologií plnění [2]

1.9 Aplikace a použití

Stále zvyšující se poptávka po polymerních pěnách má za následek jak nahrazování některých stávajících výrobků, tak i inovativní řešení v různých odvětvích na trhu. Mezi prvními aplikacemi pěn bylo jejich využití jako plovoucích materiálů, následně i materiálů obalových. Nárůst využití a benefity této formy materiálu byly tak vysoké, že aplikace v dalších sektorech byla nevyhnutelná – elektronika, automobilový průmysl, stavebnictví, sportovní odvětví, zdravotnictví, apod.

Novým směrem, kterým se vývoj v následujících letech bude obor polymerních pěn vyvíjet, je zaměření na mikrobuněčné a nanobuněčné struktury, které výrazně zlepší poměr mezi vlastnostmi a hmotností – což umožní využití i pro speciální aplikace (např. lékařství) a to i s ohledem na životní prostředí. [2] [6]

2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Běžně využívané technické materiály jsou polymery, kovy, keramika a kompozity. Právě kompozitní materiály se využívají pro své výhody jako alternativa klasických materiálů. Kompozitní materiály tvoří dva či více různých materiálů s výrazně odlišnými fyzikálními, příp. chemickými, vlastnostmi, jejichž spojením vzniká synergický materiál, který se od jednotlivých prvků znatelně liší svými vlastnostmi. Kompozitní materiály se hojně využívají v automobilovém průmyslu, stavebnictví, dopravě, leteckém průmyslu a při výrobě energie z obnovitelných zdrojů díky své odolnosti, vysoké pevnosti, skvělé kvalitě, minimální údržbě a nízké hmotnosti. [7]

Mezi hlavní výhody se řadí: odolnost proti korozi, nízká hmotnost, odolnost vysokým teplotám, vysoká tuhost a pevnost. Koncept kompozitů je využíván napříč různými výrobními odvětvími: námořní doprava, letectví, automobilový průmysl, stavebnictví či sportovní příslušenství. Inovativní technologie kompozitních skladeb umožňují jejich využití i pro velice náročné aplikace, např. potahy křídel i hlavní tělo letadel, listy rotorů.

Nejjednodušší skladba kompozitního materiálu představuje matici a výztuž. Struktura vrstvených (laminovaných) kompozitů je obvykle tvořena několika vrstvami, které se nazývají laminy. Každá z nich se skládá běžně ze dvou složek: a) matrice a b) výztužný materiál/vlákna, která jsou uložena v matici. [8]

Důvody pro umístění pevných vláken do matrice:

- vlákna zůstávají umístěna na svých pozicích;
- ochrana vláken před vlivy destruktivního prostředí (vlhkost). [8]

2.1 Rozdělení kompozitních textur

2.1.1 Vlákenné kompozity

Typ kompozitního materiálu, který obsahuje vlákna umístěna v matici, což způsobuje velmi vysokou tuhost a pevnost. Dle délky se dělí vlákna na krátká a dlouhá. Krátká vlákna se vyznačují svou vysokou tuhostí a pevností, dlouhá vlákna se vyrábějí v podobě tkané nebo rovné. Výrazná závislost geometrických vlastností vláken je především dána průměrem blízcím se velikosti krystalu a poměrem délky k průměru.

Ovšem vláknenná účinnost se udává poměrem tuhosti nebo pevnosti k hustotě. Vhodně zvolenými vlákny lze docílit lepší odolnosti matrice proti lomu. [8]

2.1.2 Laminované kompozity

Složení laminovaných kompozitů je tvořeno několika různými tenkými vrstvami různých materiálů, které jsou spojeny dohromady. Tím je dosaženo konečného materiálu s lepšími mechanickými vlastnostmi, použitá metoda se nazývá laminování. Pro docílení ještě lepších vlastností se využívá i různá orientace jednotlivých vrstev, což napomůže k synergii. Tento princip je aplikován například u bimetalových pásků, vrstveného skla či laminátů na bázi plastů. [8]

2.1.3 Kompozity z pevných částic

Náhodné uspořádání částic různých látek o různých velikostech, konfiguracích a tvarech v matrici tvořící částicové kompozity se považuje za izotropní materiál. Příkladem může být beton. Místo vláknových kompozitů se s výhodou integrují částicové kompozity, protože se výrazně snižují náklady. Oproti tomu mají ale nižší odolnost proti lomu a nosnost. Částice mohou být jak kovového, tak i nekovového původu. [8]

Nejběžnější čtyři kombinace výztuhy a matrice:

- kovové částice v nekovové matrici,
- nekovové částice v kovové matrici,
- nekovové částice v nekovové matrici,
- kovové částice v kovové matrici. [8]

2.1.4 Symetrické lamináty

Obvykle používaný typ vrstvených kompozitů skládaný na principu symetrie (materiálové, geometrické, ...) ke geometrické střední ploše. Symetrická dvojice vrstev tudíž disponuje stejnými vlastnostmi. [8]

2.1.5 Nesymetrické lamináty

Nesymetrické lamináty nejsou symetrické vzhledem ke svému středovému povrchu. Používají se ojediněle v konkrétních aplikacích v závislosti na požadavcích na konstrukci.

Kombinace kompozitních textur:

- symetricko–vláknité kompozity,
- symetricky laminované kompozity,
- symetricko–částicové kompozity,
- nesymetrické vláknité kompozity,
- nesymetricko–vrstvené kompozity,
- nesymetricko–částicové kompozity.

Matrice plní funkci přenosu zatížení na vlákna společně s držením vláken v dané poloze, přičemž odolnost vůči zatížení plní právě vlákna.

Mezi běžné materiály matrice se řadí polyimidy a epoxidy. Pro výrobu vláken je obvykle používáno sklo, uhlík, aramid nebo karbid křemíku.

Faktory ovlivňující vlastnosti kompozitů:

- vlastnosti vláken,
- vlastnosti matrice,
- objemový podíl vláken (FVF), tj. poměr vláken k matrici,
- uspořádání vláken v kompozitu (geometrie a orientace).

Hustota, tuhost a pevnost matrice je nižší než hustota, tuhost a pevnost vláken. Kombinace matrice a vláken obvykle nabízí velmi vysokou pevnost a tuhost při zachování nízké hustoty. Nejzásadnější vliv na poškození kompozitních materiálů mají rázová a cyklická zatížení. Tato zatížení výrazně snižují zbytkovou pevnost konstrukce kompozitů. Rozsah poškození je klíčový pro zbytkovou životnost výrobků. [8]

2.2 Sendvičové struktury

Jedná se o speciální typ kompozitní skladby sestávající se z jádra a vnějších vrstev (libovolný počet). Vrstvy kolem jádra mohou být uspořádány pravidelně, ale i nepravidelně v závislosti na požadovaných vlastnostech konečného produktu. [9]

S časem se kompozitní materiály, resp. výrobky, dostávaly do různých odvětví a již v roce 1880 byly vyrobeny první vyztužené pneumatiky, 1940 se začala využívat skelná výztuž, v zápětí (1942) bylo zkombinováno skelné vlákno společně s polyesterem pro výrobu kompozitních leteckých dílů. Na základě využití již získaných požadavků a zvyšujícího se zájmu o kompozitní struktury byla roku 1963 vyvinuta uhlíková vlákna, která se následně zkombinovala s epoxidovou pryskyřicí, a objevilo se první využití pro křídla letadel. 1976 byl uznán patent na kompozitní tenisovou raketu a již 1990 byl sestaven kompletní stíhací letoun vyroben pomocí metody vytvrzování v autoklávu (Boeing). [12]

2.3 Aplikace kompozitních materiálů

2.3.1 Letectví a kosmonautika

V posledních letech se využívání kompozitních materiálů v leteckém průmyslu dramaticky zvýšilo, což je zřejmé z dat společností Airbus a Boeing. Například srovnání Airbus A300 (4,5 % hmot., 1971-2007) a B787 (50 % hmot., 2007 až současnost). Dle hmotnosti karoserie letounu B787 představuje z 50 % kompozity, 15 % titan, 10 % ocel, 20 % hliník a 5 % ostatní materiály, přičemž kompozitní podíl v B787 tvoří hlavně CFRP lamináty, skleněná vlákna a uhlíkové sendviče. Ačkoliv se hliník řadil mezi nejpoužívanější materiály v leteckém odvětví, zaznamenal výrazný pokles z 50 % u letounu Boeing B777 na 20 % u letounu Boeing B787. Především porovnání modulů pružnosti v tahu a pevnostních charakteristik vláken E-skla (72 GPa, 3,5 GPa) s hliníkem (68,9 GPa, 0,31 GPa) naznačuje důvodu přechodu na kompozity. Zásadní je však v těchto aplikacích nejen odlehčování konstrukcí, ale také mechanická odolnost kompozitních struktur a protipožární vlastnosti. [7] [11]

2.3.2 Automobilový průmysl

Důvodem využití kompozitů ve sportovních vozidlech je dosáhnout maximálního možného výkonu díky nízké hmotnosti. Inovace emobility využívající elektrický pohon i samonaváděcí technologie vyžadují lehké materiály, tím totiž mohou dosáhnout vyššího dojezdu mezi nutností dobíjení. Hlavním z cílů automotive je dosáhnout úsporných a zároveň lehkých vozidel. V případě využití CFRC je hmotnost běžného osobního vozidla snížena až o 30 %. Snížení nákladů je významným motivem v oblasti kompozitů. [7]

2.3.3 Námořní průmysl

Nyní kompozitní materiály ze skleněných (GF) a uhlíkových vláken (CF) zastávají významnou roli při vývoji využívání mořské energie, stavbě lodí a opravách námořních strojů. Kompozity pomalu a systematicky nahrazují horní kov (nad hladinou vody) ve stále větším počtu námořních zařízení, ať už jde o nová zařízení, ale i v případě renovací stávajících konstrukcí. Opět je u uhlíkových vláken využito zejména nižší hmotnosti, odolnosti proti opotřebení a vysoké pevnosti. Dalšími neopomíjenými výhodami jsou: cenová výhodnost, odolnost vůči životnímu prostředí, trvanlivost, schopnost přizpůsobit pevnost okolnostem zatížení, schopnost tvarovat složité, bežešvé objekty, vynikající poměr pevnosti a hmotnosti, nízká hmotnost (přibližně poloviční oproti podobným ocelovým konstrukcím), nenáročná údržba/opravitelnost a skvělá dlouhodobá životnost. [7]

2.3.4 Větrná energie

Kompozity se ve větrných turbínách používají díky své vysoké měrné pevnosti. Jejich hojně aplikace v tomto odvětví však výrazně čelí blížícímu se problému recyklace lopatek větrných turbín. V této souvislosti zakázaly některé státy EU z ekologických důvodů likvidaci kompozitních lopatek na skládkách, což v tomto odvětví znamená nátlak na vývoj nových řešení pro kompozity. Předpokládá se, že množství použitého šrotu lopatek se v příštím desetiletí zdvojnásobí, a to z 1 000 000 tun v roce 2020 na 2 000 000 tun v roce 2030.

V současné době je však již možné recyklovat přibližně 90 % celkové hmotnosti větrných turbín a v odvětví větrné energie se celosvětově spotřebuje přibližně 2,5 milionu tun kompozitního materiálu. Pro demontáž, sběr, přepravu, likvidaci odpadu a restrukturalizaci kompozitních materiálů do výrobních řetězců vyžaduje tato výzva logistická i technická řešení. [7]

2.3.5 Výstavba a infrastruktura

Snad nejzajímavější aplikací sofistikovaných kompozitních materiálů je zatím funkční most na státní. Zatím nejzdařilejším využitím v tomto sektoru je výstavba funkčního mostu. Kompozity umožňují následovat cestu inovací, modernizace i zlepšování procesů. Skleněná a uhlíková vlákna se nejčastěji používají v matricích z epoxidových pryskyřic. [7]

3 STATISTICKÉ HODNOCENÍ DAT

3.1 Průzkumová analýza jednorozměrných dat

3.1.1 EDA – Exploratorní analýza dat

Exploratorní analýza dat (EDA) je využívána zejména datovými vědci k analýze a zkoumání datových souborů pro zjištění a shrnutí jejich hlavních charakteristik, často také s využitím metod vizualizace dat. Napomáhá určit, jak nejlépe manipulovat s datovými zdroji, aby byly získány potřebné odpovědi, zároveň však usnadňuje objevování vzorců, odhalování anomálií, testování hypotéz nebo ověřování předpokladů.

EDA se aplikuje k odhalování informací o datech nad rámec formální úlohy modelování nebo testování hypotéz, a poskytuje lepší pochopení proměnných datového souboru a vztahů mezi nimi. Také je schopna stanovit, zda jsou statistické techniky, které se zvažují pro analýzu dat, vhodné. Hlavním účelem EDA je pomoci podívat se na data ještě předtím, než se učiní prvotní předpoklady, což může vést k identifikaci zjevné chyby a také lepšímu porozumění vzorcům v datech, odhalit odlehlé hodnoty, případně anomální události nebo najít zajímavé vztahy mezi proměnnými.

Dále je možné s využitím EDA zajistit, aby výsledky, které jsou vytvářeny, byly platné a použitelné pro všechny požadované obchodní výsledky a cíle. Napomáhá k potvrzení zúčastněným stranám, že kladou správné otázky, ale také k odpovědím na otázky týkající se směrodatných odchylek, kategorických proměnných a intervalů spolehlivosti. Po dokončení EDA a získání poznatků lze její funkce využít pro sofistikovanější analýzu dat nebo modelování - včetně strojového učení. [13][30]

3.1.1.1 Typy grafického znázornění dat

- **Diagram rozptýlení** – znázorňuje do osy x jednorozměrnou projekci kvantilového grafu. Hojně se využívá pro svou jednoduchost, avšak i přes to odhaluje nejen lokální koncentrace dat, ale i odlehlá či podezřelá měření. Na osu x jsou zaznamenávány hodnoty x_i a na osu y libovolné úrovně (např. $y = 0$).
- **Rozmítnutý diagram rozptýlení** – Taktéž se jedná o projekci kvantilového grafu, s tím rozdílem, že pro snazší nástin jsou body lépe rozmítnuty. Na osu x jsou zaznamenávány hodnoty x a na osu y intervaly náhodných čísel.

- **Diagram percentilů** – vykresluje nejčastěji pouze vybrané percentily. Zpravidla se jedná o intervaly: 0-2; 2-5; 5-10; 10-15; 15-25; 25-35; ...; 75-85; 85-90; 90-95; 95-99; 99-100. Na základě výsledného uspořádání je možné určit tvar či symetrii rozdělení dat. Na osu x je zaznamenávána proměnná a na osu y percentily.
- **Houslový diagram** – jedná se v podstatě o kombinaci dvou vertikálních grafů hustoty (zobrazených zrcadlově k sobě) s krabicovým grafem. Znázorňuje údolí a píky totožně jako graf hustoty pravděpodobnosti – zde jeden roste směrem doleva a druhý doprava. Normální rozdělení tak vizuálně tvoří symetrický tvar houslí – odtud název diagramu. Na osu x jsou zaznamenávány označení výběru proměnné a na osu y percentily / hodnoty proměnné.
- **Kvantilový graf** – slouží k přehlednému zobrazení dat a snadnému rozlišování tvaru rozdělení: symetrie, zešikmení k nižším či vyšším hodnotám. Na osu x je zaznamenávána pořadová pravděpodobnost P_i a na osu y pořadková statistika $x_{(i)}$.
- **Boxplot graf** – též označovaný jako krabicový graf, se využívá k částečné sumarizaci dat, protože znázorňuje medián M , robustní odhad polohy, ale také v něm lze nalézt podobu symetrie u okolních kvartilů i u konců rozdělení. Především se pak s výhodou využívá pro identifikace odlehlých dat. Osa x je úměrná hodnotám x , zatímco osa y znázorňuje interval úměrný hodnotě \sqrt{n} .
- **Vrubový boxplot graf** – jde o obdobu krabicového grafu, přičemž se od sebe liší v možnosti posouzení variability mediánu. Osa x je úměrná hodnotám x_i , zatímco osa y znázorňuje interval úměrný hodnotě \sqrt{n} .
- **Graf symetrie** – Charakteristikou pro symetrická rozdělení je rovnice $y = M$. V případě rozdělení asymetrického je zde v grafu směrnice odhadem parametru šikmosti, nikoli přímka s nulovou směrnicí a body tak jsou uspořádány v trendu určité křivky. Na osu x se zaznamenává $M - x_{(i)}$ a na osu y $Z_i = x_{(n+1-i)} - M$.
- **Graf polosum** – horizontální přímka dána rovnicí $y = M$ graf polosum rozděluje symetricky. Specifickým znakem tohoto grafu je oscilace bodů právě kolem horizontální přímky, které kolem ní vytvářejí náhodný shluk, přičemž je měřítko osy y silně detailní. Při rozdělení asymetrickém rozdělení zde působí nenáhodný

trend, tudíž pohyb bodů a měřítko osy y se projevuje naopak. Na osu x jsou zaznamenávány pořádkové statistiky $x_{(i)}$ a na osu y $Z_i = 0,5 (x_{(n+1-i)} + x_{(i)})$.

- **Graf špičatosti** – grafem normálního rozdělení je horizontální přímka, kdy většina bodů leží právě na této přímce. Body vykazující nenáhodný trend způsobují, že hodnota směrnice této přímky bude odpovídat parametru špičatosti. Pro osu x platí $u_{P_i}^2/2$ pro $P_i = i/(n + 1)$ a osu y $\ln(x_{(n+1-i)}) - 2u_{P_i}$.
- **Graf šikmosti** – zde se projevuje přímková závislost s nulovým úsekem a jednotkovou směrnicí v případě rozdělení symetrického, což znamená, že body leží těsně na této přímce. Pokud se jedná o asymetrické rozdělení, tak na této přímce body neleží a mají odlišnou směrnici. Pro osu x platí $u_{P_i}^2/2$ pro $P_i = i/(n + 1)$ a osu y $Z_i = 0,5 (x_{(n+1-i)} + x_{(i)})$.
- **Graf rozptýlení s kvantily** – ze spojení bodů $\{x_{(i)}, P_i\}$ lineárními úseky lze získat odhad kvantilové funkce výběru, která je stěžejní pro sestavení tohoto grafu. Sigmoidální tvar kvantilové funkce je typický pro symetrické rozdělení. Rozdělení zešikmená k nižším hodnotám disponují tvarem konkávně rostoucím a naopak zešikmená k vyšším hodnotám tvarem konvexně rostoucím. Na osu x se zaznamenává P_i a na osu y $x_{(i)}$.
- **Histogram** – ve své postatě kopíruje obrys grafu sloupcového, přičemž na ose x jsou jednotlivé třídy, které definuje šířky sloupců. Empirické hustoty pravděpodobnosti naopak udávají výšky těchto sloupců. Hlavním faktorem ovlivňujícím kvalitu histogramu patří volba počtu tříd. Na osu x jsou zaznamenávány proměnné x a na osu y úměrné hustoty pravděpodobnosti.
- **Q–Q graf** (kvantilově-kvantilový) – napomáhá k určení shodnosti výběrového rozdělení udávaného kvantilovou funkcí $Q_E(P)$ s odhadem kvantilovou funkcí určené teoretickým rozdělením $Q_T(P)$. Při shodě je kritériem těsnosti korelační koeficient r_{xy} , který určuje proložení dané přímky v případě hledání druhu neznámého rozdělení. Na osu x se zaznamenává $Q_T(P_i)$ a na osu y $x_{(i)}$.
- **Rankitový graf** – porovnává rozdělení normální s rozdělením výběru. Pomocí tohoto grafu je tak možné orientační rozřazování výběrových rozdělení do skupin na základě délky konců, šikmosti nebo špičatosti. Na osu x je zaznamenáván kvantil normovaného Gaussova rozdělení u_{P_i} a na osu y $x_{(i)}$.

- **P–P graf** (pravděpodobnostní) – jedná se o alternativu Q–Q grafů. Srovnává standardizovanou distribuční funkci, která má určené teoretické rozdělení, s distribuční funkcí výběru, jež je vyjádřena prostřednictvím pořadové pravděpodobnosti. Při shodě rozdělení výběrového s určeným teoretickým rozdělením dochází k vytvoření P–P grafu v lineární podobě s jednotkovou směrnicí disponující nulovým úsekem. U konstruování P–P grafu je nutností znalost nejen teoretického rozdělení, ale i hodnot všech parametrů. Na osu x se zaznamenává P_i a na osu y $F_T(S_{(i)})$.
- **Kruhový graf** – využívá se k ověřování hypotéz vizuálně tak, že podmínkou je symetrické (nejběžněji Gaussovo) rozdělení původu výběru. Graf má pro tento případ podobu regulárního konvexního polygonu, který se blíží tvaru kružnice. Odchytky od kružnice indikují odlišné rozdělení výběru než je symetrické. [13]

3.1.2 Ověření předpokladu o datech

V praxi je běžně uvažována skutečnost, že data tvoří tzv. Reprezentativní náhodný výběr, jehož charakteristika závisí na 3 hlavních předpokladech. Ty je vždy nutno ověřit a až následně provádět analýzu. [13] [15]

3 hlavní předpoklady:

- prvky výběru x_i jsou vzájemně nezávislé,
- výběr je homogenní,
- rozdělení výběru je normální. [13]

3.1.2.1 Postup ověřování předpokladů

1. Odhady klasických parametrů.
2. Test normality.
3. Test nezávislosti.
4. Detekce odlehlých bodů. [13]

3.2 Statistická analýza jednorozměrných dat

3.2.1 Postup testování statistické hypotézy

Obecný postup pro zpracování a testování statistické hypotézy:

1. Definování hypotézy nulové H_0 a hypotézy alternativní H_A .
2. Volba hladiny významnosti α .
3. Volba testační statistiky (např. t).
4. Určení kritického oboru testové charakteristiky.
5. Vyčíslení testační statistiky a jejich kvantilů.
6. Rozhodnutí, jestliže:
 - a) testační statistika padá do kritického oboru – hypotéza H_0 se zamítá a přijímá se hypotéza H_A ,
 - b) testační statistika nepadá do kritického oboru – hypotéza H_0 se nezamítá. [13] [15]

3.2.2 Testy střední hodnoty

Také nazývány tzv. testy správnosti. Je možné testovat střední hodnoty 2 způsoby:

- **100(1 - α)% interval spolehlivosti** – základem je vypočtení intervalového odhadu parametru μ (tj. poloha nebo rozptýlení). Jestliže do tohoto intervalu zapadne zadaná hodnota μ_0 parametru μ , nulová hypotéza H_0 se nezamítá ($\mu = \mu_0$). Pokud však μ_0 do intervalu nezapadá, nulová hypotéza H_0 se zamítá. [13]
- **Studentův t-test** – nejprve je vybrán náhodný soubor rozsahu n ze základního souboru s rozdělením $N(\mu, \sigma^2)$. Následně je vypočten výběrový průměr \bar{x} a směrodatná odchylka s . Pro testovou statistiku se volí náhodná veličina. [13] [15]

3.2.3 Test shody středních hodnot

Také nazývány tzv. testy shodnosti. Využívá se pro porovnávání 2 výběrů $\{x_i\}$, $i = 1, \dots, n_1$ a $\{y_j\}$, $j = 1, \dots, n_2$. V některých případech lze ale tuto metodu využít i pro

testování jednoho výběru, což je možné pouze, pokud existuje nějaká logická vazba mezi prvky obou výběrů. Obecně je možné u dvou výběrů odhalit shodnost rozdělení pravděpodobnosti, ale také jestli se v parametrech rozptýlení a polohy neliší. [13] [15] [16]

3.2.3.1 *Postup testu shodnosti středních hodnot dvou souborů*

1. **Ověření normálního rozdělení u obou souborů** – testy, statistické diagnostiky k ověření předpokladů o výběru.
2. **Test shody rozptylů**
 - a) klasický Fisherův–Snedecorův F–test,
 - b) modifikovaný Fisherův–Snedecorův F–test,
 - c) robustní test jackknife F_J .
3. **Test shody středních hodnot dvou souborů**
 - a) klasický Studentův t–test T_1 pro homoskedasticitu,
 - b) klasický Studentův t–test T_2 pro heteroskedasticitu,
 - c) modifikovaný Studentův t–test T_3 pro výběry odchýlené od normálního rozdělení,
 - d) robustní test jackknife polohy T_4 pro homoskedasticitu,
 - e) robustní test jackknife polohy T_5 pro heteroskedasticitu.

[13] [14] [15]

3.3 Analýza rozptylu

ANOVA (Analysis of Variance), tj. analýza rozptylu, se v praktických případech využívá samostatně, nebo jako postup, pomocí kterého lze provést analýzu zdrojů variability pro modely lineárně statistické. Účelem je určit, které z kvantitativních či kvalitativních faktorů výrazně ovlivňují pozorované veličiny, přičemž nezáleží na způsobu ovlivnění, ale na skutečnosti, zda vůbec ovlivňují. ANOVA především rozděluje celkový rozptyl dat na dvě složky: objasněnou (známé zdroje variability) a neobjasněnou (předpokládaně náhodná). [13]

Postup analýzy v 5 krocích:

1. Odhad parametrů základního modelu ANOVA

2. Testování jeho významnosti a konstrukce různých modelů
3. Vyjádření složek rozptylů a testování jejich významnosti
4. Ověření předpokladu normality a indikace silně vybočujících hodnot.
5. Interpretace výsledků s ohledem na zadání dat a jejich případné úpravy.

