

# Hodnotenie štatistickej kvality zavedenia prototypovej výroby tesnenia do praxe

Bc. Radoslava Demová

---

Diplomová práce  
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Radoslava Demová
Osobní číslo:	T21535
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Řízení jakosti
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Hodnocení statistické kvality zavedení prototypové výroby těsnění do praxe.

## Zásady pro vypracování

1. Vypracování rešerše na zadané téma
2. Proměření vzorků danou technikou měření
3. Nalezení vhodných statistických nástrojů, včetně důkazu jejich vhodnosti

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

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

BRANDT, Siegmund. *Data analysis: statistical and computational methods for scientists and engineers*. 4th ed. Přeložil Glen COWAN. Cham: Springer, c2014. ISBN 978-3-319-03761-5.

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2023**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 7. února 2023

## PROHLÁŠENÍ AUTORA 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 diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práca „Hodnotenie štatistickej kvality zavedenia prototypovej výroby tesnenia do praxe“ sa zaoberá problematikou funkčných charakteristík, narážacích a zádržných síl automobilového tesnenia vedenia skla. Vzorky extrudovaných EPDM profilov, z ktorých tesnenie pozostáva, boli premerané danou technikou podľa normy PV3365. Cieľom práce bolo štatistické spracovanie dát a vytvorenie vizualizačných nástrojov pre priebeh narážacích a zádržných síl tesnenia v čase.

Kľúčové slová: EPDM profily, extrúzia, narážacie a zádržné sily, štatistické hodnotenie

## **ABSTRACT**

The master thesis „Evaluation of the Statistical Quality of the Introduction of Prototype Production of the Seals into Practise“ focus on the issue of functional characteristics, insertion and extraction forces of automotive glass run channel seal. The test specimens of extruded EPDM profiles were measured according standard PV3365. The obtained measured data were statistically evaluated. The objective of the thesis is to develop the statistical and visualization tool for time series plot of insertion and extraction forces of EPDM profiles.

Keywords: EPDM profiles, extrusion, insertion and extraction forces, statistical evaluation

Chcela by som sa poďakovať vedúcemu diplomovej práce pánovi prof. Dr. Ing. Vladimírovi Patovi za cenné rady, pripomienky a metodické vedenie práce.

Prehlasujem, že odovzdaná práca verzie diplomovej práce a verzia elektronická nahratá do IS/STAG sú totožné.

# OBSAH

ÚVOD.....	9
<b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA SKÚMANÉHO DIELU.....</b>	<b>11</b>
1.1 TESNIACE SYSTÉMY OSOBNÝCH AUTOMOBILOV .....	13
1.2 STATICKÉ TESNENIE .....	13
1.2.1 Tesnenie vedenia skiel .....	13
1.3 NÁVRH A KONŠTRUKCIA PROFILOV .....	14
1.3.1 Rez B-B, profil B-stĺpika .....	15
1.3.2 Rez C-C, strešný profil čierny.....	17
1.3.3 Rez A-A, profil A-stĺpika.....	19
1.3.4 Zásady navrhovania tesniacich systémov .....	20
<b>2 EXTRÚZIA KAUKUKOVÝCH ZMESÍ .....</b>	<b>22</b>
2.1.1 Extrúzne stroje pre kaučukové zmesi.....	22
2.1.2 Priebeh tokov v extrúderi .....	26
2.1.3 Parametre ovplyvňujúce proces extrúzie kaučukových zmesí.....	26
2.1.4 Extrúzna linka pre kaučukové zmesi.....	28
2.1.5 Negatívne javy pri extrúzii.....	29
<b>3 METROLÓGIA.....</b>	<b>30</b>
3.1 KATEGÓRIE METROLÓGIE .....	30
3.2 DEFINÍCIE POJMOV V METROLÓGII.....	30
3.3 CHYBY MERANIA.....	36
3.3.1 Druhy chýb.....	36
<b>4 ŠTATISTICKÁ ANALÝZA JEDNOROZMERNÝCH DÁT .....</b>	<b>38</b>
4.1 ODHADY NEZNÁMYCH PARAMETROV .....	38
4.1.1 Bodové odhady parametrov .....	38
4.2 POSTUP ANALÝZY DÁT .....	39
4.3 EXPLORATÓRNA DIAGNOSTIKA V ANALÝZE JEDNOROZMERNÝCH DÁT .....	40
4.4 INTERVALOVÝ ODHAD PARAMETROV .....	47
4.5 TEST SPRÁVNOSTI VÝSLEDKOV .....	48
<b>5 METODIKA ŠTATISTICKEJ REGULÁCIE.....</b>	<b>49</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>51</b>
<b>6 CIEĽ EXPERIMENTÁLNEJ ČASTI PRÁCE .....</b>	<b>52</b>
6.1 ZBER ÚDAJOV .....	52
6.2 ANALÝZA TVAROVEJ A ROZMEROVEJ PRESNOSTI EXTRUDOVANÝCH PROFILOV .....	53
6.3 CHARAKTERISTIKA NARÁŽACÍCH A ZÁDRŽNÝCH SÍL .....	54

6.3.1	Narážacia sila podľa PV3365.....	54
6.3.2	Zádržná sila podľa PV3365.....	55
6.4	KONFIGURÁCIA SKÚŠKY PODĽA PV3365 .....	55
6.4.1	Príprava vzorky .....	56
6.4.2	Postup skúšky.....	59
6.4.3	Vyhodnotenie .....	60
6.5	ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE MERANÍ NARÁŽACÍCH A ZÁDRŽNÝCH SÍL .....	61
<b>7</b>	<b>VÝSLEDKY A DISKUSIA.....</b>	<b>65</b>
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>76</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>79</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>81</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>83</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>85</b>
	<b>ZOZNAM PRÍLOH.....</b>	<b>86</b>



## ÚVOD

V súčasnej dobe sú kladené stále vyššie nároky na akosť výrobkov. Prvoradým záujmom každej organizácie je, v rámci konkurenčného boja, uspokojovať potreby zákazníka, znižovať náklady na výrobu, zvyšovať produktivitu a predovšetkým zvyšovať kvalitu svojich produktov a služieb. Zvyšovanie akosti technologických procesov je jednou z významných podmienok ekonomickej efektivity výrobných podnikov.

Kvalita výrobku je určená vhodnosťou a presnosťou rozmerov, materiálom, vlastnosťami, spôsobom spracovania a ďalšími parametrami, pri ktorých výrobok plní funkciu, pre ktorú bol zhotovený. V minulosti sa výrobky, ktoré neprešli výstupnou kontrolou, museli vracieť na prepracovanie, prípadne skončili ako nevyhovujúce a museli byť zlikvidované. Výrobné spoločnosti vynakladajú veľké úsilie, aby sa výrobok v požadovanej kvalite vyrobil na prvý krát, čo zaisťuje vhodný systém riadenia kvality. Očakávaným výsledkom je zvýšenie produktivity a zníženie nákladov na výrobu.

Dosahovanie a udržiavanie procesu na požadovanej úrovni kvality je podmienené dôslednou analýzou správania procesu, pri ktorom je potrebné odhaliť, aké sú jeho nedostatky a ich príčiny, či sa opakujú a aký majú vplyv na proces. Štatistickým vyhodnocovaním a reguláciou procesu, môžeme teda definovať priebežnú kontrolu procesu, ktorá je založená na matematicko-štatistickom vyhodnovení akosti produktu. Poskytuje informácie pre operatívne a včasné zásahy do procesov. Vo výrobnom procese sa stretávame s tým, že namerané hodnoty sa líšia od požadovaných hodnôt. Je dôležité výskyt týchto odchýlok kontrolovať, aby výsledok procesu čo najviac zodpovedal cieľovým požiadavkám.

Diplomová práca sa zaoberá štatistickým riadením kvality vybranej charakteristiky produktu, konkrétne narážacích a zádržných síl automobilového tesnenia, vyvíjaného od prototypu k začiatku predsériovej fáze. Riadenie tejto charakteristiky je náročné z pohľadu veľkého množstva spracovávaných dát, ktoré je potrebné sledovať v čase. Bežným spôsobom boli namerané dáta vedené v tabuľkách, ktorých veľkou nevýhodou je neprehľadnosť a horšia názornosť, ktoré zhromaždené informácie obsahujú. Je teda potrebné tieto priebehy narážacích a zádržných síl tesnenia vizualizovať v čase. Pomocou tohto prístupu k riadeniu procesu je možné identifikovať včasné zmeny v kvalite a následne iniciovať rýchle zásahy do procesu s cieľom udržiavať ho dlhodobo na požadovanej úrovni a predovšetkým ho zlepšovať, čo predstavuje preventívny prístup k riadeniu kvality.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 CHARAKTERISTIKA SKÚMANÉHO DIELU

Tesnenie vedenia skla je v aute umiestnené medzi dverami a okenným sklom (Obr. 1 a Obr. 2). Je navrhnuté tak, aby umožňovalo plynulý pohyb okenného skla, pričom sú splnené dve hlavné požiadavky:

- I. Zabezpečenie izolácie proti vniknutiu vody a hluku do vnútorného priestoru.
- II. Stabilizuje okenné sklo počas jeho pohybu, zatvárania dverí a prevádzky vozidla.

Pre robustný systém vedenia skla je dôležité minimalizovať kolísanie sily tlakovej tuhosti tesnenia. Okrem toho je žiaduce udržiavať nízku tlakovú silu tesnenia, ktorá zabezpečí izoláciu voči preniknutiu vody, hluku do interiéru a stabilizáciu okenného skla [1].

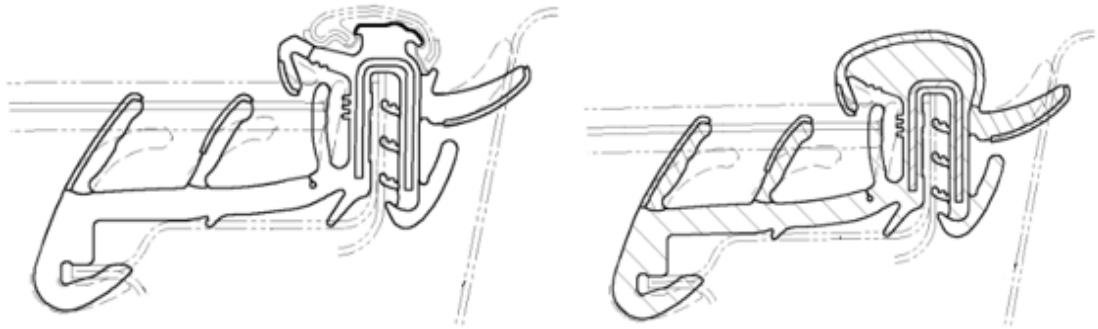


Obrázok 1. Tesnenie vedenia skla [2]



Obrázok 2. Tesnenie vedenia skla – predné ľavé, SG

Automobily nižších, stredných a vyšších tried sa vedenia skiel, stieracie tesnenie a pevné sklá vyrábajú v dvoch verziách, vo verzii čiernej a vo verzii lesklej. Pre experimentálnu časť boli vybrané iba vedenia skiel predných dverí čiernej verzie, pretože tesniace elementy sa na jednotlivých profiloch nemenia a sú rovnaké pre obe verzie.



Obrázok 3. Definičné rezy strešného profilu – lesklá v porovnaní s čiernou verziou, SG

Prevedenie dverí je u vybraných automobilov navrhnuté ako bezrámové – to znamená, že rám dverí je skrytý za strešný profil. Strešný profil vedenia skla čiernej verzie má rozdielny profil od verzie lesklej. V lesklej verzii je profil navrhnutý tak, aby lišta bola do tohto profilu montovateľná. Spoločným znakom týchto profilov však zostáva narážacia časť aj všetky funkčné jazyky. Rozdielna je len vonkajšia, vzhľadová časť, na ktorú sa uchytáva lesklá lišta. To isté platí aj pri profiloch stieracieho tesnenia. Tesniace jazyky a časti, ktoré sa montujú, zostávajú rovnaké.

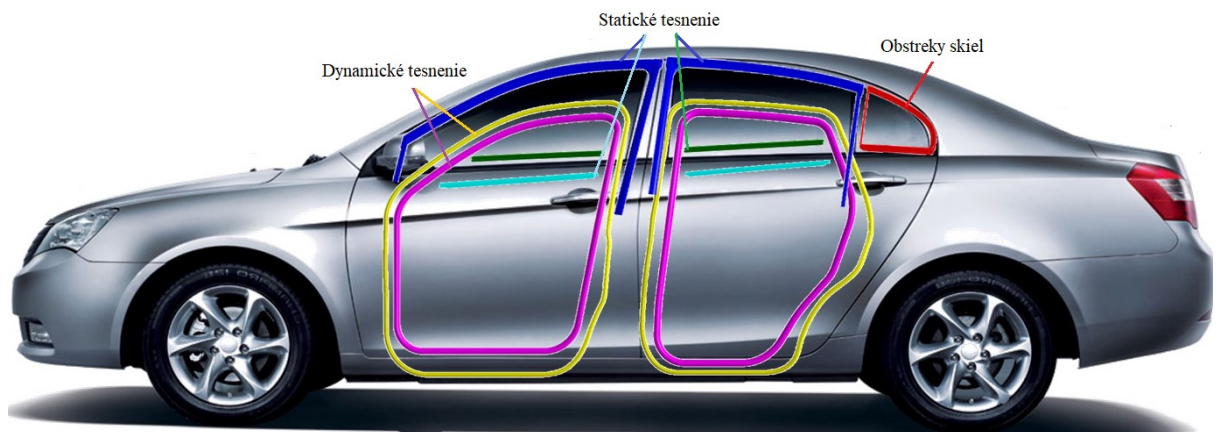
Jednotlivé rozmery s ich toleranciami musia zaistiť správnu a bezproblémovú funkčnosť dielov v rozmanitých prevádzkových podmienkach. Jednotlivé diely nesmú žiadnym spôsobom poškodzovať lak alebo dokonca znečisťovať okolité diely, s ktorými sú v kontakte alebo ich žiadnym spôsobom poškodiť. Diely nesmú napomáhať vzniku oxidácie – korózie na hranách plechových dielov, na ktoré sú namontované, alebo sú s nimi v tesnom kontakte.

Vedenie skla a stieracie tesnenie musia zaistiť utesnenie skiel a dverí proti vlhkosti, prachu, prúdeniu vzduchu, prenikaniu hluku do interiéru. Musia zabezpečiť bezchybné fungovanie mechanizmov dverí, napríklad spúšťanie skiel. Tesnenia musia zaistiť stabilitu skla v spustenej polohe, taktiež komfortné zatváranie a otváranie dverí.

## 1.1 Tesniace systémy osobných automobilov

Tesnenie karosérie zabezpečuje celý rad dielov, ktoré je možné rozdeliť do niekoľkých kategórii:

- Statické tesnenie – pre účel diplomovej práce bolo vybrané tesnenie z tejto kategórie, a to konkrétne tesnenie vedenia skiel. Do tejto kategórie sa tiež radia stieracie tesnenia vonkajšie a vnútorné.
- Dynamické tesnenie – kategória zahŕňa širokú škálu dielov, napríklad vnútorné tesnenie dverí, prahové tesnenie, tesnenie škáry A stĺpika.
- Obstreky skiel – ide o kategóriu dielov, ktorých spoločným znakom je obstrukcia skla, označovaný aj ako enkapsulácia. Obstreky skiel, ktoré sú súčasťou dverí, sa označujú ako pevné, prípadne trojuholníkové sklá. Inú skupinu tejto kategórie tvoria bočné sklá, čo sú diely vkladané do bočnice za C stĺpik.



Obrázok 4. Kategórie tesnení automobilov [3]

## 1.2 Statické tesnenie

Pojem statické tesnenie sa odvíja hlavne od statického zaťaženia funkčných tesniacich prvkov, vyvolaného predpätím k zaskleniu vozidla. Do tejto kategórie patrí tesnenie vedenia skiel, vonkajšie a vnútorné stieracie tesnenia.

### 1.2.1 Tesnenie vedenia skiel

Diel pozostáva z troch a viac koextrudovaných tesniacich profilov, ktoré sú spájané vstrekanými formovými dielmi. Materiál vytlačovaných profilov je TPE alebo EPDM. Profily, ktoré sú na vozidle fixované na rovný plech označovaný ako „stojina“, obsahujú kovovú výstuž, prípadne polypropylénový U profil. V prípade profilov z EPDM sa na

vstrekovanie spojov medzi profilmi používajú aj špeciálne typy TPE materiálov namiesto EPDM. Také tesnenia sa potom označujú ako hybridné.

Klzné vrstvy profilov sú buď flokované, lakované a v niektorých prípadoch sú použité materiály označované ako „slipcoating“, ktorý je extrudovaný spolu s profilom. Typ použitej vrstvy závisí od jej funkcie. Plochy, ktoré sú v kontakte so sklom, sú vždy flokované alebo „slipcoatované“. Plochy, ktoré sú v kontakte s lakom karosérie sa spravidla flokujú.

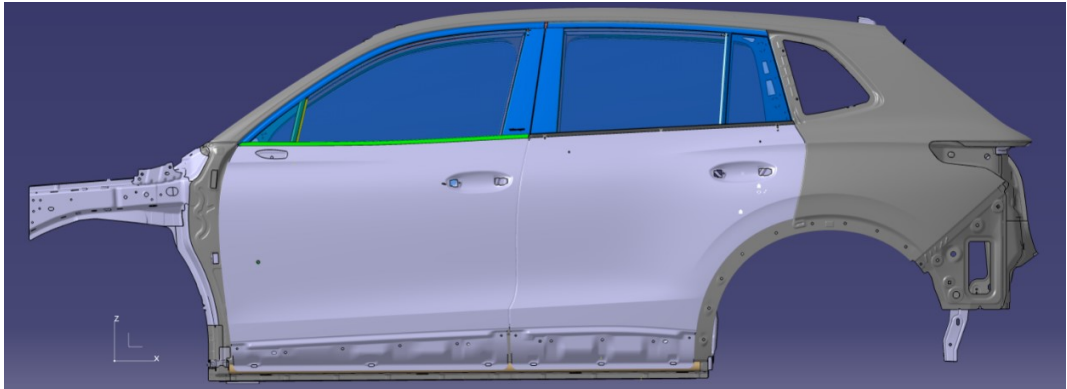
Hlavnou funkciou dielu, okrem tesnenia proti vnikaniu vody, nečistôt a hlukov do interiéru, je podpora skiel pri spúšťaní. Tá je zaisťovaná rovnováhou síl, generovanou tesniacimi prvkami profilov, ktoré tvarom pripomínajú jazyk, preto sa tak bežne označujú. Každý z nich má predpísanú reakčnú silu na kompresné zaťaženie. Tuhosť jazykov je primárne daná tvarom a tvrdosťou použitého materiálu.

Ladenie tvaru profilov prebieha vždy pomocou výpočtov FEM analýz. Dôležitou spätnou väzbou z prototypovej fázy je porovnanie výsledkov meraní reakčných síl na zaťaženie tlakom na profiloch z reálnej výroby s vypočítanými hodnotami.

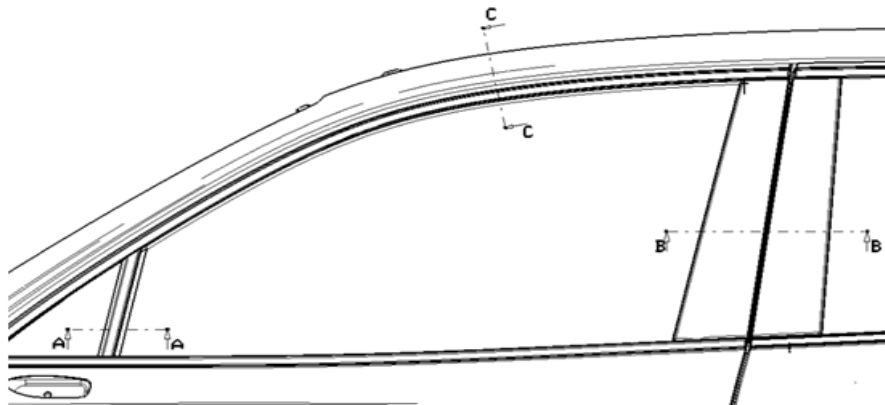
### 1.3 Návrh a konštrukcia profilov

K jednej z najdôležitejšej časti patrí samotný dizajn tesniaceho profilu, či už ide o estetickú časť alebo funkčnú, ktorá je samozrejme tej estetickej nadradená. Návrh profilu vychádza z definičného rezu koncepčného auta. Tento definičný rez dodávateľovi poskytne zákazník.

Definičný rez okrem samotného konceptu rezu dizajnového auta obsahuje aj okolité diely. Cieľom je upraviť definičný rez vlastným návrhom a zároveň znížiť obsah jednotlivých plôch o určité percento, ktoré si zákazník stanoví. Na obrázku č. 5 sú zobrazené 3D dáta jednotlivých dielov predných, zadných dverí spolu s tesnením a bočnicou vozidla. Všetky diely sú dôležité z hľadiska navrhovania profilov v jednotlivých oblastiach, teda v oblasti A-stĺpika, B-stĺpika a oblasť strešného profilu, pre ktorú je práve diel bočnice dôležitý. Pre lepšie zachytenie bola táto konštrukcia prevedená do 2D formy (Obr. 6), aby bolo možné vytvoriť potrebné rezy a lepšie tak popísať jednotlivé oblasti profilov a ich okolitých dielov.



Obrázok 5. 3D dáta karosérie dverí s tesnením vedenia skla („Assembly design“), SG

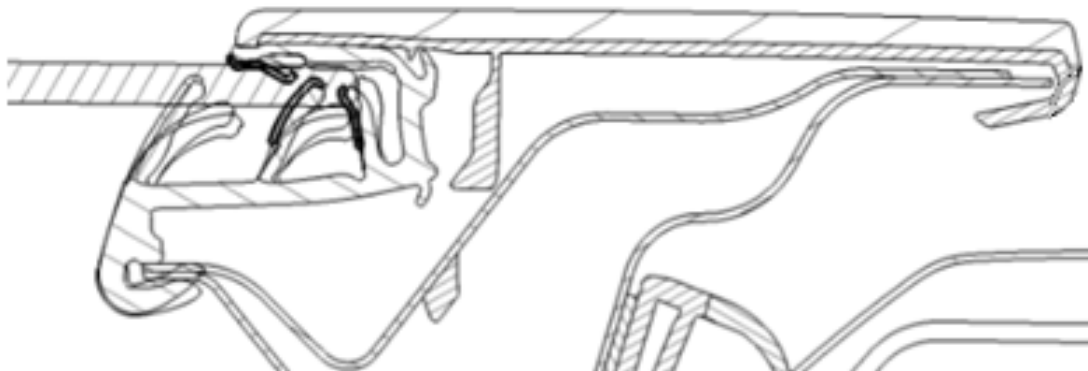


Obrázok 6. Prevod 3D dát do 2D formy – naznačenie rezov, SG

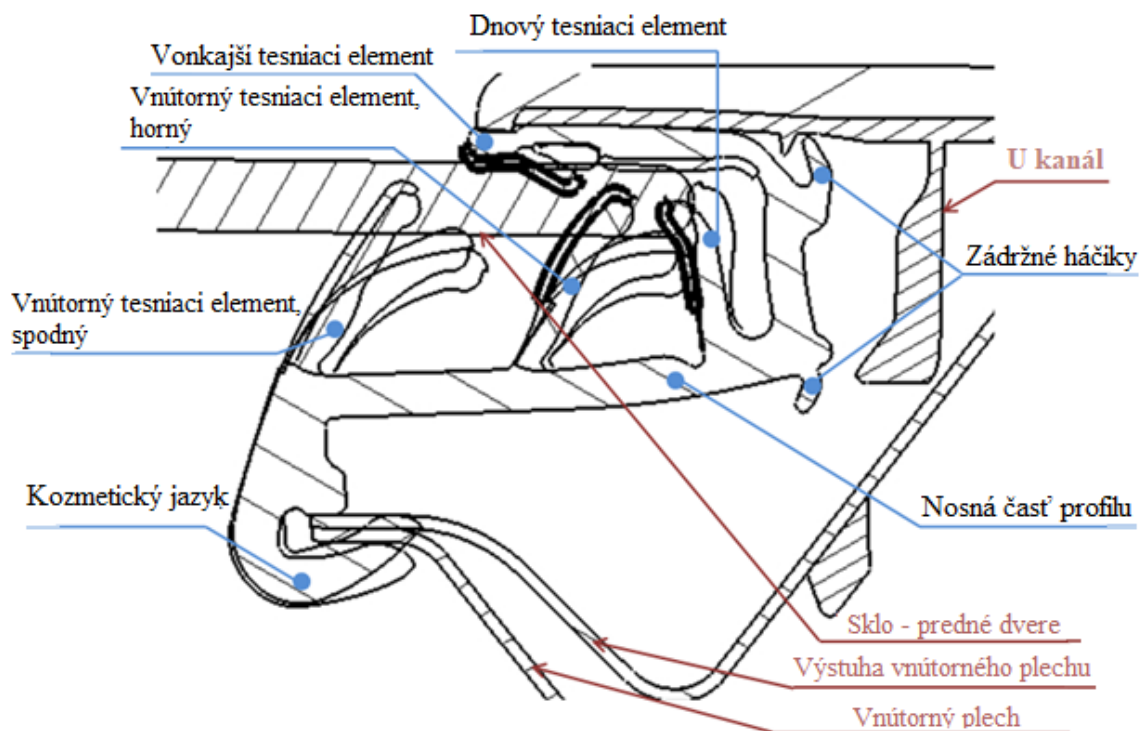
Jednotlivé časti profilov, ktorých rezy sú schematicky znázornené na obrázku č. 6, budú ďalej popísané.

### 1.3.1 Rez B-B, profil B-stĺpika

Na obrázku č. 7 je zachytený rez profilom B-stĺpika predných dverí vozidla a jeho okolitých dielov. Modrým vyznačené sú jednotlivé časti, respektíve oblasti profilov B-stĺpika a červeným sú vyznačené okolité diely (Obr. 8).



Obrázok 7. Rez B-B, SG



Obrázok 8. Rez profilom B stĺpika vrátane okolitých dielov

### Nosná časť profilu

Každý profil má nosnú časť, bez ktorej by nebolo možné ho vyrobiť. Na nosnej časti sú umiestnené jednotlivé tesniace elementy, zádržné elementy, kozmetické jazyky a podobne. Rozlišujú sa nosné časti stĺpikových profilov (profily, v ktorých sa sklo pohybuje) a profilov strešných. U stĺpikových profilov sa jedná o najväčšiu časť celého profilu a zodpovedá tvaru U, pretože stĺpikové profily sa umiestňujú do U kanálov (Obr. 8).

### Zádržné elementy – háčiky

Ďalšie pomerne dôležité časti profilov sú zádržné háčiky, ktoré by mali zapadnúť za drážky umiestnené po dĺžke jednotlivých U kanálov. Je dôležité prikladať veľký dôraz na ich návrh, pretože práve tieto háčiky určujú ako dobre, prípadne ľahko pôjde profil umiestniť do U kanála. Ich účelom je to, aby profil bol čo najľahšie montovateľný do kanála, ale na druhú stranu, aby nebolo ľahké ho vytiahnuť späť. Týmto sa predchádza situáciám, kedy sa celý profil B stĺpika vychýli z U kanálu bez vonkajších vplyvov.

### Kozmetický jazyk

Ako už je z názvu zrejmé, kozmetický jazyk je na profile skôr z estetického hľadiska, ale aj jeho funkčnosť je veľmi dôležitá. Kozmetický jazyk zakrýva ostré hrany plechu, čo



je jeho primárnou funkciou, zároveň však tesní a neprepúšťa nečistoty do vnútorného priestoru. Ďalšou požiadavkou, kladenou na tento element, je jeho dostatočná tuhosť. Jeho montáž musí byť jednoduchá a zároveň nesmie dochádzať k jeho skĺznutiu pri nabehtutí skla.

### **Vnútorné tesniace elementy**

Vnútorné tesniace elementy sú jednými z najdôležitejších častí profilov. Ich funkcia je nepriepustnosť a ešte dôležitejšia, udržiavanie skla v jeho dráhe. Keďže pri vysunutí a zasunutí skla dochádza k jeho vychyľovaniu, tieto jazyky majú za úlohu udržiavať jeho vodiacu dráhu čo najviac v pokoji bez akéhokoľvek vychýlenia. Zákazník na vnútorné tesniace elementy zvlášť kladie pozornosť z pohľadu tlakových tuhostí a s nimi spojenými trvalými deformáciami.

### **Vonkajšie tesniace elementy**

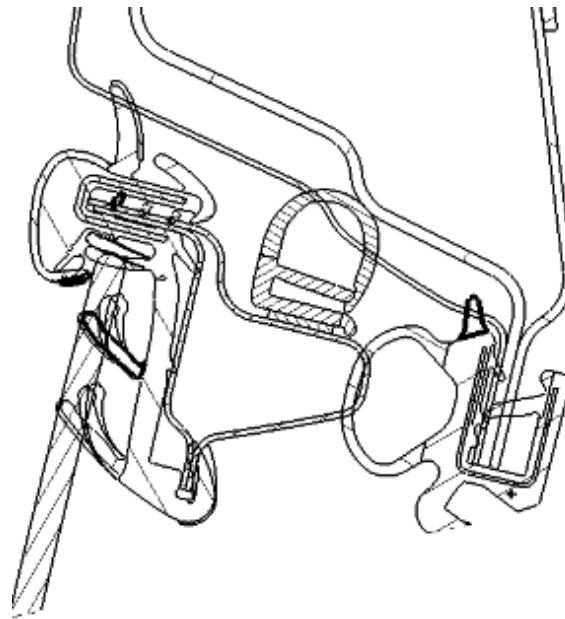
Vonkajšie tesniace elementy majú rovnakú funkciu ako vnútorné, líšia sa však geometriou a tiež ich počtom. Dôležité je, aby bol profil čo najmenej vidieť z vonkajšej časti, čo znamená, že geometriu týchto elementov je potrebné značne redukovať. Funkčne majú zabezpečiť, aby dovnútra profilu neprenikala voda a taktiež aby vodiaca dráha spustenia skla a jeho vysunutia bola čo najviac konštantná a nedošlo k jeho vychýleniu.

### **Dnový tesniaci element**

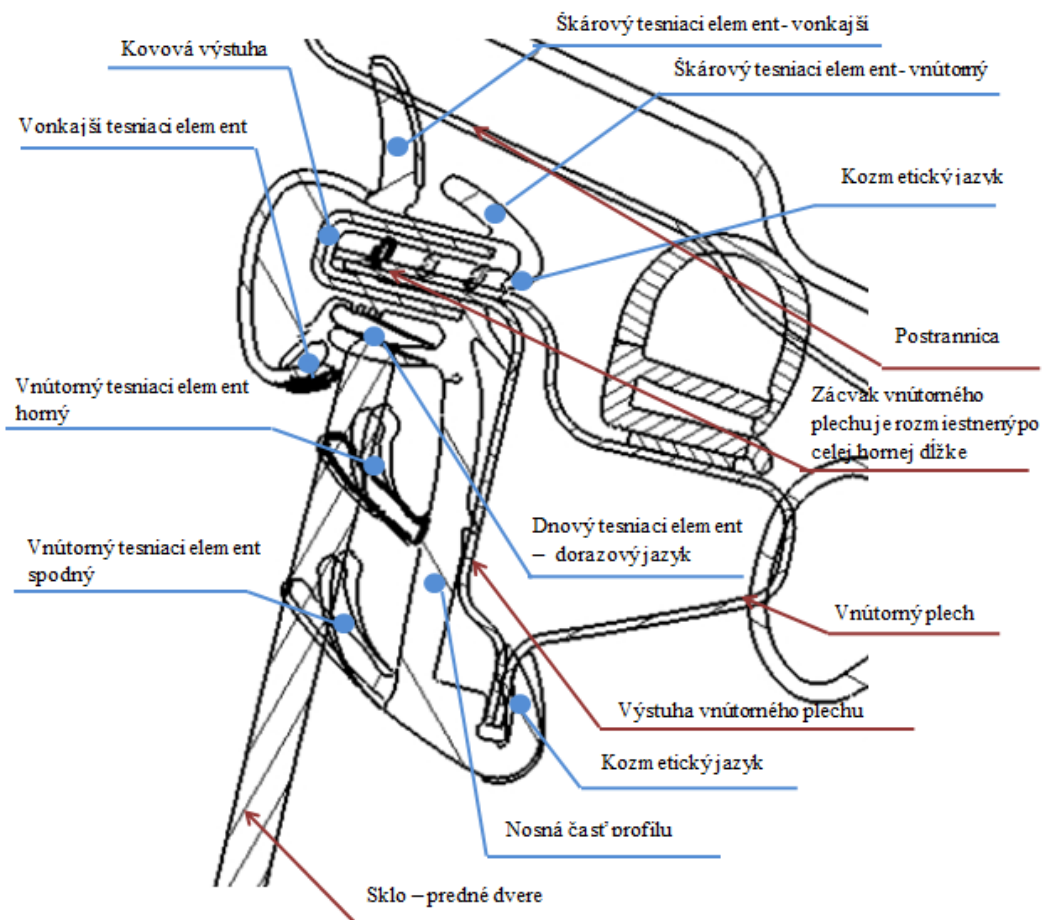
Úlohou dnového tesniaceho elementu je, aby pri vychýlení skla v osi X nedošlo k nárazu do dnovej oblasti nosnej časti profilu a bolo tak zaistené tlmenie nárazu. Tento účel plnia v profiloch všetky dnové tesniace elementy.

#### **1.3.2 Rez C-C, strešný profil čierny**

Na obrázku č. 9 a obrázku č. 10 je zachytený rez strešným profilom a okolitými dielmi. Profil sa skladá z rovnakých častí ako je to aj pri profile B-stĺpika, sú tu však navyše ďalšie oblasti, bez ktorých by profil nemohol správne fungovať.



Obrázok 9. Rez C-C, SG



Obrázok 10. Rez strešným profilom vrátane okolitých dielov

## Nosná časť profilu

Význam nosnej časti bol vysvetlený pri reze profilom B-stĺpika, avšak rozlišujú sa nosné časti stĺpikových profilov a profilov strešných. Strešný profil má dve nosné časti. Jednou časťou je zástavbová, ktorá je zastavená na „stojine“ plechu a druhá je časť, na ktorej sú umiestnené vnútorné tesniace elementy.

## Kovová výstuha

Ide o výstuha, na ktorej ležia ostatné časti profilu. Jej funkcia je obzvlášť dôležitá, pretože je to časť, ktorá sa zastavuje na karosériu dverí. Účelom je čo najjednoduchšia montáž a zároveň čo možno najťažšia demontáž profilu, aby bolo možné profil demontovať len v prípade vyvinutia obrovskej sily. Čo možno najťažšia demontáž, je spôsobená jednak tvarom výstuhy, avšak hlavne výstupkami, ktoré sú umiestnené po celej dĺžke v určitých vzdialenostiach. Vďaka nim, výstuha drží na karosérii a nedochádza k samovoľnému spadávaniu profilu.

## Kozmetický jazyk

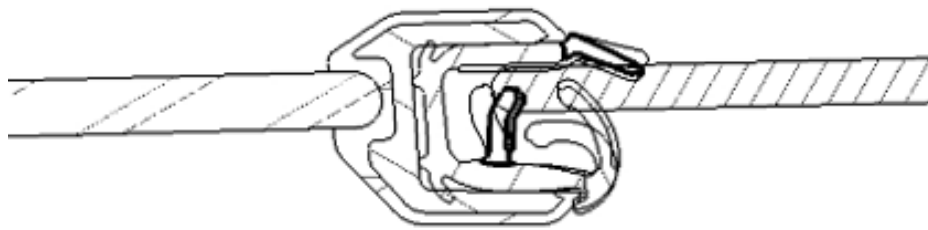
Ide opäť o estetickú funkciu, avšak má aj dôležitú funkciu zabrániť vniknutiu vody, prípadne nečistôt do interiéru, pokiaľ sú dvere otvorené.

## Škárové tesniace elementy

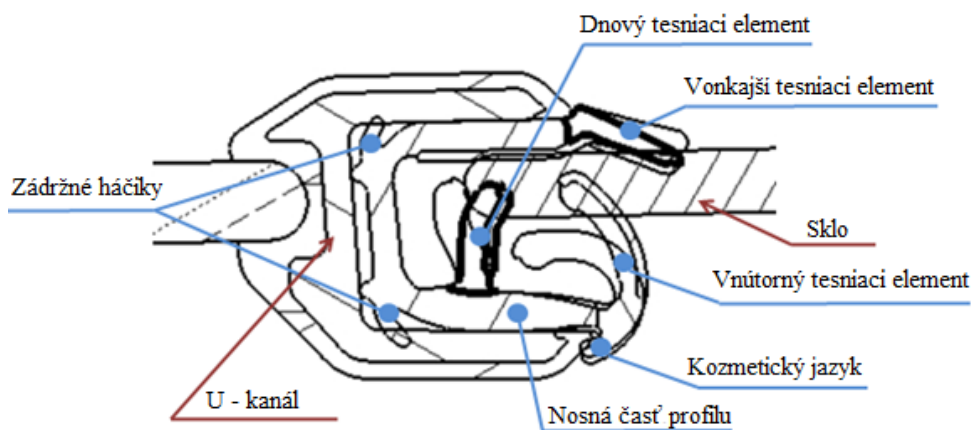
Škárové tesniace elementy zabraňujú tomu, aby v situácii, keď sú dvere zatvorené, nedochádzalo k vniknutiu vody, poprípade nečistôt, prachu do vnútorného priestoru auta. V tomto prípade sú tu umiestnené dva tesniace elementy, jeden vonkajší a jeden vnútorný. Vnútorný element je zároveň akýmsi poistným tesniacim elementom, pretože ak by bola vyvinutá príliš veľká sila na zatvorenie dverí, mohlo by sa stať, že vonkajší tesniaci element vyklízne a voda môže preniknúť do vnútorného priestoru auta.

### 1.3.3 Rez A-A, profil A-stĺpika

Na obrázku č. 11 a obrázku č. 12 je znázornený rez A-A, čo je oblasť profilu A-stĺpika. Aj tu profil pozostáva z rôznych častí, ktoré už boli popísané. Funkčnosť pre stĺpikové profily zostáva obdobná.



Obrázok 11. Rez A-A, SG



Obrázok 12. Rez profilom A stĺpika vrátane okolitých dielov

### 1.3.4 Zásady navrhovania tesniacich systémov

Pri samotnom navrhovaní jednotlivých profilov existujú zásady, ktoré je nutné dodržiavať. Zásady sú v podstate totožné so zásadami, ktoré je nutné dodržiavať pri technológii extrúzie.

#### Rádus

Rádus je prvok, geometrický útvar, ktorý sa vyskytuje na každom profile. Či už sa jedná o zaoblenie špičky kozmetického jazyka, alebo o zaoblenie knitov, ktoré znižujú, prípadne zvyšujú tlakové tuhosti tesniacich elementov. V každom prechode je určitý rádus, jednak z dôvodu vizuálneho, ale čo je dôležitejšie, hranatý prechod nie je vyrobiteľný. Existuje minimálna hodnota, ktorá by mala byť dodržiavaná ( $R = 0,2 \text{ mm}$ ) a je najnižšia možná, ktorá je schopná extrúzie.

#### Hrúbka steny

Ideálny stav je, pokiaľ je hrúbka steny jednotná. U špecifických produktov akými profily tesnenia karosérie sú, je náročné udržiavať konštantné hrúbky. Samozrejme sú rôzne oblasti, kde je možné túto podmienku splniť.

V montážnej oblasti, kde je známe, že sa do profilu zavádza kovová výstuha o hrúbke 0,5 mm bude potrebné, aby bolo okolo výstuhy minimálne 0,5 mm materiálu, v tom prípade je potrebná minimálna hrúbka 1,5 mm.

Z pohľadu nosnej časti, na ktorej sú tesniace elementy, je nutné aby hrúbka nebola príliš veľká (napríklad pri 3 mm by hrozili povrchové chyby ako prepady a podobne). Pri situácii ak by hrúbka bola príliš malá (napr. 0,7 mm), mohlo by sa stať, že pri pohybe skla by došlo k prehnutiu celej nosnej časti, čo by mohlo mať vo výsledku negatívny dopad na funkčnosť celého dielu. Ideálna hrúbka tejto nosnej časti sa pohybuje medzi 1,5 – 2 mm.

Z pohľadu tesniacich elementov je náročné zvoliť konkrétne hodnoty, pretože geometrický tvar tesniacich elementov je značne premenlivý a špecifický. Od špičky jazyka sa jeho šírka smerom ku koreňu môže zväčšovať, alebo je konštantná. Je to ovplyvnené hodnotami tlakových tuhostí, ktoré sú požadované zákazníkom. Hodnoty hrúbky tesniacich elementov sa volia približne od 0,7 mm (špička) do 3 mm (oblasť koreňa). [4]

### **Knity**

Knity sa najčastejšie vyskytujú v oblasti tesniacich elementoch, niekedy aj pri kozmetických jazykoch. Knity sú miestom, v ktorom dochádza k ohybu tesniacich elementov. Majú svoje opodstatnenie, pretože je to časť profilu, ktorá sa dá v nástroji pomerne jednoducho modifikovať, avšak je určujúca pre výsledné hodnoty tlakových tuhostí, ktoré sú tiež úzko spojené s výslednými hodnotami stanovených trvalých deformácií. Ich geometria pozostáva obvykle z troch rádiusov, prípadne dvoch rádiusov a rovnej plochy. Knity môžu byť však aj komplikovanejších tvarov. Profily sú navrhované tak, aby bol knit čo najmenší a dal sa postupne zväčšovať. Súvisí to so spomínanou úpravou hubice, kde pri prehĺbení knitu stačí ubrať materiál, v opačnom prípade by bolo potrebné materiál navarovat', čo je proces zložitejší.

### **Kovové výstuhy**

Nachádzajú svoje využitie pri strešných profiloch, pri profiloch vonkajších stieracích tesnení, dynamických tesnení a pri tesneniach, ktoré lemujú komplikovanejšie tvary karosérie. Výstuhy môžu byť plné, alebo presekané. Presekané výstuhy sa uplatňujú tam, kde sa profil ohýba viac, čo je práve prípad strešných profilov. Výstuhy sa dodávajú najčastejšie buď oceľové, alebo hliníkové. Ich rozmery sa môžu líšiť na základe daného definičného rezu. Hrúbky jednotlivých výstuh sa pohybujú v rozmedzí 0,40 – 0,77 mm.

## 2 EXTRÚZIA KAUČUKOVÝCH ZMESÍ

Extrúzia je v gumárenskej technológii, rovnako ako v technológii plastikárskej, veľmi významným spracovateľským procesom. Patrí k jednoduchým procesom tvarovania materiálov. Základom extrúzie je tvarovanie kaučukovej zmesi profilovaným otvorom do požadovaného tvaru. Jedná sa o proces kontinuálny, po ktorom nasleduje kalibrácia extrudovaného polotovaru, chladenie, odťah a skladovanie. Táto technológia slúži buď k výrobe konečných tvarov alebo polotovarov. [4]

Pri procese extrúzie sa materiál najskôr zahrieva, taví, dopravuje sa, a potom prechádza cez extrúznu hlavu. Existuje niekoľko druhov extrúderov. Jedná sa o stroje závitové – ktoré sa ďalej delia podľa počtu závitov, piestové, diskové a špeciálne. Pre kaučukové zmesi sa používajú prevažne závitové extrúzne stroje, ktoré optimálnym spôsobom homogenizujú a dopravujú materiál smerom k hubici.