3.3.1 Jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA)

Protože tato analýza disponuje komplexnějším provedením, má i širokou škálu nástrojů k porovnání a hodnocení dat, které se běžně využívaly: formulace modelu; základní předpoklady jednofaktorové analýzy rozptylu dat; základní předpoklady Kruskalova-Wallisova testu analýzy rozptylu dat; omezení; testování; vícenásobné porovnávání; druhy porovnávacích metod MCP; Bonferroniho porovnání všech párů; Bonferroniho porovnání sloupců vůči kontrolnímu; standardní porovnání; Kruskalovo-Wallisovo porovnání Z-skóre a Scheffého porovnání. [13] [18]

3.3.1.1 *Postup jednofaktorové analýzy rozptylu*

1. Příprava dat – předpoklad, který může výrazně ovlivnit konečné výsledky, a proto je nutné zajisti shodnost velikosti výběru s četnostmi ve sloupcích, minimalizovat četnost chybějících hodnot, potvrdit spojitost dat a posoudit a eliminovat odlehlé hodnoty (pomocí EDA).
2. Ověření výběrových předpokladů – je nutné, aby data splňovala náhodnost, nezávislost, normalitu, ale i homoskedasticitu.
3. Průměry a efekty úrovní – hodnoceny na základě identifikace vlivných bodů.
4. Volba statistických testů významnosti faktoru A – klíčové je validovat vhodné výběrové předpoklady a pro ty následně zvolit vhodné testy.
5. Vícenásobné porovnávání sloupcových průměrů MCP – mohou nastat 4 typy porovnávání: plánované všechny možné páry, neplánované všechny možné páry, každý versus kontrolní sloupec, vybrané a plánované sloupce.
6. Grafy a diagramy – nejprve se sestaví rankitový graf reziduí jackknife, poté transformační graf závislosti.

4 MANAGEMENT KVALITY

Management kvality (též řízení jakosti) lze formulovat jako činnosti, které s ohledem na jakost musí být koordinovány, aby byly schopny usměrňovat a řídit podnik. Pod tyto činnosti spadají všechny aktivity vedoucí k určování odpovědnosti a cílů s pomocí prostředků, mezi které patří plánování, přes management, až po zlepšování kvality. [31]

Řízení kvality je možné uplatnit nejen v případě koncových výrobků (příp. služeb), též označováno kvalitou výsledků, ale i v případě procesů. Z definice tak vyplývá, že kvalita je komplexní záležitostí, kterou je nutné zohledňovat ve všech oblastech napříč výrobním procesem. Aby podnikový management byl funkční a přínosnou záležitostí, musí být zodpovědně dodržovány především základy řízení kvality, jež jsou v praxi velmi často zanedbávány, přičemž jsou zásadní pro snížení podílu reklamací, a zároveň rozsahu vnitřní neefektivnosti. [25] [31]

Mezi principy účinných systémů jakosti se řadí: princip prevence, princip všeobsažnosti, princip zpětné vazby, princip orientace na zákazníka, princip matematické podpory, princip transparentnosti, princip efektivnosti, princip měřitelnosti výsledků, princip týmové spolupráce, princip neustálého zlepšování. [25] [27] [31]

4.1 7 KLASICKÝCH NÁSTROJŮ KVALITY

Tyto nástroje kvality slouží především pro řízení a zlepšování kvality, přičemž jejich řazení může být různé, nejčastěji se však využívá seřazení dle posloupnosti identifikace a následného řešení problému. [22]

4.1.1 Vývojové diagramy

Také označovány jako Flow charts - přehledně analyzují proces, kdy pomocí jednotlivých kroků je proces vizuálně rozložen, což se využívá k snadnějšímu pochopení propojení všech zahrnujících činností. [22]

4.1.2 Kontrolní tabulky

Je možné využívat i označení kontrolní formuláře nebo záznamníky dat. Slouží k zaznamenávání a sběru kvantitativních dat a údajů, které jsou podkladem pro následné analýzy a hodnocení kvality. Kontrolní data by neměla zahrnovat údaje, jež jsou: neúplné, opožděné či zkreslené. (15) [17]

4.1.3 Histogramy

Na základě zvolených intervalů graficky znázorňují distribuci četností, podmínkou je však, aby údaje byly číselné. V případě histogramů se šířka intervalu pro sledovaný znak zobrazuje prostřednictvím šířky sloupců. Dle tvaru grafu lze identifikovat výskyt náhodných chyb, příp. nedodržení výrobního postupu. [16] [17] [20]

4.1.4 Işikawův diagram

Dále označován jako diagram rybí kosti či diagram příčin a následků - jak z názvu vyplývá, jedná se o řešení pravděpodobné příčiny problému, ale i následků. Specificky se od ostatních diagramů liší svou grafickou strukturou, která připomíná právě rybí kost. V praxi se nejčastěji využívá na bázi brainstormingu, protože dle závažnosti problému je řešeno více oblastí, které do problému zasahují, což vyžaduje kompetentní osoby k podnětným poznatkům. [20]

4.1.5 Pareto diagram

Využíván k Pareto analýze vycházející z Paretova principu 80/20 (tj. 80 % následků je způsobeno 20 % příčin), což může přispět k výraznému zlepšení jakosti produktu pomocí vyřešení menšího množství problémů (– snižování finančních nákladů). Grafické znázornění je založeno na kumulativní četnosti údajů. [21] [26]

4.1.6 Korelační diagram

Též bodový diagram graficky zobrazuje, zda existuje vztah mezi dvěma náhodnými proměnnými, přičemž se zvyšujícím se počtem dat se zvyšuje i věrohodnost výsledků získaných v diagramu. Mezi proměnnými mohou nastat 4 typy vztahů: kladný, záporný, bez lineární závislosti, proměnná závislost. [20] [22]

4.1.7 Regulační diagram

Nachází využití pro předvídání chování procesu, na základě získaných dat, zaznačených do diagramu se stanovenými hranicemi (střední hodnota (CL), horní regulační mez (UCL), dolní regulační mez (LCL), příp. akční meze). Slouží jako nástroj pro SPC k řízení kvality výrobního procesu. Cílem je zajistit kontrolovaný, efektivní, ideálně bezzmetkový a spolehlivý výrobní proces podložený statistickými kontrolami. [17] [19] [20]

4.2 METODY ŘÍZENÍ JAKOSTI

Cílem využívání metod a nástrojů řízení kvality je přiblížení se organizační dokonalosti společně se zvyšující se efektivností procesů i výsledků. [24] [28] [29]

4.2.1 Metoda 5x proč

Využívá se místo Išikawova diagramu, lze ji také dohledat pod označením 5 WHYS?, přičemž je součástí 8D reportu pro zjišťování kořenové příčiny nalezeného problému. Základním předpokladem pro efektivní využití této metody jsou pravdivé odpovědi na klíčové otázky. Tým by měl být rozmanitý, zároveň by se náplň práce členů měla zabývat řešeným problémem. [20]

4.2.2 8D report

Důležitost používání metody nyní nespočívá pouze v řešení vad a reklamací, ale také k předcházení opakování těchto problémů. Původně vznikla pro automobilový průmysl, odkud se rozšířila do dalších oblastí výroby (strojírenství, logistika, atd.). Předepsaná struktura 8D reportu: D0 – okamžitá opatření; D1 – tým; D2 – popis problému; D3 – seznam opatření; D4 – kořenová příčina; D5 – návrh trvalých opatření; D6 – zavedená trvalá nápravná opatření; D7 – preventivní opatření; D8 – závěr. [20]

4.2.3 Brainstorming

Kreativní metoda využívající shromažďování nápadů na základě logické a intuitivní složky lidského myšlení. Část intuitivní využívá potenciálu přicházet s inovativními řešeními a poznatky, naopak ta logická tyto návrhy kriticky hodnotí. K větší rozmanitosti je nutné, aby se brainstormingu účastnilo více členů s různým zaměřením, kdy jsou nejprve všechny návrhy vyslechnuty, a následně jsou konzultovány a kriticky prověřovány. [23]

4.2.4 Metody plánování jakosti

Bez využití metod plánování kvality téměř nelze jakost v podniku efektivně naplánovat. Mezi 4 nejvýznamnější patří: a) QFD – tzv. dům kvality se zakládá na týmové práci, která umožňuje snižovat náklady a urychlit vývoj produktu; b) FMEA – nejrozšířenější analýza rizik k prevenci výskytu neshod; c) Design Review – přezkoumání návrhu pro způsobilost k plnění požadavků na kvalitu produktu; d) DOE – plánování experimentu vede k co nejpřesnějšímu odhadu výsledku na požadované zadání.

[21] [22] [24]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 ZHODNOCENÍ VÝCHOZÍHO STAVU VÝROBNÍHO PROCESU

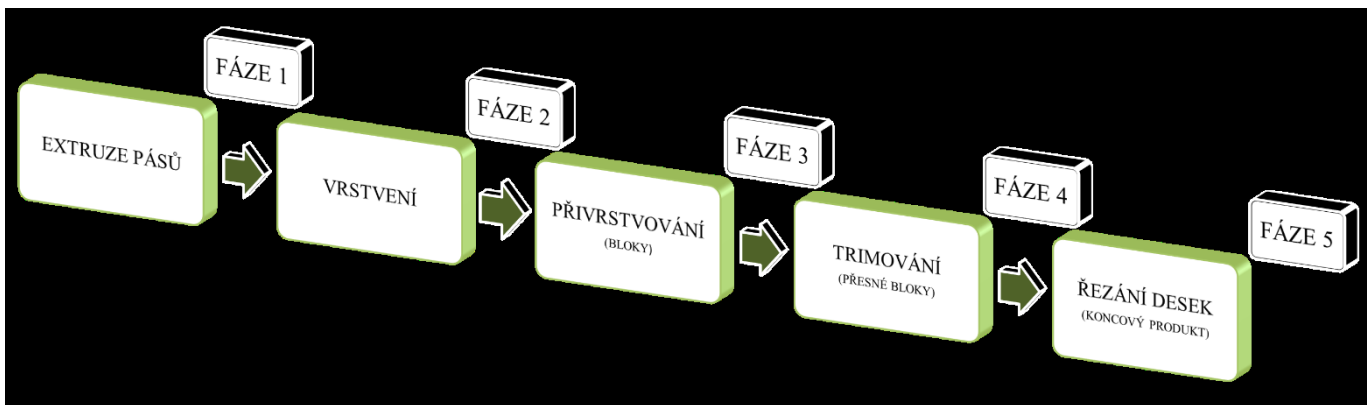
V praktické části diplomové práce byla řešena problematika nalezení a ověření zásadních vad vyráběné polymerní pěny, které měly významný vliv na kvalitu výrobku a následné reklamace od zákazníka. K hodnocení bylo využito vhodných statistických a kvalitativních metod. Práce byla prováděna v praxi, přesněji v průmyslovém podniku XY se specializací zaměřenou na výrobu polymerních pěnových produktů, pro řešení konkrétního problému u produktu s názvem PĚNA A.

Pro statistické hodnocení naměřených dat byly využívány následující programy: Minitab 17 a Microsoft Excel.

5.1 Nalezení problému

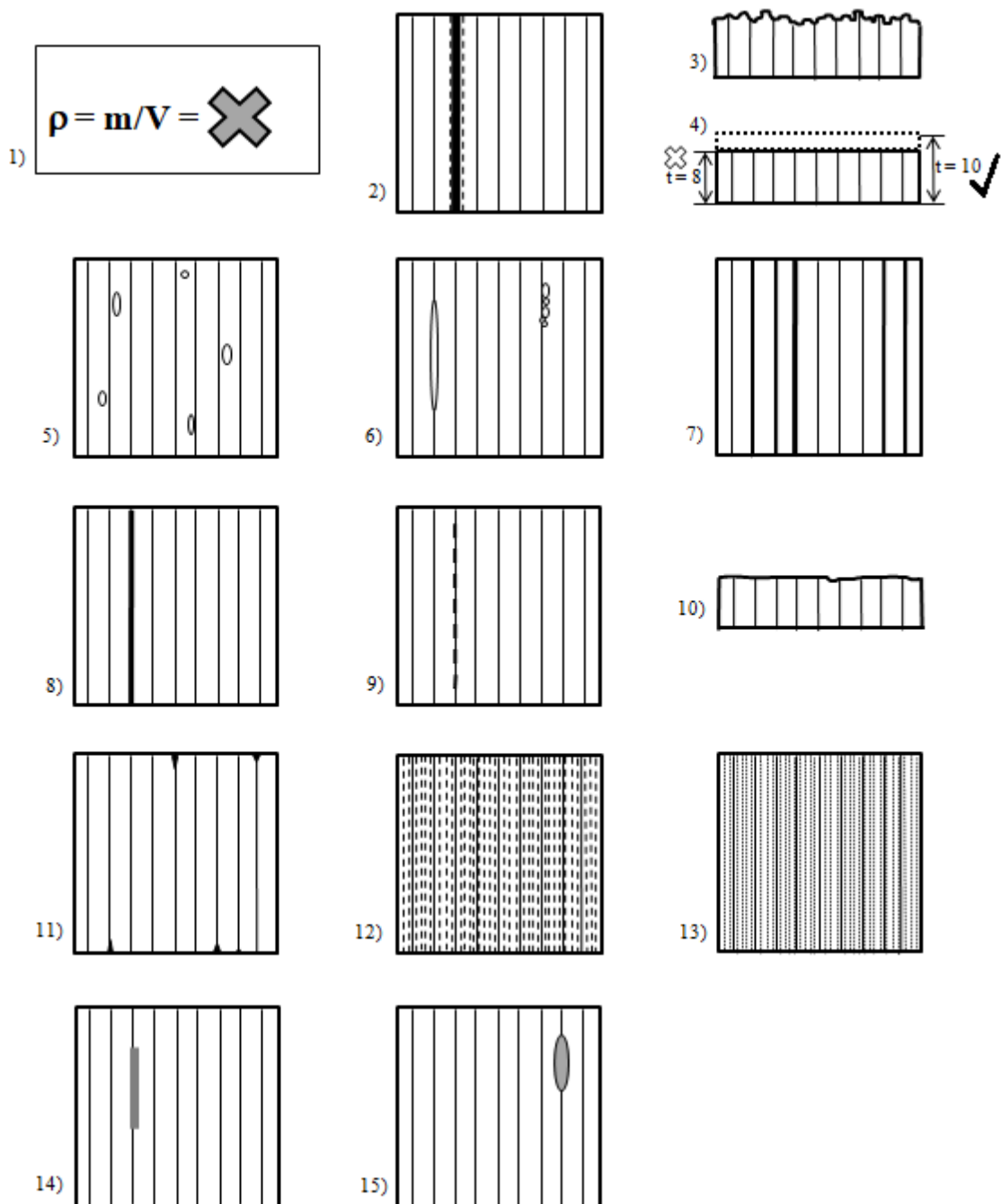
Pro objektivní a správné hodnocení problematiky bylo nutné pochopení celého výrobního procesu. Z tohoto důvodu byl tento výrobní proces nejprve zmapován.

V Obrázku 3 jsou znázorněny hlavní operace:



Obrázek 3 – Flow chart produktu výrobním procesem

Na konci výrobního procesu (FÁZE 5) byla provedena kontrola Pracovníkem 1 u 20 kusů náhodně vybraných desek. Jednalo se o kontrolu vizuální i měřicí. Z důvodu dostupného předchozího seznamu již zjištěných vad (viz Obrázek 4) bylo využito těchto informací, které byly následně zpracovány do kontrolní tabulky vad, což usnadnilo definování kontrolovaných faktorů. Tato tabulka byla vyplněna taktéž Pracovníkem 1, přičemž získané výsledky znázorňuje Obrázek 5.



Obrázek 4 – Schematický přehled vad

Typy nalezených vad: 1 – špatná hustota; 2 – tvrdý a silný svar; 3 – otřepený okraje; 4 – rozměry mimo tolerance; 5 – díry v pění; 6 – nespojené svary; 7 – nerovnoměrné svary (zebra); 8 – přepálený svar; 9 – znečištěný svar; 10 – nerovnoměrný povrch; 11 – díry v okrajích; 12 – přitavený povrch; 13 – chlupatý povrch; 14 – rýha; 15 – vytržený materiál.

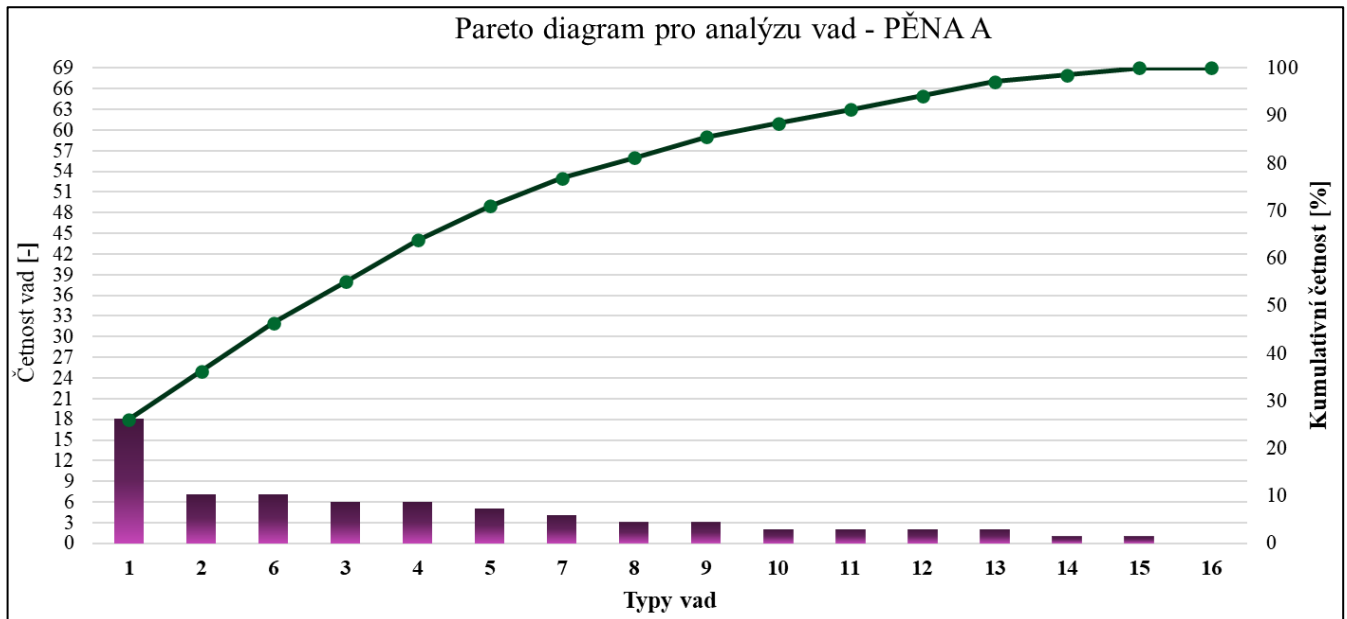
KONTROLNÍ TABULKA - VIZUÁLNÍ A MĚŘICÍ KONTROLA PĚNY			
1	Špatná hustota		18
2	Tvrký a silný svar		7
3	Otřepené okraje		6
4	Rozměry mimo tolerance		6
5	Díry v pění		5
6	Nespojené svary		7
7	Nerovnoměrné svary (zebra)		4
8	Přepálený svar		3
9	Znečištěný svar		3
10	Nerovnoměrný povrch		2
11	Díry v okrajích		2
12	Přítavený povrch		2
13	Chlupatý povrch		2
14	Rýha		1
15	Vytržený materiál		1
16	Jiné		0
Datum: 7/2023		Sarže: 3340220 / FAZE 5	Podpis:

Obrázek 5 – Kontrolní tabulka se záznamy vad

Sběr dat sloužil k jejich převodu do Tabulky 1, kde jsou vady zhodnoceny pomocí absolutních (kumulativních) a relativních (kumulativních) četností a uspořádány. Tato Tabulka 1 se tak stala podkladem pro následnou Pareto analýzu – přesněji pro vytvoření Pareto diagramu k vyhodnocení vad PĚNY A (viz Obrázek 6). Dle typu se jedná o data kvalitativní, a zároveň nominální.

Tabulka 1 Záznamy četností vad

Četnost vad - PĚNA A					
Číslo vady	Typ vady	Absolutní četnost [-]	Relativní četnost [%]	Absolutní kumulativní četnost [-]	Relativní kumulativní četnost [%]
1	Špatná hustota	18	26,1	18	26,1
2	Tvrký a silný svar	7	10,1	25	36,2
6	Nespojené svary	7	10,1	32	46,4
3	Otřepené okraje	6	8,7	38	55,1
4	Rozměry mimo tolerance	6	8,7	44	63,8
5	Díry v pění	5	7,2	49	71,0
7	Nerovnoměrné svary (zebra)	4	5,8	53	76,8
8	Přepálený svar	3	4,3	56	81,2
9	Znečištěný svar	3	4,3	59	85,5
10	Nerovnoměrný povrch	2	2,9	61	88,4
11	Díry v okrajích	2	2,9	63	91,3
12	Přítavený povrch	2	2,9	65	94,2
13	Chlupatý povrch	2	2,9	67	97,1
14	Rýha	1	1,4	68	98,6
15	Vytržený materiál	1	1,4	69	100,0
16	Jiné	0	0	69	100,0
Celkem vad		69	100,0		



Obrázek 6 – Pareto diagram

Na základě Pareto analýzy bylo zjištěno, že největším problémem v případě kvality výroby pěny je nedodržení optimální hodnoty hustoty, která je zákazníkovi přislíbena.

Vzhledem k využití PĚNY A v různých odvětvích, jako je např. automotive, je nutné přislíbenou hodnotu hustoty pěny dodržet pro její hlavní benefit, kterým je lehčení kompozitních materiálů. Z tohoto důvodu byl tento nedostatek zvolen jako objekt řešení a zkoumání pro tuto diplomovou práci. Přesnější rozložení hodnot a četnosti vad znázorňuje Lorenzova křivka kumulovaných hodnot, na základě které lze rozdělit pomocí určeného kritéria 50 % soubor do dvou skupin:

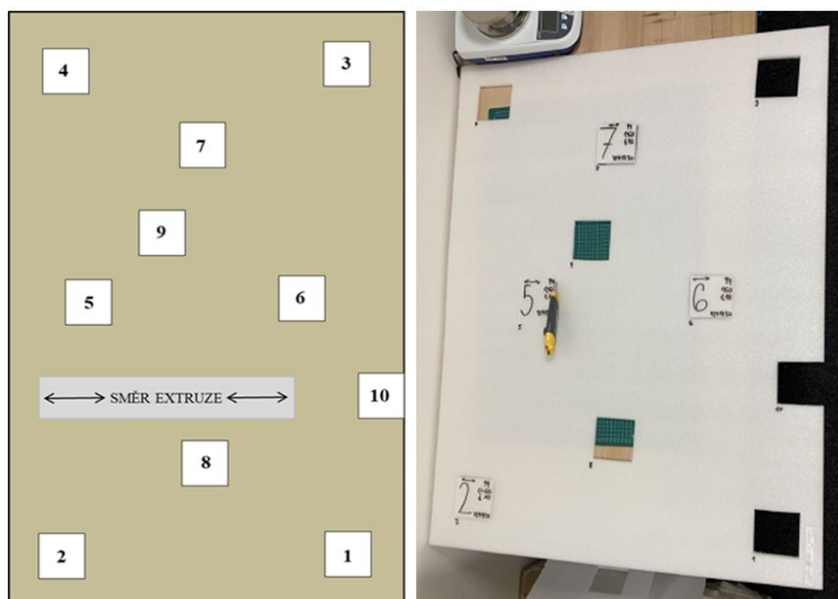
- **majoritní:** 50 % vadnosti udávají první tři položky (špatná hustota, tvrdý a silný svar, nespojené svary),
- **minoritní:** zbývajících 50 % vadnosti představují ostatní položky vad (otřepené okraje, rozměry mimo tolerance, díry v pění, atd.).

Nejprve bylo nutné sestavit systematický akční plán (viz Obrázek 7), podle kterého se zjišťovala příčina problému. Vzhledem ke komplexnosti výrobního procesu, bylo nutné zmapovat proces výroby, podle kterého se zjišťovalo, ve kterém kroku byl nárůst hustoty největší. To bylo důvodem k odběru vzorků v každé fázi.

Plán práce - trasování produktu			
1) EXTRUZE PÁSŮ tl. 5 mm; ρ 60	→	FÁZE 1 ○ Kolik udělají palet? • Z každé 1ks pásu	(získat data z 1 směny, tj. 1 zapnutí a nastavení linky) ! VZORKY !
2) PŘIVRSTVOVÁNÍ tl. 10 mm; ρ 60	→	FÁZE 2 ○ Kolik se vyrobí palet? • Z každé 1ks pásu	(získat data z 1 směny, tj. 1 zapnutí a nastavení linky) ! VZORKY !
3) LAMINOVÁNÍ (BLOKY) ρ 60	→	FÁZE 3 ○ Výkaz (laminovací linka) + průvodka bloku	(získat data o každém bloku)
4) TRIMOVÁNÍ ρ 60	→	FÁZE 4 ○ Výkaz (pila) + průvodka bloku	(získat data o každém bloku)
5) ŘEZÁNÍ DESEK tl. 5 10, 15, 20 mm; ρ 60	→	FÁZE 5 • 1 blok = všechny tloušťky	(získat data z 1 bloku - různé tloušťky 5, 10, 15, 20) ! VZORKY !
* Vzorky nachystat, nařezat, naměřit, dohledat původ, VYHODNOTIT.			

Obrázek 7 – Kontrolní tabulka se záznamy vad

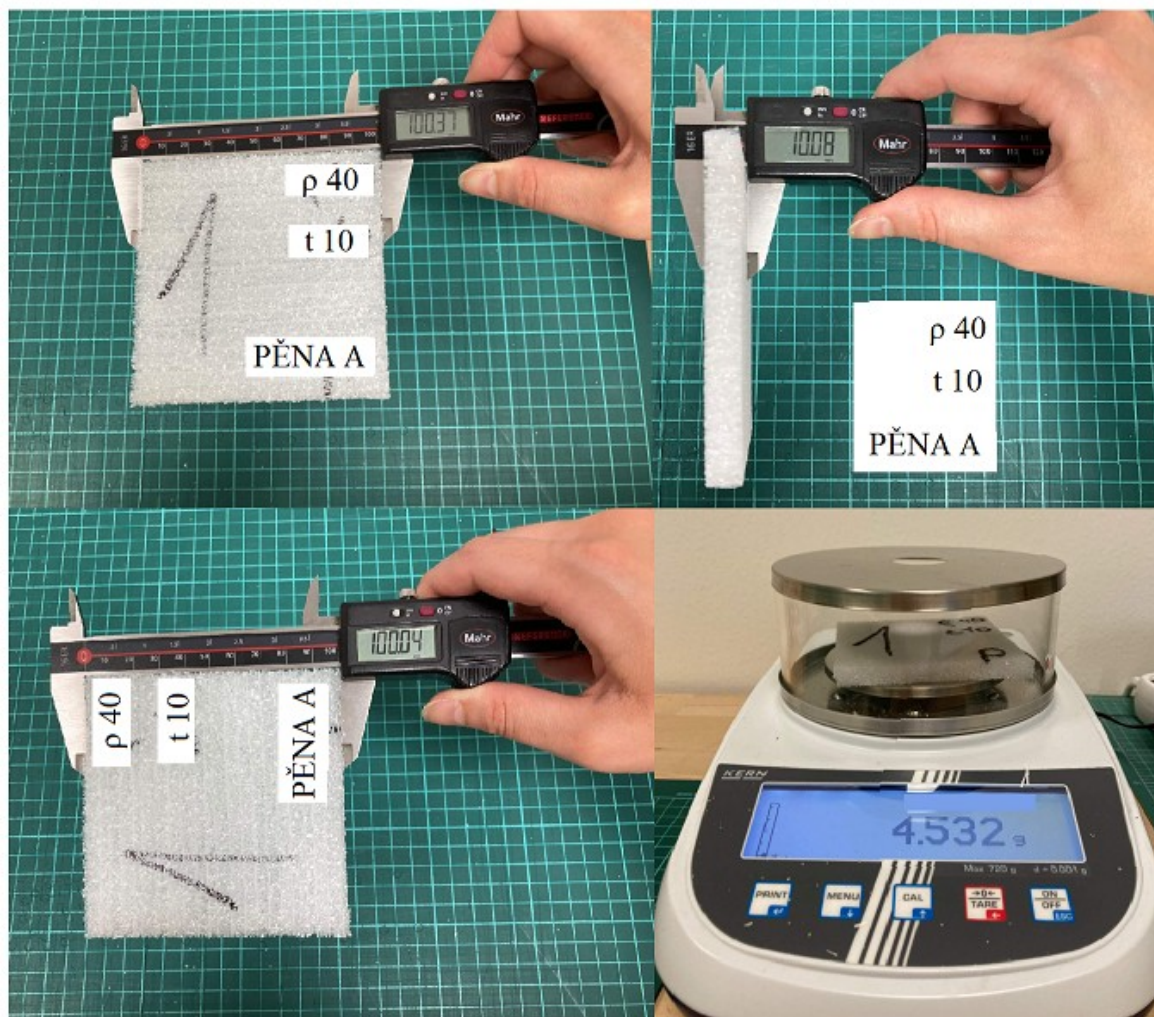
K možnosti srovnání vzorků mezi sebou byl vytvořen konkrétní postup odebrání vzorků pro měření (viz Obrázek 7), čímž se zajistila požadovaná reprodukovatelnost při získávání dat.



Obrázek 8 – Systém vzorkování

K přeměření byly určeny 2 různé hustoty PĚNY A – hustota 40 kg/m^3 a 60 kg/m^3 ve 3 různých provedeních tlouštěk desek (5 mm, 10 mm a 20 mm), na základě jejichž výsledků byl znám aktuální skutečný stav konečného produktu, ze kterého vycházely následující kroky a výsledky hodnocení.

Nejen z ekonomických důvodů, ale také z nároků na co nejjednodušší a snadno pochopitelné řešení byla určena k zjišťování hustoty výpočtová metoda podložena naměřenými rozměry vzorků digitálním posuvným měřítkem Mahr 150/0,01 mm ke zjištění objemu tělesa a zvažení hmotnosti vzorku digitální laboratorní váhou Kern PLS 720-3A 720/0,001g (viz Obrázek 9).



Obrázek 9 – Postup měření posuvným měřítkem a laboratorní váhou

5.2 Ověření problému s hustotou konečného produktu

Naměřená data určených tloušťek PĚNY A s předpokládanou hustotou 40 kg/m^3 byla přehledně zaznamenána do tabulek níže:

Tabulka 2 Naměřená data A_40_5

PĚNA A																	
Typ	A					Předpokládaná hustota					40		Poznámka: P 40 5				
n	t [mm] 5										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p	
1	5,05	5,01	4,98	5,04	5,01	5,01	5,02	4,99	5,02	4,99	5,01	101,12	99,79	50,5749	2,607	51,5	
2	5,03	5,05	5,01	5,05	5,02	4,99	5,00	5,01	5,07	5,00	5,02	100,98	99,38	50,4078	2,444	48,5	
3	5,01	5,00	5,01	4,99	4,98	5,03	5,00	4,99	4,97	5,01	5,00	100,89	100,54	50,7073	2,546	50,2	
4	5,03	5,06	5,06	5,02	5,04	5,04	5,04	5,01	5,05	5,04	5,04	101,15	100,27	51,1071	2,454	48,0	
5	5,03	5,02	4,98	5,00	5,00	5,01	5,05	5,02	5,01	5,02	5,01	101,14	99,70	50,5595	2,23	44,1	
6	5,07	5,03	5,02	5,06	5,05	5,05	5,03	5,03	5,00	5,04	5,04	100,89	100,05	50,8538	2,548	50,1	
7	5,02	5,07	5,03	5,00	5,02	5,02	4,99	5,00	5,00	5,03	5,02	100,78	99,78	50,4601	2,465	48,9	
8	5,02	5,01	5,02	5,03	4,99	5,04	5,00	4,97	5,00	5,03	5,01	100,30	98,77	49,6421	2,485	50,1	
9	5,05	4,99	5,03	4,99	5,01	5,03	5,02	5,01	5,03	5,02	5,02	100,94	100,22	50,7631	2,564	50,5	
10	5,01	5,06	5,03	5,00	5,04	5,05	5,04	5,03	5,00	5,01	5,03	101,03	100,18	50,8792	2,366	46,5	
Odhad aritmetického průměru ρ_s :																48,8	

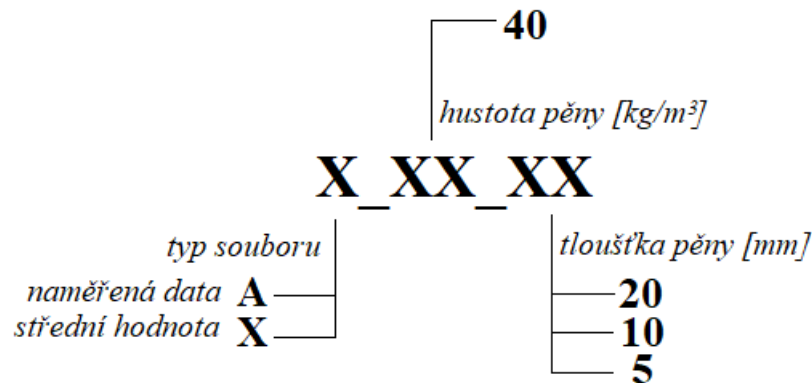
Tabulka 3 Naměřená data A_40_10

PĚNA A																	
Typ	A					Předpokládaná hustota					40		Poznámka: P 40 10				
n	t [mm] 10										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p	
1	10,08	10,09	10,12	10,11	10,05	10,01	10,09	10,10	10,05	10,03	10,07	100,37	100,04	101,1431	4,532	44,8	
2	10,07	10,07	10,06	10,07	10,04	10,14	10,04	10,11	10,06	10,09	10,08	100,89	98,68	100,3049	4,562	45,5	
3	10,10	10,06	10,00	10,06	10,04	10,03	10,04	9,99	10,08	10,03	10,04	99,63	100,77	100,8289	4,268	42,3	
4	10,03	10,06	9,99	10,08	10,04	10,03	10,01	9,99	10,05	10,06	10,03	101,28	99,90	101,5227	4,566	45,0	
5	10,03	10,09	9,99	9,99	10,00	10,13	10,09	10,03	10,01	10,02	10,04	101,98	100,35	102,7258	4,525	44,0	
6	10,03	10,02	10,06	9,99	10,03	10,05	10,01	10,00	10,02	10,02	10,02	101,09	100,10	101,4238	4,658	45,9	
7	10,06	10,07	10,00	10,02	10,05	10,04	10,09	10,06	10,04	10,05	10,05	102,31	98,58	101,3413	4,432	43,7	
8	9,97	9,99	10,00	10,02	10,03	10,02	10,01	9,99	10,05	10,08	10,02	100,68	98,00	98,8243	4,631	46,9	
9	10,00	10,01	10,05	10,04	10,05	10,06	10,06	10,08	10,04	10,02	10,04	102,22	95,60	98,1230	4,374	44,6	
10	10,08	10,06	10,10	10,04	10,02	10,01	10,01	10,06	10,02	10,09	10,05	101,76	100,03	102,2893	4,698	45,9	
Odhad aritmetického průměru ρ_s :																44,9	

Tabulka 4 Naměřená data A_40_20

PĚNA A																	
Typ	A					Předpokládaná hustota					40		Poznámka: P 40 20				
n	t [mm] 20										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p	
1	20,01	20,04	20,05	19,99	20,00	20,04	20,02	20,03	20,02	20,05	20,03	100,82	100,52	202,9419	8,747	43,1	
2	20,06	20,05	20,01	19,98	20,00	20,00	19,97	20,02	20,01	20,02	20,01	101,03	99,98	202,1408	8,790	43,5	
3	20,13	20,04	20,00	20,00	20,00	20,00	19,97	20,09	20,00	19,98	20,02	100,61	100,69	202,8212	8,430	41,6	
4	20,02	20,01	20,00	19,98	19,96	20,03	20,02	19,97	20,01	20,07	20,01	101,45	100,51	204,0062	8,674	42,5	
5	19,97	20,00	20,02	20,00	19,96	20,00	20,02	19,97	20,01	20,08	20,00	100,77	101,49	204,5736	8,569	41,9	
6	20,04	20,05	20,00	20,01	19,99	20,03	20,06	20,04	20,03	20,01	20,03	100,63	99,69	200,8969	8,790	43,8	
7	20,01	19,99	20,02	19,97	19,98	20,01	20,05	20,02	20,02	20,04	20,01	100,98	98,59	199,2219	8,766	44,0	
8	20,04	20,03	20,06	20,12	20,11	20,09	20,07	19,96	20,02	20,05	20,06	100,80	97,99	198,0911	8,644	43,6	
9	19,93	19,99	20,03	20,00	20,08	20,06	19,99	19,99	20,00	20,09	20,02	99,20	99,93	198,4197	8,757	44,1	
10	20,01	20,03	20,00	20,04	20,04	20,00	19,97	20,01	20,05	20,08	20,02	99,73	100,25	200,1886	8,465	42,3	
Odhad aritmetického průměru ρ_s :																43,0	

Označení křivek/přímek:

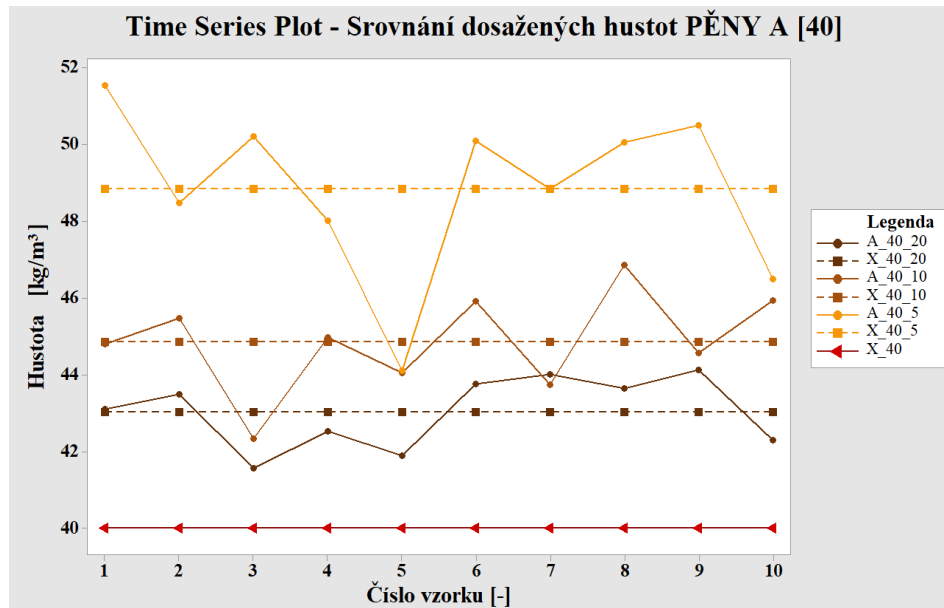


Obrázek 10 – Značení výběrových souborů PĚNY A [40]

Z Tabulky 2 je zřejmé, že bylo prováděno měření na 10 ks vzorcích ($n = 10$) z 1 desky o tloušťce 5 mm s předpokládanou hustotou 40 kg/m^3 . Jednalo se o typ PĚNY A; přičemž rozměry byly měřeny digitálním posuvným měřítkem: a = šířka vzorku, b = výška vzorku, $t_1 \dots t_{10}$ = tloušťka vzorku (10 měření $\rightarrow t_p$ = odhad aritmetického průměru tloušťky vzorku). U t_p byl tento postup zvolen z důvodu vyšší proměnlivosti rozměrů.

Následně byl vypočítán objem ze vztahu: $V = a \cdot b \cdot t_p$; vzorek zvážen na digitální laboratorní váze a hustota vypočítána ze vztahu: $\rho = m/V$. Data hustoty jednotlivých vzorků jsou zaznamenána v grafu (viz Obrázek 11) s označením A_40_5. Z těchto dat byl dle vztahu: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ vypočítán odhad aritmetického průměru ρ_s , který je v grafu (viz Obrázek 11) pod označením X_40_5.

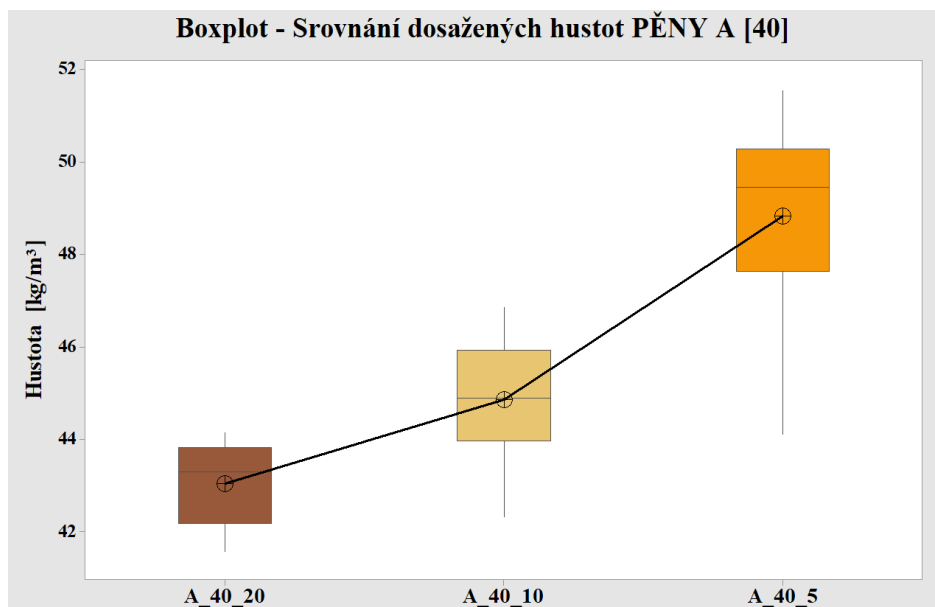
Stejným způsobem je zpracována i Tabulka 3 a Tabulka 4.



Obrázek 11 – Time Series Plot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [40]

Obrázek 11 graficky znázorňuje jednotlivé průběhy naměřených hodnot hustoty PĚNY A pro různé tloušťky (5 mm; 10 mm; 20 mm). Červenou čarou je označena teoretická hustota pěny, kolem které by se měly pohybovat i skutečná naměřená data. Graf však potvrdil nehomogenitu hustoty nejen u jedné desky, ze které bylo odebráno 10 ks vzorků.

Přímky znázorňují odhad aritmetického průměru pro jednotlivé výběrové soubory, trendové čáry (křivky) naopak data naměřená, ze kterých odhady aritmetických průměrů vycházejí. Na základě vizuálního vyhodnocení Time Series Plot (viz Obrázek 11) lze tvrdit, že hustota desek výrazně kolísá nejen v případě jedné desky, ale také v porovnání různých tlouštěk mezi sebou.



Obrázek 12 – Boxplot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [40]

Pomocí grafu (viz Obrázek 12) byl znázorněn růst odhadu aritmetického průměru hustoty PĚNY A v závislosti na snižující se tloušťce desek. Taktéž je z grafu na základě kvartilů zřejmé, že v případě tloušťky desky 5 mm je rozptyl dat podstatně větší, než u tloušťky 20 mm. Udržení hustoty v požadované kvalitě se tedy pracovníkům při výrobě daří lépe při vyšších tloušťkách desek. Toto je jedna z výzev, kterou bude nutno v budoucnu vyřešit.

V Obrázku 13 jsou pro přehlednost zaznamenány dosažené výsledky odhadů aritmetických průměrů hustot PĚNY A pro různé tloušťky desek.

Shrnutí - Hustota PĚNY A [40]	
Typ	Odhad aritmetického průměru ρ_s [kg/m³]:
P_40_20	43,0
P_40_10	44,9
P_40_5	48,8

Obrázek 13 – Přehled dosažených hustot PĚNY A [40] pro různé tloušťky

Naměřená data určených tloušťek PĚNY A s předpokládanou hustotou 60 kg/m^3 byla přehledně zaznamenána do tabulek níže:

Tabulka 5 Naměřená data A_60_5

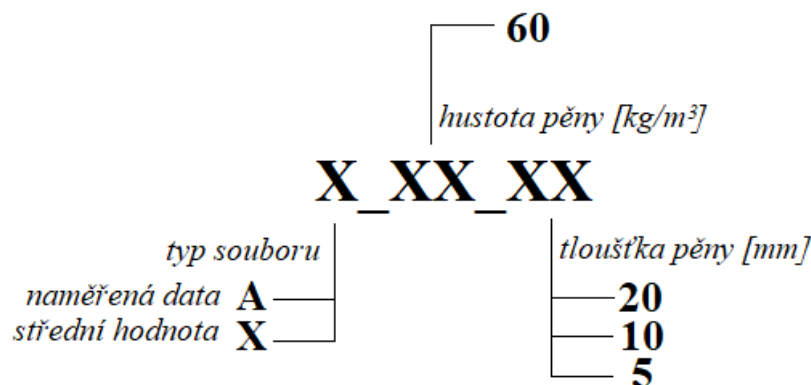
PĚNA A																				
Typ	A					Předpokládaná hustota					60					Poznámka: P_60_5				
n	t [mm]										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]					
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p				
1	5,13	5,13	5,1	5,14	5,09	5,1	5,11	5,18	5,1	5,12	5,12	100,57	100,63	51,8162	4,373	84,4				
2	5,11	5,12	5,1	5,13	5,17	5,09	5,11	5,12	5,1	5,09	5,11	100,10	99,29	50,8277	4,281	84,2				
3	5,13	5,1	5,16	5,12	5,17	5,11	5,11	5,15	5,09	5,12	5,13	99,63	99,31	50,7180	4,042	79,7				
4	5,16	5,12	5,16	5,13	5,12	5,04	5,15	5,09	5,16	5,08	5,12	100,10	101,00	51,7738	4,086	78,9				
5	5,22	5,16	5,15	5,16	5,1	5,11	5,19	5,13	5,18	5,15	5,16	101,27	100,14	52,2778	4,123	78,9				
6	5,21	5,15	5,21	5,18	5,2	5,16	5,18	5,17	5,16	5,13	5,18	100,49	99,50	51,7436	3,978	76,9				
7	5,17	5,16	5,12	5,09	5,19	5,15	5,13	5,09	5,17	5,16	5,14	100,11	99,41	51,1828	4,108	80,3				
8	5,14	5,17	5,13	5,19	5,09	5,15	5,11	5,09	5,15	5,08	5,13	100,49	99,56	51,3245	4,422	86,2				
9	5,19	5,14	5,11	5,15	5,1	5,12	5,14	5,13	5,18	5,12	5,14	101,35	99,57	51,8497	4,264	82,2				
10	5,1	5,14	5,12	5,16	5,15	5,13	5,12	5,16	5,13	5,03	5,12	101,37	99,63	51,7498	4,059	78,4				
Odhad aritmetického průměru ρ_s :															81,0					

Tabulka 6 Naměřená data A_60_10

PĚNA A																				
Typ	A					Předpokládaná hustota					60					Poznámka: P_60_10				
n	t [mm]										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]					
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p				
1	10,38	10,27	10,30	10,28	10,29	10,34	10,28	10,36	10,33	10,29	10,31	100,70	98,70	102,4919	7,877	76,9				
2	10,20	10,19	10,20	10,17	10,15	10,16	10,14	10,15	10,17	10,16	10,17	98,61	99,94	100,2163	7,501	74,8				
3	10,23	10,19	10,18	10,22	10,15	10,17	10,20	10,11	10,14	10,14	10,17	100,34	99,33	101,3920	7,780	76,7				
4	10,27	10,33	10,28	10,47	10,41	10,33	10,29	10,31	10,40	10,39	10,35	100,49	98,88	102,8224	7,226	70,3				
5	10,17	10,19	10,16	10,11	10,08	10,14	10,20	10,04	10,16	10,13	10,14	100,12	99,73	101,2276	7,340	72,5				
6	10,11	10,20	10,16	10,23	10,11	10,14	10,17	10,18	10,16	10,19	10,17	101,22	100,01	102,9004	7,235	70,3				
7	10,19	10,21	10,12	10,15	10,19	10,10	10,18	10,11	10,12	10,23	10,16	100,50	98,99	101,0767	7,081	70,1				
8	10,22	10,18	10,22	10,10	10,21	10,12	10,13	10,15	10,20	10,11	10,16	101,25	99,38	102,2725	7,233	70,7				
9	10,17	10,12	10,17	10,15	10,11	10,11	10,12	10,08	10,11	10,11	10,13	102,72	98,95	102,9120	7,460	72,5				
10	10,17	10,14	10,15	10,11	10,14	10,21	10,15	10,13	10,13	10,16	10,15	101,67	99,23	102,3904	7,133	69,7				
Odhad aritmetického průměru ρ_s :															72,4					