Pri extrúzii kaučukových zmesí prechádza predom pripravená kaučuková zmes cez komoru extrúzneho stroja, v ktorom je poháňaná pomocou tlakov závitovky, ktorá pomáha svojim konštrukčným prevedením priviesť materiál smerom k extrúznej hlave. Technológia tvarovania kaučukových zmesí sa používa hlavne pre [4]:

- Vytlačovanie profilov cez profilovanú extrúznu hlavu
- Pogumovanie kovových materiálov
- Oplášťovanie hadíc a káblov
- Dokončovacie operácie miešania pre lepšiu homogenizáciu zložiek kaučukovej zmesi

### 2.1.1 Extrúzne stroje pre kaučukové zmesi

Extrúzne stroje sa skladajú z troch základných oblastí. Prvou je vstupná oblasť, kde dochádza k plneniu stroja materiálom. Kanál je v týchto miestach hlboký, kvôli čo najväčšiemu plneniu materiálom. Potom nasleduje kompresná oblasť, kde dochádza najmä k homogenizácii materiálu a zároveň sa zmes stáva viskóznejšia. Potom materiál prechádza treťou, výstupnou zónou. Výstupnú zónu zakončuje extrúzna hlava, cez ktorú opúšťa tvarovaný materiál extrúzny stroj. Požiadavky kladené na extrúzny stroj sú nasledujúce:

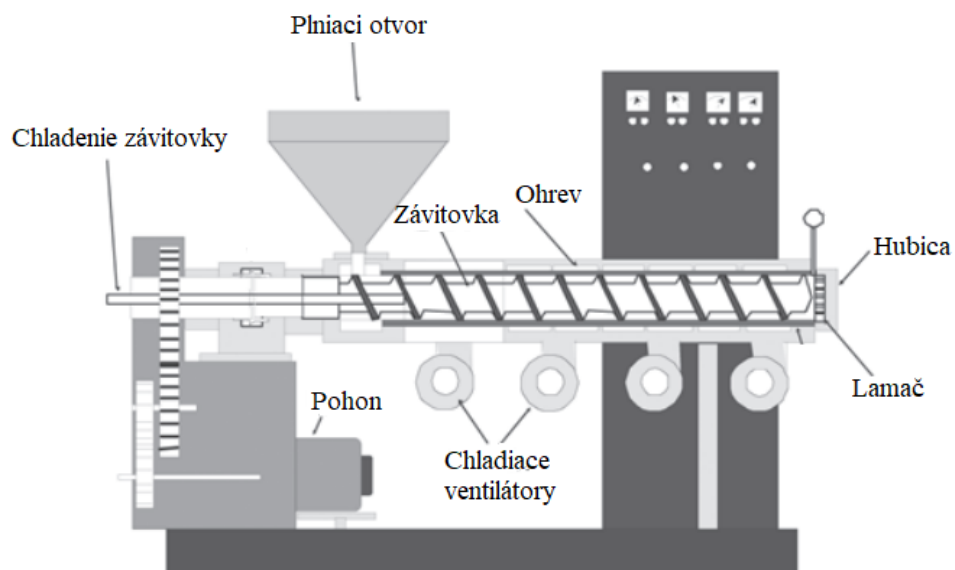
- Vysoký extrúzný výkon úmerný otáčkam závitovky s čo najmenšou závislosťou na protitlak
- Rovnomerná doprava taveniny bez pulzácie
- Extrúzia taveniny bez orientácie
- Homogénne zamiešanie polyméru so všetkými pridanými aditívami
- Miestne a časovo rovnomerná teplota taveniny, ktorá je optimálna z hľadiska výkonu stroja, spracovaného polyméru a kvality extrudovaného výrobku

### Simulácia toku

Pre predstavu o priebehu toku kaučukového materiálu v extrúderi sa používajú softwarové programy. Princípy modelovania procesu extrúzie kaučukových zmesí boli prevzaté z termoplastických procesov. Model znázorňuje, že prúdenie materiálu prebieha hlavným smerom v oblasti závitovky a komory. Každopádne, tieto simulácie sú náchylné na chyby a experimentálne testy sú pre hodnotenie priebehu toku spoľahlivejšie. Nedostatky sú najmä spojené s nedostatočným popisom reológie kaučukových zmesí a ďalej nedokonalosťou pri dávkovaní materiálu. [5]

### Popis závitového extrúzneho stroja

Na extrúziu kaučukových zmesí sa výhradne používajú závitové extrúдеры. Extrúder sa skladá z násypky – plniaceho otvoru, komory, závitovky a extrúznej hlavy, ktorá je rôzna v závislosti od typu výsledného produktu (Obr. 13).



Obrázok 13. Jednozávitový extrúder [4]

### **Násypka – plniaci otvor**

Plniaci otvor slúži k dávkovaniu materiálu do extrúdera. Kaučuková zmes je väčšinou dodávaná vo forme pásov alebo granúl. Činnosť stroja závisí na úprave tohto otvoru. Otvor je konštruovaný podľa toho v akej forme prichádza materiál do extrúdera. [4]

### **Závitovka**

Závitovka je najdôležitejšia časť extrúdera. Má tvar valcu alebo kužeľa. Je vyrobená z veľmi pevných ušľachtilých ocelí a povrch je vysokoleštený. Závitovka je uložená v komore extrúdera, kde sa otáča a má práve funkciu homogenizácie a dopravy materiálu. Charakterizuje sa pomerom  $L/D$ , čo je pomer dĺžky k priemeru a hĺbky drážky.

Závitovka zachytáva materiál pomocou drážok, svojim vlastným otáčaním u plniaceho otvoru a hnetie materiál k extrúznei hlave. Závitová drážka môže mať rovnakú alebo rôznu hĺbku. Pokiaľ sa hĺbka závitovej drážky mení, ide o diferenciálnu závitovku a udáva sa u nich kompresný pomer, čo je pomer objemu závitovej drážky na vstupe a výstupe zo závitovky. Na spracovanie kaučukových zmesí sa používajú hlbšie závitovky s užšou závitovou drážkou a menšou frekvenciou otáčok. Odporom vznikajúcim v drážke závitovky a tiež odporom v hlave extrúdera, vzniká v drážke, respektíve v hlave tlak, ktorý má významný vplyv na výkon a kvalitu extrudovaného profilu [4]. Dôležitý faktor závitovky je teplota, ktorá musí byť nižšia ako teplota komory. Závitovky sa z toho dôvodu musia temperovať, čo znamená, že sa jej teplota musí udržiavať nižšia ako je teplota komory.

Pohon závitovky je potrebné navrhnuť tak, aby mohol spoľahlivo pracovať pri všetkých podmienkach extrúzie. Príkon závitovky je daný násobkom krútiaceho momentu a uhlovej rýchlosti závitovky. Obe tieto veličiny závisia na druhu spracovaného materiálu. Zvyšovaním otáčok závitovky sa zvýši vývoj tepla v materiáli na úkor privádzanej mechanickej energie. Obvodové rýchlosti pri spracovaní kaučukových zmesí preto nesmú prekročiť istú hranicu, aby nedošlo k znehodnoteniu materiálu. [4]

### **Komora**

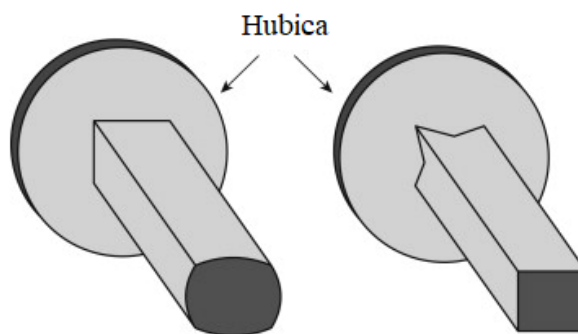
Komora je časť extrúdera, v ktorom je závitovka uložená. Na jednom konci sa nachádza násypka a na druhom je pripevnená extrúzna hlava. Komora má temperačné systémy, ktoré slúžia na ohrev alebo na chladenie. V puzdre komory sú kanáliky a komôrky, ktorými preteká voda, para, vzduch alebo olej, cez ktoré chladenie alebo ohrev prebieha. [4]



## Extrúzna hlava

Extrúzna hlava formuje materiál do požadovaného tvaru. Hlavy sú priame, cez ktoré je profil vytváraný v smere osy, ďalšími sú šikmé a priečne, ktoré sa používajú na oplášťovanie, a hlavy používané na koextrúziu.

Do extrúznej hlavy sa vkladá šablóna, ktorá vytvára požadovaný tvar extrudátu. Extrudovaný profil je väčší ako profil extrúznej hlavy z dôvodu nárastu materiálu. Pri extrúzii elastomérov sú rozmery výrobkov takmer určené geometriou extrúznej hlavy. V prípade, kedy po extrúzii nasleduje vulkanizácia, môže dochádzať ku geometrickým zmenám v dôsledku zosieťovania materiálu, a to hlavne ku zmršteniu. Aj keď narastanie materiálu za hubicou nie je také markantné ako u termoplastických materiálov, musí byť šablóna taktiež upravená (Obr. 14), aby profil zodpovedal požadovaným rozmerom. Navrhnuť tvar šablóny, aby profil presne zodpovedal žiadaným rozmerom nie je jednoduché, pretože každá zmes narastá inak a výpočet nie je presný. Narastanie je spôsobené viskoelastickým správaním zmesi, ktoré ovplyvňuje zloženie a príprava zmesi, taktiež podmienky pri spracovaní alebo zariadenie. [4]



Obrázok 14. Úprava hubice na dosiahnutie štvorcového tvaru [4]

Extrúzia elastomérov sa od extrúzie termoplastov líši tiež hmotnostným prietokom taveniny, privádzanej do extrúdera. U elastomérov je prietok taveniny rýchlejší a navyše musí byť v rozsahu teplôt, ktoré umožňujú jeho bezpečné spracovanie, čo znamená že musí byť v oblasti teplôt, kedy nesmie dôjsť k predčasnej vulkanizácii – navulkanizovaniu. V tejto oblasti teplôt sa zmes nachádza v extrúderi alebo v extrúznej hlave. [6]

## Navrhovanie extrúznej hlavy

Extrúzna hlava a kalibračné zariadenie určujú rozmer polotovaru. Rozhodujúci vplyv na kvalitu extrudovaného polotovaru, akou je povrch, mechanické vlastnosti, majú reologické, termodynamické procesy v extrúznej hlave a v kalibračnom zariadení. Taktiež

všetky procesy, ktoré sú prítomné medzi extrúznou hlavou a kalibračným zariadením a ich spojenie. Pri navrhovaní extrúznej hlavy a kalibračnej jednotky sa musí brať do úvahy tok materiálu, deformácia a teplotné vzťahy v oboch z týchto častí výrobnéj linky [6]. Extrúzna hlava musí byť navrhnutá tak, aby sa v nej nenachádzali mŕtve miesta.

### 2.1.2 Priebeh tokov v extrúderi

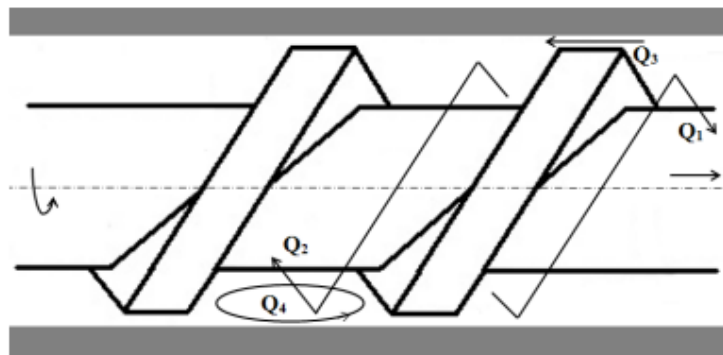
Keďže sú kaučukové zmesi výrazne nenevtonovské materiály, ich vlastnosťou je aj to, že s rýchlou namáhaním rýchlo stúpa odpor. Pri danom zaťažení ďalej s teplotou stúpa aj rýchlosť deformácie. Tok materiálu je závislý na čase a kaučuk javí tixotropiu (s dobou pôsobenia napätia, klesá viskozita). Pohyb materiálu v extrúderi je určený výslednicou štyroch tokových pochodov (Obr. 15).

Q1 – Posuvný výtlačný tok, ktorý je spôsobený dopravou materiálu smerom k hlave

Q2 – Spätný tlakový tok, zapríčinený odporom v hlave a pôsobí proti výtlačnému toku

Q3 – Spätný tok, ktorý je spôsobený vôľou medzi závitovkou a povrchom plášťa (možné je ho zvýšiť otáčkami závitovky)

Q4 – Priečný tok, prebieha približne v rovine kolmej na osu závitovky. Neovplyvňuje postupný tok v plášti, ale zato spôsobuje cirkulačný vratný pohyb nevyhnutný pre miešanie a vyrovnanie teplôt



Obrázok 15. Tlaky v závitovom extrúderi

### 2.1.3 Parametre ovplyvňujúce proces extrúzie kaučukových zmesí

Z technologického hľadiska je najväčším problémom dosiahnuť rovnomernú a rýchlu extrúziu výrobku s hladkým povrchom, bez bublín a pórov, s tvarom a rozmermi odpovedajúcimi presne daným požiadavkám. Pre kvalitnú výrobu je potrebné riešiť niekoľko problémov. Ide o konštrukčné a prevádzkové problémy. Popísané sú hlavné parametre významne ovplyvňujúce extrúziu zmesí [4]:

## Teplota

Extrúzna hlava musí byť pred začiatkom práce temperovaná na požadovanú teplotu. V priebehu extrúzie si udržiavajú správnu teplotu zdieľaním tepla prechádzajúcou zmesou. Teplota ovplyvňuje jednotlivé časti extrúzneho stroja (od násypky smerom k hlave narastá) a tiež aj výkon. Najdôležitejšie je zabrániť veľkému prehriatiu stroja, aby nedošlo k predčasnej vulkanizácii zmesi. Zmes by sa týmto znehodnotila, zhoršil by sa jej prietok extrúznou hlavou a extrudát by bol chybný [7]. Teplota sa reguluje pomocou temperačných zariadení, ktoré slúžia buď podľa potreby ku chladeniu alebo k ohrevu závitovky aj komory. Všeobecne platí, že závitovka má menšiu teplotu ako je teplota komory, aby mohlo spracovanie hmoty prebehnúť za optimálnych podmienok.

## Tlak

Tlak sa spolu s dopravovaným množstvom hmoty podieľa na výkonnosti stroja. Obe tieto veličiny sú závislé na:

- priemere, stúpanie a tvaru závitovky
- veľkosti povrchu
- povrchovej teplote valca a závitovky
- tvare extrúznej hlavy

Pri extrúzii je niekedy jednoduchšie, zvlášť u extrúzii malých profilov, dosiahnuť vysokých tlakov pred hubicou, ako množstvo extrudovanej hmoty. V opačnom prípade by mohlo dôjsť k spätnému prúdeniu zmesi v závitovke. Počas extrúzie polymérnej taveniny je extrudovaný materiál formovaný vďaka svojej viskoelasticite a zbíhajúcemu kanálu podľa profilu extrúznej hlavy. V dôsledku toho je za daných podmienok vyprodukovaný tiež veľký pokles tlakov. Všeobecne sa hodnoty poklesu tlaku týkajú nielen viskoelasticity taveniny ale tiež podmienok extrúzie (napríklad teploty a prietoku), geometrie kanála, ako je pomerne zmenšenie dĺžka/priemer a výstupného uhlu extrúznej hlavy. Pre krátke extrúzne hlavy je vplyv vstupujúceho toku taveniny na celkových tlakových stratách pomerne dôležitý. [7]

## Zásobovanie stroja

Zásobovanie extrúderu tiež ovplyvňuje kvalitu extrudátu. Pri nerovnomernom zásobovaní sa môže objaviť nesúmernosť extrudovaného tvaru. Preto je dôležité zaistiť pravidelné kontinuálne zásobovanie zmesi k závitovke.

## Otáčky závitovky

Otáčky sa dajú meniť, avšak podmienkou je, že musia byť v súlade s rýchlosťou nadväzujúcich zariadení vo výrobní linke. Rýchlosť extrúzie má vplyv na kvalitu výrobku. Zmenou otáčok závitovky sa tiež mení tlak v extrúznei hlave. Touto zmenou sa dajú do istej miery regulovať rozmerové odchýlky. Regulácia je však obmedzená kvôli už zmienenému narastaniu tlakov v extrúznei hlave. [7]

### 2.1.4 Extrúzna linka pre kaučukové zmesi

Proces extrúzie prebiehajúci v extrúderi je len časť celej linky. Niektoré extrúzne linky môžu byť veľmi dlhé s niekoľko operáciami pre dosiahnutie požadovaného kvalitného finálneho produktu. Ak je teplotný profil extrúdera nesprávne nastavený, zmes nie je správne pripravená, teplota taveniny na konci extrúderu nie je vyhovujúca, chladiaca teplota kúpeľa nie je správne nastavená, potom je s najväčšou pravdepodobnosťou možné, že výrobok nebude spĺňať požadované špecifikácie zákazníka. Každý krok v tomto procese má svoju hodnotu, v dôsledku toho výrobok dosahuje na konci linky svojich maximálnych hodnôt. [4]

Extrúzii predchádza operácia miešania. Tá sa väčšinou nachádza mimo linku. Extrúzna linka môže obsahovať plastikačnú jednotku (teplá extrúzia), kde je zmes do extrúderu dávkovaná priamo z dvojvalca. Po vstupe zmesi do extrúderu prebieha proces, kedy sa zvýši viskozita materiálu a zmes je extrudovaná cez hlavu. Po extrúzii kaučukovej zmesi z extrúderu sa zmes buď vulkanizuje, alebo len ochladzuje. Ak sa zmes chladí, znamená to, že je určená pre ďalšie spracovanie. Aby nedochádzalo k zlepovaniu nezvulkanizovaného materiálu, do zmesi sa pridá kĺzok, alebo sa do chladiaceho kúpeľa za hubicou pridávajú prísady zamedzujúce lepenie. Vulkanizácia prebieha v prípade, ak hotové výrobky už svoj tvar nemenia. Kedysi bol extrudát vulkanizovaný diskontinuálne v autokláve, dnes však vulkanizácia prebieha kontinuálne. Ohrev je možno kontinuálnou vulkanizáciou rozdeliť na dva spôsoby:

- Ohrev zmesi na vulkanizačnú teplotu (nad 180 °C)
- Udržovanie materiálu na vulkanizačnej teplote po dobu vulkanizácie (vulkanizačné dráhy môžu byť až niekoľko desiatok metrov dlhé)

Existuje niekoľko možností vulkanizácie zmesi. Príkladom je zavedenie šmykovej hlavy, kedy je materiál pri výstupe čiastočne navulkanizovaný a skrúti sa tým vulkanizačná

dráha. Ďalšou možnosťou je soľný kúpeľ, kde je extrudát intenzívne ohrievaný kvapalným médiom, čo zaručuje veľmi dobrý prestup tepla. Ďalej je to mikrovlnný ohrev (UHF), ktorý využíva striedavé elektrické pole (pre polárnu zmes) alebo tzv. fluidné lôže, kde je teplo na extrudát prenášaný pomocou vyhriatých sklenených guľičiek udržovaných vo vznose. Vulkanizovať je možné aj pomocou teplovzdušného ohrevu. Ten je však pomalý a najčastejšie sa kombinuje so šmykovou hlavou alebo UHF. Ďalej je možné vulkanizovať kaučukovú zmes ionizovaným žiarením, kde za pomoci prúdu elektrónov v kaučukovej zmesi tvorí voľné radikály a tie majú za následok zosieťovanie reťazcov [7]. Po vulkanizácii sa výrobky ochladia na izbovú teplotu, kontroluje sa ich kvalita a sú skladované podľa požiadaviek a potrieb zákazníka.

### 2.1.5 Negatívne javy pri extrúzii

Hlavným problémom pri extrúzii je dosiahnutie hladkého rovnomerného povrchu bez pórovitosti a vzduchových bublín, tiež presne zodpovedajúcemu požadovanému tvaru a rozmerom, ďalej ich funkčných a procesných charakteristík, a to za rýchlejšej a rovnomernej extrúzie. Splnenie týchto podmienok sa uskutočňuje konštrukčnými úpravami a tiež úpravou podmienok prevádzky.

Narastanie profilu za hubicou je jav, pri ktorom dochádza k zväčšeniu priemeru extrudovaného profilu. Hlavné faktory, ktoré ovplyvňujú extrúziu:

- Rýchlostné prerozdelenie
- Pamäť (závisí na dĺžke štrbiny – čím je kratšia, tým je narastanie väčšie)
- Elasticita a elongačná viskozita
- Teplota (vyššie narastanie pri chladení steny)

Narastanie zmesi za hubicou je rôzne a mení sa podľa prevádzkovej teploty, zložení zmesi, hrúbky prierezu, pomeru plochy prierezu k profilu extrúzneho hlavy a rýchlosti extrúzie. Podľa meniacich sa podmienok pri extrúzii môže narastanie kolísť od 5 % až po 100 %. [7]

### 3 METROLÓGIA

Metrológia je veda, ktorá sa zaoberá kontrolou a meraním. Kontrola a meranie je rozsiahla disciplína, ktorá zasahuje do takmer všetkých oblastí života. Pre podnik je to jeden z pilierov výroby. Kvalitné a presné postupy v metrológii vychádzajú z legislatívnych predpisov, ktorými sa organizácia musí riadiť a tiež z nich vychádzať.