Tabulka 7 Naměřená data A_60_20

PĚNA A																				
Typ	A					Předpokládaná hustota					60					Poznámka: P_60_20				
n	t [mm]										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]					
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p				
1	20,19	20,29	20,27	20,20	20,33	20,29	20,31	20,32	20,33	20,32	20,29	101,69	100,57	207,4540	13,999	67,5				
2	20,32	20,33	20,32	20,27	20,31	20,31	20,30	20,28	20,36	20,29	20,31	100,70	99,56	203,6118	13,933	68,4				
3	20,25	20,30	20,23	20,21	20,27	20,16	20,23	20,33	20,26	20,20	20,24	100,24	100,58	204,1028	14,006	68,6				
4	20,33	20,32	20,34	20,28	20,29	20,30	20,28	20,30	20,22	20,29	20,30	100,42	100,27	204,3527	14,021	68,6				
5	20,24	20,24	20,16	20,30	20,19	20,24	20,25	20,24	20,19	20,20	20,23	99,13	99,41	199,3075	14,446	72,5				
6	20,07	20,13	20,08	20,11	20,09	20,10	20,08	20,08	20,04	20,12	20,09	100,15	100,31	201,8251	14,382	71,3				
7	20,07	20,12	20,20	20,12	20,18	20,16	20,10	20,12	20,20	20,08	20,14	101,79	99,99	204,9337	13,444	65,6				
8	20,30	20,32	20,30	20,28	20,33	20,22	20,31	20,30	20,27	20,31	20,29	99,71	99,81	201,9670	13,676	67,7				
9	20,15	20,04	20,06	20,19	20,18	20,22	20,19	20,21	20,22	20,19	20,17	99,41	99,84	200,1395	14,284	71,4				
10	20,26	20,20	20,19	20,21	20,24	20,25	20,18	20,28	20,22	20,19	20,22	99,06	98,79	197,8953	13,419	67,8				
Odhad aritmetického průměru ρ_s :															68,9					

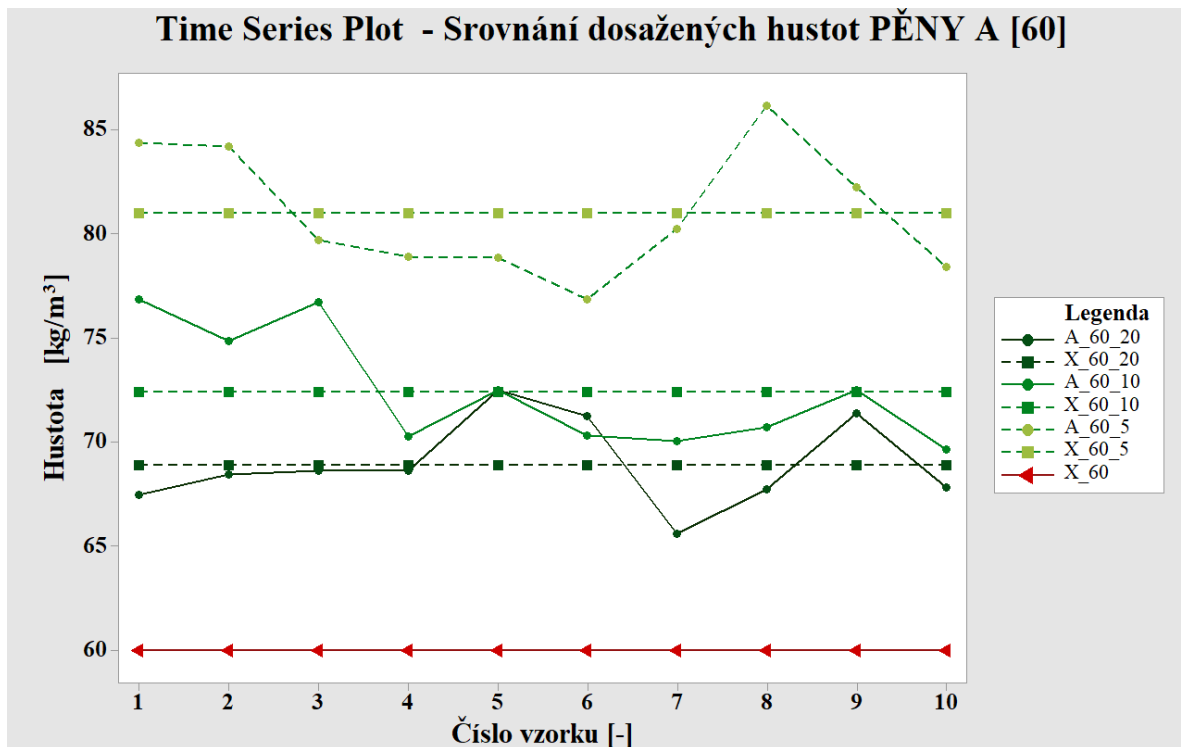


Obrázek 14 – Značení výběrových souborů PĚNY A [60]

Z Tabulky 5 je zřejmé, že bylo prováděno měření na 10 ks vzorcích ($n = 10$) z 1 desky o tloušťce 5 mm s předpokládanou hustotou 60 kg/m^3 . Jednalo se o typ PĚNY A; přičemž rozměry byly měřeny digitálním posuvným měřítkem: a = šířka vzorku, b = výška vzorku, $t_1 \dots t_{10}$ = tloušťka vzorku (10 měření $\rightarrow t_p$ = odhad aritmetického průměru tloušťky vzorku). U t_p byl tento postup zvolen z důvodu vyšší proměnlivosti rozměrů.

Následně byl vypočítán objem ze vztahu: $V = a \cdot b \cdot t_p$; vzorek zvážen na digitální laboratorní váze a hustota vypočítána ze vztahu: $\rho = m/V$. Data hustoty jednotlivých vzorků jsou zaznamenána v grafu (viz Obrázek 15) s označením A_60_5. Z těchto dat byl dle vztahu: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ vypočítán odhad aritmetického průměru ρ_s , který je v grafu (viz Obrázek 15) pod označením X_60_5.

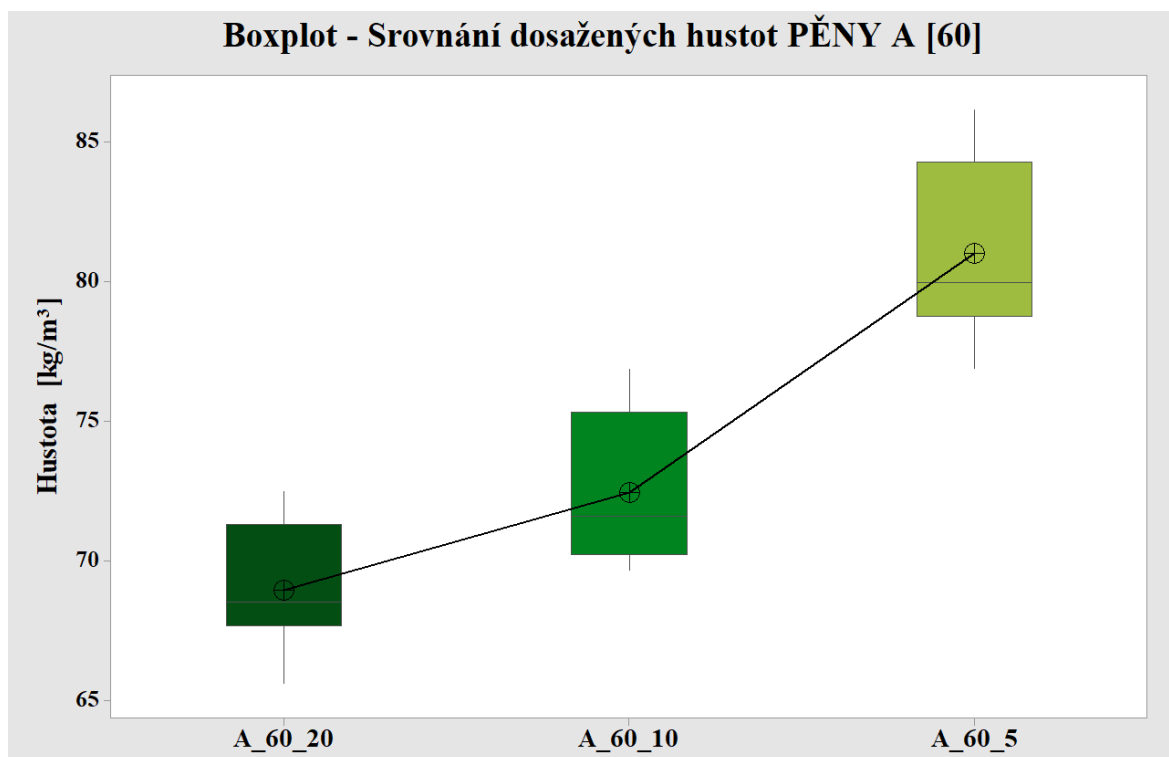
Stejným způsobem je zpracována i Tabulka 6 a Tabulka 7.



Obrázek 15 – Time Series Plot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [60]

Obrázek 15 graficky znázorňuje jednotlivé průběhy naměřených hodnot hustoty PĚNY A pro různé tloušťky (5 mm; 10 mm; 20 mm). Červenou čarou je označena teoretická hustota pěny, kolem které by se měly pohybovat i skutečná naměřená data. Graf však potvrdil nehomogenitu hustoty nejen u jedné desky, ze které bylo odebráno 10 ks vzorků.

Přímky znázorňují odhad aritmetického průměru pro jednotlivé výběrové soubory, křivky naopak data naměřená, ze kterých odhady aritmetických průměrů vycházejí. Na základě vizuálního vyhodnocení Time Series Plot (viz Obrázek 15) lze tvrdit, že hustota desek výrazně kolísá nejen v případě jedné desky, ale také v porovnání různých tlouštěk mezi sebou.



Obrázek 16 – Boxplot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [60]

Pomocí grafu (viz Obrázek 16) byl znázorněn růst odhadu aritmetického průměru hustoty PĚNY A v závislosti na snižující se tloušťce desek. Taktéž je z grafu na základě kvartilů zřejmé, že v případě tloušťky desky 5 mm je rozptyl dat podstatně větší, než u tloušťky 20 mm. Udržení hustoty v požadované kvalitě se tedy pracovníkům při výrobě daří lépe při vyšších tloušťkách desek. Toto je jedna z výzev, kterou bude nutno v budoucnu vyřešit.

V Obrázku 17 jsou pro přehlednost zaznamenány dosažené výsledky odhadů aritmetických průměrů hustot PĚNY A pro různé tloušťky desek.

Shrnutí - Hustota PĚNY A [60]	
Typ	Odhad aritmetického průměru ρ_s [kg/m³]:
P_40_20	68,9
P_40_10	72,4
P_40_5	81,0

Obrázek 17 – Přehled dosažených hustot PĚNY A [60] pro různé tloušťky

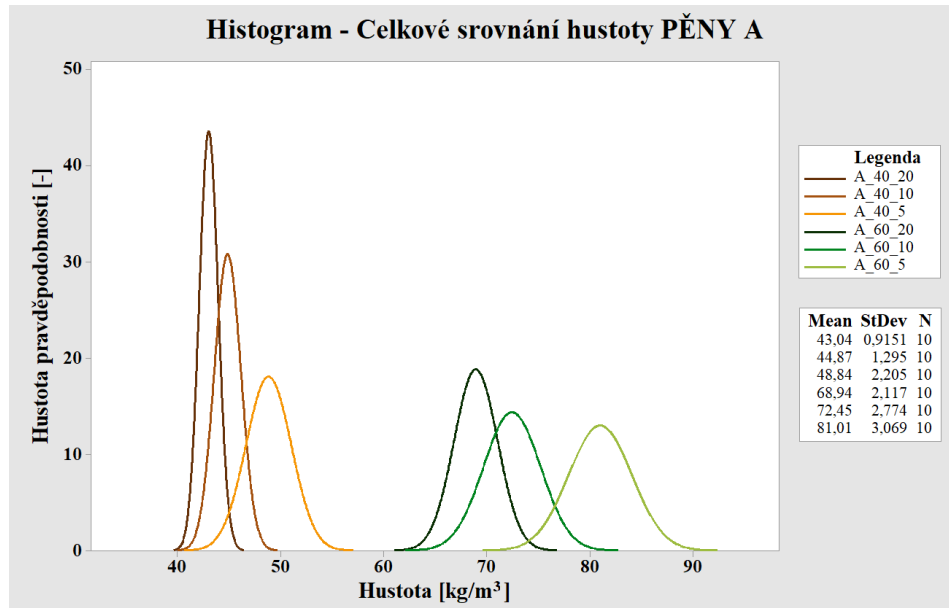
Variable	Total							
	Count	Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
A_40_20	10	43,037	0,915	41,564	42,186	43,293	43,816	44,134
A_40_10	10	44,867	1,295	42,329	43,970	44,891	45,927	46,861
A_40_5	10	48,839	2,205	44,106	47,638	49,454	50,285	51,547
A_60_20	10	68,938	2,117	65,602	67,656	68,521	71,287	72,481
A_60_10	10	72,446	2,774	69,665	70,221	71,606	75,319	76,855
A_60_5	10	81,007	3,069	76,879	78,759	79,978	84,268	86,158

Obrázek 18 – Přehled vygenerovaných statistických dat PĚNY A (Minitab 17)

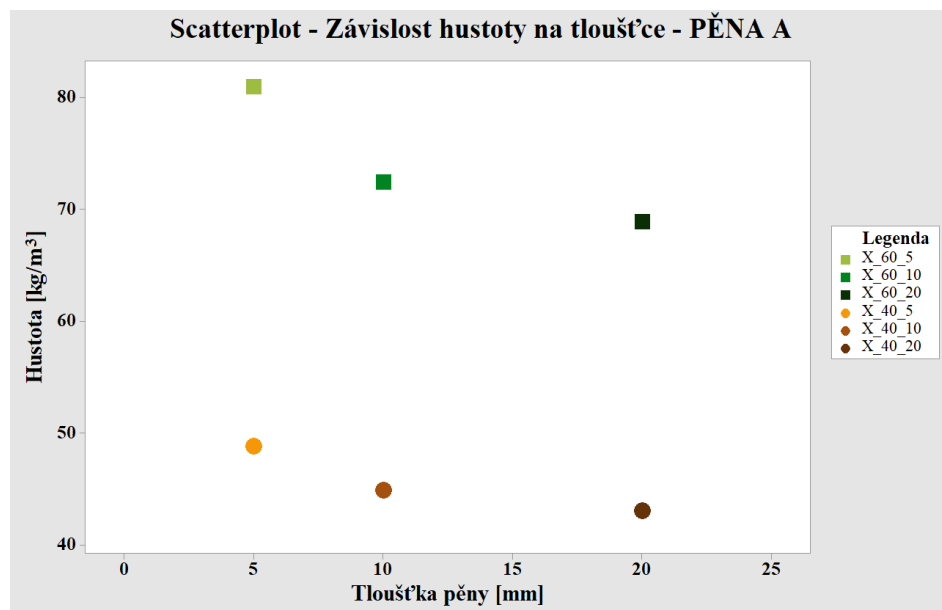
TYP: PĚNA A	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ					
	A 40 20	A 40 10	A 40 5	A 60 20	A 60 10	A 60 5
	t_{A4020} [mm]	t_{A4010} [mm]	t_{A405} [mm]	t_{A6020} [mm]	t_{A6010} [mm]	t_{A605} [mm]
Číslo vzorku	20	10	5	20	10	5
	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]	ρ [kg/m ³]
1	43,1	44,8	51,5	67,5	76,9	84,4
2	43,5	45,5	48,5	68,4	74,8	84,2
3	41,6	42,3	50,2	68,6	76,7	79,7
4	42,5	45,0	48,0	68,6	70,3	78,9
5	41,9	44,0	44,1	72,5	72,5	78,9
6	43,8	45,9	50,1	71,3	70,3	76,9
7	44,0	43,7	48,9	65,6	70,1	80,3
8	43,6	46,9	50,1	67,7	70,7	86,2
9	44,1	44,6	50,5	71,4	72,5	82,2
10	42,3	45,9	46,5	67,8	69,7	78,4
Odhad aritmetického průměru ρ_s [kg/m ³]	43,0	44,9	48,8	68,9	72,4	81,0
Odhad směrodatné odchylky s [kg/m ³]	0,915129092	1,29510456	2,204785048	2,117483939	2,77422976	3,068504424
Odhad rozptylu s^2	0,837461255	1,67729582	4,861077108	0,611264961	0,800851149	0,885800928

Obrázek 19 – Přehled naměřených a vypočítaných dat PĚNY A

K celkovému zhodnocení bylo využito Exploratorní (průzkumové) analýzy dat (EDA), proto byl vytvořen Histogram a Scatterplot. Pro základní přehled a potvrzení trendu změny hustoty v závislosti na tloušťce desek jsou dostačující pouze grafy k vizuálnímu zhodnocení.



Obrázek 20 – Histogram – souhrn výsledků PĚNY A



Obrázek 21 – Scatterplot – souhrn výsledků PĚNY A

Konečné výsledky byly zavedeny do grafů (viz Obrázek 20 a 21), ze kterého je zřejmé, že hustota s tloušťkou pěny klesá. Zřejmým doporučením tedy je: vyrábět různé tloušťky desek separátně z různých bloků, protože bude potřeba upravit výrobní podmínky a tím i hustotu bloku pro konkrétní zakázku požadované tloušťky pěny.

Jedná se o logicky nejsnazší, nejekonomičtější, téměř okamžité a logisticky jednoduché řešení. Pokud by se však řešila konkrétnější příčina tohoto problému, bylo by nutné provést konstrukční úpravy na pile, které by ovšem vyžadovaly finanční a časové investice.

V současné době by bylo téměř beznákladovým řešením upravit nastavení extruze pásů (hustotu) dle konkrétní konečné tloušťky desek požadované zákazníkem, tudíž by se výrazně snížila zmetkovitost ve výrobě.

Pro podrobnější statistické hodnocení byla zvolena hustota PĚNY A 60 kg/m^3 z důvodu nejfrekventovanější a nejobjemnější výroby.

6 SROVNÁNÍ MĚŘICÍCH METOD

Vzhledem k časové náročnosti měření posuvným měřítkem, byla hledána podobně ekonomicky nákladná, ale rychlejší metoda měření. Pokud by totiž bylo nutné nastavit a provádět kontroly pravidelně ve všech fázích výroby, bylo by nutné tyto průběhy kontrol výrazně zjednodušit a zrychlit, aby data byla k dispozici včas a bylo možné na ně bezprostředně reagovat úpravou výrobního procesu (zastavení výroby, úprava podmínek extruze, ...).

K hodnocení měřicích metod bylo využito Exploratorní (průzkumové) analýzy dat (EDA) a Jednocestné analýzy rozptylu (One-way ANOVA).

6.1 Naměřená data

Měřicí metoda pomocí pyknometru je založena na vážení jeho hmotnosti ve 3 podobách: prázdný (m_1), naplněný destilovanou vodou (m_2) a naplněný destilovanou vodou s vloženým vzorkem (m_3). Také je nutné zjistit i hmotnost samotného vzorku (m) (viz Obrázek 22).



Obrázek 22 – Postup měření pyknometrem

Ze vztahu: $V = (m_2 - m_1) - [m_3 - (m_1 + m)]$ byl vypočítán objem vzorku a hustota zjištěna ze vztahu: $\rho = m/V$. Data hustoty jednotlivých vzorků jsou zaznamenána v grafu (viz Obrázek 23) s označením PYK_F1_15, data získaná měřením posuvným měřítkem (viz Obrázek 23) s označením POS_F1_15.

Z těchto dat byl dle vztahu: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ vypočítán odhad aritmetického průměru ρ_S , který je uveden v Tabulce 8 a Tabulce 9.

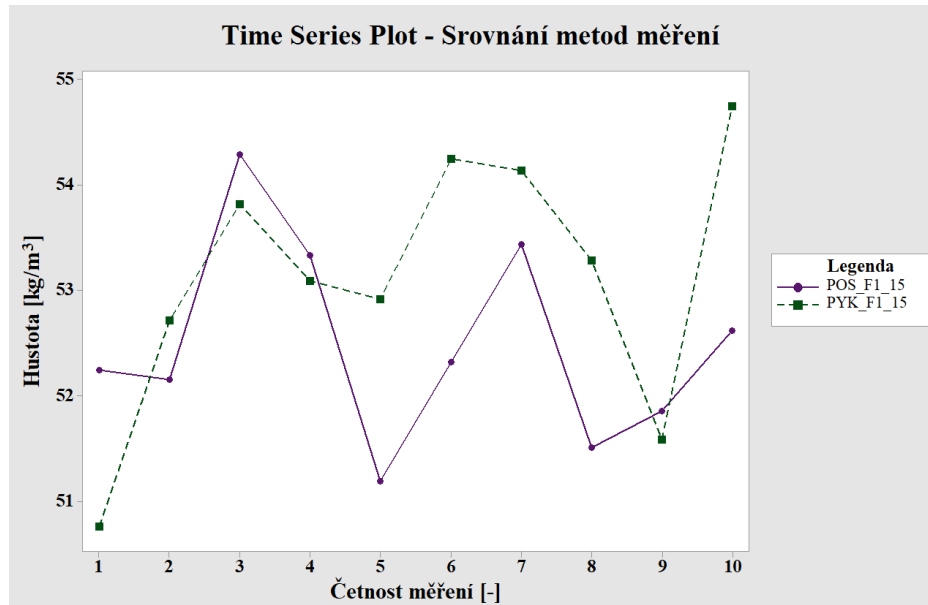
Tabulka 8 Naměřená data PĚNY A – měření pyknometrem

POLYMERNÍ PĚNA - Měření pyknometrem						
Název				Datum		
PĚNA A				07.07.2023		
ID		Poznámka		Vzorek		
9298734		-----		VZ1		
Označení						
89213		300341628				
Typ / fáze		FÁZE 1	Předp. hustota		60	
n	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m [g]	m ₃ [g]	V [cm ³]	ρ [kg/m ³]
1	24,80	75,09	0,032	74,50	0,620	50,8
2	24,80	75,09	0,029	74,57	0,550	52,7
3	24,80	75,09	0,031	74,54	0,576	53,8
4	24,80	75,09	0,034	74,48	0,644	53,1
5	24,80	75,09	0,037	74,42	0,701	52,9
6	24,80	75,09	0,038	74,42	0,704	54,2
7	24,80	75,09	0,053	74,16	0,979	54,1
8	24,80	75,09	0,044	74,31	0,824	53,3
9	24,80	75,09	0,057	74,04	1,105	51,6
10	24,80	75,09	0,055	74,15	0,996	54,7
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ _S :						53,1

Tabulka 9 Naměřená data PĚNY A – měření posuvným měřítkem

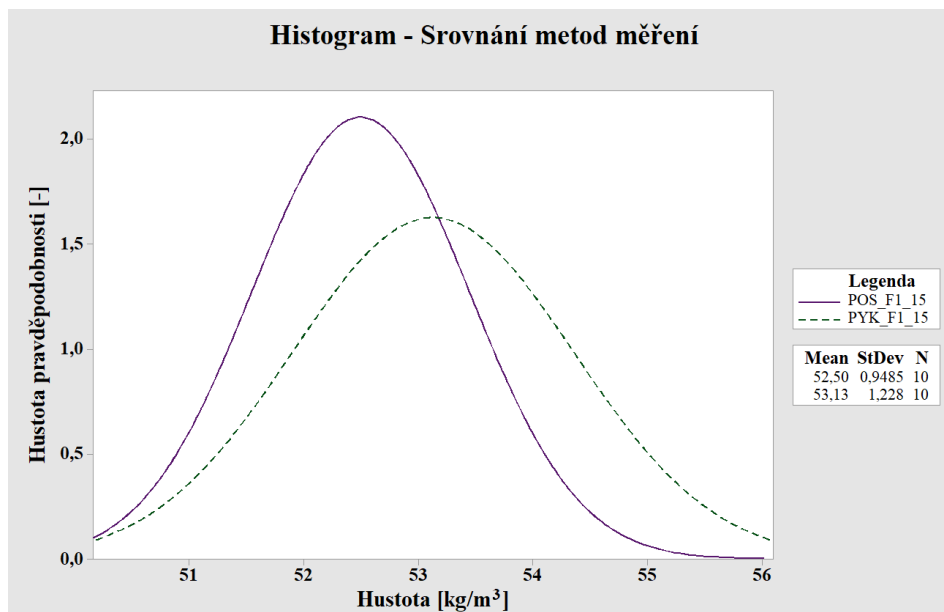
POLYMERNÍ PĚNA - Měření posuvným měřítkem																					
Název				Datum			Vzorek		ID		Označení										
PĚNA A				07.07.2023			VZ1		9298734		89213		300341628								
Typ / fáze		FÁZE 1		Předpokládaná hustota				60				Poznámka: -----									
n		t _i [mm] 5										a [mm]		b [mm]		V [cm ³]		m [g]		ρ [kg/m ³]	
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t _p									
1		6,03	5,93	6,09	6,10	5,89	5,83	5,93	5,80	5,96	6,12	5,97	99,88	98,03	58,434	3,053	52,2				
2		5,84	5,94	5,85	5,83	6,11	6,01	6,08	5,81	6,03	5,94	5,94	97,91	99,66	58,000	3,025	52,2				
3		6,18	6,16	6,03	6,02	5,80	5,89	5,87	5,93	5,76	6,02	5,97	94,72	97,43	55,058	2,989	54,3				
4		6,02	6,28	6,18	5,96	6,03	5,89	6,04	6,19	5,99	6,22	6,08	98,56	99,47	59,607	3,179	53,3				
5		6,04	6,08	6,07	6,10	6,03	5,91	5,83	5,88	5,98	6,10	6,00	101,37	99,88	60,769	3,111	51,2				
6		6,07	6,14	6,17	6,05	5,89	5,89	6,04	6,08	6,09	6,14	6,06	99,46	98,21	59,155	3,095	52,3				
7		6,19	6,11	6,12	6,13	6,02	6,16	6,11	6,03	6,14	6,22	6,12	99,36	100,09	60,893	3,254	53,4				
8		6,11	6,00	6,00	5,88	6,14	6,09	6,11	6,01	6,07	5,77	6,02	100,05	101,79	61,288	3,157	51,5				
9		6,20	6,19	6,17	6,10	5,98	6,88	6,00	6,07	5,99	5,85	6,14	100,67	101,40	62,707	3,252	51,9				
10		6,01	6,05	6,07	6,14	5,75	5,85	5,92	5,81	5,89	6,09	5,96	103,34	98,49	60,640	3,191	52,6				
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ _S :																52,5					

6.2 Provedení analýzy měřicích metod

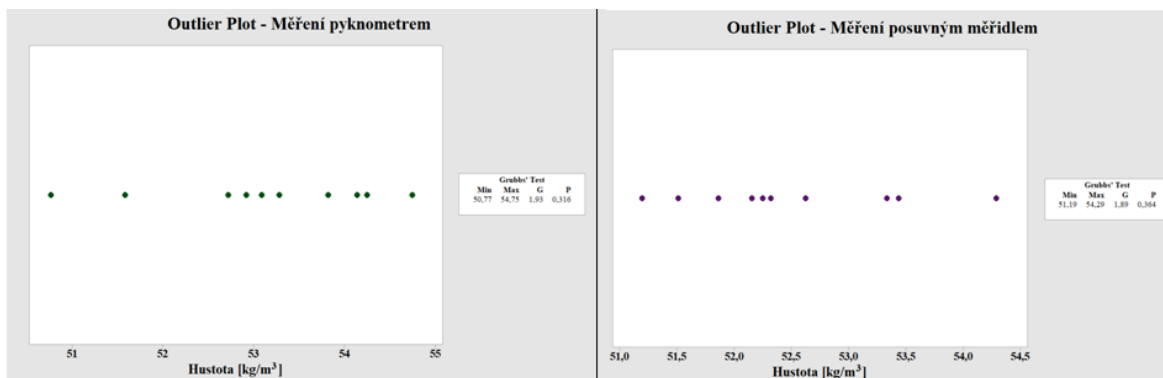


Obrázek 23 – Time Series Plot – Srovnání metod měření

Pro vizualizaci dat byly na základě EDA vytvořeny grafy: Time Series Plot a Histogram. Trendové čáry znázorňují průběh měření (viz Obrázek 23), přičemž při vizuálním hodnocení je zřejmé, že mezi výběrovými soubory není výrazný rozdíl, avšak následuje provedení analýzy ANOVA, pomocí které bude potvrzeno, zda se soubory mezi sebou liší statisticky nevýznamně, či nikoli.



Obrázek 24 – Histogram – Srovnání metod měření



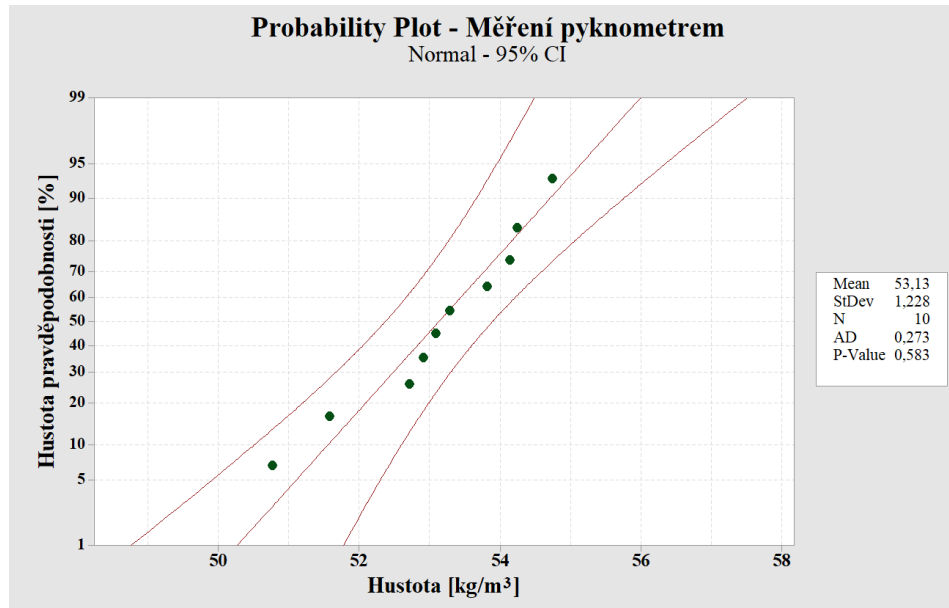
Obrázek 25 – Outlier Plots – Srovnání metod měření

Tabulka 10 Grubbsův test odlehých hodnot – Srovnání metod měření

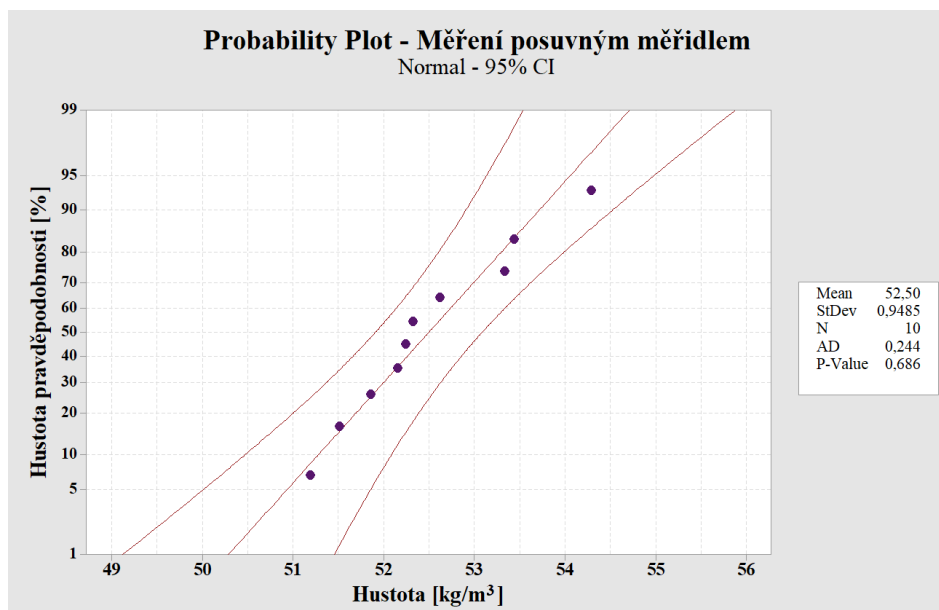
Grubbsův test odlehých hodnot - hustota:					Podmínky testování hypotéz	
Metoda	MIN	MAX	P	α	Ho:	Bez hrubých chyb.
POS_F1_15	51,2	54,3	0,364	0,050	Ha:	NON
PYK_F1_15	50,8	54,7	0,316		1 - α = 0,95	

Grafy odlehých hodnot (Obrázek 25) byly vytvořeny pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Grubbsův test odlehých hodnot, ale zároveň i vygenerovány hodnoty P, dosažené minimum (MIN) a maximum (MAX). Tyto hodnoty jsou z grafu přeneseny pro přehlednost do Tabulky 10.

Pomocí Grubbsova testu odlehých hodnot bylo dle podmínek potvrzeno, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se v souboru dat naměřených posuvným měřítkem POS_F1_15 i v souboru dat naměřených pyknometrem PYK_F1_15 nevyskytují hrubé chyby.



Obrázek 26 – Probability Plot – Měření pyknometrem



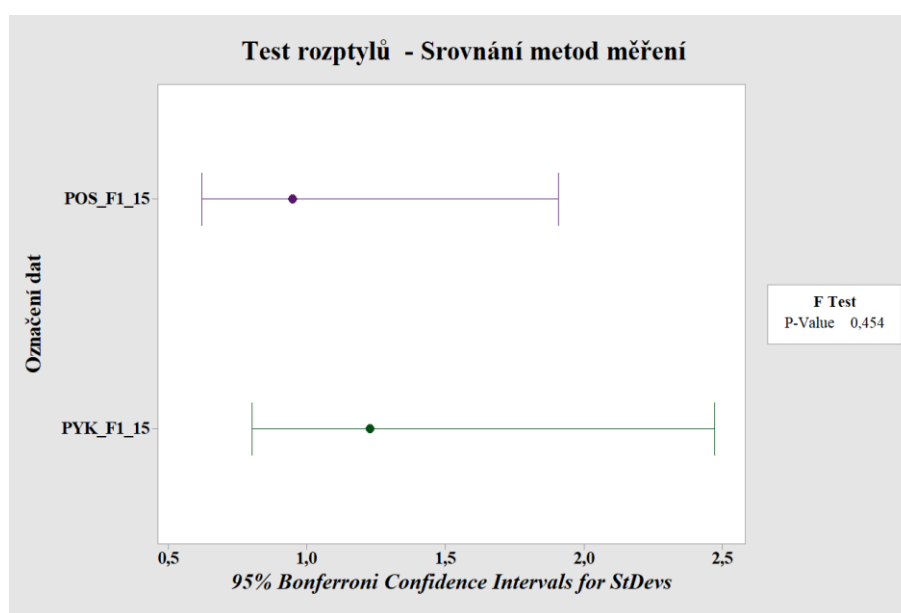
Obrázek 27 – Probability Plot – Měření posuvným měřítkem

Tabulka 11 Anderson–Darlingův test normalit – Srovnání metod měření

Test normalit (Anderson-Darling) - hustota:				Podmínky testování hypotéz	
Metoda		P	α	Ho:	Data z normálního rozdělení.
POS_F1_15		0,686	0,050	Ha:	NON
PYK_F1_15		0,583		1 - α = 0,95	

Grafy pravděpodobnosti (Obrázek 26 a 27) byly vytvořeny pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Anderson–Darlingův test normalit, ale zároveň i vygenerována hodnota P, která je z grafu přenesena pro přehlednost výsledků do Tabulky 11.

Anderson–Darlingův test normalit na základě podmínek potvrdil, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) pochází data souboru naměřená posuvným měřítkem POS_F1_15 i data souboru naměřená pyknometrem PYK_F1_15 z normálního rozdělení.



Obrázek 28 – F–test rozptylů – Srovnání metod měření

Tabulka 12 F–test rozptylů – Srovnání metod měření

F-test rozptylů - hustota:		Podmínky testování hypotéz	
P		α	Ho: Rozptyly se liší náhodně.
0,454		0,050	Ha: NON
		1 - α = 0,95	

Graf pro testování rozptylů (Obrázek 28) podmíněný 95% Bonferroniho konfidenčními intervaly pro směrodatné odchylky byl vytvořen pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden F–test rozptylů, ale zároveň i vygenerována hodnota P, která je z grafu přenesena pro přehlednost výsledků do Tabulky 12.

F-test rozptylů na základě podmínek potvrdil, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se rozptyly souborů POS_F1_15 a PYK_F1_15 liší pouze náhodně (statisticky nevýznamně).

```
Two-sample T for POS_F1_15 vs PYK_F1_15

      N      Mean    StDev
POS_F1_15  10  52,497  0,948
PYK_F1_15  10  53,13   1,23

T-Test of difference = 0 (vs ≠): P-Value = 0,215
```

Obrázek 29 – Vygenerovaná statistická data pro T-test aritmetických průměrů (Minitab 17)

Tabulka 13 T-test aritmetických průměrů – Srovnání metod měření

T-test aritmetických průměrů dvojvýběrový:			Podmínky testování hypotéz	
P		α	Ho:	Aritmetické průměry se liší náhodně.
0,215		0,050	Ha:	NON
			1 - α = 0,95	

T-test aritmetických průměrů (dvojvýběrový) byl proveden pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byla vygenerována i hodnota P, která je z programu přenesena pro přehlednost výsledků do Tabulky 13.

T-test aritmetických průměrů (dvojvýběrový) na základě podmínek potvrdil, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se odhady aritmetických průměrů souborů POS_F1_15 a PYK_F1_15 liší pouze náhodně (statisticky nevýznamně).

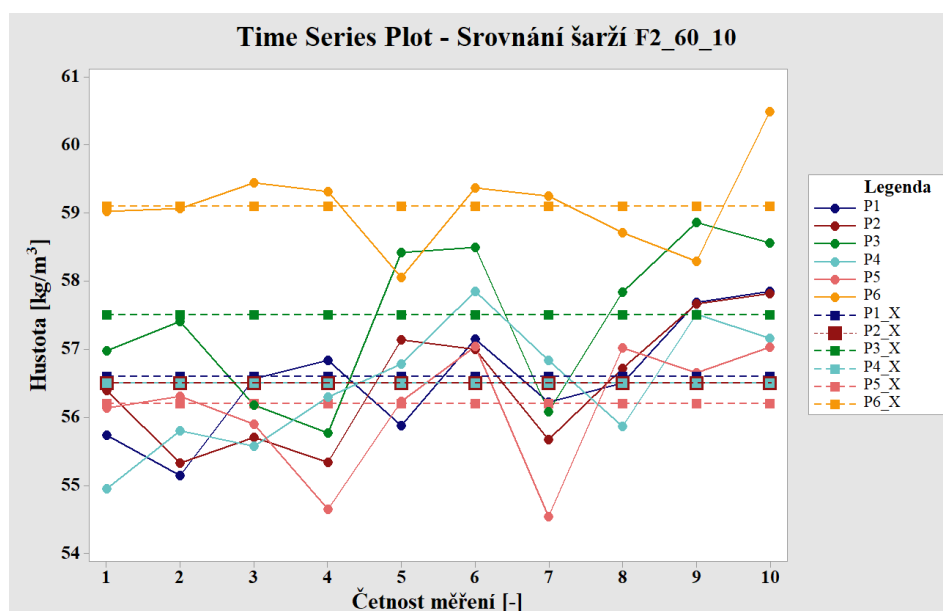
Na základě statistického srovnání a zkoumání bylo dokázáno a potvrzeno, že lze měření posuvným měřítkem nahradit měřením pyknometrem, protože naměřené výsledky se s pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) liší statisticky nevýznamně.

7 OVĚŘENÍ SCHOPNOSTI STABILNÍ VÝROBY

Cílem této analýzy je zjistit, zda je výroba schopna zajistit shodnou kvalitu a především hustotu napříč šaržemi produktu, tedy zda již nevzniká problém ve FÁZI 2, a proto je špatná hodnota hustoty u konečného produktu. Je důležité odhalovat problémy včas, protože jedině tak lze s výhodou optimalizovat výrobní proces a soustavně snižovat finanční náklady.

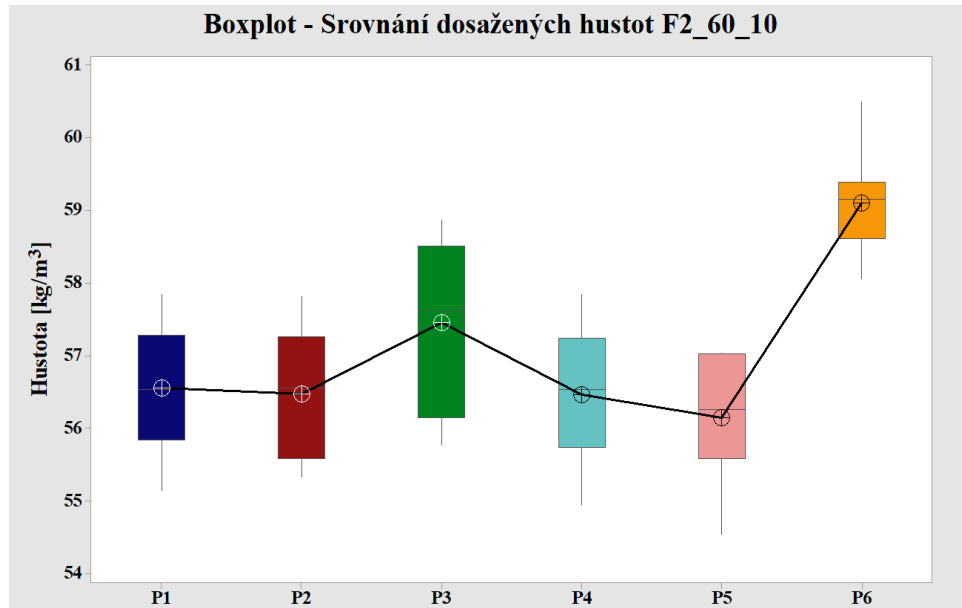
Stejně jako u kapitoly 6 bylo využito Exploratorní (průzkumové) analýzy dat (EDA) a Jednocestné analýzy rozptylu (One-way ANOVA).

Naměřená data, ze kterých bylo vycházeno pro analýzy, jsou uvedena v Příloze P I a Příloze P II.

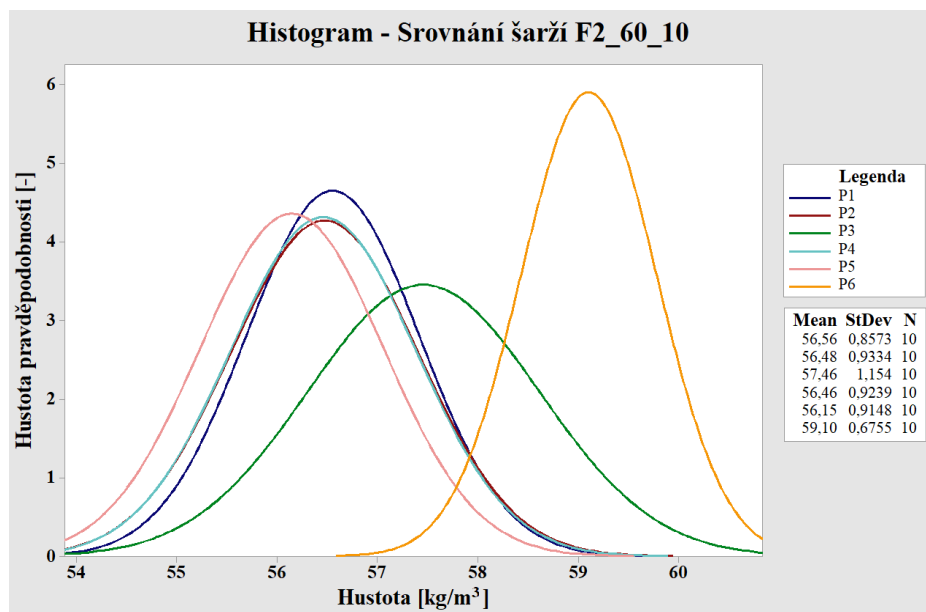


Obrázek 30 – Time Series Plot – Srovnání šarží F2_60_10

Na základě EDA pro vizualizaci dat byly vytvořeny grafy: Time Series Plot, Boxplot a Histogram. Trendové čáry znázorňují průběh měření (viz Obrázek 31), přičemž při vizuálním hodnocení je zřejmé, že mezi výběrovými soubory je zjevný výrazný rozdíl. Pro ověření byla provedena analýza ANOVA, pomocí které bude potvrzeno, zda se soubory mezi sebou liší statisticky nevýznamně, či nikoli. Data hustoty jednotlivých vzorků jsou zaznamenána v grafu (viz Obrázek 31) s označením P1, P2, ..., P6; odhad aritmetického průměru ρ_S je v grafu (viz Obrázek 31) pod označením např. P1_X.



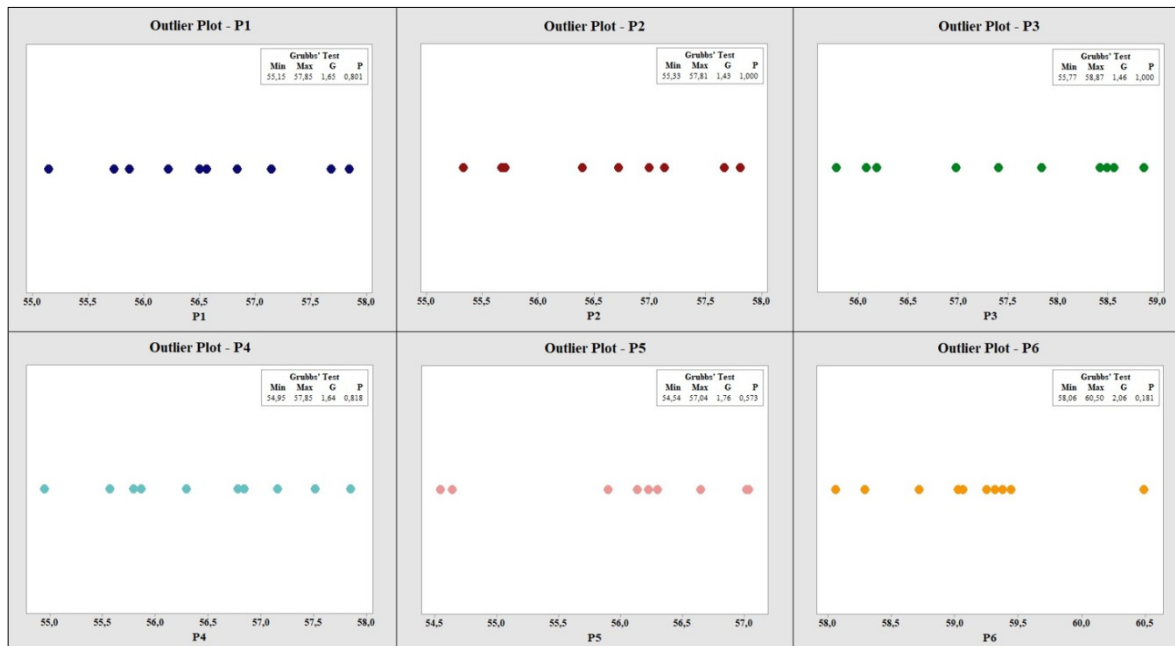
Obrázek 31 – Boxplot – Srovnání šarží F2_60_10



Obrázek 32 – Histogram – Srovnání šarží F2_60_10

Variable	Total Count	Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Maximum
P1	10	56,557	0,857	1,52	55,146	57,849
P2	10	56,477	0,933	1,65	55,330	57,814
P3	10	57,461	1,154	2,01	55,773	58,867
P4	10	56,463	0,924	1,64	54,950	57,853
P5	10	56,150	0,915	1,63	54,543	57,041
P6	10	59,105	0,675	1,14	58,059	60,495

Obrázek 33 – Přehled vygenerovaných statistických dat pro F2_60_10



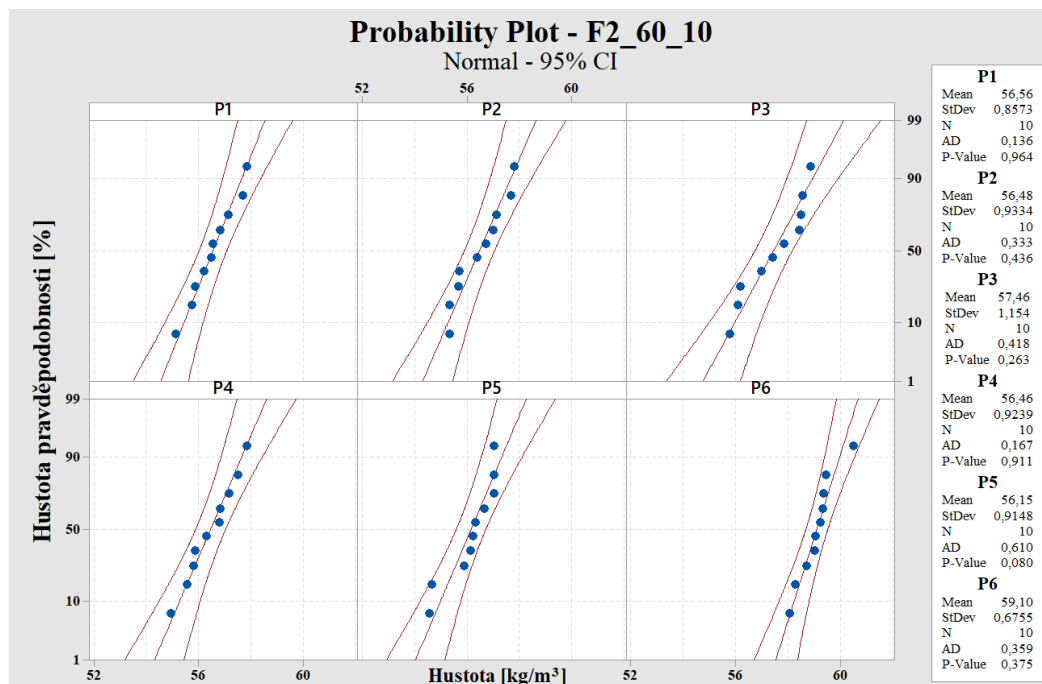
Obrázek 34 – Outlier Plots – Srovnání šarží F2_60_10

Tabulka 14 Grubbsův test odlehlých hodnot – Srovnání šarží F2_60_10

Grubbsův test odlehlých hodnot - hustota:					Podmínky testování hypotéz		
Paleta	MIN	MAX	P	α	Ho:	Bez hrubých chyb.	
P1	55,15	57,85	0,801	0,050	Ha:	NON	
P2	55,33	57,81	1,000			$1 - \alpha = 0,95$	
P3	55,77	58,87	1,000				
P4	54,95	57,85	0,818				
P5	54,54	57,04	0,573				
P6	58,06	60,50	0,181				

Grafy odlehlých hodnot (Obrázek 35) byly vytvořeny pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Grubbsův test odlehlých hodnot, ale zároveň i vygenerovány hodnoty P, dosažené minimum (MIN) a maximum (MAX). Tyto hodnoty jsou z grafu přeneseny pro přehlednost do Tabulky 14.