#### 3.1 Kategórie metrológie

Metrológia sa rozvíja spoločne s rozvojom vedy v snahe byť v predstihu k potrebám podnikov, inštitúcií, laboratórií a iných organizácií, ktoré metrológiu využívajú. V Európskej únii je obor metrológie rozdelený do troch oblastí s rôznym stupňom zložitosti, presnosti a používania.

1. Vedecká metrológia – má najvyššiu úroveň a zaoberá sa vývojom etalónov, ich uchovávaním a organizáciou.
2. Priemyslová metrológia – slúži k zaisťovaniu funkčnosti meradiel používaných v priemysle, skúšobníctve a vo výrobných procesoch.
3. Legálna metrológia – zaoberá sa presnosťou v miestach, kde môže dôjsť k nepriehľadnosti meraní, ktoré majú vplyv na ekonomické transakcie, prípadne ohroziť zdravie a bezpečnosť.

V oblasti kategorizácie metrológie sa nachádza ešte fundamentálna metrológia, ktorá nemá žiadne medzinárodné vymedzenie činností. Napriek tomu sú tak označované výskumy s najvyšším stupňom presnosti v danej oblasti, zahŕňajúci vedeckú metrológiu, doplnenú o časť priemyselnej a legálnej metrológie, ktoré vyžadujú vedeckú kompetenciu [8].

Hlavnými cieľmi metrológie sú definície základných medzinárodných jednotiek veličín, výskum realizácie týchto jednotiek opakovateľnými vedeckými experimentami a vytváranie reťazcov nadväznosti.

#### 3.2 Definície pojmov v metrológii

Metrológia obsahuje radu odborných výrazov. Tieto výrazy sú prevzaté z medzinárodného metrologického slovníka „International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM4)“ [9]. Obsahom slovníku STN 01 0115 je preklad odborných výrazov slúžiacich k harmonizácii metrológie, systém základných

všeobecných pojmov s diagramami pre bližšie objasnenie vzťahov v tomto odbore. Vytvára jednotný prístup k meraciemu procesu. [10]

Stavba slovníku VIM4:

- Veličiny a jednotky
- Meranie
- Kvalita merania
- Meracie zariadenia a ich vlastnosti
- Meracie štandardy (etalóny) a metrologická sledovateľnosť
- Nominálne vlastnosti a skúšky

### **Meranie**

Meranie je podľa medzinárodného slovníka pre metrologiu proces experimentálneho získavania jednej alebo viacerých hodnôt veličiny, ktoré môžu byť dôvodne priradené veličine. [11]

### **Meradlo**

Podľa referenčného manuálu je meradlo definované ako ľubovoľné zariadenie používané na meranie. [11]

### **Metóda merania**

Metóda merania je popis logického organizovania činností použitých pri meraní. [12]

### **Postup merania**

Postup merania je podrobný popis merania podľa jedného alebo viacerých meracích princípov a danej metódy merania založený na modeli merania a zahŕňajúci akýkoľvek výpočet na získanie výsledku merania. [12]

### **Precíznosť**

Precíznosť je podľa kvalimetrie miera tesnosti zhody medzi vzájomne nezávislými výsledkami meraní získaných za špecifikovaných podmienok. Precíznosť je zložkou neistoty merania [13]. Podľa novej metrologickej terminológie sa precíznosť vzťahuje na náhodnú chybu merania a je mierou blízkosti výsledkov a vyjadruje sa číselne mierami

neprecíznosti, ako je smerodajná odchýlka vypočítaná z výsledkov získaných opakovanými meraniami vhodného materiálu za špecifikovaných podmienok [14]:

- Podmienka opakovateľnosti merania - vzťahuje sa na meranie uskutočnené na rovnakom materiáli jedným analytikom s použitím rovnakého postupu za rovnakých podmienok v krátkom časovom období.
- Podmienka medzil'ahlej precíznosti merania - meranie sa vykonáva na rovnakom materiáli s použitím rovnakého postupu, ale po dlhšiu dobu a rôznymi analytikmi, ktorí môžu používať rôzne vybavenie.
- Podmienka reprodukovateľnosti merania - vzťahuje sa na meranie uskutočnené na rovnakom materiáli rôznymi analytikmi pracujúcimi na rôznych miestach.

### **Výsledok merania**

Výsledok merania je definovaný ako súbor hodnôt veličiny priradený meranej veličine spoločne s akoukoľvek ďalšou dostupnou relevantnou informáciou. Výsledok merania je všeobecne vyjadrený ako jedna nameraná hodnota veličiny a neistota merania. [12]

### **Princíp merania**

Princíp merania je jav slúžiaci ako základ merania. [12]

### **Systém merania**

Systém merania je definovaný ako súhrn meradiel, prípravkov, etalónov, metód, operácií, personálu, prostredia, softvéru a predpokladov na získanie hodnoty. [14]

### **Etalón**

Etalón je podľa technickej harmonizácie používaný ako referencia na stanovenie nameraných hodnôt veličín a pridružených neistôt merania pre iné veličiny rovnakého druhu, čím stanovuje metrologickú nadväznosť kalibráciami iných etalónov, meradiel alebo meracích systémov. Medzi rôzne druhy etalónov patria: kontrolné, kalibračné, porovnávacie, hlavné, pracovné, referenčné. [12]

### **Referenčná a pravá hodnota**

Referenčná hodnota veličiny je hodnota veličiny používaná ako základ pre porovnanie s hodnotami veličín rovnakého druhu. Pravá hodnota veličiny je hodnota veličiny, ktorá je v zhode s definíciou veličiny. [14]



### Prah citlivosti

Prah citlivosti je najväčšia zmena hodnoty veličiny, ktorá je nameraná a nespôsobí žiadnu zistiteľnú zmenu zodpovedajúcej indikácie. [12]

### Presnosť merania

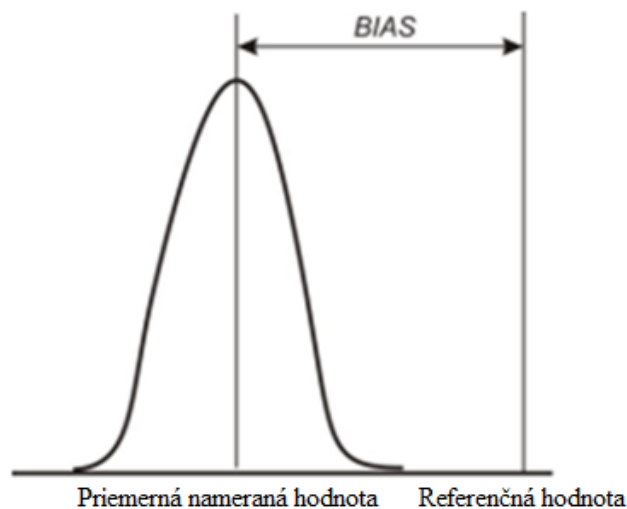
Presnosť merania je podľa novej metrologickej terminológie tesnosť zhody medzi nameranou hodnotou veličiny a pravou hodnotou meranej veličiny. Popisuje, ako blízko je jeden výsledok merania k pravej hodnote veličiny. Presnosť je definovaná podľa nasledujúceho vzťahu [14]:

$$\text{PRESNOSTĚ} = \text{PRECÍZNOSTĚ} + \text{PRAVDIVOSTĚ}$$

### Systematická chyba

Systematická chyba (bias) je rozdiel medzi pozorovaným priemerom meraní a referenčnou hodnotou meraní vykonaných na jednom akostnom znaku rovnakého dielu. Bias, systematická chyba, je definovaná nasledujúcim vzťahom:

$$\text{SYSTEMATICKÁ CHYBA} = \text{PRIEMER} - \text{REFERENČNÁ HODNOTA}$$



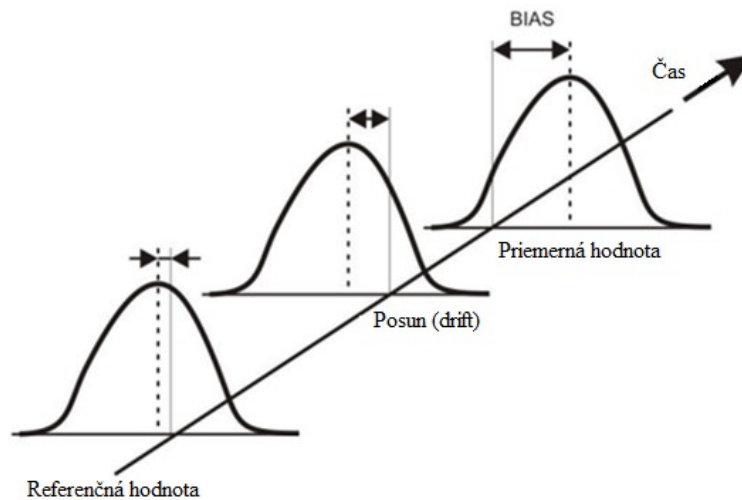
Obrázok 16. Zobrazenie systematickej chyby [15]

### Pravdivosť merania

Pravdivosť merania je definovaná ako tesnosť zhody medzi aritmetickým priemerom nekonečného počtu opakovaných nameraných hodnôt veličiny a referenčnou hodnotou veličiny. Pravdivosť je nepriamo úmerná systematickej chybe merania, ktorá môže byť odhadnutá vychýlením merania (bias). [14]

## Stabilita

Stabilita je miera, ako dobre je vykonávaný merací systém v priebehu času. Rozdiel medzi stabilitou a linearitou spočíva v tom, že pri stabilite je meraný iba jeden diel, ktorého referenčná hodnota je známa alebo predpokladaná. To určuje, či sa merací systém zmenil v priebehu času a po mnohých použitíach. [15]



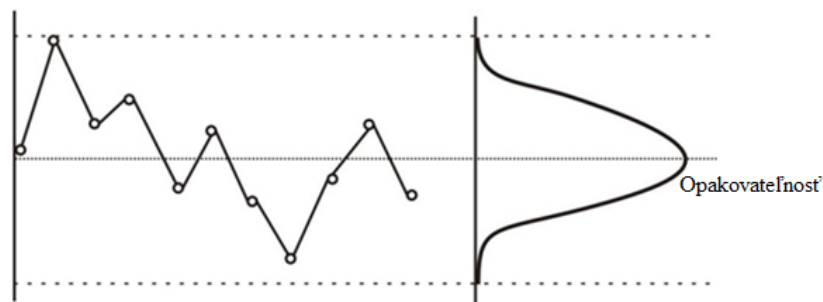
Obrázok 17. Zobrazenie stability [15]

## Linearita merania

Linearita meria znamená ako sa mení veľkosť meracieho systému cez predpokladaný merací procesný rozsah. Test môže byť vykonaný za účelom určiť, či nelinearita meriaceho systému existuje a či je významná. [15]

## Opakovateľnosť

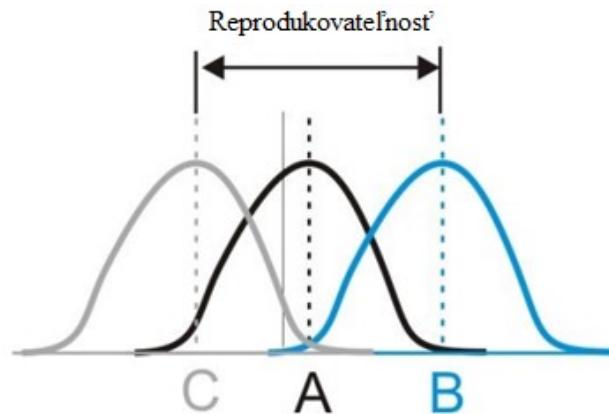
Opakovateľnosť je druh precíznosti, u ktorej sa očakáva, že bude predstavovať najmenšie rozdiely vo výsledkoch. Ide o mieru variability výsledkov, pokiaľ sú merania vykonané na rovnakom materiáli jedným analytikom, ktorý používa rovnakú metódu a zariadenie v krátkom časovom rozmedzí. [13]



Obrázok 18. Zobrazenie opakovateľnosti [15]

### Reprodukovateľnosť

Reprodukovateľnosť je variabilita priemerov meraní pri meraní jednotlivými operátormi. Meranie je vykonávané za rovnakých podmienok. Operátori merajú na jednom meracom prístroji rovnakú charakteristiku na tom istom diele. [11]



Obrázok 19. Zobrazenie reprodukovateľnosti [15]

### Spôsobilosť systému

Spôsobilosť systému je podľa referenčného manuálu odhadom kombinovanej variability chýb merania. Ide o očakávanú chybu za daných podmienok, použiteľnosti a rozsahu systému merania. [11]

### Citlivosť

Citlivosť je definovaná ako najmenší vstup, ktorý spôsobí zistiteľný výstupný signál. Je vždy určená návrhom meradla. [11]

### Neistota merania

Neistotou merania rozumieme nezáporný parameter charakterizujúci rozptýlenie hodnôt veličiny priradených k meranej veličine na základe použitej informácie. Je to hodnota priradená výsledku merania. [12]

### Nadväznosť

Nadväznosť je definovaná ako vlastnosť výsledku merania, pomocou ktorej môže byť výsledok vzťahovaný k stanovenej referencii cez dokumentovaný, neprerušovaný reťazec kalibrácií, z ktorých sa každá podieľa svojím príspevkom na stanovenej neistote. [12]

## Kalibrácia

Kalibrácia slúži na preukázanie nadväznosti. Je definovaná ako činnosť, ktorá za špecifikovaných podmienok v prvom kroku stanoví vzťah medzi hodnotami veličiny s neistotami merania poskytnutými etalónmi a zodpovedajúcimi indikáciami s pridruženými neistotami merania. V druhom kroku použije tieto informácie pre stanovenie vzťahu na získanie výsledku merania z indikácie. Obvyklý spôsob vykonávania kalibrácie je podrobiť známe množstvo veličiny (napr. pomocou meracieho rozsahu) procesu merania a sledovať meracie odozvy v očakávanom pracovnom rozsahu. [13]

## Indikácia

Indikáciou sa rozumie hodnota veličiny poskytnutá meradlom alebo meracím systémom. [14]

### 3.3 Chyby merania

Meranie je súbor úkonov, ktorých výsledkom je určenie hodnoty určitej veličiny. Každé meranie a kontrola prebieha za určitých podmienok a efektívnosť kolíše podľa druhu a zložitosti operácie. Prostredie môže proces merania značne ovplyvniť. Pri ovplyvnení procesu logicky vznikajú chyby, čo znamená, že výsledok merania je vždy zaťažený chybou. Vyjadruje, ako je nameraná hodnota blízko k pravej hodnote. Zápis je teda v tvare  $\bar{x} \pm \Delta$ , kde  $\bar{x}$  je stredná hodnota a  $\Delta$  je interval v ktorom s určitou pravdepodobnosťou leží skutočná hodnota. Tieto chyby vznikajú chybnou voľbou meracieho procesu, rušivými vplyvmi, rozdielnymi podmienkami prostredia a nedokonalosťou ľudských zmyslov.

#### 3.3.1 Druhy chýb

Hlavné príčiny vzniku chýb delíme na,

- Statické a dynamické – podľa časovej závislosti
- Odstrániteľné a neodstrániteľné – podľa možnosti vylúčenia
- Hrubé, systematické a náhodné – podľa spôsobu výskytu

#### Hrubá chyba

Príčinami hrubých chýb sú často viditeľné poškodenia prístrojov, prípadne únava operátora, nedostupnosť potrebnej dokumentácie. Charakteristické pre tieto chyby je to, že sú neprehliadnuteľné, čo vedie k okamžitému zastaveniu výroby.

### **Systematická chyba**

Systematická chyba merania je zložka chyby merania, predstavujúca trvalú alebo predpovedateľnú odchýlku série opakovaných meraní. Chyby sa nezistia opakovaným meraním, len zmenou podmienok, za ktorých je meranie uskutočnené [14]. Systematické chyby sa dajú odstrániť vhodnou korekciou.

### **Náhodná chyba**

Náhodná chyba merania je zložka chyby merania, predstavujúca nepredpovedateľnú odchýlku série opakovaných meraní. Väčšinou aj pri rovnakých podmienkach, vznikajú náhodne, čo znamená, že sú nestále do veľkosti aj znamienka. Nedajú sa odstrániť korekciou. Vo výrobnom procese vznikajú najčastejšie v miestach, kde boli niektoré vplyvy zanedbané. [14]

## 4 ŠTATISTICKÁ ANALÝZA JEDNOROZMERNÝCH DÁT

Otázka spoľahlivosti a správneho vyhodnotenia experimentálnych dát sa v digitálnej dobe ocitá pri každom meraní dát na prvom mieste. V kontrolnom laboratóriu tvorí základ experimentálnej práce meranie na prístroji. V laboratóriách dnes predstavujú inštrumentálne metódy spojovací článok medzi prírodovednými a technickými odborními, pretože moderné počítačom riadené prístroje používa každé laboratórium. Je preto nevyhnuté vyhodnocovať dáta za použitia špičkového softvéru s rigoróznymi matematickými postupmi, pri ktorých nie je možnosť žiadneho zjednodušenia či zanedbania prípadných štatistických predpokladov. Výsledky dosiahnuté týmito náročnými postupmi sa potom berú za validné a správne.

Vedná disciplína zaoberajúca sa analýzou dát sa nazýva matematická štatistika. Medzi používané štatistické analýzy patria: exploratórna dátová analýza, odhady neznámych parametrov a testovanie štatistických hypotéz.

### 4.1 Odhady neznámych parametrov

Jednorozmerné výbery zväčša pochádzajú zo súborov so známym rozdelením pravdepodobnosti. Obvykle v laboratóriu nie je dostupný celý súbor všetkých nameraných hodnôt – základný súbor, tým pádom sa analýza vykonáva na reprezentatívnej vzorke – výberový súbor. Výber je charakterizovaný strednou hodnotou a rozptylom okolo strednej hodnoty. Doplnkovou informáciou je informácia o tvare výberu. [16]

#### 4.1.1 Bodové odhady parametrov

Odhad parametra (polohy, rozptýlenia a tvaru) rozdelenia náhodnej veličiny výberovou charakteristikou nazývame bodový odhad. [18]

Vlastnosti:

1. Konzistencia odhadu - odhad  $\Theta$  je konzistentný, keď s rastúcim počtom pozorovaní sa odhad blíži k teoretickej hodnote s pravdepodobnosťou 1.
2. Nestrannosť odhadu - odhad je nestranný, keď pre daný rozsah výberu  $n$  je jeho stredná hodnota rovná parametru súboru  $\Theta$ , čiže kolíše symetricky okolo  $\Theta$  na obe strany.
3. Výdatnosť odhadu - odhad je výdatný, keď je jeho rozptyl okolo skutočnej hodnoty minimálny vzhľadom ku všetkým možným odhadom tohto parametra.

4. Robustnosť odhadu - odľahlé hodnoty nemajú veľký vplyv na hodnotu odhadu.

**Výberový priemer**  $\bar{x}$ , je mierou polohy, je tiež prvým centrálnym momentom,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Najlepší neskreslený bodový odhad základného súboru, ktorý je vyjadrený ako suma všetkých hodnôt výberového súboru podelená celkovým počtom hodnôt. [16]

**Výberový rozptyl**  $s^2$ , je mierou variability a tiež druhým centrálnym momentom,

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Ako miera variability meria premenlivosť pomocou odlišností hodnôt výberového súboru od ich aritmetického priemeru. [16]

**Módus**  $\hat{x}_{MOD}$  je lokálne maximum na grafe hustoty pravdepodobnosti, alebo najčastejší prvok výberu. V praxi sa zväčša nachádzajú tzv. unimodálne rozdelenia, ktorých funkcia hustoty pravdepodobnosti má len jedno maximum. Ak funkcia hustoty pravdepodobnosti je viacvrcholová, rozdelenie má viacero modulusov. Pri antimodálnych rozdeleniach – bez vrcholu, modus neexistuje. [19]

$$x_{MOD} = \max f(x)$$

**Výberový medián**,  $\tilde{x}_{0,5}$ , delí výber na dve časti, každá obsahuje 50 % prvkov. Pre prvky roztriedené vzostupne  $\tilde{x}_{0,5} x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ ,

je pre  $n$  nepárne  $\tilde{x}_{0,5} = x_{(k)}$ , kde  $k = \frac{(n+1)}{2}$ ,

a pre  $n$  párne  $\tilde{x}_{0,5} = [x_{(k)} + x_{(k+1)}]/2$ , kde  $k = \frac{n}{2}$ .

Medián patrí medzi kvantilové odhady, sú robustnejšie, menej citlivé na vybočujúce hodnoty ako je to u momentových odhadov. [16]

## 4.2 Postup analýzy dát

Všeobecný postup náročnejšej štatistickej analýzy jednorozmerných dát možno vyjadriť nasledujúcou schémou. Interaktívny prístup uľahčuje uvedený postup, pretože väčšina štatistických softvérov obsahuje uvedené štatistické diagnostiky a testy. [18]

1. Prieskumová (exploratória) analýza dát (EDA) - analyzuje predovšetkým stupeň symetrie a šikmosti rozdelenia, lokálnu koncentráciu dát a odhaľuje aj vybočujúce a podozrivé dáta.
2. Overenie základných predpokladov o výbere dát - týka sa overeniu normality, overeniu nezávislosti, homogenity a napokon aj určeniu minimálnej frekvencie analyzovaných dát.
3. Transformácia dát - nasleduje v prípade porušenia niektorého z predpokladov o výbere. Patrí sem mocninová, exponenciálna transformácia a Boxova-Coxova transformácia dát.
4. Vyčíslenie najlepších odhadov parametrov polohy, rozptýlenia a tvaru – týka sa vyčíslenia jednak klasických odhadov (aritmetický priemer a rozptyl), robustných odhadov (medián, odrezané priemery, winsorizovaný rozptyl), tak aj adaptívnych M-odhadov. Retransformovaný priemer po transformácii dát sa napriek tomu obvykle javí ako najlepší odhad strednej hodnoty.