Pomocí Grubbsova testu odlehlých hodnot bylo dle podmínek potvrzeno, že u všech souborů platí $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se v souborech dat jednotlivých šarží označených podle skladování na paletách P1, P2, ..., P6 měřených metodou posuvného měřítka nevyskytují hrubé chyby.



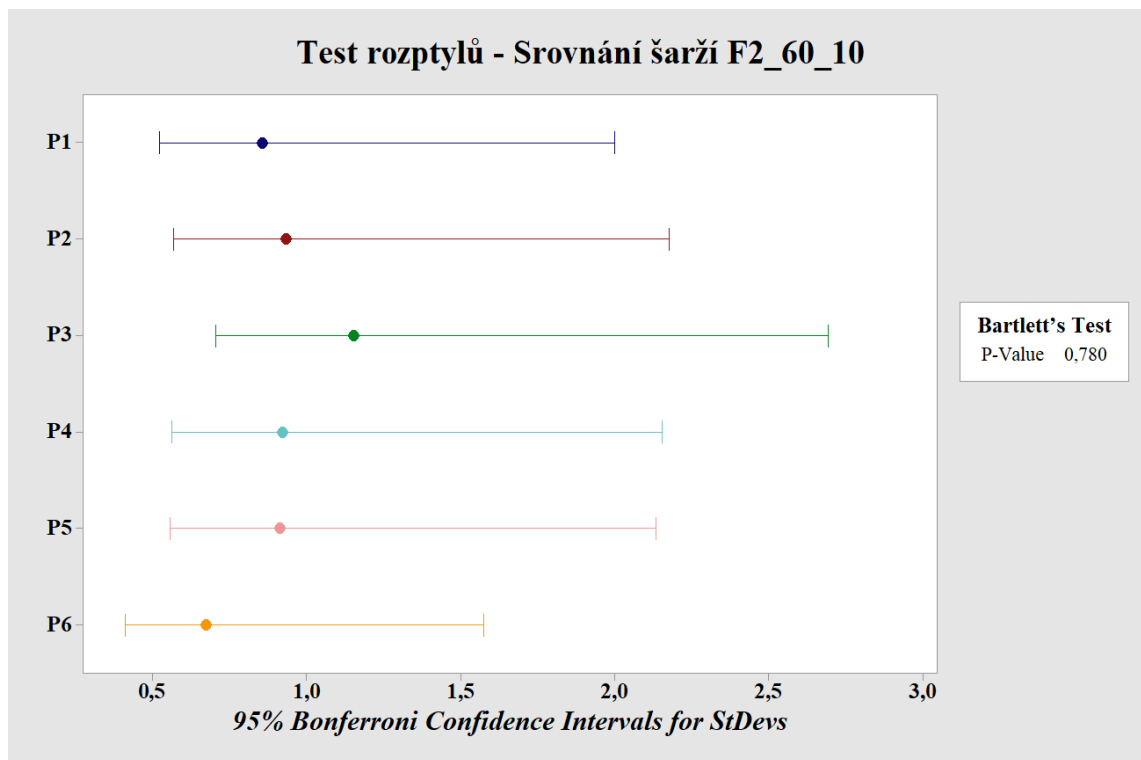
Obrázek 35 – Probability Plot – Srovnání šarží F2_60_10

Tabulka 15 Anderson–Darlingův test normalit – Srovnání šarží F2_60_10

Test normalit (Anderson-Darling) - hustota:				Podmínky testování hypotéz	
Paleta		P	α	Ho:	Data z normálního rozdělení.
P1		0,964	0,050	Ha:	NON
P2		0,436		$1 - \alpha = 0,95$	
P3		0,263			
P4		0,911			
P5		0,080			
P6		0,375			

Grafy pravděpodobnosti (Obrázek 36) byly vytvořeny pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Anderson–Darlingův test normalit, ale zároveň i vygenerována hodnota P, která je z grafu přenesena pro přehlednost výsledků do Tabulky 15.

Anderson–Darlingův test normalit na základě podmínek potvrdil, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) pochází data jednotlivých šarží označených podle skladování na paletách P1, P2, ..., P6 měřených metodou posuvného měřítka z normálního rozdělení.



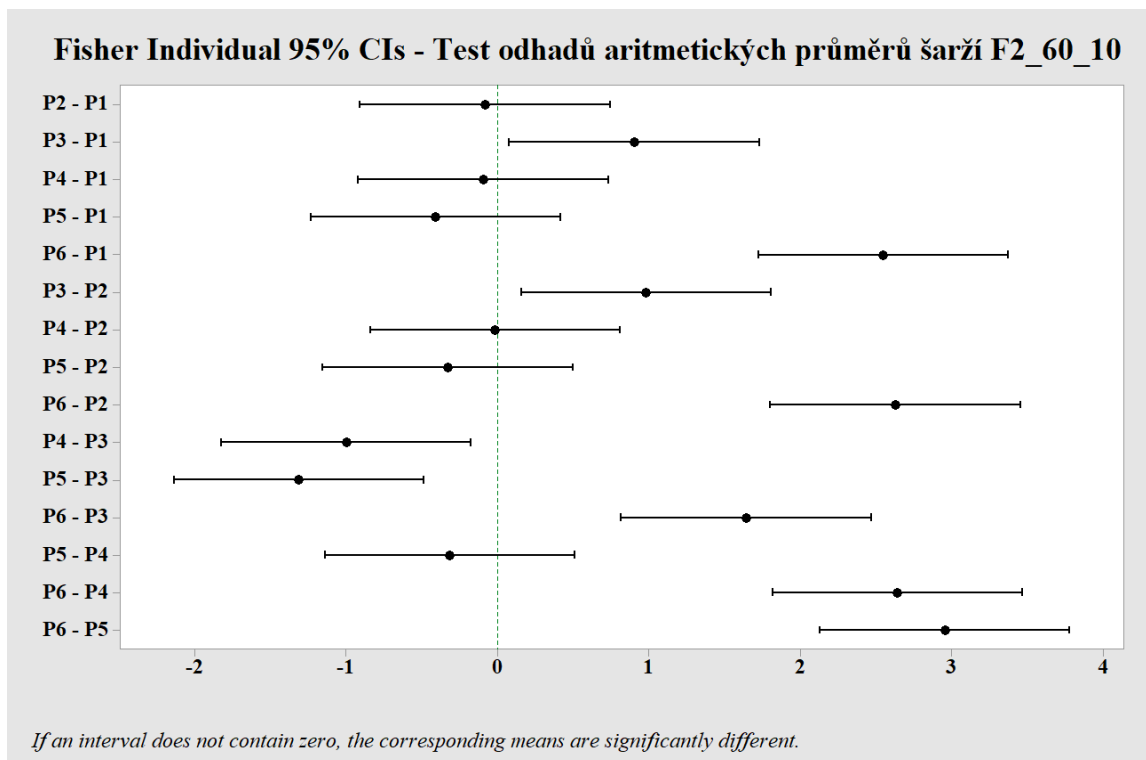
Obrázek 36 – Bartlettův test rozptylů – Srovnání šarží F2_60_10

Tabulka 16 Bartlettův test rozptylů – Srovnání šarží F2_60_10

Bartlettův test rozptylů - hustota:		Podmínky testování hypotéz	
P	α	Ho:	Rozptyly se liší náhodně.
0,780	0,050	Ha:	NON
		$1 - \alpha = 0,95$	

Graf pro testování rozptylů (Obrázek 37) podmíněný 95% Bonferroniho konfidenčními intervaly pro směrodatné odchylky byl vytvořen pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Bartlettův test rozptylů, ale zároveň i vygenerována hodnota P, která je z grafu přenesena pro přehlednost výsledků do Tabulky 16.

Bartlettův test rozptylů pro více výběrových souborů na základě podmínek potvrdil, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se rozptyly souborů představující šarže výrobků P1, P2, ..., P6 liší pouze náhodně (statisticky nevýznamně).



Obrázek 37 – Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání šarží F2_60_10

Tabulka 17 Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání šarží F2_60_10

Fisherův test odhadů aritmetických průměrů		
Palety	0 / 1	LIŠÍ SE?
P2-P1	0	NE
P3-P1	1	NEPRAVDA
P4-P1	0	NE
P5-P1	0	NE
P6-P1	1	NEPRAVDA
P3-P2	1	NEPRAVDA
P4-P2	0	NE
P5-P2	0	NE
P6-P2	1	NEPRAVDA
P4-P3	1	NEPRAVDA
P5-P3	1	NEPRAVDA
P6-P3	1	NEPRAVDA
P5-P4	0	NE
P6-P4	1	NEPRAVDA
P6-P5	1	NEPRAVDA

Graf pro testování odhadů aritmetických průměrů (Obrázek 38) byl vytvořen pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Fisherův test odhadů

aritmetických průměrů, který graficky znázorňuje vzájemnou shodnost, příp. neshodnost, mezi jednotlivými šaržemi (paletami) polotovaru ve FÁZI 2. Principem hodnocení dle tohoto grafu je, zda úsečka znázorňující vzájemnou shodnost prochází 0. Pokud tomu tak není, liší se dvě vzájemně hodnocené šarže polotovarů statisticky významně. Z grafu byl tento znak přenesen pro přehlednost výsledků do Tabulky 17.

Fisherův test odhadů aritmetických průměrů na základě podmínek potvrdil, že P_2-P_1 ; P_4-P_1 ; P_5-P_1 ; P_4-P_2 ; P_5-P_2 ; P_5-P_4 obsahují 0, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se odhady aritmetických průměrů souborů představující šarže výrobků P_1, P_2, \dots, P_6 liší pouze náhodně (statisticky nevýznamně), avšak ostatní hodnocené dvojice 0 neobsahují, což znamená, že se liší nenáhodně (statisticky významně). Při přesnějším hodnocení lze identifikovat, že šarže umístěné na paletách P_3 a P_6 se od ostatních liší statisticky významně.

Lze tedy předpokládat, že nebyly dodrženy výrobní podmínky při extruzi pásů či jejich následném vrstvení. V této situaci se doporučuje vyřadit palety P_3 a P_6 z výrobního procesu.

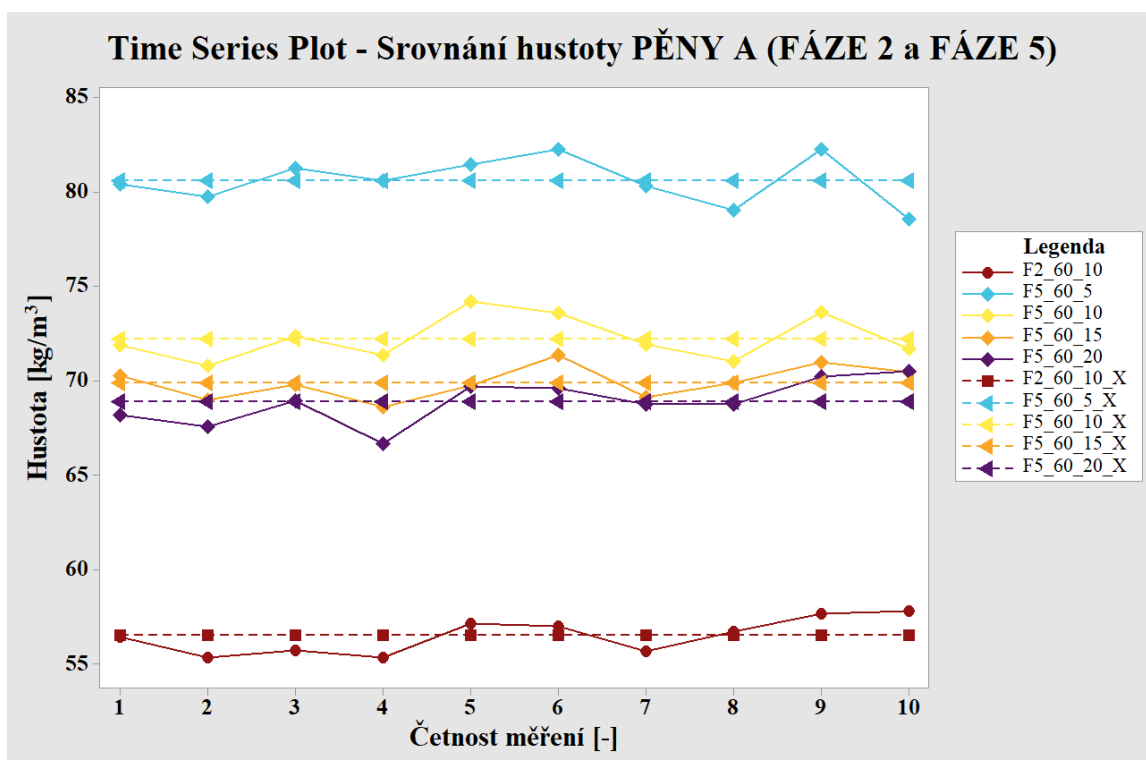
V konečném důsledku není výroba schopna zajistit shodnou hustotu u různých palet (šarží), což vede k nutné kontrole v každé fázi výrobního procesu, aby se zmetkové polotovary nešířily výrobním procesem a nevznikaly zmetkové produkty, kterým je možné zabránit. Tento krok přispěje k výrazné finanční i časové úspoře, ale také ke zvýšení celkové kvality výroby PĚNY A.

8 KONKRÉTNÍ NÁRŮST HUSTOTY BĚHEM VÝROBNÍHO PROCESU

Důvodem pro statistické přezkoumání následujících výběrových souborů je ověření nárůstu hustoty PĚNY A napříč výrobním procesem (konkrétně FÁZE 2 a FÁZE 5), zároveň také vliv řezání koncových produktů na desky o různých tloušťkách.

Stejně jako u kapitoly 7 bylo využito Exploratorní (průzkumové) analýzy dat (EDA) a Jednocestné analýzy rozptylu (One-way ANOVA).

Naměřená data, ze kterých bylo vycházeno pro analýzy, jsou uvedena v Příloze P III a Příloze P IV.

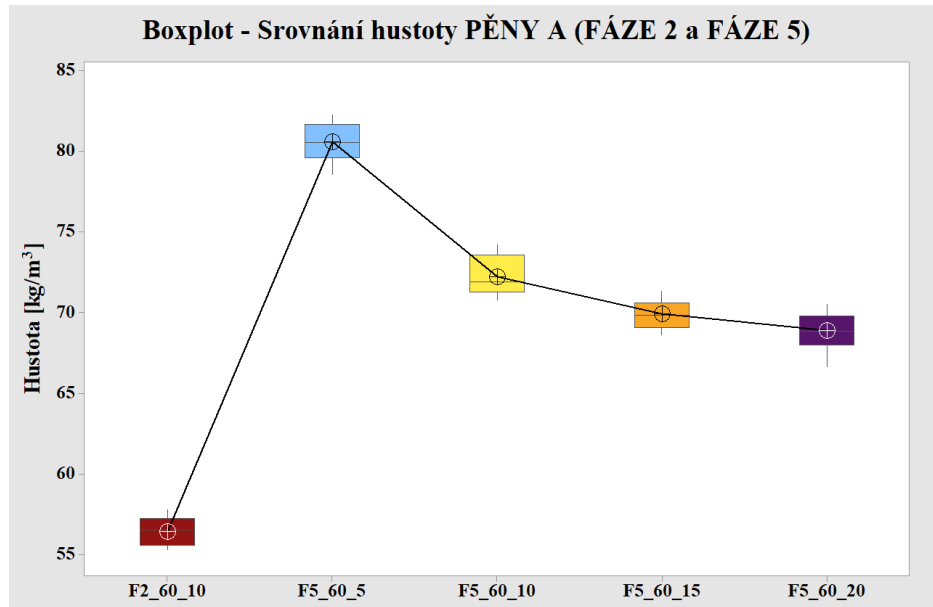


Obrázek 38 – Time Series Plot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

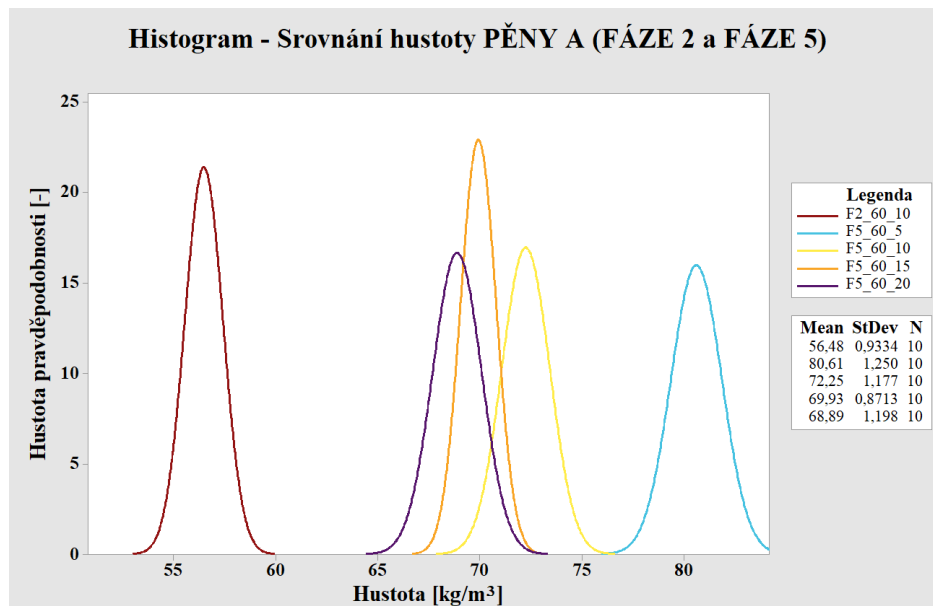
Na základě EDA pro vizualizaci dat byly vytvořeny grafy: Time Series Plot, Boxplot a Histogram. Trendové čáry znázorňují průběh měření (viz Obrázek 39), přičemž již při vizuálním hodnocení je zřejmý výrazný rozdíl mezi hodnotou hustoty pro tloušťku 5 mm a 20 mm. Pro ověření byla provedena analýza ANOVA, pomocí které bude potvrzeno, zda se soubory vzájemně liší statisticky nevýznamně, či nikoli.

Poté byl vypočítán objem ze vztahu: $V = a \cdot b \cdot t_p$; vzorek zvážen na digitální laboratorní váze a hustota vypočítána ze vztahu: $\rho = m/V$. Data hustoty jednotlivých

vzorků jsou zaznamenána v grafu (viz Obrázek 39) s označením např. F5_60_5. Z těchto dat byl dle vztahu: $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ vypočítán odhad aritmetického průměru ρ_s , který je v grafu (viz Obrázek 39) pod označením např. F5_60_5_X.



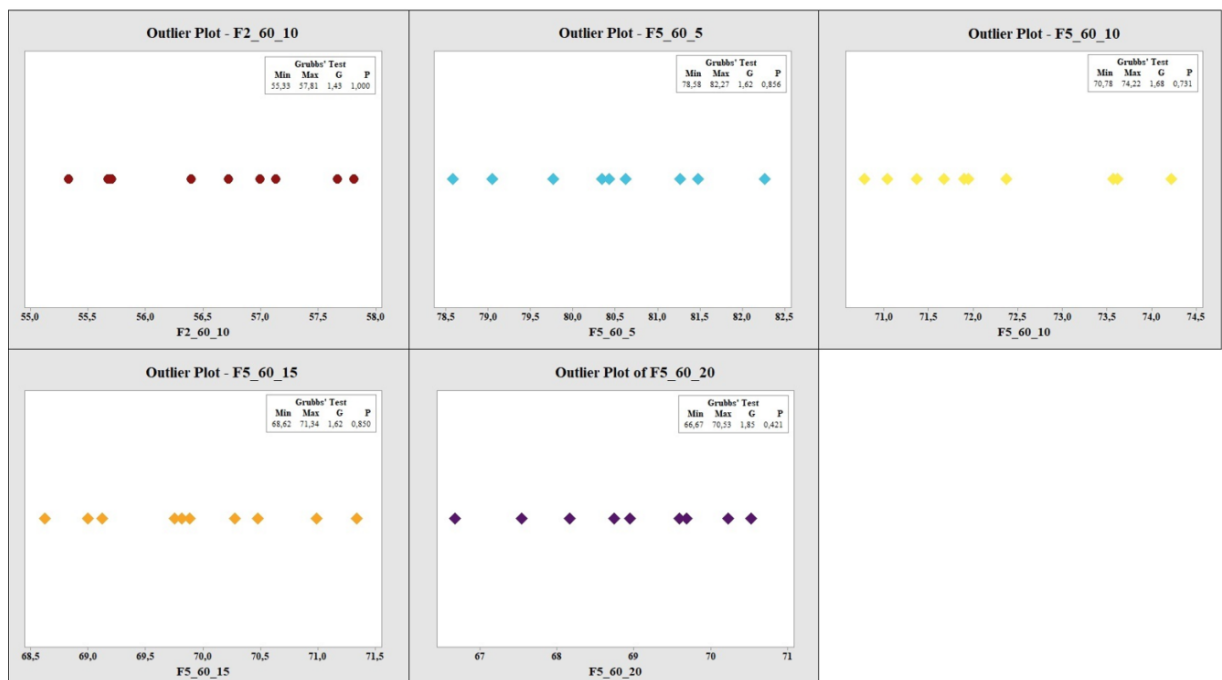
Obrázek 39 – Boxplot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5



Obrázek 40 – Histogram – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Variable	Total Count	Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Maximum
F2_60_10	10	56,477	0,933	1,65	55,330	57,814
F5_60_5	10	80,608	1,250	1,55	78,582	82,270
F5_60_10	10	72,249	1,177	1,63	70,778	74,223
F5_60_15	10	69,928	0,871	1,25	68,622	71,342
F5_60_20	10	68,885	1,198	1,74	66,672	70,527

Obrázek 41 – Přehled vygenerovaných statistických dat pro FÁZI 2 a FÁZI 5



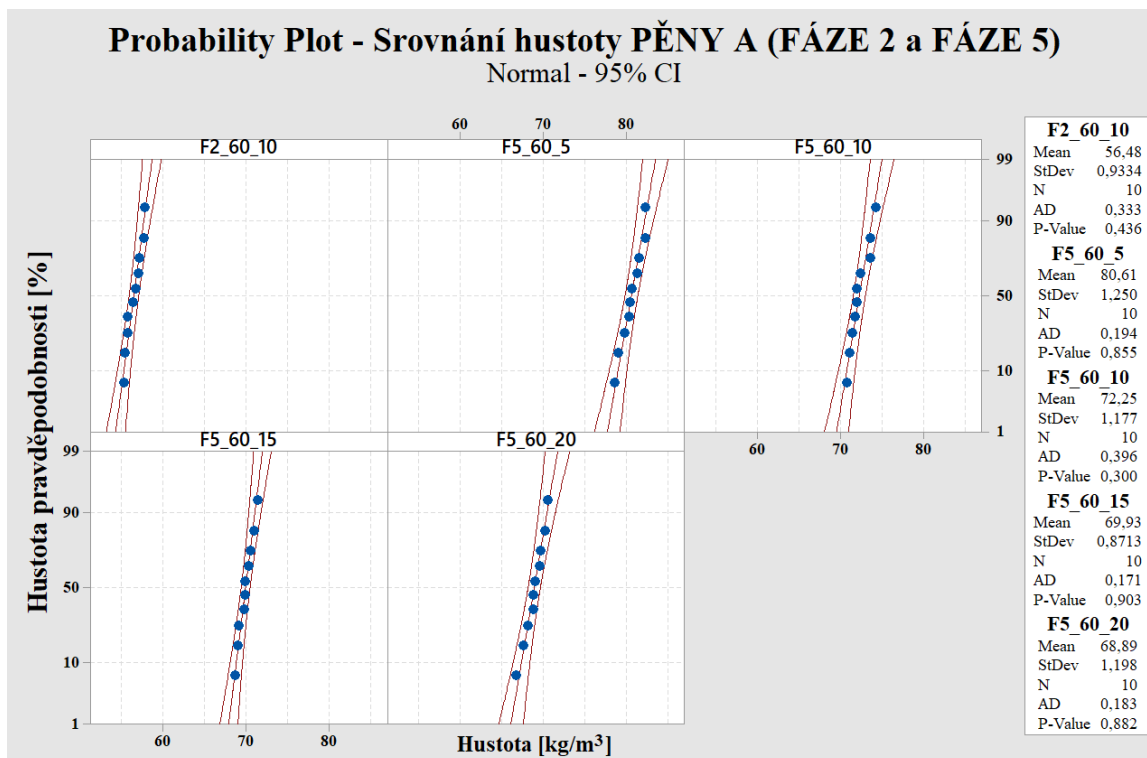
Obrázek 42 – Outlier Plots – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Tabulka 18 Grubbsův test odlehlých hodnot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Grubbsův test odlehlých hodnot - hustota:					Podmínky testování hypotéz	
Deska	MIN	MAX	P	α	Ho:	Bez hrubých chyb.
F2_60_10	55,33	57,814	1,000	0,050	Ha:	NON
F5_60_5	78,58	82,27	0,856		1 - α = 0,95	
F5_60_10	70,78	74,22	0,731			
F5_60_15	68,62	71,34	0,850			
F5_60_20	66,67	70,53	0,421			

Grafy odlehlých hodnot (Obrázek 43) byly vytvořeny pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Grubbsův test odlehlých hodnot, ale zároveň i vygenerovány hodnoty P, dosažené minimum (MIN) a maximum (MAX). Tyto hodnoty jsou z grafu přeneseny pro přehlednost do Tabulky 18.