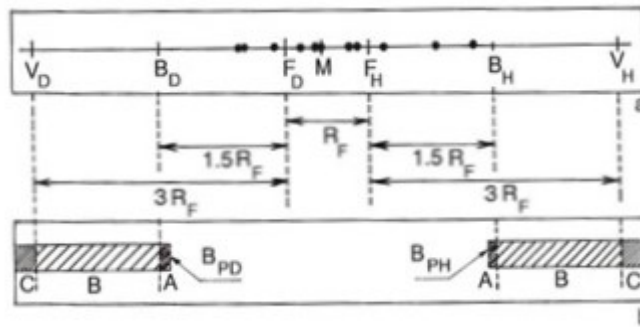
### 4.3 Exploratória diagnostika v analýze jednorozmerných dát

Prvým krokom v analýze jednorozmerných dát je prieskumová, exploratória analýza. Jej cieľom je odhaliť štatistické zvláštnosti v dátach a overiť predpoklady o výbere pre následné štatistické spracovanie. Jedine tak je možné zabrániť vykonávaniu numerických výpočtov bez hlbších štatistických súvislostí. [18]

Obrázok č. 20 reprezentuje konštrukciu bariérovo-číslícovej schémy indikujúcej vybočujúce hodnoty:

- a) diagram rozptýlenia s mediánom  $M$ , kvartily  $F_D$  (dolný) a  $F_H$  (horný), vnútorné hradby  $B_D$  (dolné) a  $B_H$  (horné), vonkajšie hradby  $V_D$  (dolné) a  $V_H$  (horné)
- b) oblasť vybočujúcich hodnôt:  $A$  priľahlé ( $B_{PD}$  je blízke  $B_D$  a  $B_{PH}$  je blízke  $B_H$ ),  $B$  značí oblasť vonkajších a  $C$  vzdialených bodov.





Obrázok 20. Konštrukcia bariérovo-číslícovej schémy [18]

Z rôznych typov výberu sa v laboratóriu najviac uplatňuje reprezentatívny náhodný výber,  $\{x_i\}$ ,  $i = 1, \dots, n$ , ktorý má štyri základné vlastnosti:

1. Jednotlivé prvky výberu  $x_i$  sú vzájomne nezávislé.
2. Výber je homogénny, to znamená, že všetky  $x_i$  pochádzajú z rovnakého rozdelenia pravdepodobnosti s konštantným rozptylom.
3. Predpokladá sa, že ide o normálne rozdelenie pravdepodobnosti.
4. Všetky prvky súboru majú rovnakú pravdepodobnosť, budú zaradené do výberu.

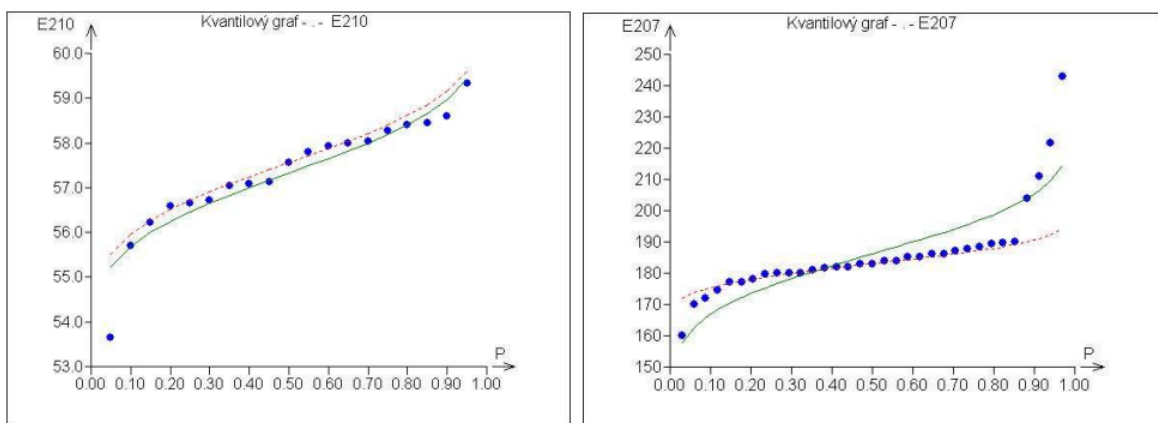
Pred vlastnou analýzou je vždy nevyhnutné overiť platnosť základných predpokladov, to znamená, nezávislosť, homogenitu a normalitu výberu. Využívajú sa k tomu robustné kvantilové charakteristiky, ktoré umožňujú sledovanie lokálneho správania dát a ktoré sú vhodné pre malé alebo stredne veľké výbery. Vychádza sa z poriadkových štatistík výberu  $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$ . Platí, že stredná hodnota  $i$ -tej poriadkovej štatistiky sa rovná  $100P_i$  percentnému kvantilu výberového rozdelenia  $F^{-1}(P_i) = Q(P_i)$ , kde  $F(x)$  označuje distribučnú funkciu a  $Q(P_i)$  kvantilovú funkciu výberu. Symbol  $P_i = i/(n + 1)$  označuje poradovú pravdepodobnosť.  $100P_i$  percentný výberový kvantil je hodnota, pod ktorou leží  $100P_i$  percent prvkov výberu. Optimálne hodnoty  $P_i$  závisia od predpokladaného rozdelenia výberu. Pre normálne rozdelenie sa odporúča voľba  $P_i = (i - 3/8)/(n + 1/4)$ . Vynesením hodnôt  $x_{(i)}$  oproti  $P_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , sa získa hrubý odhad kvantilovej funkcie  $Q(P)$ . Tá je inverzná k distribučnej funkcii a jednoznačne charakterizuje rozdelenie výberu. V prieskumovej analýze sa často používajú špeciálne kvantily  $L$  pre poradové pravdepodobnosti  $P_i = 2^{-i}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , ktoré sa tiež nazývajú písmenové hodnoty. [18]

Tabuľka 1. Označenie písmenových hodnôt [16]

$i$	$i$ -tý kvantil	Poradová pravdepodobnosť $P_i$	Symbol písmenovej hodnoty $L$	Hodnota kvantilu $u_{P_i}$
1	Medián	$2^{-1} = 1/2$	$M$	0
2	Kvantily	$2^{-2} = 1/4$	$F$	-0,674
3	Oktily	$2^{-3} = 1/8$	$E$	-1,15
4	Sedecily	$2^{-4} = 1/16$	$D$	-1,53

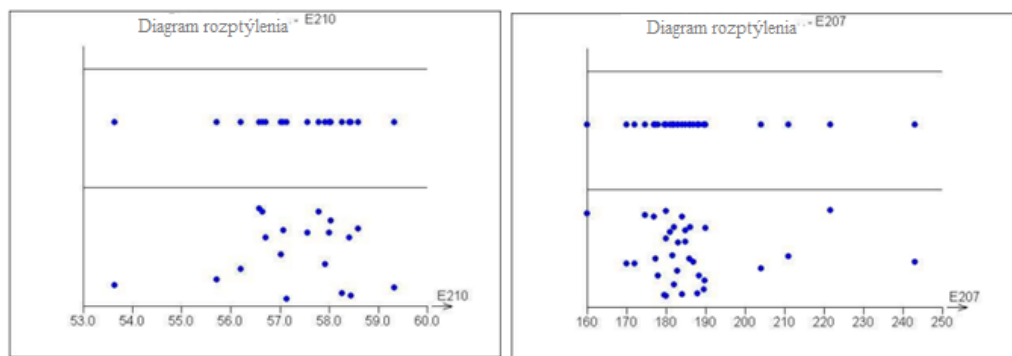
Symbol  $u_{P_i}$  označuje kvantil normovaného normálneho rozdelenia  $N(0, 1)$ . Okrem mediánu ( $i = 1$ ) existujú pre každé  $i > 1$  dvojica kvantilov, a to dolná a horná písmenová hodnota  $L_D$  a  $L_H$ . Dolná písmenová hodnota je pre poradovú pravdepodobnosť  $P_i = 2^{-i}$ , zatiaľ čo horná je pre  $P_i = 1 - 2^{-i}$ . Počet písmenových hodnôt závisí od rozsahu výberu. Pre veľkosť výberu  $n$  je možné určiť  $n_L$  písmenových hodnôt vrátane mediánu podľa vzťahu  $n_L = 1,44 \ln(n + 1)$ . [18]

**Kvantilový graf** (os  $x$ : poradová pravdepodobnosť  $P_i$ , os  $y$ : poradková štatistika  $x_{(i)}$ ) umožňuje prehľadne znázorniť dáta a ľahšie rozlíšiť tvar rozdelenia, ktorý môže byť symetrický, zošikmený k vyšším alebo nižším hodnotám. K ľahšiemu porovnaniu s normálnym rozdelením sa do tohto grafu zakresľujú aj kvantilové funkcie normálneho rozdelenia  $N_{P_i} = \hat{\mu} + \hat{\sigma}u_{P_i}$ , pre  $0 \leq P_i \leq 1$ , a to, klasických odhadov parametrov polohy a rozptýlenia  $\hat{\mu} = \bar{x}$  a  $\hat{\sigma} = s$ , a robustných odhadov  $\hat{\mu} = \tilde{x}_{0,5}$  a  $\hat{\sigma} = R_F/1,349$  [18].



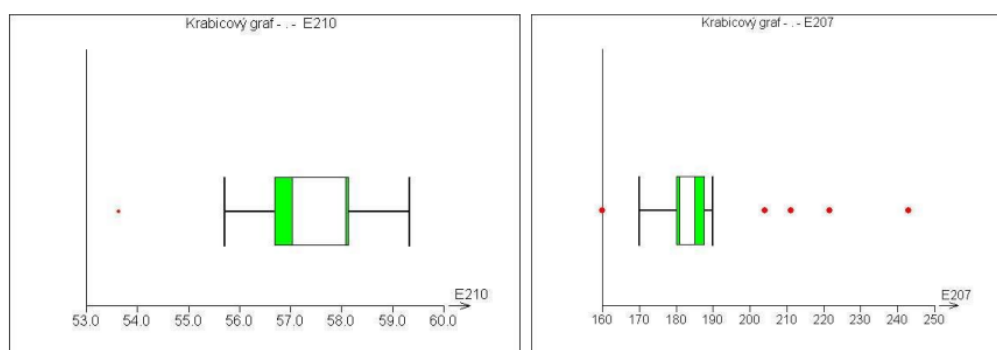
Obrázok 21. Kvantilové grafy (robustné a klasické) na výber z rozdelenia (a) normálneho, symetrického rozdelenia E210, (b) asymetrického rozdelenia E207 [18]

**Diagram rozptýlenia** (os  $x$ : hodnoty  $x$ , os  $y$ : ľubovoľná úroveň, obyčajne  $y = 0$ ) predstavuje jednorozmernú projekciu kvantilového grafu do osi  $x$ , zatiaľ čo **rozmietnutý diagram rozptýlenia** predstavuje ten istý graf, ale body sú vhodne rozmietnuté v smere  $y$ -ovej osi. Aj pri svojej jednoduchosti tento diagram názorne ukazuje na lokálnu koncentráciu dát a indikuje aj podozrivé a vybočujúce merania. [18]



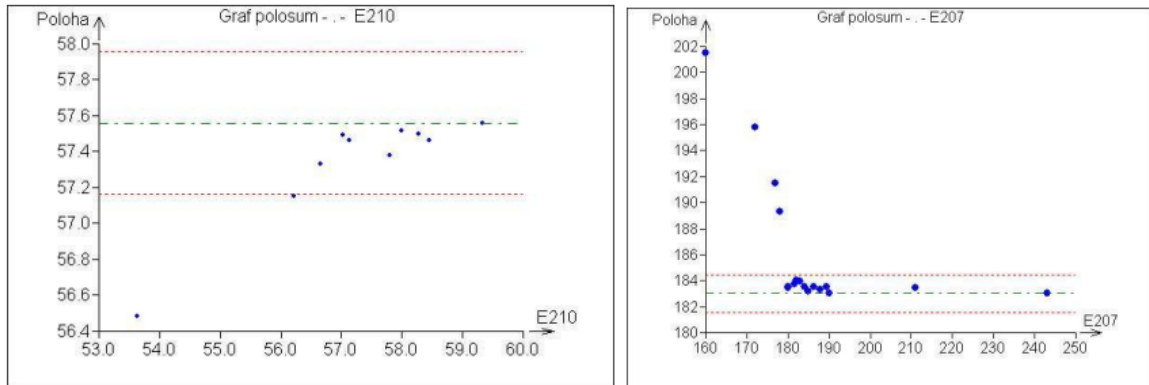
Obrázok 22. Diagramu rozptýlenia a rozmietnutý diagram rozptýlenia pre výbery z rozdelenia (a) normálneho, symetrického rozdelenia, (b) asymetrického rozdelenia [18]

**Krabicový graf** (os  $x$ : úmerná hodnotám  $x$ , os  $y$ : ľubovoľný interval) umožňuje popri znázornení robustného odhadu polohy, mediánu tiež posúdenie symetrie v okolí kvantilov a posúdenie symetrie u koncov rozdelenia a často aj identifikáciu odľahlých dát. Ide o obdĺžnik dĺžky  $R_F = F_H - F_D = \tilde{x}_{0,75} - \tilde{x}_{0,25}$  s vhodne zvolenou šírkou, ktorá je úmerná hodnote  $\sqrt{n}$ . V mieste mediánu je vertikálna čiara. Od oboch protiľahlých strán tohto obdĺžnika pokračujú úsečky. Tie sú ukončené príľahlými hodnotami  $B_{PH}$  a  $B_{PD}$ , ležiacimi vo vnútri vnútorných hradiieb najbližšie k ich hraniciam  $B_H$ ,  $B_D$ , to je  $B_H = F_H + 1,5R_F$  a  $B_D = F_H - 1,5R_F$ . Pre údaje pochádzajúce z normálneho rozdelenia platí  $BH - BD = 4,2$ . Prvky výberu mimo vnútorných hradiieb sú považované za podozrivé merania (krúžky). Obdobou je **vrubový krabicový graf**, ktorý umožňuje aj posúdenie variability mediánu, vyjadrenú robustným intervalom spoľahlivosti  $I_D \leq M \leq I_H$ . [18]



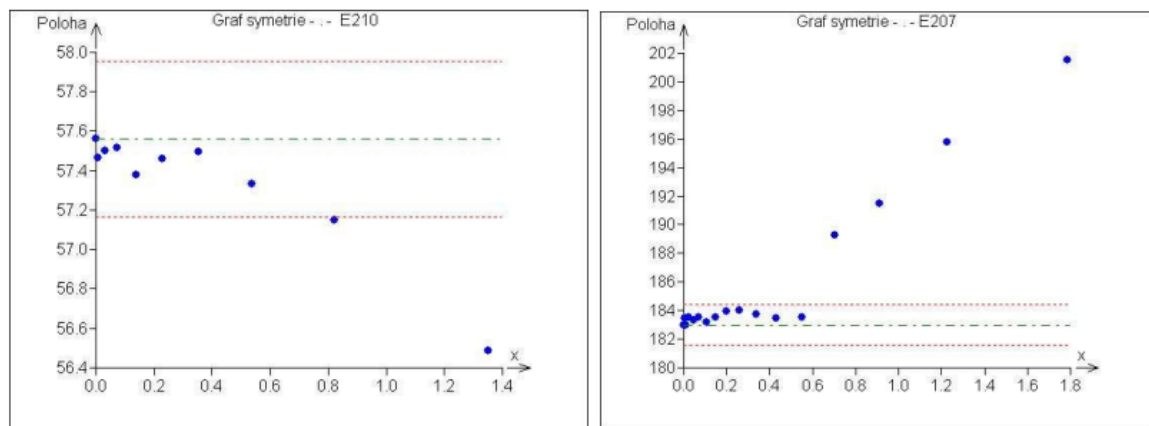
Obrázok 23. Krabicový graf a vrubový krabicový graf pre výbery z rozdelenia (a) normálneho, symetrického rozdelenia, (b) asymetrického rozdelenia [18]

**Graf polosum** (os  $x$ : poriadkové štatistiky  $x_{(i)}$ , os  $y$ :  $Z_i = 0,5(x_{(n+1-i)} + x_{(1)})$ ) diagnostikuje tak, že pre symetrické rozdelenie je grafom horizontálna priamka, určená rovnicou  $\tilde{x}_{0,5} = M$ . [18]



Obrázok 24. Grafy polosum pre výbery z rozdelenia (a) normálneho, symetrického rozdelenia, (b) asymetrického rozdelenia [18]

**Graf symetrie** (os  $x$ :  $u_{P_i}^2/2$  pre  $P_i = i/(n + 1)$ , os  $y$ :  $Z_i = 0,5(x_{(n+1-i)} + x_{(i)})$ ) je obdobou predošlého grafu, pri ktorom symetrické rozdelenia vykazujú horizontálnu priamku  $y = \tilde{x}_{0,5} = M$ . Pokiaľ táto priamka nemá nulovú smernicu, je smernica odhadom parametra šikmosti, asymetrie. [18]



Obrázok 25. Grafy symetrie pre výbery z rozdelenia (a) normálneho, symetrického rozdelenia, (b) asymetrického rozdelenia [18]

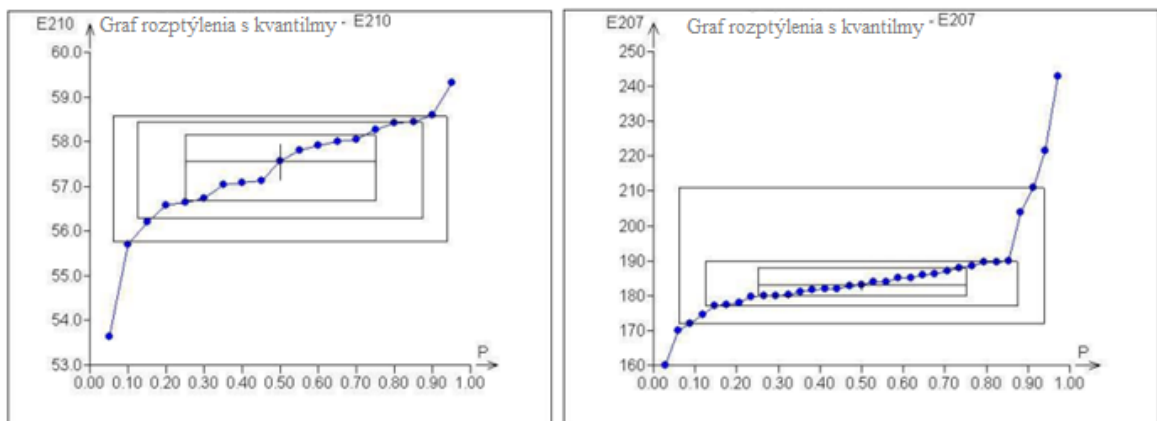
**Graf rozptýlenia** s kvantilami (os  $x$ :  $P_i$ , os  $y$ :  $x_{(i)}$ ) predstavuje kvantilový graf, ktorý sa získa spojením bodov  $\{x_{(i)}, P_i\}$  lineárnymi úsekmi a pre symetrické rozdelenie nadobúda táto kvantilová funkcia sigmoidálneho tvaru. Pre rozdelenie zošikmené k vyšším hodnotám

je konvexne rastúce a pre rozdelenie zošikmené k nižším hodnotám konkávne rastúce. Do kvantilového grafu sa zakresľujú tri obdĺžniky  $F$ ,  $E$  a  $D$  [18]:

1. Kvartilový obdĺžnik  $F$ : na ose  $x$  pravdepodobnosť  $P_2 = 2^{-2} = 0,25$  a  $1-2^{-2} = 0,75$ .
2. Oktilový obdĺžnik  $E$ : na  $y$  oktily  $E_D$  a  $E_H$  a na ose  $x$   $P_3 = 2^{-3} = 0,125$  a  $1-2^{-3} = 0,875$ .
3. Sedecilový obdĺžnik  $D$ : na  $y$  sedecily  $D_D$ ,  $D_H$  a na  $x$   $P_4 = 2^{-4} = 0,0625$  a  $1-2^{-4} = 0,9375$ .

Táto pomôcka môže diagnostikovať aj určité anomálie:

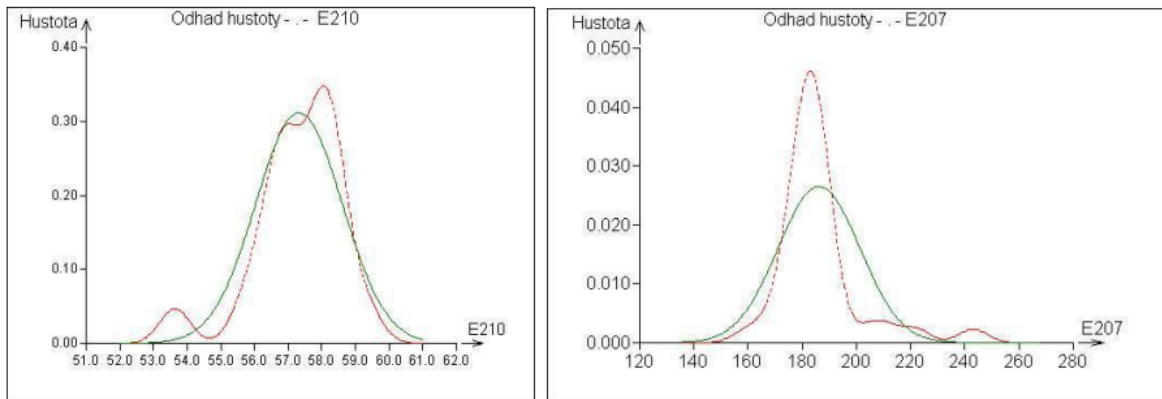
- a) Symetrické unimodálne rozdelenie výberu obsahuje obdĺžniky symetricky vo vnútri seba.
- b) Nesymetrické rozdelenia majú pre rozdelenie zošikmené k vyšším hodnotám vzdialenosti medzi dolnými hranami obdĺžnikov  $F$ ,  $E$  a  $D$  výrazne kratšie ako medzi ich hornými hranami.
- c) Odľahlé pozorovania sú indikované tým, že na kvantilovej funkcii mimo obdĺžnika  $F$  sa objaví náhly vzrast.



Obrázok 26. Graf rozptýlenia s kvantilmi pre výbery z rozdelenia (a) normálneho, symetrického rozdelenia, (b) asymetrického rozdelenia [18]

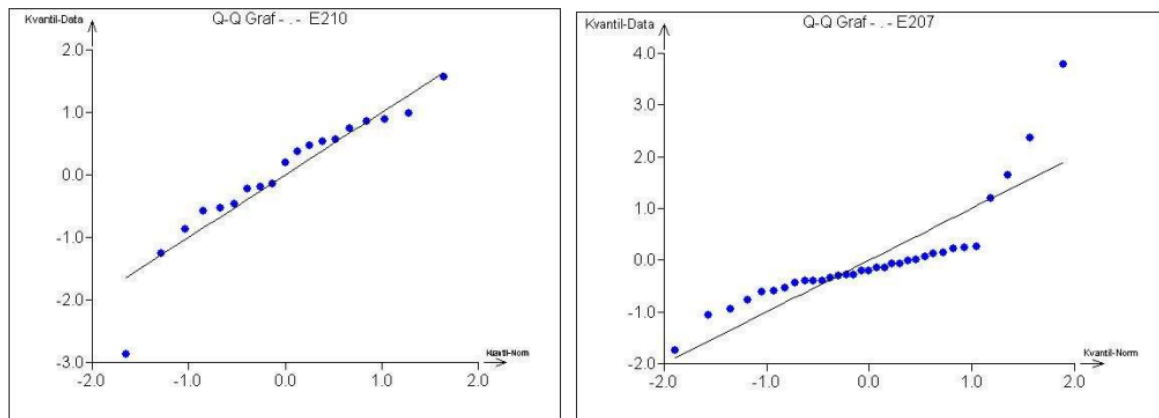
**Jadrový odhad hustoty pravdepodobnosti** (os  $x$ :  $x$ , os  $y$ : hustota pravdepodobnosti) a **histogram** patria k najpoužívanejším pomôckam a histogram potom k najstarším diagramom hustoty pravdepodobnosti. Pri histograme ide o obrys stĺpcového grafu, kde sú na osi  $x$  jednotlivé triedy, definujúce šírky stĺpcov, a výšky stĺpcov zodpovedajú empirickým hustotám pravdepodobnosti. Kvalitu histogramu ovplyvňuje vo veľkej miere voľba počtu tried  $L$  a všetkých dĺžok intervalov  $\Delta x_j$ . Pre približne symetrické rozdelenie výberu je možné vyčíslit'  $L$  podľa vzťahu  $L = \text{int}(2\sqrt{n})$ , kde funkcia  $\text{int}(x)$  označuje

celočíslnú časť čísla  $x$ , alebo je možné použiť výraz  $L = \text{int}(2,46(n-1)^{0,4})$  [18]. Na obrázku 27 je čiarkovane znázornená hustota Gaussovho rozdelenia s parametrami  $\bar{x}$  a  $s^2$  a plnou čiarou jadrový odhad hustoty pravdepodobnosti empirického rozdelenia výberu.



Obrázok 27. Jadrové odhady hustoty pravdepodobnosti pre výbery z rozdelenia (a) normálneho, symetrického rozdelenia, (b) asymetrického rozdelenia [18]

**Kvantil-kvantilový graf** (graf Q-Q) (os  $x$ :  $Q_T(P_i)$ , os  $y$ :  $x_{(i)}$ ) umožňuje posúdiť zhodu výberového rozdelenia, charakterizovaného kvantilovou funkciou  $Q_E(P)$  s kvantilovou funkciou zvoleného teoretického rozdelenia  $Q_T(P)$ . Za odhad kvantilovej funkcie výberu sa používajú poriadkové štatistiky  $x_{(i)}$ . Pri zhode výberového rozdelenia so zvoleným teoretickým rozdelením musí platiť približná rovnosť kvantilov  $x_{(i)} = Q_T(P_i)$ , kde  $P_i$  je poradová pravdepodobnosť. Pokiaľ je rozdelenie výberu zhodné so zvoleným teoretickým rozdelením, je závislosť  $x_{(i)}$  od  $Q_T(P_i)$  lineárna a výsledná závislosť sa nazýva graf Q-Q. Tesnosť lineárnej závislosti experimentálnymi bodmi je možné posúdiť korelačným koeficientom a využiť ho ako rozhodcovské kritérium pri hľadaní typu rozdelenia. [18]



Obrázok 28. Grafy Q-Q na porovnanie rozdelenia výberu normálneho rozdelenia s teoretickým rozdelením [18]

#### 4.4 Intervalový odhad parametrov

Intervalový odhad parametrov predstavuje interval, v ktorom sa bude so zadanou pravdepodobnosťou či štatistickou istotou  $(1 - \alpha)$  nachádzať skutočná hodnota čiže „pravda“ daného parametra  $\mu$ . Neznámy parameter  $\mu$  odhadujeme dvoma číselnými hodnotami  $L_D$  a  $L_H$ , ktoré tvoria medze tzv. intervalu spoľahlivosti čiže konfidenčného intervalu. Interval spoľahlivosti pokryje parameter  $\mu$  s vopred zvolenou, štatistickou istotou, čiže dostatočne veľkou pravdepodobnosťou  $P = (1 - \alpha)$ , čo možno vyjadriť vzťahom  $P(L_D < \mu < L_H) = 1 - \alpha$ , nazvanú koeficient spoľahlivosti (konfidenčný koeficient, štatistická istota). Je obvyklé rovný 0,95 alebo 0,99. Parameter  $\alpha$  sa nazýva hladina významnosti. Interval spoľahlivosti vyjadruje tvrdenie: „Štatistická istota, s akou bude „pravda“  $\mu$  ležať v náhodných medziach  $L_D, L_H$  je rovná práve  $1 - \alpha$ .“ Vlastnosti intervalu spoľahlivosti sú [17], [18]:

1. Čím je rozsah výberu  $n$  väčší, tým je interval spoľahlivosti užší.
2. Čím je odhad presnejší a má menší rozptyl, tým je interval spoľahlivosti užší.
3. Čím je vyššia štatistická istota  $(1 - \alpha)$ , tým je interval spoľahlivosti širší.

Postup konštrukcie intervalu spoľahlivosti strednej hodnoty  $\mu$  normálneho rozdelenia  $N(\mu, \sigma^2)$  [18, 19]:

1. Veľký výber  $n \geq 30$ : Keď najlepším bodovým odhadom strednej hodnoty  $\mu$  je výberový priemer  $\bar{x}$  s rozdelením  $N(\mu, \sigma^2/n)$ , potom v intervale  $\bar{x} \pm 1,96 \sigma/\sqrt{n}$  leží približne 95% hodnôt náhodných veličín výberu s rozsahom  $n$  a 100  $(1 - \alpha)$  % interval spoľahlivosti strednej hodnoty  $\mu$  bude vyčíslený vzťahom,

$$\bar{x} - 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + 1,96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Hodnota 1,96 je  $100(1 - 0,05/2) = 97,5\%$  kvantil normovaného normálneho rozdelenia  $u_{0,975}$ .

2. Malý výber  $n \leq 30$ : v praxi obvykle nie je smerodajná odchýlka ( $\sigma$ ) známa, ale iba jej odhad  $s$  a ak je  $t_{1-\alpha/2}(n - 1)$  je 100 $(1 - \alpha/2)$  % kvantil Studentovho rozdelenia bude 100  $(1 - \alpha)$  % interval spoľahlivosti strednej hodnoty  $\mu$  rovný,

$$\bar{x} - t_{1-\alpha/2}(n - 1) \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{1-\alpha/2}(n - 1) \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Medza intervalu spoľahlivosti závisí okrem chyby  $s$  aj od rozsahu výberu  $n$ . Pre väčšie rozsahy výberu ( $n > 30$ ) možno použiť namiesto kvantilu  $t_{1-\alpha/2}$ , kvantilu normovaného normálneho rozdelenia  $u_{1-\alpha/2}$  a  $100(1 - \alpha) \%$ , obojstranný interval spoľahlivosti rozptylu  $\sigma^2$  sa vypočíta podľa,

$$\frac{(n-1)s^2}{X_{1-\alpha/2}^2(n-1)} \leq \sigma^2 \leq \frac{(n-1)s^2}{X_{\alpha/2}^2(n-1)}$$

kde  $X_{1-\alpha/2}^2(n-1)$  je horný a  $X_{\alpha/2}^2(n-1)$  dolný kvantil rozdelenia  $X^2$ . Robustný interval spoľahlivosti mediánu sa približne vyčíslí podľa nasledujúceho vzťahu,

$$\tilde{x}_{0,5} - u_{1-\alpha/2} \frac{0,707s}{\sqrt{n}} \leq med \leq \tilde{x}_{0,5} + u_{1-\alpha/2} \frac{0,707s}{\sqrt{n}}$$

#### 4.5 Test správnosti výsledkov

Testy hypotéz o parametroch  $\mu$  a  $\sigma^2$  normálneho rozdelenia: súbor s  $N(\mu, \sigma^2)$ , výber rozsahu  $n$ , vypočítaného priemeru  $\bar{x}$  a štandardnej odchýlky  $s$ . Testy správnosti výsledku merania možno vykonať pomocou intervalu spoľahlivosti podľa pravidla, ak  $100(1 - \alpha) \%$  interval spoľahlivosti parametra  $\mu$  obsahuje zadanú hodnotu  $\mu_0$ , nemožno na hladine významnosti  $\alpha$  zamietnuť hypotézu  $H_0 : \mu = \mu_0$ . [17], [18]



## 5 METODIKA ŠTATISTICKEJ REGULÁCIE

Základný koncept použitia štatistických signálov pre zlepšenie výkonnosti môže byť použitý v každom obore, kde sa vykonávajú práce, ktorých výsledok vykazuje rozptyl a kde existuje podmienka kontinuálneho zlepšovania.

Pojem „štatistická regulácia“ zahŕňa súbor aplikovaných štatistických metód a nástrojov. Ide o prvky popisnej štatistiky a prvky matematickej štatistiky, prepracované tak, že sú jednoducho použiteľné v prevádzke. Jednotlivé nástroje sa vzájomne dopĺňajú a dajú sa kombinovať podľa potreby do logických reťazcov alebo cyklov. Sú určené k operatívne riadeniu procesov v reálnom čase a umožňujú dosahovať zisky cestou znižovania nákladov. Štatistická regulácia sa dá rozdeliť na štatistickú reguláciu meraním a porovnávaním.

Pri štatistickej regulácii meraním sa spracovávajú dáta získané meraním sledovaného znaku kvality. Dáta vyjadrujú číselnú hodnotu meranej veličiny. Pri štatistickej regulácii porovnávaním sa informácie o sledovanom znaku akosti získavajú porovnávaním hodnoteného výstupu (výrobku, služby) s príslušným etalónom. Pri tomto spôsobe je možné zistiť, či rozmer vyhovuje alebo nie, avšak nepoznáme konkrétnu číselnú mieru. Kvalitatívne dáta sú teda tvorené slovným označením (atribútom) a číselným vyjadrením jeho výskytu (početnosťou, frekvenciou). Pre účely regulácie procesov sa odporúča v maximálnej miere využiť meranie.

Dôležitou zásadou pri zbere dát je pravdivý záznam všetkých nameraných hodnôt. Výrazné odchýlky, ktoré sú pri spracovaní výsledkov označené ako hrubé chyby a boli vyradené z ďalšieho spracovania, sú pri štatistickom hodnotení nositeľmi dôležitej informácie o tzv. špeciálnych príčinách menlivosti výstupu z procesu. [20]

### Zber dát – dokumentácia

Primárnou úlohou pri štatistickej regulácii je systematická dokumentácia výsledkov kontrolných meraní a pozorovaní, aby mohli byť spätne analyzované s cieľom odhalenia príčin, ktoré spôsobujú menlivosť výstupov z procesu. [20], [21]

### Tabuľky

Tabuľky slúžia k uchovávaniu poznatkov z pozorovaní aj nasledujúceho rozboru. Veľkou prednosťou tabuliek je presnosť záznamu. Nevýhodou je naopak zhoršená názornosť informácii, ktoré zhromaždené údaje obsahujú.

## Grafy

Grafy slúžia ako nástroj na vizualizáciu rôznych problémov. Štatistické grafy sú grafickým znázornením štatistického pozorovania alebo rozboru. Vyjadrujú súvislosti javov (priebehy, trendy) alebo rozloženie podľa rôznych hľadísk.

## Časové rady

Časové rady sú dôležitými štatistickými dátami, pomocou ktorých môžeme skúmať dynamiku javov v čase. Majú základný význam pre analýzu príčin, ktoré na tieto javy pôsobili a ovplyvňovali ich správanie v minulosti. Časová rada je teda postupnosť pozorovania kvantitatívnej charakteristiky usporiadanej v čase. [20], [21]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CIEĽ EXPERIMENTÁLNEJ ČASTI PRÁCE

Pri zadaní diplomovej práce bola stanovená požiadavka nájsť vhodné štatistické nástroje na hodnotenie a vizualizáciu nameraných dát funkčnej charakteristiky automobilového tesnenia vyvíjaného od prototypu k začiatku predsériovej fáze, s ohľadom na štandardné požiadavky na tesnenia. V prípade prekročení špecifických požiadaviek zákazníka ich včasne odhaliť a následne iniciovať okamžité nápravne opatrenia.

Jednou z hlavných funkčných charakteristík tesnenia sú narážacie a zádržné sily. Tieto charakteristiky, okrem iných, musia diely plniť počas celej sériovej výroby.

### 6.1 Zber údajov

Vzorky získavané počas obdobia dvoch rokov boli podrobené špecifickej analýze. Analýza bola vykonávaná vždy po odbere vzoriek pri extrúzii profilov a následne po troch dňoch od extrúzie.

Zber a analýza vzoriek prebiehala v časovej postupnosti, ako je znázornené v tabuľke č. 2 - 4.

Tabuľka 2. Zber vzoriek pre profil čiernej strechy

Dátum extrúzie	<b>18.5.21</b>	<b>4.5.22</b>	<b>3.6.22</b>	<b>16.6.22</b>	<b>7.7.22</b>
Prierez profilom	OK	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS pri extrúzii	OK	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS po 3 dňoch od extrúzie	21.5.21	7.5.22	6.6.22	19.6.22	10.7.22
Dátum extrúzie	<b>11.8.22</b>	<b>22.8.22</b>	<b>20.9.22</b>	<b>10.1.23</b>	<b>9.3.23</b>
Prierez profilom	OK	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS pri extrúzii	OK	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS po 3 dňoch od extrúzie	14.8.22	25.8.22	23.9.22	13.1.23	12.3.23

Tabuľka 3. Zber vzoriek pre profil A stĺpika

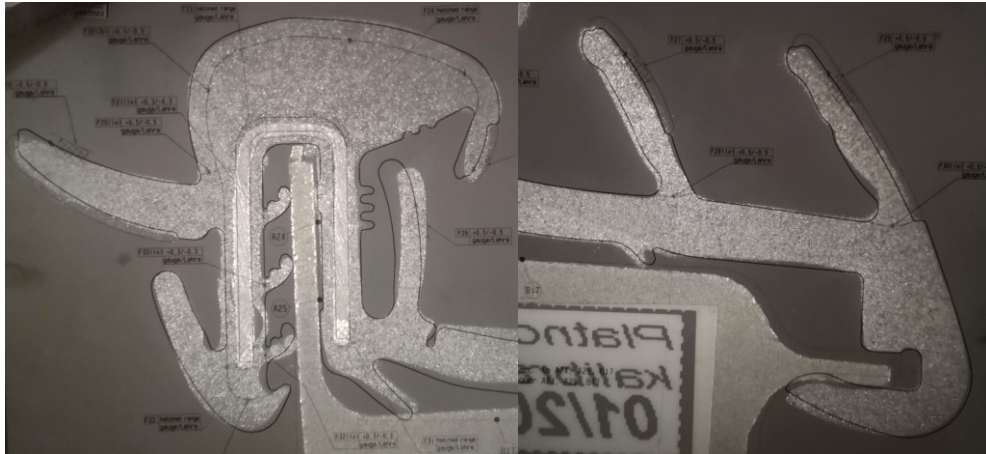
Dátum extrúzie	<b>13.4.21</b>	<b>7.4.22</b>	<b>10.8.22</b>	<b>31.8.22</b>	<b>21.9.22</b>
Prierez profilom	OK	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS pri extrúzii	OK	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS po 3 dňoch od extrúzie	16.4.21	10.4.22	13.8.22	3.9.22	24.9.22
Dátum extrúzie	<b>7.10.22</b>	<b>20.10.22</b>	<b>23.2.23</b>	<b>17.3.23</b>	
Prierez profilom	OK	OK	OK	OK	
Meranie NS/ZS pri extrúzii	OK	OK	OK	OK	
Meranie NS/ZS po 3 dňoch od extrúzie	10.10.22	23.10.22	26.2.23	20.3.23	

Tabuľka 4. Zber vzoriek pre profil B stĺpika

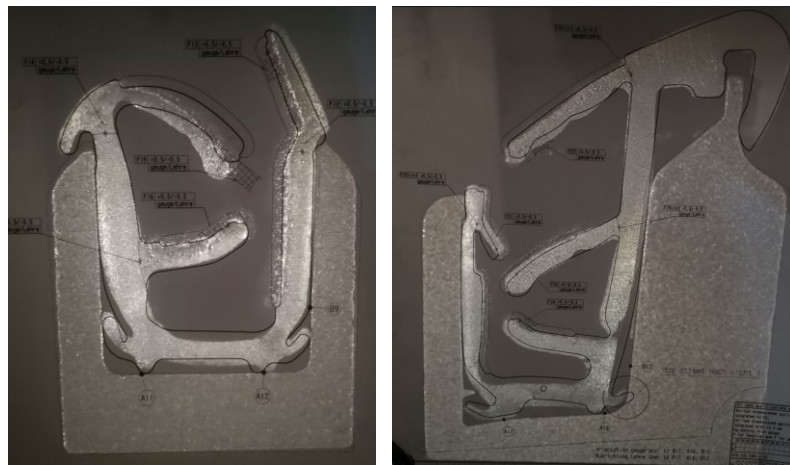
Dátum extrúzie	<b>16.4.21</b>	<b>13.4.22</b>	<b>8.8.22</b>	<b>23.9.22</b>
Prierez profilom	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS pri extrúzii	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS po 3 dňoch od extrúzie	19.4.21	16.4.22	11.8.22	26.9.22
Dátum extrúzie	<b>18.10.22</b>	<b>3.1.23</b>	<b>27.1.23</b>	<b>24.2.23</b>
Prierez profilom	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS pri extrúzii	OK	OK	OK	OK
Meranie NS/ZS po 3 dňoch od extrúzie	21.10.22	6.1.23	30.1.23	27.2.23

## 6.2 Analýza tvarovej a rozmerovej presnosti extrudovaných profilov

Významným ukazovateľom, z pohľadu narážacej oblasti profilu, je jeho prierez. Hodnotiacou metódou bol z toho dôvodu zvolený postup, kedy sa v definovanom mieste profilu vzorka oddelí a plocha rezu sa zabrusí na kotúčovej brúske. Vzorka je počas procesu extrúzie hodnotená na profilovom projektore pomocou príslušného výkresu profilu vytlačeného na pauzovací papier, ktorá je zobrazená v mierke 1:10.



Obrázok 29. Kontrola prierezu strešným profilom



Obrázok 30. Kontrola prierezu profilom A stĺpika a B stĺpika

Pomocou metodiky spomínanej vyššie boli kontrolované všetky prierezy profilov pri extrúzií podľa časovej postupnosti uvedenej v tabuľke č. 2 – 4.

### 6.3 Charakteristika narážacích a zádržných síl

Narážacie a zádržné sily tesnenia sú špecifikované v zákazníkych normách. Pre účely diplomovej práce bolo vychádzané z normy s označením PV3365. [22]

#### 6.3.1 Narážacia sila podľa PV3365

Meranie narážacej sily poskytuje informácie o silách potrebných k montáži tesnenia na plech karosérie, pričom sa berú do úvahy vlastnosti materiálu, geometria tesnenia a simulovaná poloha pri montáži.

Zádržná sila tesnenia je teda sila potrebná na montáž tesnenia o veľkosti 100 mm za predpokladu, že tesnenie je montované priamo na plech karosérie, nie pod uhlom. [22]

### 6.3.2 Zádržná síla podľa PV3365

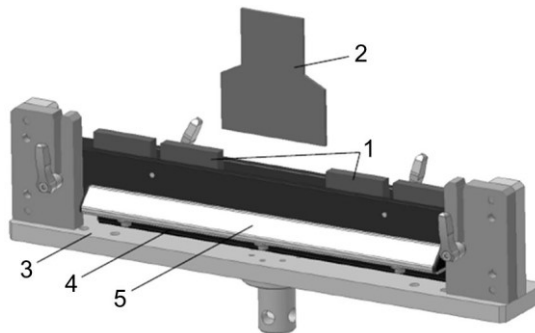
Meranie zádržnej sily poskytuje pohľad na bezpečnosť namontovaného tesnenia na plech karosérie.