Pomocí Grubbsova testu odlehlých hodnot bylo dle podmínek potvrzeno, že u všech souborů platí $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se v souborech dat vzorků mezi jednotlivými fázemi výroby (polotovary a konečný produkt) a tloušťkami konečných produktů (F2_60_10; F5_60_5; F5_60_10; F5_60_15; F5_60_20) měřených metodou posuvného měřítka nevyskytují hrubé chyby.



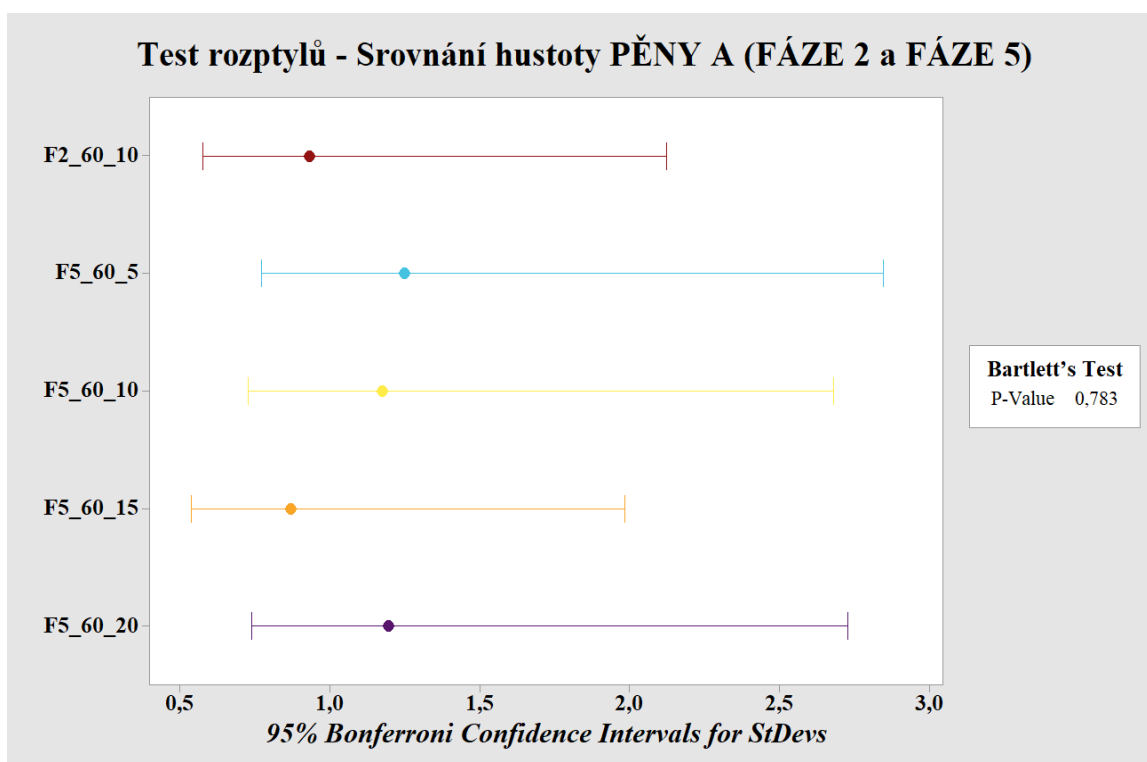
Obrázek 43 – Probability Plot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Tabulka 19 Anderson–Darlingův test normalit – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Test normalit (Anderson-Darling) - hustota:				Podmínky testování hypotéz	
Deska		P	α	Ho:	Data z normálního rozdělení.
F2_60_10		0,436	0,050	Ha:	NON
F5_60_5		0,855		$1 - \alpha = 0,95$	
F5_60_10		0,300			
F5_60_15		0,903			
F5_60_20		0,882			

Grafy pravděpodobnosti (Obrázek 44) byly vytvořeny pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Anderson–Darlingův test normalit, ale zároveň i vygenerována hodnota P, která je z grafu přenesena pro přehlednost výsledků do Tabulky 19.

Anderson–Darlingův test normality na základě podmínek potvrdil, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) pochází data souborů vzorků mezi jednotlivými fázemi výroby (polotovary a konečný produkt) a tloušťkami konečných produktů (F2_60_10; F5_60_5; F5_60_10; F5_60_15; F5_60_20) měřených metodou posuvného měřítka z normálního rozdělení.



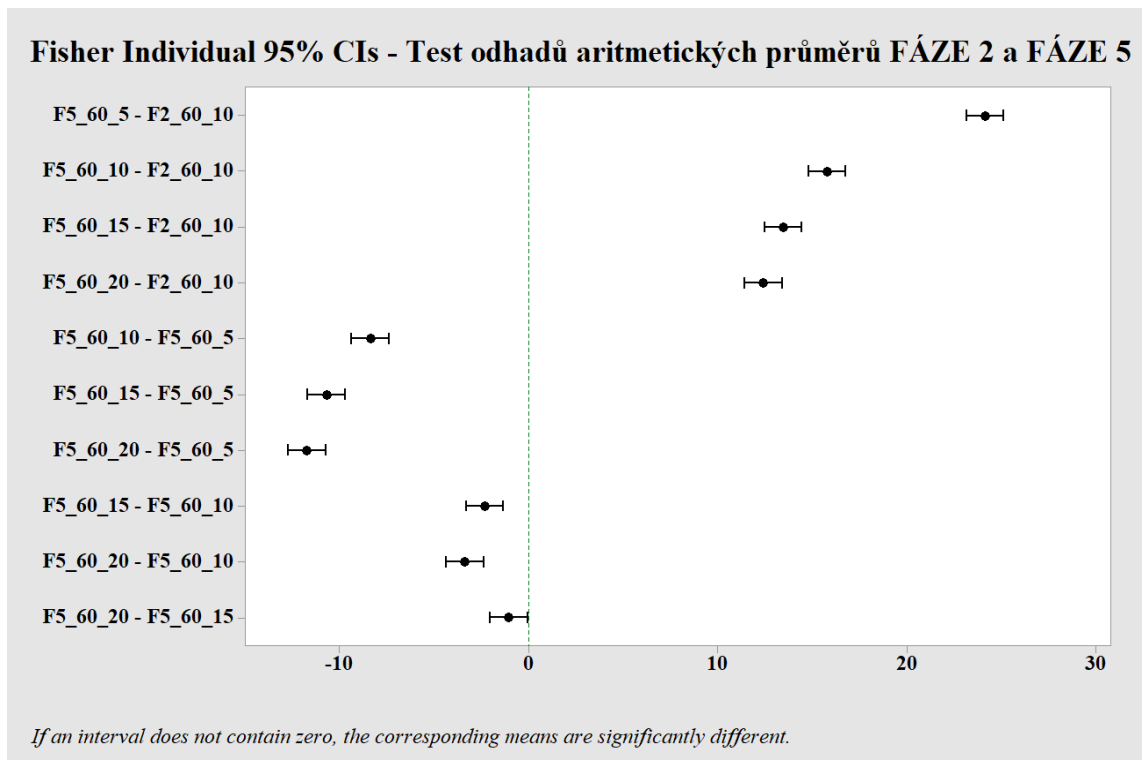
Obrázek 44 – Bartlettův test rozptylů – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Bartlettův test rozptylů - hustota:		Podmínky testování hypotéz	
P	α	Ho:	Rozptyly se liší náhodně.
0,738	0,050	Ha:	NON
		$1 - \alpha = 0,95$	

Tabulka 20 Bartlettův test rozptylů – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Graf pro testování rozptylů (Obrázek 45) podmíněný 95% Bonferroniho konfidenčními intervaly pro směrodatné odchylky byl vytvořen pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Bartlettův test rozptylů, ale zároveň i vygenerována hodnota P, která je z grafu přenesena pro přehlednost výsledků do Tabulky 20.

Bartlettův test rozptylů pro více výběrových souborů na základě podmínek potvrdil, že $P > \alpha$, tudíž se nezamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se rozptily jednotlivých souborů (F2_60_10; F5_60_5; F5_60_10; F5_60_15; F5_60_20) liší pouze náhodně (statisticky nevýznamně).



Obrázek 45 – Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5

Tabulka 21 Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání šarží F2_60_10

Fisherův test odhadů aritmetických průměrů		
Deska	0 / 1	LIŠÍ SE?
F5_60_15 - F5_60_10	1	NEPRAVDA
F5_60_20 - F5_60_10	1	NEPRAVDA
F5_60_5 - F5_60_10	1	NEPRAVDA
F5_60_20 - F5_60_15	1	NEPRAVDA
F5_60_5 - F5_60_15	1	NEPRAVDA
F5_60_5 - F5_60_20	1	NEPRAVDA

Graf pro testování odhadů aritmetických průměrů (Obrázek 46) byl vytvořen pomocí statistického programu Minitab 17, přičemž byl proveden Fisherův test odhadů aritmetických průměrů, který graficky znázorňuje vzájemnou shodnost, příp. neshodnost, mezi jednotlivými deskami ve FÁZI 5 společně s výchozím polotovarem z FÁZE 2.

Principem hodnocení dle tohoto grafu je, zda úsečka znázorňující vzájemnou shodnost prochází 0. Pokud tomu tak není, liší se dvě vzájemně hodnocené šarže polotovarů statisticky významně. Z grafu byl tento znak přenesen pro přehlednost výsledků do Tabulky 21.

Fisherův test odhadů aritmetických průměrů na základě podmínek potvrdil, že žádné dvojice neobsahují 0, tudíž se zamítá nulová hypotéza. S pravděpodobností 95 % (a hladinou významnosti $\alpha = 0,05$) se odhady aritmetických průměrů souborů představující konečné výrobky s polotovarem liší nenáhodně (statisticky významně).

Tabulka 22 Zhodnocení výsledků

Nárůst hustoty mezi FÁZÍ 2 a fází 5			
Deska	Skutečná hustota	Nárůst hustoty oproti F2_60_10 [%]	Nárůst hustoty oproti 60 kg/m ³ [%]
F2_P2_60_10	56,5	/	/
F5_60_5	80,6	42,7	34,3
F5_60_10	72,2	27,8	20,3
F5_60_15	69,9	23,7	16,5
F5_60_20	68,9	21,9	14,8

Z Tabulky 22 vyplývá, že výroba není zatím schopna eliminovat nárůst hustoty pěny během výrobního procesu, ale ani ustálit výrobní proces tak, aby byly vyráběny výrobky stálé a jedné kvality. V případě desky o tloušťce 5 mm byl nárůst hustoty oproti polotovaru z FÁZE 2 42,7 %, a oproti hodnotě přislíbené zákazníkovi o 34,3 %. S narůstající tloušťkou trend klesá. Ovšem nestačí kontrolovat pouze hustotu celého bloku ve FÁZI 4, protože problém dle dat nastává nejen už na začátku výrobního procesu, ale i při konečném řezání samotných desek v různých tloušťkách pro zákazníka. Ač se tento krok na počátku zdál jako rutinní záležitost, byl zde odhalen zásadní problém.

Pro snížení zmetkovitosti je nutné zavést systém průběžných kontrol napříč celým výrobním procesem (využití kontrolních tabulek, regulačních diagramů, atd.), což výrazně usnadní především vyhledávání příčin problémů.

ZÁVĚR

Záměrem této diplomové práce bylo najít hlavní problém v případě kvality daného produktu, jímž byla PĚNA A, a statisticky dokázat, zda je tento problém významný a ovlivňuje konečný produkt z hlediska jakosti. Pro objektivní a správné hodnocení, bylo nejprve nutné zmapovat celý výrobní proces a pochopit návaznosti mezi jednotlivými výrobními operacemi. Následně byly odebírány požadované vzorky přímo z výroby a měřeny pro získání dostatečných dat ke statistickému hodnocení.

Z důvodu zavádění nové výroby PĚNY A zatím není vypracován žádný kontrolní předpis, tudíž výroba není pod podrobným dohledem. Ovšem na základě dostupných dat z této diplomové práce je již zřejmé, jaké kroky je nutné podniknout, aby se snížila zmetkovitost.

Po zmapování výrobního procesu následovalo zhodnocení vad, které ukázalo, že nejzávažnějším problémem je výrazné nedodržení hustoty PĚNY A, která však byla zákazníkovi přislíbena. Proto se diplomová práce zaměřuje konkrétně právě na problematiku hustoty. Potvrdila se skutečnost, že s klesající tloušťkou konečného produktu hustota narůstá, což identifikuje problém při poslední výrobní operaci. Pro jeho konkrétní řešení by bylo do budoucna vhodné využít některý z nástrojů/metod kvality (např. Ishikawa diagram, 5xproč, ...). V případě, že by byly zavedeny pravidelné kontroly hustoty, byl by stávající způsob měření pomocí posuvného měřítka a digitální laboratorní váhy poněkud zdlouhavý, a tak byla jako alternativní metoda zvoleno měření pomocí pyknometru. Po měření vzorků oběma metodami bylo statisticky dokázáno, že jejich výsledky se liší statisticky nevýznamně, takže je možné nahradit stávající měření měřením pomocí pyknometru.

Dále se práce zaměřuje na kontrolu jednotlivých šarží polotovaru ve FÁZI 2, kdy bylo dokázáno, že některé palety s polotovary se svou hustotou oproti jiným liší statisticky významně, což sice poukazuje na nedokonalou a nestálou výrobu, ale je možné tyto poznatky využít právě pro již zmiňované průběžné kontroly, kdy by byly včas odhaleny zmetkovité polotovary dříve a nebyly by puštěny dále do výrobního procesu. Už tento krok by podniku zajistil významné ekonomické i časové úspory.

V závěru byly konkrétněji řešeny právě konečné desky z PĚNY A, přesněji jejich provedení v různých tloušťkách, u kterých bylo potvrzeno, že se mezi sebou liší statisticky významně, ale i oproti hustotě polotovaru jejich nárůst významný. Vhodným řešením by

bylo zaměřit se na poslední výrobní operaci řezání a řezné podmínky, zda se na problému nepodílí právě stroj. Nárůst hustoty u desky o tloušťce 5 mm je oproti zákazníkovi přislíbeným 60 kg/m^3 o 34,3 % vyšší.

Pokud by podnik vyřešil výzvy, které byly během zkoumání objeveny, zařadil do systému koncept pravidelných kontrol založených na statistickém základu, výrazně by se snížila zmetkovitost, se kterou se pojí případné následné reklamace, zvýšila časová i ekonomická úspora.

Cíl diplomové práce byl úspěšně splněn, byly odhaleny nejzásadnější problémy vedoucí k vadám produktu, ale také navrhnuty krátkodobá i dlouhodobá řešení přispívající ke komplexnímu zlepšení výrobního procesu.

Jsem přesvědčena, že data získaná při vypracovávání diplomové práce mohou společně s vhodnými opatřeními napomoci podniku k zavedení kontroly kvality PĚNY A i následnému využití benefitů, které se s těmito opatřeními pojí.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] THRONE, James L. *Thermoplastic foam extrusion: an introduction*. Munich: Hanser Publishers, c2004. ISBN 1569903603.
- [2] LEE, S.-T; PARK, Chul B. a RAMESH, N. S. *Polymeric foams: science and technology*. Polymeric foams. Boca Raton: CRC/Taylor & Francis, 2007. ISBN 0849330750.
- [3] MALLARD CREEK POLYMERS, 2020. *An Introduction to Amorphous Polymers*. Online. Dostupné z: <https://www.mcpolymers.com/library/introduction-to-amorphous-polymers>. [cit. 2024-02-24].
- [4] BALAJI, Anand B.; PAKALAPATI, Harshini; KHALID, Mohammad; WALVEKAR, Rashmi a SIDDIQUI, Humaira. Natural and synthetic biocompatible and biodegradable polymers. Online. In: *Biodegradable and Biocompatible Polymer Composites*. Elsevier, 2018, s. 3-32. ISBN 9780081009703. Dostupné z doi: 10.1016/B978-0-08-100970-3.00001-8. [cit. 2024-02-24].
- [5] KLEMPNER, Daniel a SENDIJAREVIĆ, Vahid (ed.). *Handbook of polymeric foams and foam technology*. 2nd ed. Munich: Hanser Publishers, c2004. ISBN 1569903360.
- [6] NETTI, Paolo Antonio (ed.). *Biomedical foams for tissue engineering applications*. Woodhead publishing series in biomaterials. Amsterdam: Elsevier/WP, Woodhead Publishing, [2014]. ISBN 9780857096968.
- [7] ABDALLAH, Ramez; JUAIDI, Adel; SAVAŞ, Mahmut A.; ÇAMUR, Hüseyin; ALBATAYNEH, Aiman et al. A Critical Review on Recycling Composite Waste Using Pyrolysis for Sustainable Development. Online. *Energies*. 2021, roč. 14, č. 18. ISSN 1996-1073. Dostupné z doi: 10.3390/en14185748. [cit. 2024-02-24].
- [8] HASSANI, Sahar; MOUSAVI, Mohsen a GANDOMI, Amir H. Structural Health Monitoring in Composite Structures: A Comprehensive Review. Online. *Sensors*. 2022, roč. 22, č. 1. ISSN 1424-8220. Dostupné z doi: 10.3390/s22010153. [cit. 2024-02-24].
- [9] EHRENSTEIN, Gottfried W. *Polymerní kompozitní materiály*. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 9788086960296.
- [10] NWABUNMA, Domasius a KYU, Thein (ed.). *Polyolefin composites*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2008. ISBN 9780471790570.
- [11] MOURITZ, Adrian P. a GIBSON, A. G. *Fire properties of polymer composite materials*. Solid mechanics and its applications. Dordrecht: Springer, c2006. ISBN 9781402053559.
- [12] GERDEEN, James C. a RORRER, Ronald A. L. *Engineering design with polymers and composites*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, c2012. ISBN 9781439860526.

- [13] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [14] WHITEHOUSE, D. J. *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, c2011. ISBN 978-1-4200-8201-2.
- [15] MCCLAVE, James T. a SINCICH, Terry. *Statistics*. Thirteenth edition. New York: Pearson, [2018]. ISBN 978-1-292-16155-6.
- [16] FREEDMAN, David; PISANI, Robert a PURVES, Roger. *Statistics*. Fourth edition, International student edition. New York: W.W. Norton & Company, [2007]. ISBN 978-0-393-93043-6.
- [17] MONTGOMERY, Douglas C. *Statistical quality control: a modern introduction*. Seventh edition. Singapore: Wiley, [2013]. ISBN 9781118322574.
- [18] NISBET, Robert; ELDER, John F. a MINER, Gary. *Handbook of statistical analysis and data mining applications*. Boston: Elsevier Academic Press, 2009. ISBN 9780123747655.
- [19] RAUWENDAAL, Chris J. *SPC statistical process control in extrusion*. Munich: Hanser, 1993. ISBN 3446162445.
- [20] FILIP, Ludvík. *Efektivní řízení kvality*. Praha: Pointa, 2019. ISBN 9788090753051.
- [21] NENADÁL, Jaroslav. *Moderní management jakosti: principy, postupy, metody*. Praha: Management Press, 2008. ISBN 9788072611867.
- [22] NENADÁL, Jaroslav. *Management kvality pro 21. století*. Praha: Management Press, 2018. ISBN 9788072615612.
- [23] PAULOVÁ, Iveta. *Komplexné manažérstvo kvality*. Tretie, doplnené a prepracované vydanie. Ekonómia. Bratislava: Wolters Kluwer, 2018. ISBN 9788081688348.
- [24] SARTOR, Marco a ORZES, Guido (ed.). *Quality management: tools, methods, and standards*. United Kingdom: Emerald Publishing, 2019. ISBN 978-1-78769-804-8.
- [25] MAUCH, Peter D. *Quality management: theory and application*. Boca Raton: CRC Press, c2010. ISBN 9781138116207.
- [26] WOOD, Douglas C. (ed.). *Principles of quality costs: financial measures for strategic implementation of quality management*. Fourth edition. Milwaukee: ASQ Quality Press, [2013]. ISBN 9780873898492.
- [27] CAMPANELLA, Jack. *Principles of quality costs: principles, implementation and use*. Third edition. Milwaukee: ASQ Quality Press, [1999]. ISBN 087389443X.

[28] MARKULIK, Štefan; TURISOVÁ, Renáta a NAGYOVÁ, Anna. *Nástroje na podporu riadenia kvality procesov*. Vydanie I. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. Košice: Strojnícka fakulta Technickej univerzity v Košiciach, 2019. ISBN 978-80-553-3465-3.

[29] GOETSCH, David L. a DAVIS, Stanley. *Quality management for organizational excellence: introduction to total quality*. 7th ed., new international ed. Harlow: Pearson Education, c2014. ISBN 9781292022338.

[30] IBM. *What is exploratory data analysis (EDA)?*. Online. Dostupné z: <https://www.ibm.com/topics/exploratory-data-analysis>. [cit. 2024-02-24].

[31] IMAI, Masaaki. *Gemba Kaizen*. Brno: Computer Press, 2005, viii, 314 s. Business books. ISBN 8025108503.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

GPa Gigapascal

CFRC Carbon fibre reinforced carbon (*Uhlík vyztužený uhlíkovými vlákny*)

GF Glass fiber (*Skelné vlákno*)

CF Carbon fiber (*Uhlíkové vlákno*)

EU Evropská unie

EDA Exploratory Data Analysis (*Exploratorní analýza dat*)

ANOVA Analysis of Variance (*Analýza rozptylu*)

CL Central Line

UCL Upper Control Line

LCL Lower Control Line

SPC Statistical Process Control (*Statistická regulace procesu*)

QFD Quality Function Deployment (*Dům kvality*)

FMEA Failure Mode and Effects Analysis (*Analýza možného výskytu a vlivu vad*)

DOE Design of Experiment (*Návrh experimentu*)

mm Milimetr

Tzv. Takzvaně

Např. Například

Tzn. To znamená

Tj. To je

Příp. Případně

Apod. A podobně

Atd. A tak dále

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Tabulka významných technologických pokroků [2].....	19
Obrázek 2 – Rozdělení a zastoupení technologií plnění [2]	22
Obrázek 3 – Flow chart produktu výrobním procesem	39
Obrázek 4 – Schematický přehled vad	40
Obrázek 5 – Kontrolní tabulka se záznamy vad	41
Obrázek 6 – Pareto diagram.....	42
Obrázek 7 – Kontrolní tabulka se záznamy vad	43
Obrázek 8 – Systém vzorkování	43
Obrázek 9 – Postup měření posuvným měřítkem a laboratorní váhou.....	44
Obrázek 10 – Značení výběrových souborů PĚNY A [40]	46
Obrázek 11 – Time Series Plot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [40]	47
Obrázek 12 – Boxplot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [40].....	48
Obrázek 13 – Přehled dosažených hustot PĚNY A [40] pro různé tloušťky.....	48
Obrázek 14 – Značení výběrových souborů PĚNY A [60]	50
Obrázek 15 – Time Series Plot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [60]	51
Obrázek 16 – Boxplot – Srovnání dosažených hustot PĚNY A [60].....	52
Obrázek 17 – Přehled dosažených hustot PĚNY A [60] pro různé tloušťky.....	52
Obrázek 18 – Přehled vygenerovaných statistických dat PĚNY A (Minitab 17).....	53
Obrázek 19 – Přehled naměřených a vypočítaných dat PĚNY A.....	53
Obrázek 20 – Histogram – souhrn výsledků PĚNY A	54
Obrázek 21 – Scatterplot – souhrn výsledků PĚNY A.....	54
Obrázek 22 – Postup měření pyknometrem.....	56
Obrázek 23 – Time Series Plot – Srovnání metod měření.....	58
Obrázek 24 – Histogram – Srovnání metod měření	58
Obrázek 25 – Outlier Plots – Srovnání metod měření	59
Obrázek 26 – Probability Plot – Měření pyknometrem.....	60
Obrázek 27 – Probability Plot – Měření posuvným měřítkem	60
Obrázek 28 – F–test rozptylů – Srovnání metod měření	61
Obrázek 29 – Vygenerovaná statistická data pro T–test aritmetických průměrů (Minitab 17).....	62
Obrázek 31 – Time Series Plot – Srovnání šarží F2_60_10.....	63
Obrázek 32 – Boxplot – Srovnání šarží F2_60_10.....	64
Obrázek 33 – Histogram – Srovnání šarží F2_60_10.....	64
Obrázek 34 – Přehled vygenerovaných statistických dat pro F2_60_10.....	64

Obrázek 35 – Outlier Plots – Srovnání šarží F2_60_10	65
Obrázek 36 – Probability Plot – Srovnání šarží F2_60_10	66
Obrázek 37 – Bartlettův test rozptylů – Srovnání šarží F2_60_10.....	67
Obrázek 38 – Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání šarží F2_60_10....	68
Obrázek 39 – Time Series Plot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	70
Obrázek 40 – Boxplot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	71
Obrázek 41 – Histogram – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	71
Obrázek 42 – Přehled vygenerovaných statistických dat pro FÁZI 2 a FÁZI 5.....	72
Obrázek 43 – Outlier Plots – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	72
Obrázek 44 – Probability Plot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	73
Obrázek 45 – Bartlettův test rozptylů – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5.....	74
Obrázek 46 – Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	75

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Záznamy četností vad	41
Tabulka 2 Naměřená data A_40_5	45
Tabulka 3 Naměřená data A_40_10	45
Tabulka 4 Naměřená data A_40_20	45
Tabulka 5 Naměřená data A_60_5	49
Tabulka 6 Naměřená data A_60_10	49
Tabulka 7 Naměřená data A_60_20	49
Tabulka 8 Naměřená data PĚNY A – měření pyknometrem.....	57
Tabulka 9 Naměřená data PĚNY A – měření posuvným měřítkem.....	57
Tabulka 10 Grubbsův test odlehlých hodnot – Srovnání metod měření.....	59
Tabulka 11 Anderson–Darlingův test normalit – Srovnání metod měření.....	60
Tabulka 12 F–test rozptylů – Srovnání metod měření.....	61
Tabulka 13 T–test aritmetických průměrů – Srovnání metod měření	62
Tabulka 14 Grubbsův test odlehlých hodnot – Srovnání šarží F2_60_10.....	65
Tabulka 15 Anderson–Darlingův test normalit – Srovnání šarží F2_60_10	66
Tabulka 16 Bartlettův test rozptylů – Srovnání šarží F2_60_10	67
Tabulka 17 Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání šarží F2_60_10	68
Tabulka 18 Grubbsův test odlehlých hodnot – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5.....	72
Tabulka 19 Anderson–Darlingův test normalit – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	73
Tabulka 20 Bartlettův test rozptylů – Srovnání FÁZE 2 a FÁZE 5	74
Tabulka 21 Fisherův test odhadů aritmetických průměrů – Srovnání šarží F2_60_10	75
Tabulka 22 Zhodnocení výsledků.....	76

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Naměřená data – šarže ve FÁZI 2 I.