Zádržná síla tesnenia je teda síla potrebná k stiahnutiu namontovaného tesnenia o veľkosti 100 mm z plechu karosérie. Predpokladá sa, že tesnenie sa stiahne rovnobežne a nie odlupovaním alebo krútením. [22]

### 6.4 Konfigurácia skúšky podľa PV3365

Podľa normy sú definované sily merané prostredníctvom skúšobného prípravku uchyteného v meracom zariadení. [22]

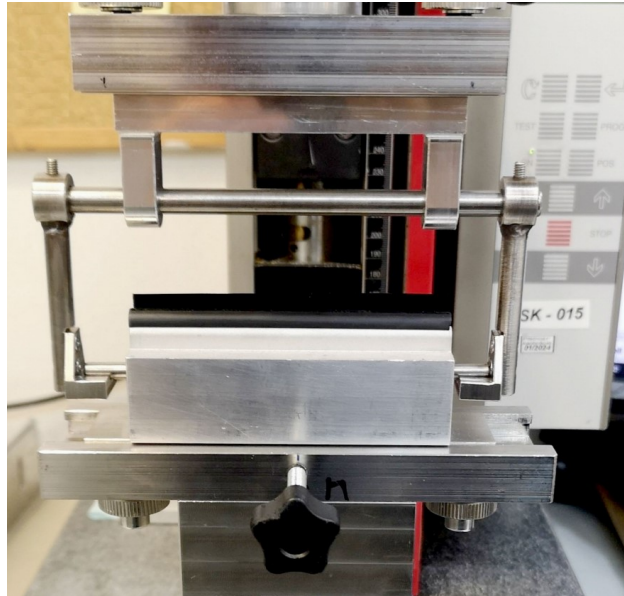
Usporiadanie skúšobného prípravku podľa normy sa nachádza na obrázku č. 31, kde 1- plech na držanie vzorky, 2 - skúšobný plech o definovanej hrúbke, 3 - základná doska, 4 - vzorka tesnenia, 5 - bočný držiak. Na obrázku č. 32 je uchytený prípravok, ktorý bol použitý na meranie síl vzoriek strešného profilu. Prípravky na meranie zádržných síl A stĺpika a B stĺpika sú na obrázku č. 33 a obrázku č. 34.



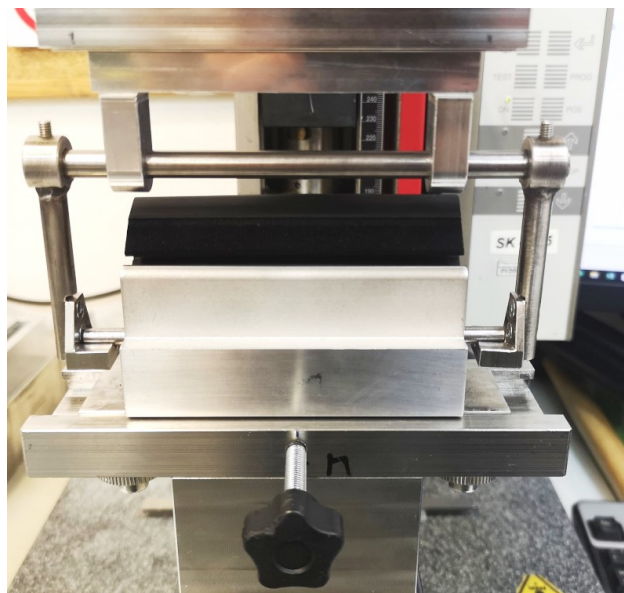
Obrázok 31. Usporiadanie skúšobného prípravku podľa normy [22]



Obrázok 32. Usporiadanie skúšobného prípravku pre meranie vzoriek strešného profilu



Obrázok 33. Usporiadanie skúšobného prípravku pre meranie ZS vzoriek A stĺpika



Obrázok 34. Usporiadanie skúšobného prípravku pre meranie ZS vzoriek B stĺpika

#### 6.4.1 Príprava vzorky

Skúšobné vzorky sú odobrané z príslušnej výrobnéj dávky. V prípade špecifickej prípravy vzorky, napríklad oddelením jazykov, bublín, je postup špecifickovaný vo výkrese profilu.

Dĺžka skúšanej vzorky z odrezkov extrudovaných profilov musí byť v rozmedzí 270 až 300 mm. Taktiež je dovolená skúška na hotovom diely. V jednotlivých prípadoch sa môžu použiť kratšie skúšobné vzorky, minimálne však 200 mm. Odchýlky musia byť zaznamenané v protokole o skúške [22]. V diplomovej práci boli všetky analýzy vykonané



štandardne na vzorkách o dĺžke 300 mm pre strešný profil (Obr. 35). Na vzorke strešného profilu sa musia oddeliť jazyky tak ako je to na obrázku č. 36.



Obrázok 35. Vzorka strešného profilu o dĺžke 300 mm

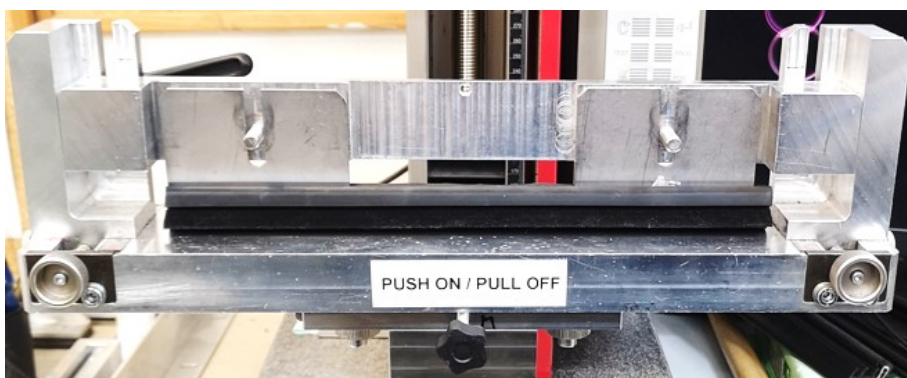


Obrázok 36. Vzorka strešného profilu po orezaní jazykov

Vzorka sa musí naraziť na obidvoch koncoch na plechy, ktoré slúžia na držanie vzorky počas priebehu skúšky (Obr. 37 a Obr. 38).



Obrázok 37. Vzorka strešného profilu narazená na pomocné plechy

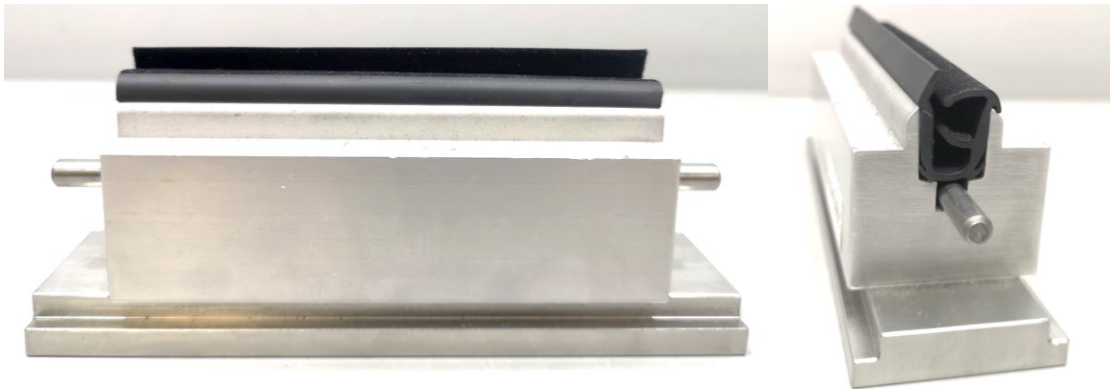


Obrázok 38. Pohľad uchytenia vzorky v meracom zariadení

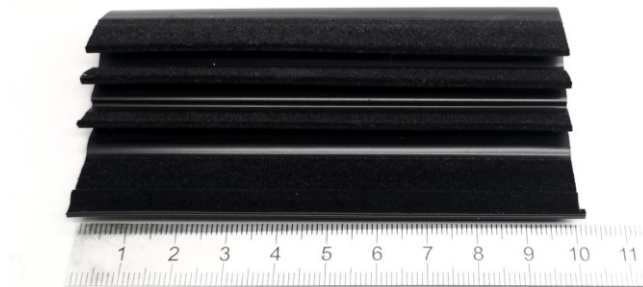
Podľa zákaznickej špecifikácie sa zádržné sily A stĺpika a B stĺpika skúšajú na vzorkách o dĺžke 100 mm (Obr. 39 a Obr. 41). Na obrázku č. 40 je vzorka A stĺpika vložená v prípravku a vzorka B stĺpika v prípravku je vyobrazená na obrázku č. 42.



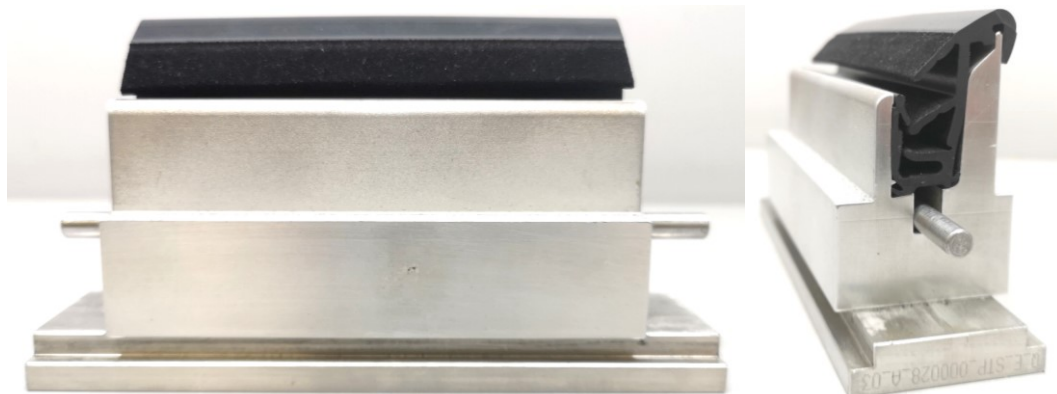
Obrázok 39. Vzorka A stĺpika o dĺžke 100 mm



Obrázok 40. Vzorka A stĺpika v prípravku



Obrázok 41. Vzorka B stĺpika o dĺžke 100 mm



Obrázok 42. Vzorka B stĺpika v prípravku

Podľa špecifikácie je minimálne množstvo na vyhodnotenie analýzy skúšanie 3 jednotlivých vzoriek. Každá vzorka sa môže skúšať len jeden krát, pretože ide o deštrukčnú skúšku. Pred samotnou analýzou musia byť splnené dve podmienky [22]:

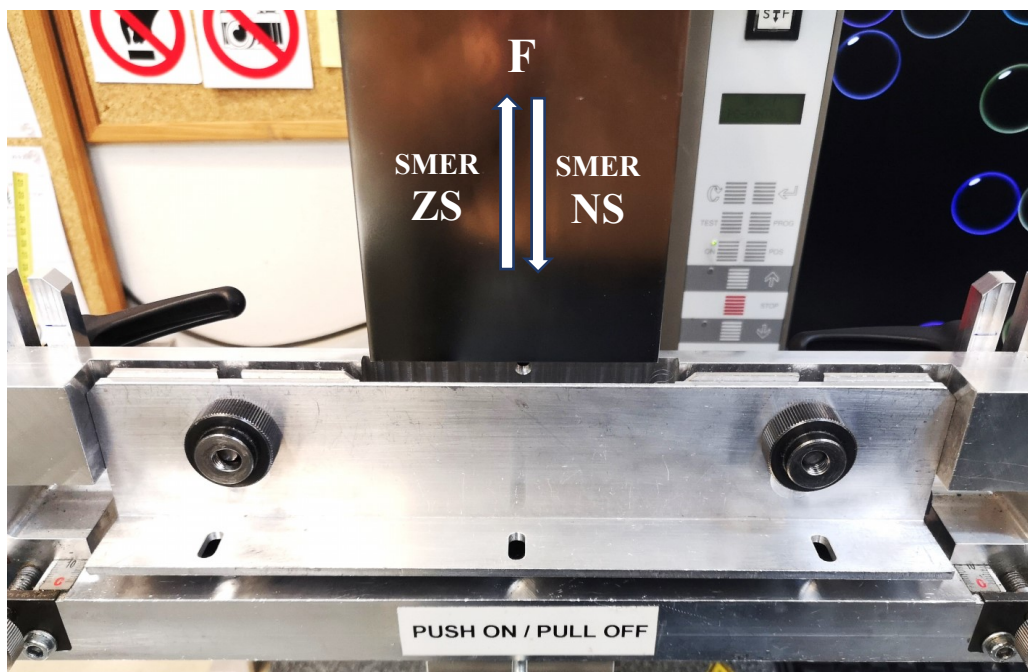
- I. Analýza musí začať nie skôr ako 16 hodín od vulkanizácie alebo re-vulkanizácie tesnenia.
- II. Vzorky sú kondicionované 24 hodín pri izbovej teplote.

V diplomovej práci boli vzorky vyhodnocované navyše počas extrúzie a následne po 3 dňoch od extrúzie, kde bola splnená podmienka skúšania po 16 hodinách od vulkanizácie profilov.

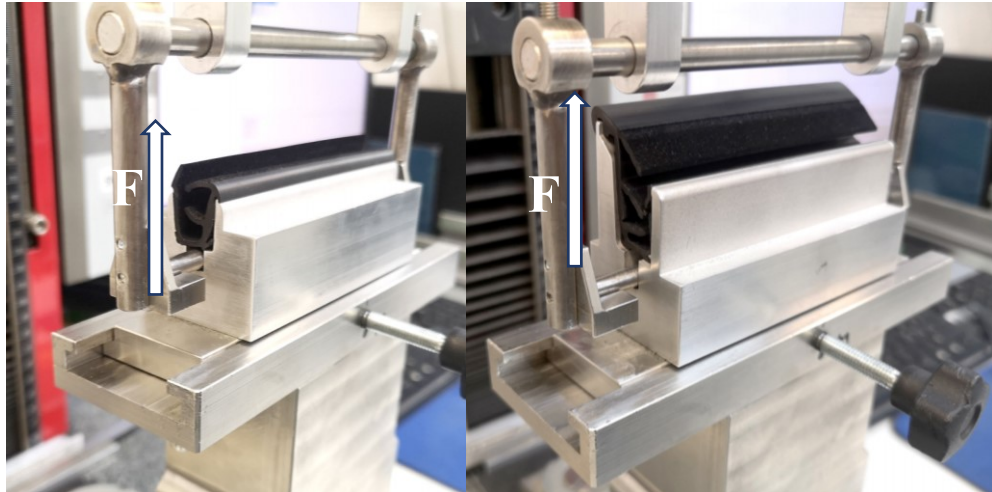
#### 6.4.2 Postup skúšky

Vzorky musia byť namontované do držiaka vzorky bezpečne a dokonale, tak ako je to špecifikované vo výkrese dielu alebo profilu. Skúška narážacej a zádržnej sily strešného profilu sa vykonáva simultánne (Obr. 43). Smer merania zádržnej sily stĺpikov je ukázaný na obrázku č. 44.

Predzaťaženie je 1 N. Rýchlosť predzaťaženia je 10 mm/min. Narážacia sila sa stanovuje pri rýchlosti 30 mm/min a zádržná sila pri rýchlosti 50 mm/min. Skúška narážacej sily sa ukončí, keď „blokovaná sila“ (sila pri narazení plechu na základňu tesnenia) dosiahla hodnotu 200 N / 100 mm. Ak je potrebné, môže sa koncová sila zvýšiť.



Obrázok 43. Meranie NS pri posune plechu smerom dole a ZS pri posune plechu smerom hore

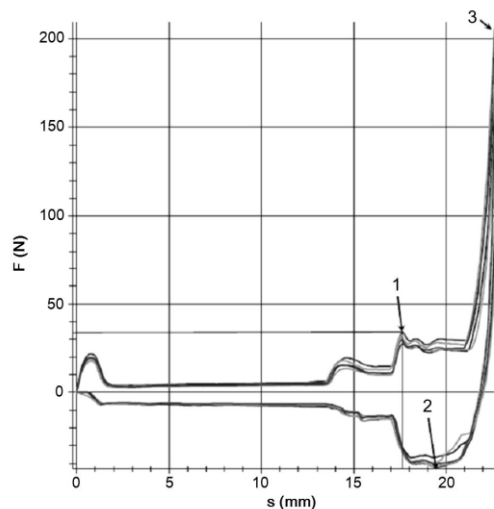


Obrázok 44. Meranie ZS stĺpikov smerom hore

### 6.4.3 Vyhodnotenie

Na vyhodnotenie narážacej sily sa používa maximálna sila s najvyššou hodnotou ( $F_{\max \text{ NS}}$ ) pred dosiahnutím "blokovej sily". Ak sa dosiahne maximálna narážacia sila na začiatku skúšobnej dráhy pri vkladaní plechu do narážacej časti profilu, táto maximálna sila sa nesmie použiť na vyhodnotenie. V takomto prípade musí byť uvedené maximum po tomto vrchole a pred dosiahnutím blokovej sily. Vyhodnotená oblasť musí byť tiež uvedená. Krivka posunu – zaťaženia sa musí zaznamenať. Na vyhodnotenie zádržnej sily sa používa maximálna sila ( $F_{\max \text{ ZS}}$ ).

Na obrázku č. 45 je príklad výstupu z merania. Oblasť popísaná ako 1 prislúcha narážacej sile  $F_{\max \text{ NS}}$  (narážacia sila pri posunutí 17,6 mm). Oblasť číslo 2 zodpovedá zádržnej sile  $F_{\max \text{ ZS}}$  (zádržná sila pri posunutí 19,4mm). Oblasť č. 3 zodpovedá takzvanej „blokovej sile“.



Obrázok 45. Príklad krivky posunu-zaťaženia pre silu F a dráhu s [22]



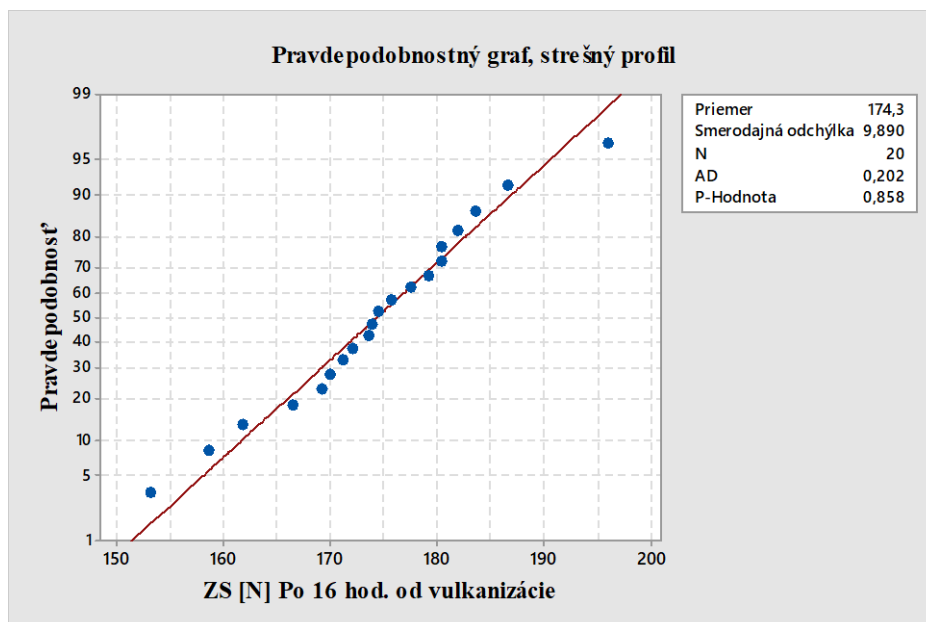
## 6.5 Štatistické vyhodnotenie meraní narážacích a zádržných síl

Experimentálne dáta je potrebné analyzovať, či sú vhodné k ďalšiemu vyhodnocovaniu a pre výber vhodných odhadov, ktoré súbor dát popisujú. Výber odhadov parametrov zodpovedá záverom prieskumovej analýzy [18]. Pre analýzu bol použitý štatistický softvér Minitab 17.

V nasledujúcej časti je popísané štatistické vyhodnotenie jednej vybranej extrúzie. Vyhodnotenia všetkých extrúzií boli totožné. Na analýzu sledovanej charakteristiky bol vybraný reprezentatívny výber 20 extrudovaných profilov, z ktorých boli pripravené vzorky pre jednotlivé merania.