Příloha P II: Naměřená data – šarže ve FÁZI 2 II.

Příloha P III: Naměřená data – srovnání výrobků I.

Příloha P IV: Naměřená data – srovnání výrobků II.

PŘÍLOHA P I: NAMĚŘENÁ DATA – ŠARŽE VE FÁZI 2 I.

POLYMERNÍ PĚNA - PĚNA A																		
Název			Datum			Paleta	Šarže			Označení								
PĚNA A			11.07.2023			P1	9311730			74511			300341628					
Typ / fáze		FÁZE 2					Předpokládaná hustota					60		Poznámka: F2 60 10				
n	t _i [mm] 10										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]			
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p		
1	11,94	11,97	11,94	11,76	11,88	11,98	12,00	11,97	11,71	11,89	11,90	101,01	100,11	120,375	6,709	55,7		
2	12,06	11,97	12,00	11,94	11,76	11,93	12,01	11,68	12,09	11,84	11,93	100,81	100,42	120,751	6,659	55,1		
3	11,89	11,93	11,92	12,05	11,68	11,53	11,37	11,54	11,46	11,82	11,72	101,47	100,96	120,054	6,791	56,6		
4	11,78	11,64	11,74	11,32	11,31	11,49	11,33	11,39	11,16	11,63	11,48	101,13	100,13	116,238	6,607	56,8		
5	11,65	11,58	11,60	11,51	11,88	11,82	11,92	11,95	11,88	11,60	11,74	101,64	101,73	121,379	6,782	55,9		
6	11,75	11,63	11,79	11,73	11,69	11,80	12,01	12,09	11,30	11,49	11,73	101,40	101,31	120,480	6,885	57,1		
7	11,52	11,64	11,58	11,47	11,61	11,82	11,69	11,68	11,63	11,89	11,65	100,69	101,02	118,531	6,664	56,2		
8	11,98	11,96	12,10	12,16	12,32	12,07	12,04	12,10	12,06	12,11	12,09	100,89	100,14	122,147	6,902	56,5		
9	11,47	11,37	11,30	11,22	11,52	11,67	11,59	11,40	11,29	11,67	11,45	100,14	102,01	116,965	6,747	57,7		
10	11,73	11,74	11,87	11,96	12,04	12,13	12,05	12,04	11,57	11,80	11,89	101,78	98,58	119,328	6,903	57,8		
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																56,6		

POLYMERNÍ PĚNA - PĚNA A																		
Název			Datum			Paleta	Šarže			Označení								
PĚNA A			11.07.2023			P2	9311705			74511			300341628					
Typ / fáze		FÁZE 2					Předpokládaná hustota					60		Poznámka: F2 60 10				
n	t _i [mm] 10										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]			
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p		
1	12,03	11,79	12,15	11,88	11,93	11,81	11,91	11,86	11,46	11,90	11,87	100,10	101,51	120,633	6,803	56,4		
2	11,70	11,60	11,71	11,94	11,63	12,05	11,97	11,93	11,92	11,56	11,80	99,78	100,09	117,856	6,521	55,3		
3	12,08	11,85	12,07	11,84	11,57	11,81	12,14	12,13	11,87	12,22	11,96	100,01	98,68	118,013	6,574	55,7		
4	12,25	12,17	12,33	12,22	12,01	12,01	11,87	12,01	11,91	12,10	12,09	99,70	99,75	120,216	6,652	55,3		
5	12,13	12,00	12,08	12,19	11,71	11,58	11,76	11,56	11,87	12,26	11,91	101,71	100,18	121,395	6,936	57,1		
6	12,49	12,36	12,29	12,38	12,02	11,71	11,97	11,85	12,07	11,99	12,11	100,58	100,56	122,515	6,983	57,0		
7	11,94	11,83	11,91	11,56	12,05	12,02	11,99	12,22	11,89	11,91	11,93	100,14	100,61	120,216	6,693	55,7		
8	12,28	12,16	12,17	12,00	11,97	11,81	11,95	11,92	11,84	12,06	12,02	99,60	100,22	119,943	6,803	56,7		
9	12,03	11,89	11,68	11,99	11,76	12,09	11,94	12,04	11,77	12,15	11,93	100,10	101,52	121,275	6,994	57,7		
10	11,79	11,50	11,95	11,67	12,03	12,06	12,01	11,99	12,27	11,73	11,90	100,98	100,63	120,923	6,991	57,8		
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																56,5		

POLYMERNÍ PĚNA - PĚNA A																		
Název			Datum			Paleta	Šarže			Označení								
PĚNA A			11.07.2023			P3	9311625			74511			300341628					
Typ / fáze		FÁZE 2					Předpokládaná hustota					60		Poznámka: F2 60 10				
n	t _i [mm] 10										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]			
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p		
1	11,50	11,62	11,47	11,40	11,64	11,59	11,65	11,65	11,69	11,42	11,56	99,76	100,22	115,606	6,587	57,0		
2	11,51	11,32	11,58	11,44	11,50	11,54	11,63	11,77	11,73	11,38	11,54	99,27	99,66	114,168	6,554	57,4		
3	11,72	11,68	11,86	11,74	11,69	11,74	11,67	11,72	11,41	11,80	11,70	99,42	100,36	116,770	6,560	56,2		
4	11,98	12,02	11,98	11,94	11,74	11,66	11,57	11,69	11,48	11,95	11,80	100,22	99,33	117,477	6,552	55,8		
5	11,59	11,42	11,43	11,36	11,67	11,79	11,83	11,72	11,90	11,79	11,65	100,64	100,58	117,926	6,890	58,4		
6	11,53	11,45	11,43	11,42	11,58	11,97	12,02	11,98	11,82	11,32	11,65	100,09	100,86	117,628	6,881	58,5		
7	11,87	11,80	11,98	11,76	11,51	11,80	11,81	11,86	11,82	11,76	11,80	100,38	100,94	119,531	6,703	56,1		
8	11,48	11,33	11,43	11,25	11,53	11,72	11,69	11,77	11,51	11,38	11,51	100,79	100,82	116,950	6,764	57,8		
9	11,60	11,74	11,98	11,63	11,97	11,84	11,96	12,02	11,85	11,67	11,83	101,35	100,80	120,815	7,112	58,9		
10	11,78	11,69	11,53	11,63	11,54	11,50	11,33	11,22	11,67	11,56	11,55	101,59	100,60	117,989	6,910	58,6		
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																57,5		

PŘÍLOHA P II: NAMĚŘENÁ DATA – ŠARŽE VE FÁZI 2 II.

POLYMERNÍ PĚNA - PĚNA A																	
Název			Datum			Paleta	Šarže			Označení							
PĚNA A			11.07.2023			P4	9311381			74511			300341628				
Typ / fáze		FÁZE 2			Předpokládaná hustota			60			Poznámka: F2 60 10						
n	t _i [mm] 10										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p	
1	12,08	12,26	12,18	11,91	12,12	12,08	12,22	12,19	11,97	12,18	12,12	101,19	99,62	122,166	6,713	54,9	
2	11,95	12,14	11,97	11,78	11,80	12,18	12,27	12,09	11,90	11,95	12,00	99,84	99,32	119,023	6,641	55,8	
3	12,20	12,06	11,94	11,96	12,10	12,25	12,06	12,01	11,74	11,93	12,03	98,96	99,29	118,155	6,566	55,6	
4	11,86	12,00	11,92	11,99	11,91	11,95	12,19	11,89	12,01	11,88	11,96	100,01	99,20	118,655	6,680	56,3	
5	11,84	11,85	12,01	11,83	11,99	12,08	11,98	12,18	11,96	11,87	11,96	101,98	102,97	125,580	7,131	56,8	
6	11,21	11,82	12,15	12,27	11,82	12,19	12,27	12,32	12,26	11,80	12,01	99,27	101,03	120,461	6,969	57,9	
7	12,16	12,05	11,80	11,78	11,71	11,81	11,87	11,94	11,63	11,97	11,87	100,57	101,39	121,056	6,881	56,8	
8	11,69	11,86	11,78	11,67	12,18	12,08	12,12	12,03	11,97	12,11	11,95	100,15	99,97	119,633	6,683	55,9	
9	12,02	12,18	12,12	11,97	12,01	12,09	12,03	11,81	11,98	12,21	12,04	100,45	99,77	120,684	6,941	57,5	
10	12,10	12,28	12,10	11,99	12,33	12,17	12,27	12,12	11,94	12,04	12,13	102,22	101,15	125,460	7,171	57,2	
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																56,5	

POLYMERNÍ PĚNA - PĚNA A																	
Název			Datum			Paleta	Šarže			Označení							
PĚNA A			11.07.2023			P5	9311318			11746			300341628				
Typ / fáze		FÁZE 2			Předpokládaná hustota			60			Poznámka: F2 60 10						
n	t _i [mm] 10										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p	
1	11,56	11,67	11,72	11,36	11,61	11,80	11,76	11,86	11,45	11,48	11,63	99,33	99,53	114,948	6,453	56,1	
2	11,68	11,46	11,51	11,29	11,62	11,76	11,45	11,51	11,81	11,64	11,57	99,90	101,19	116,990	6,587	56,3	
3	11,86	12,01	11,85	11,86	11,57	11,65	11,81	11,53	11,72	11,87	11,77	100,08	99,25	116,941	6,537	55,9	
4	11,97	11,94	11,84	12,00	11,89	11,90	12,04	11,88	11,74	12,09	11,93	100,92	99,54	119,834	6,548	54,6	
5	11,72	11,89	12,07	11,58	11,82	11,93	11,80	11,67	11,66	12,01	11,82	100,39	101,09	119,904	6,742	56,2	
6	11,89	11,90	11,83	11,96	11,66	11,65	11,91	11,78	11,59	11,92	11,81	101,40	100,01	119,755	6,831	57,0	
7	12,09	11,99	11,91	11,95	11,79	11,91	12,00	11,89	11,82	12,13	11,95	99,47	98,70	117,302	6,398	54,5	
8	11,90	11,97	12,07	12,10	11,76	11,60	11,58	11,75	11,50	11,92	11,82	100,52	99,76	118,479	6,756	57,0	
9	11,88	12,00	11,92	11,87	11,70	11,95	11,93	11,97	11,93	11,70	11,89	99,62	99,09	117,321	6,646	56,6	
10	11,89	11,91	11,70	12,01	11,70	12,09	11,81	11,90	11,67	12,06	11,87	100,38	99,31	118,369	6,751	57,0	
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																56,2	

POLYMERNÍ PĚNA - PĚNA A																	
Název			Datum			Paleta	Šarže			Označení							
PĚNA A			11.07.2023			P6	9311158			11746			300341628				
Typ / fáze		FÁZE 2			Předpokládaná hustota			60			Poznámka: F2 60 10						
n	t _i [mm] 10										a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]		
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀						t _p	
1	11,22	11,11	10,92	10,98	10,87	11,12	11,12	11,10	11,05	10,79	11,03	101,26	100,92	112,697	6,652	59,0	
2	11,21	11,17	11,27	10,98	11,06	11,22	11,18	11,25	10,91	11,13	11,14	100,00	100,17	111,569	6,590	59,1	
3	10,92	10,94	10,97	10,90	11,17	11,15	11,31	11,05	10,64	11,34	11,04	98,24	99,85	108,284	6,437	59,4	
4	11,19	11,12	11,00	11,20	11,34	11,19	11,39	11,40	11,24	11,07	11,21	101,09	100,26	113,657	6,742	59,3	
5	11,61	11,87	11,55	11,97	11,73	11,60	11,72	11,49	11,58	12,11	11,72	99,92	100,15	117,312	6,811	58,1	
6	11,82	11,66	11,87	11,95	11,26	11,36	11,64	11,40	11,91	11,65	11,65	99,30	100,93	116,780	6,934	59,4	
7	11,30	11,41	11,32	11,08	11,43	11,12	11,23	11,38	10,81	11,35	11,24	100,05	100,07	112,565	6,670	59,3	
8	11,65	11,83	11,90	11,63	11,67	11,43	11,53	11,37	11,66	11,27	11,59	99,54	99,58	114,922	6,748	58,7	
9	11,63	11,71	11,89	11,57	11,99	11,88	11,77	11,97	11,80	11,60	11,78	100,77	101,20	120,142	7,003	58,3	
10	11,48	11,31	11,53	11,40	11,26	11,43	11,37	11,55	11,25	11,51	11,41	101,68	97,58	113,199	6,848	60,5	
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																59,1	

PŘÍLOHA P III: NAMĚŘENÁ DATA – SROVNÁNÍ VÝROBKŮ I.

POLYMERŇ PĚNA - PĚNA A																
Název				Datum				Paleta		ID		Označení				
PĚNA A				11.07.2023				P2		9311705		74511		300341628		
Typ / fáze		FÁZE 2				Předpokládaná hustota				60		Poznámka: F2 60 10				
n	t _i [mm] 10											a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t _p					
1	12,03	11,79	12,15	11,88	11,93	11,81	11,91	11,86	11,46	11,90	11,87	100,10	101,51	120,633	6,803	56,4
2	11,70	11,60	11,71	11,94	11,63	12,05	11,97	11,93	11,92	11,56	11,80	99,78	100,09	117,856	6,521	55,3
3	12,08	11,85	12,07	11,84	11,57	11,81	12,14	12,13	11,87	12,22	11,96	100,01	98,68	118,013	6,574	55,7
4	12,25	12,17	12,33	12,22	12,01	12,01	11,87	12,01	11,91	12,10	12,09	99,70	99,75	120,216	6,652	55,3
5	12,13	12,00	12,08	12,19	11,71	11,58	11,76	11,56	11,87	12,26	11,91	101,71	100,18	121,395	6,936	57,1
6	12,49	12,36	12,29	12,38	12,02	11,71	11,97	11,85	12,07	11,99	12,11	100,58	100,56	122,515	6,983	57,0
7	11,94	11,83	11,91	11,56	12,05	12,02	11,99	12,22	11,89	11,91	11,93	100,14	100,61	120,216	6,693	55,7
8	12,28	12,16	12,17	12,00	11,97	11,81	11,95	11,92	11,84	12,06	12,02	99,60	100,22	119,943	6,803	56,7
9	12,03	11,89	11,68	11,99	11,76	12,09	11,94	12,04	11,77	12,15	11,93	100,10	101,52	121,275	6,994	57,7
10	11,79	11,50	11,95	11,67	12,03	12,06	12,01	11,99	12,27	11,73	11,90	100,98	100,63	120,923	6,991	57,8
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																56,5

FÁZE 5																
PĚNA A - 60		Šarže polotovaru (LL P): 9303370		Šarže polotovaru (P2 LL): 9311705		Počet desek: 81 + 3 = 84										
Typ		PĚNA A		t [mm] 5		Předpokládaná hustota		60		Poznámka: F5 60 5						
n	t _i [mm]											a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t _p					
1	5,23	5,20	5,29	5,26	5,23	5,19	5,16	5,18	5,19	5,23	5,22	99,82	100,72	52,441	4,218	80,4
2	5,22	5,19	5,21	5,18	5,22	5,21	5,27	5,20	5,18	5,25	5,21	99,89	101,04	52,614	4,197	79,8
3	5,27	5,25	5,33	5,33	5,22	5,26	5,30	5,28	5,23	5,36	5,28	100,00	100,39	53,036	4,310	81,3
4	5,21	5,33	5,28	5,22	5,27	5,17	5,26	5,21	5,19	5,24	5,24	102,98	99,82	53,844	4,341	80,6
5	5,15	5,31	5,24	5,21	5,25	5,18	5,20	5,24	5,15	5,22	5,22	99,26	100,03	51,780	4,219	81,5
6	5,30	5,21	5,17	5,29	5,20	5,25	5,34	5,21	5,27	5,21	5,25	100,45	100,52	52,960	4,357	82,3
7	5,21	5,28	5,23	5,21	5,28	5,17	5,28	5,23	5,29	5,19	5,24	99,52	100,49	52,374	4,208	80,3
8	5,26	5,19	5,24	5,19	5,29	5,24	5,23	5,28	5,27	5,25	5,24	100,10	100,93	52,981	4,188	79,0
9	5,17	5,20	5,25	5,18	5,23	5,21	5,28	5,23	5,16	5,24	5,22	100,21	100,41	52,474	4,317	82,3
10	5,06	5,22	5,29	5,06	5,13	5,05	5,23	5,22	5,18	5,23	5,17	102,35	100,03	52,900	4,157	78,6
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																80,6

FÁZE 5																
PĚNA A - 60		Šarže polotovaru (LL P): 9303370		Šarže polotovaru (P2 LL): 9311705		Počet desek: 81 + 3 = 84										
Typ		PĚNA A		t [mm] 10		Předpokládaná hustota		60		Poznámka: F5 60 10						
n	t _i [mm]											a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]
	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t _p					
1	10,25	10,21	10,23	10,26	10,21	10,28	10,20	10,24	10,19	10,23	10,23	99,21	100,20	101,695	7,312	71,9
2	10,22	10,24	10,19	10,21	10,27	10,22	10,27	10,21	10,19	10,26	10,23	99,80	100,78	102,872	7,281	70,8
3	10,33	10,39	10,36	10,40	10,31	10,36	10,32	10,29	10,28	10,36	10,34	100,16	100,09	103,659	7,502	72,4
4	10,22	10,26	10,26	10,27	10,31	10,25	10,29	10,30	10,27	10,30	10,27	99,83	98,77	101,294	7,229	71,4
5	10,20	10,28	10,24	10,34	10,26	10,29	10,23	10,21	10,30	10,25	10,26	99,34	100,78	102,718	7,624	74,2
6	10,39	10,27	10,30	10,29	10,33	10,34	10,29	10,30	10,26	10,33	10,31	99,65	101,75	104,537	7,691	73,6
7	10,29	10,33	10,36	10,31	10,26	10,29	10,23	10,28	10,34	10,29	10,30	99,84	100,15	102,969	7,408	71,9
8	10,24	10,28	10,31	10,25	10,31	10,28	10,31	10,26	10,21	10,30	10,28	99,00	102,65	104,418	7,418	71,0
9	10,26	10,24	10,28	10,25	10,33	10,28	10,25	10,31	10,24	10,30	10,27	99,46	101,27	103,483	7,618	73,6
10	10,36	10,28	10,14	10,10	10,15	10,12	10,23	10,36	10,31	10,33	10,24	101,42	100,05	103,886	7,446	71,7
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																72,2

PŘÍLOHA P IV: NAMĚŘENÁ DATA – SROVNÁNÍ VÝROBKŮ II.

FÁZE 5																			
PĚNA A - 60		Šarže polotovaru (LL_P):			9303370			Šarže polotovaru (P2_LL):			9311705			Počet desek:		81 + 3 = 84			
Typ	PĚNA A		t [mm]			15			Předpokládaná hustota			60			Poznámka:			F5_60_15	
n	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t _p	a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]			
1	15,24	15,26	15,14	15,21	15,24	15,16	15,22	15,25	15,12	15,26	15,21	97,87	101,29	150,781	10,597	70,3			
2	15,16	15,18	15,21	15,21	15,10	15,09	15,19	15,21	15,24	15,14	15,17	98,76	100,41	150,463	10,381	69,0			
3	15,24	15,30	15,28	15,26	15,14	15,29	15,16	15,24	15,23	15,18	15,23	98,12	99,76	149,098	10,409	69,8			
4	15,17	15,26	15,21	15,23	15,29	15,22	15,25	15,20	15,18	15,21	15,22	99,32	97,42	147,284	10,107	68,6			
5	15,17	15,23	15,30	15,22	15,28	15,23	15,19	15,25	15,29	15,21	15,24	100,09	101,45	154,718	10,792	69,8			
6	15,16	15,21	15,23	15,15	15,25	15,23	15,26	15,21	15,16	15,21	15,21	101,52	100,30	154,845	11,047	71,3			
7	15,15	15,23	15,26	15,26	15,19	15,17	15,21	15,29	15,28	15,18	15,22	99,98	101,28	154,138	10,654	69,1			
8	15,22	15,25	15,18	15,29	15,19	15,20	15,25	15,19	15,23	15,28	15,23	99,67	101,86	154,601	10,804	69,9			
9	15,23	15,26	15,19	15,15	15,26	15,12	15,18	15,23	15,23	15,18	15,20	99,45	100,37	151,753	10,773	71,0			
10	15,26	15,21	14,98	15,01	15,12	15,03	15,27	15,24	15,21	15,26	15,16	100,54	100,89	153,765	10,837	70,5			
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																69,9			

FÁZE 5																			
PĚNA A		Šarže polotovaru (LL_P):			9303370			Šarže polotovaru (P2_LL):			9311705			Počet desek:		81 + 3 = 84			
Typ	PĚNA A		t [mm]			20			Předpokládaná hustota			60			Poznámka:			F5_60_20	
n	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉	t ₁₀	t _p	a [mm]	b [mm]	V [cm ³]	m [g]	ρ [kg/m ³]			
1	20,16	20,03	20,11	20,05	20,12	20,15	20,10	20,08	20,05	20,16	20,10	101,47	100,08	204,128	13,914	68,2			
2	20,17	20,07	20,11	20,08	20,12	20,04	20,12	20,01	20,07	20,09	20,09	98,54	102,21	202,322	13,666	67,5			
3	20,07	20,18	20,15	20,22	20,08	20,14	20,08	20,13	20,17	20,10	20,13	100,16	98,89	199,404	13,749	69,0			
4	20,17	20,04	20,14	20,15	20,08	20,17	20,13	20,09	20,15	20,08	20,12	100,65	102,64	207,854	13,858	66,7			
5	20,12	20,14	20,06	20,19	20,13	20,14	20,09	20,17	20,15	20,11	20,13	99,92	101,33	203,814	14,204	69,7			
6	20,06	20,13	20,17	20,05	20,14	20,01	20,08	20,17	20,09	20,15	20,11	99,69	99,53	199,485	13,882	69,6			
7	20,04	20,08	20,17	20,21	20,16	20,08	20,11	20,20	20,09	20,17	20,13	98,44	99,38	196,941	13,538	68,7			
8	20,04	20,13	20,18	20,18	20,10	20,04	20,13	20,18	20,08	20,20	20,13	97,37	99,87	195,712	13,454	68,7			
9	20,06	20,21	20,17	20,06	20,18	20,18	20,14	20,09	20,15	20,10	20,13	99,60	100,20	200,936	14,112	70,2			
10	19,95	20,03	20,17	19,94	19,97	20,15	20,00	19,97	20,07	20,13	20,04	101,93	99,39	203,001	14,317	70,5			
Odhad aritmetického průměru hustoty ρ_s:																68,9			