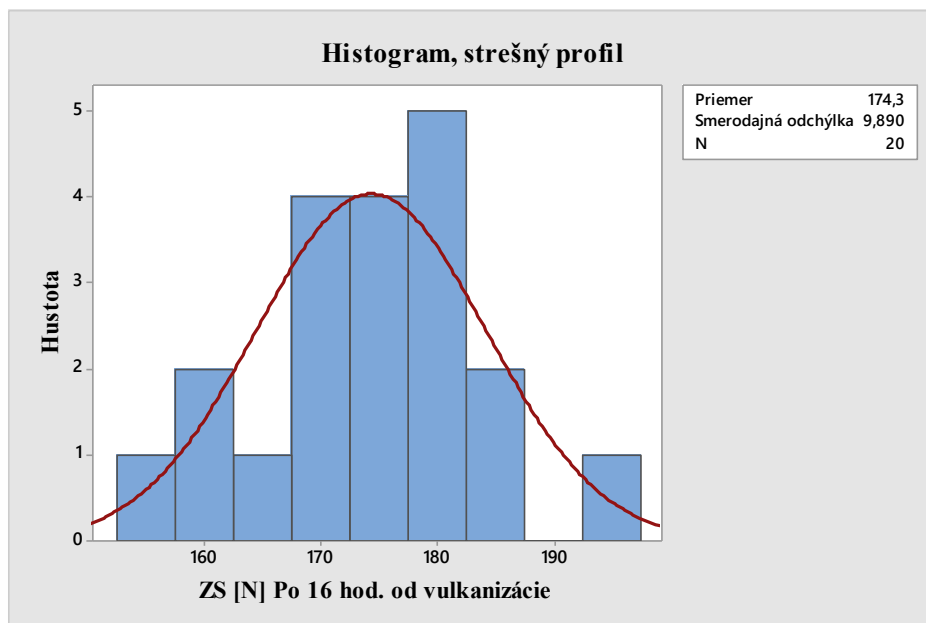
V prílohe P I – P III sú jednotlivé výstupy z meracieho zariadenia pre strešný profil a profily A stĺpika a B stĺpika pre jednu extrúziu. Zvyšné výstupy z meracieho zariadenia sú súčasťou CD nosiča, z hľadiska limitovanému rozsahu diplomovej práce.

Najbežnejším grafickým nástrojom na hodnotenie normality je pravdepodobnostný alebo Q-Q graf. Keďže P – hodnota je väčšia ako  $\alpha = 0,05$ , dáta pochádzajú z normálneho rozdelenia.



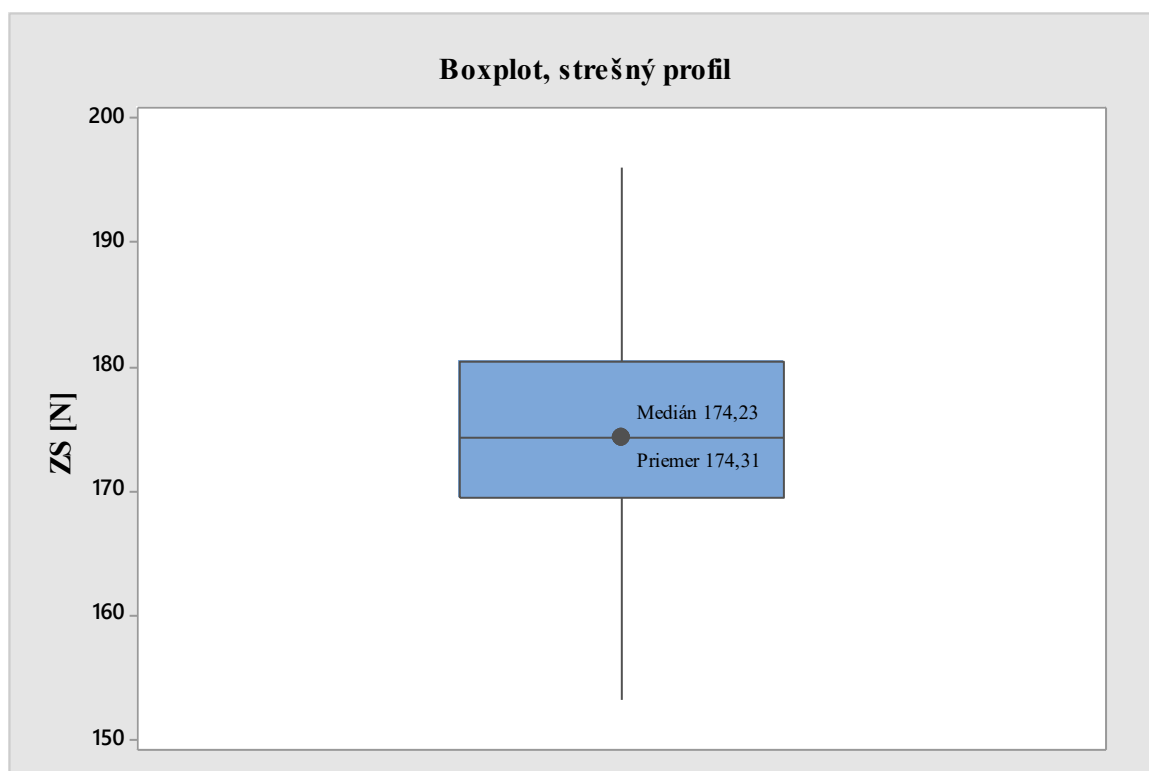
Obrázok 46. Pravdepodobnostný graf (Q-Q graf)

Histogram je najstarším grafom hustoty pravdepodobnosti (Obr. 47). Vyhodnotenie pomocou histogramu je však vhodné pre veľkosť výberu aspoň 20 vzoriek. V opačnom prípade je vhodné použiť bodový graf.



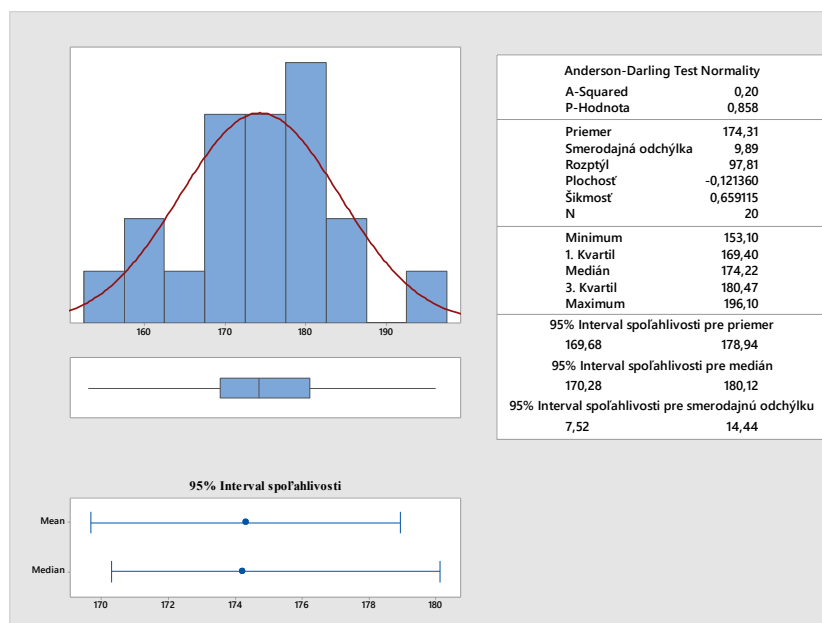
Obrázok 47. Histogram pre sériu meraní ZS strešného profilu z 9.3.2023, meranej 12.3.2023

Boxplot graf sa nachádza na obrázku č. 48. Graf predstavujú jednorozmernú projekciu kvantilového grafu do osy x, ukazuje koncentráciu dát a indikuje predovšetkým odľahlé merania, kedy v prípade výskytu boli zo série meraní vylúčené. Z grafu je možné vidieť, že meranie neobsahuje žiadne odľahlé merania.



Obrázok 48. Graf boxplot pre sériu ZS strešného profilu z 9.3.2023, meranej 12.3.2023

Na záver bola vyhodnotená popisná štatistika merní zádržných síl extrudovaného profilu strechy z 9.3.2023 (Obr. 49).



Obrázok 49. Grafický sumár meraní NS čiernej strechy z 9.3.2023, meranej 12.3.2023

Príloha P IV a P V popisuje jednotlivé odhady základného súboru, ktoré boli získané z výberového súboru výrobné dávky extrudovaného strešného profilu z 9.3.2023, profilu A stĺpika zo 17.3.2023 a B stĺpika z 24.2.2023. Všetky odhady, získané pomocou metodiky popísanej vyššie, boli použité ako vstupné údaje pre vytvorenie nástroja na vizualizáciu nameraných hodnôt v čase. Zvyšné výstupy sú súčasťou CD nosiča.

V tabuľke č. 5 a 6 sú uvedené stredné hodnoty meraní narážacích a zádržných síl meraných pri extrúzii a po 3 dňoch od ich extrúzie. V treťom stĺpci je vypočítaný ich rozdiel v percentách, či už ide o pokles alebo nárast sily.

Tabuľka 5. Stredné hodnoty ZS stĺpikových profilov

A stĺpik			
Dátum extrúzie	ZS [N]_Extrúzia	ZS [N] Po 3 dňoch od extrúzie	Pokles [%]
13.4.21	101,58	89,98	11,42
7.4.22	60,56	54,79	9,54
10.8.22	117,10	93,40	20,24
31.8.22	103,22	91,52	11,34
21.9.22	52,74	48,85	7,38
7.10.22	45,16	41,72	7,61
20.10.22	62,14	51,88	16,51
23.2.23	62,71	53,62	14,50
17.3.23	56,49	49,99	11,51

<b>B stĺpik</b>			
Dátum extrúzie	ZS [N]_Extrúzia	ZS [N] Po 3 dňoch od extrúzie	Pokles [%]
16.4.21	89,04	64,18	27,93
13.4.22	63,73	37,91	40,52
8.8.22	70,25	41,79	40,51
23.9.22	102,51	69,16	32,54
18.10.22	110,91	79,20	28,59
3.1.23	75,75	52,24	31,04
27.1.23	76,33	49,93	34,59
24.2.23	75,91	32,76	56,84

Tabuľka 6. Stredné hodnoty NS/ZS strešného profilu

<b>Strešný profil</b>			
Dátum extrúzie	NS [N]_Extrúzia	NS [N] Po 3 dňoch od extr.	Nárast/Pokles [%]
18.5.21	/	/	/
4.5.22	29,04	29,40	1,24
3.6.22	29,32	56,81	93,73
16.6.22	35,32	37,53	6,26
7.7.22	39,09	38,05	2,65
11.8.22	22,71	21,37	5,91
22.8.22	35,10	28,50	18,79
19.9.22	25,49	24,76	2,88
10.1.23	26,38	14,14	46,41
9.3.23	36,13	32,99	8,69

<b>Strešný profil</b>			
Dátum extrúzie	ZS [N]_Extrúzia	ZS [N] Po 3 dňoch od extr.	Pokles [%]
18.5.21	/	/	/
4.5.22	153,71	133,96	12,85
3.6.22	157,41	123,59	21,49
16.6.22	144,44	131,18	9,18
7.7.22	166,28	143,88	13,47
11.8.22	171,68	121,09	29,47
22.8.22	190,69	174,64	8,42
19.9.22	182,61	160,17	12,29
10.1.23	174,08	136,31	21,70
9.3.23	175,09	174,31	0,45



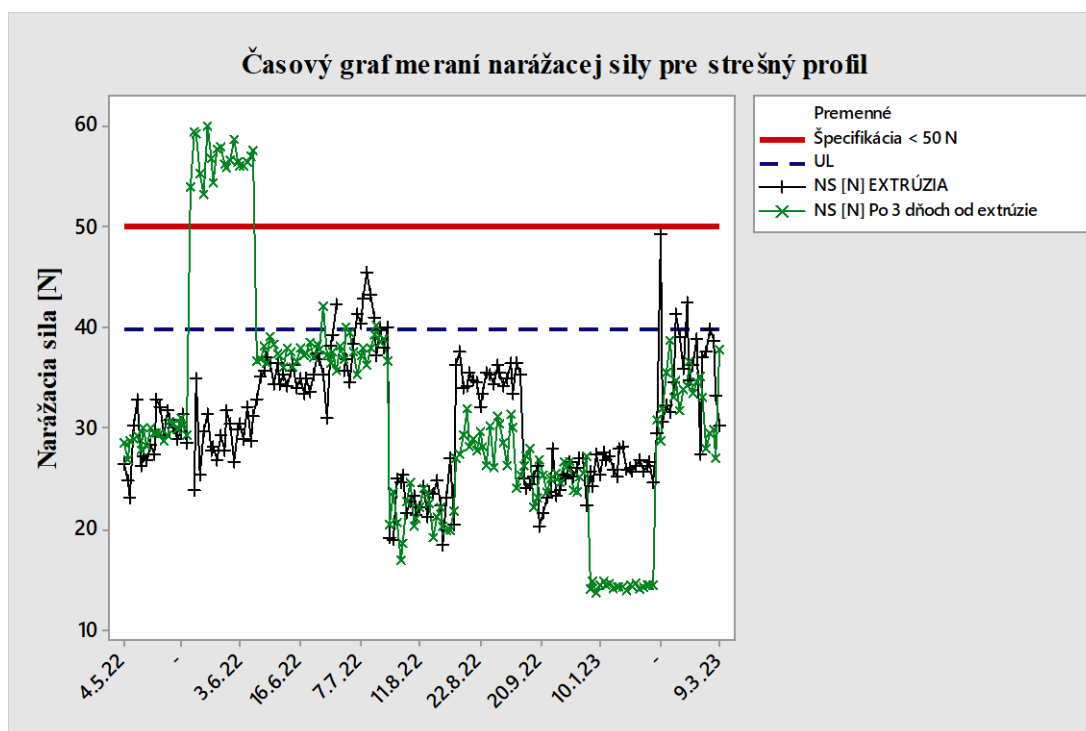
## 7 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vývoj profilov čiernej strechy, A stĺpika a B stĺpika prebiehal od roku 2021. Na analýzu bolo odobraných vždy po 20 vzoriek, ktoré boli merané počas extrúzie a 3 dni od ich extrúzie.

Namerané hodnoty NS a ZS boli podrobené analýze k vyhodnoteniu odhadov, ktoré sledovaný súbor popisujú. Príklad pre posledné extrúzie profilov strechy a stĺpikov sú v prílohe P IV a P V. Vyhodnotenú odhady z jednotlivých extrúzií slúžia ako vstupné hodnoty pre kontrolu zvolených charakteristík v priebehu času.

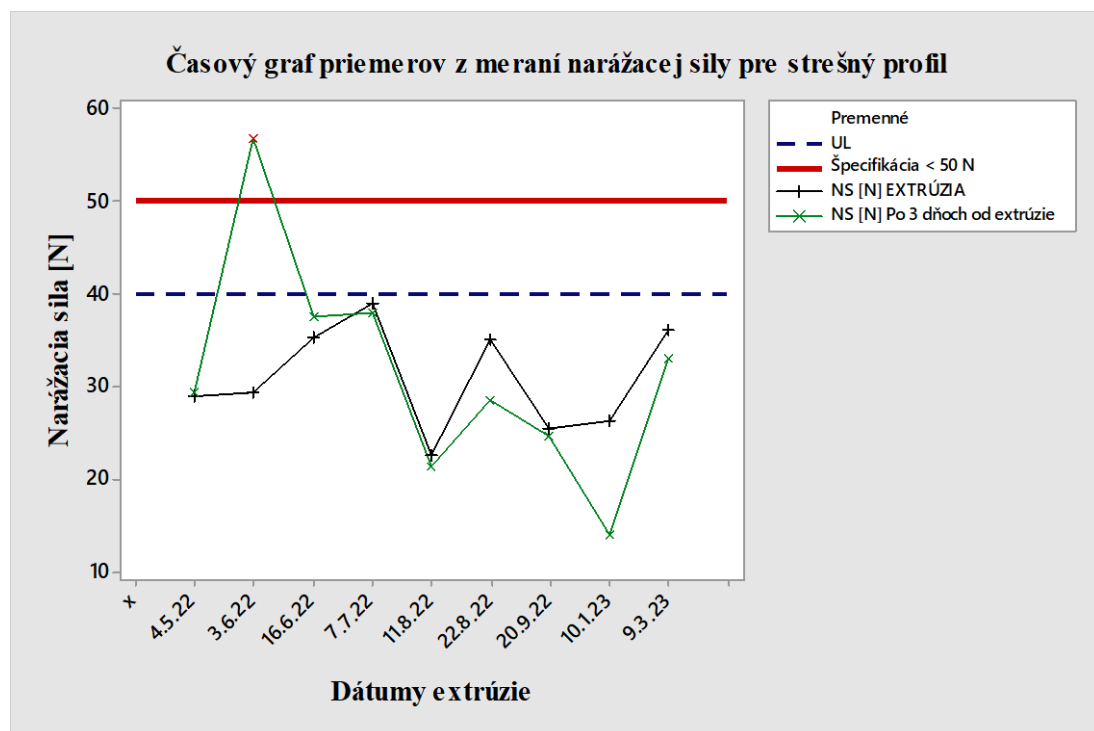
Obrázok č. 50 predstavuje časovú závislosť meraní narážacej sily jednotlivých extrúzií pre profil čiernej strechy. V grafe sú vynesene dve kontrolné hranice, jednou je červená hranica, ktorá predstavuje špecifikáciu určenú zákazníkom, a to  $< 50$  N. Narážacia sila strešného profilu nesmie túto hranicu prekročiť, v opačnom prípade je profil nevyhovujúci. Druhou kontrolnou hranicou (UL – „upper line“), modro prerušovanou, je zvolená hodnota 40 N, čo je o 20 % prísnejšie nastavená hranica ako požaduje zákazník. Táto hodnota slúži ako horný kontrolný limit pre meranie NS. Dolný kontrolný limit nie je určený, pretože nie je určená ani dolná zákaznícka špecifikácia.

Na ose x sú vynesene jednotlivé merania získané pri extrúzii – čierna línia. Merania získané po 3 dňoch od ich extrúzie sú vyznačené zelenou líniou (Obr. 50).



Obrázok 50. Časový graf meraní NS v čase pre profil čiernej strechy

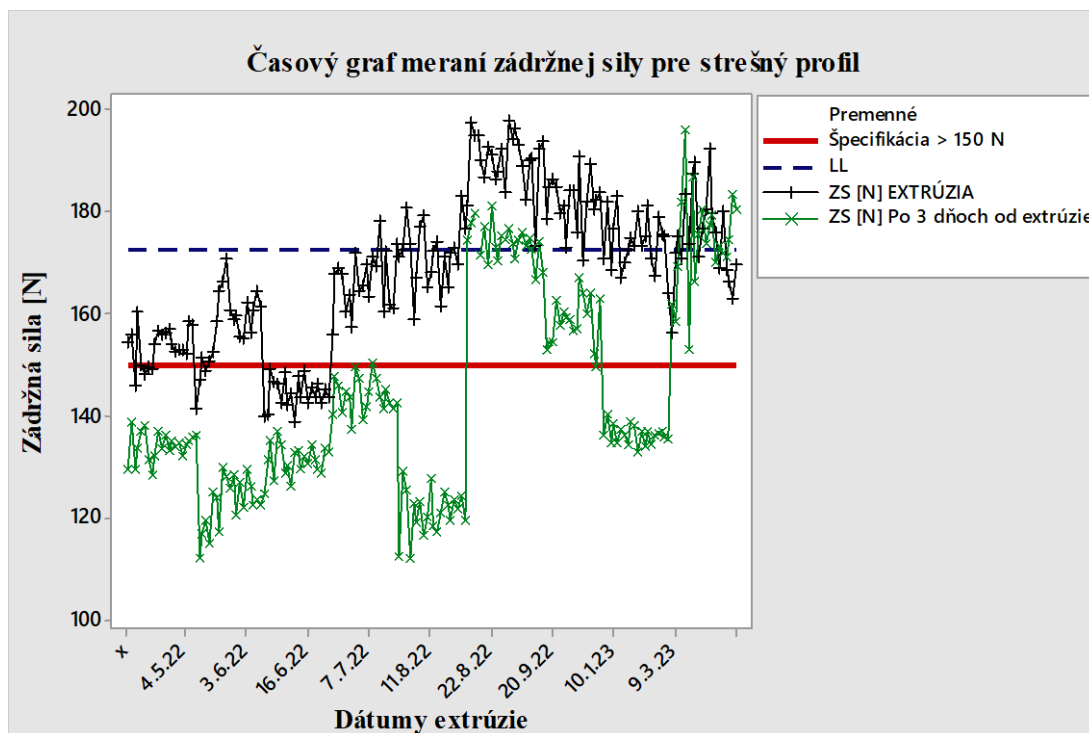
Graf na obrázku č. 51 predstavuje rovnaký princíp kontroly sledovanej charakteristiky, avšak s tým rozdielom, že sú vynesené priemery merní z jednotlivých extrúzií. Z grafu je vidieť, že strešný profil z 3.6.2022 vyšiel po opätovnom premeraní po 3 dňoch 56,8 N. Z pohľadu NS bola extrúzia vyhodnotená neúspešne. Nárast sily bol medzi meraním pri extrúzii profilu a po 3 dňoch o 93,7 %. Príčinou boli parametre extrúzne linky, kde rýchlosť extrúzie bola nastavená na vyššie hodnoty a teploty teplovzdušného kanála a UHF boli nižšie, ako bolo predpísané v technologickom predpise. Práve tieto parametre sú dôležité sledované parametre procesu vulkanizácie. S týmto zistením, boli polotovary preverené z pohľadu vulkanizácie. Vulkanizácia nebola dostatočná, z toho dôvodu boli profily dodatočne dovulkanizované v peci. Príčinou nárastu sily medzi meraniami pri extrúzii a po 3 dňoch od ich extrúzie teda bolo, že meranie pri extrúzii sa vykonalo ešte na profiloch, ktoré boli nezvulkanizované a ďalšie merania na dodatočne zvulkanizovaných profiloch malo vplyv na nárast narážacej sily.



Obrázok 51. Časový graf priemerov z meraní NS v čase pre profil čiernej strechy

Obrázok č. 52 predstavuje časovú závislosť meraní zádržnej sily jednotlivých extrúzií pre profil čiernej strechy. V grafe sú vynesené dve kontrolné hranice, tak ako to bolo u meraní narážacích síl. Jednou je červená hranica, ktorá predstavuje špecifikáciu určenú zákazníkom a to  $> 150$  N. Zádržná sila strešného profilu nesmie klesnúť pod túto hranicu, v opačnom prípade je profil nevyhovujúci. Druhou kontrolnou hranicou (LL), modro

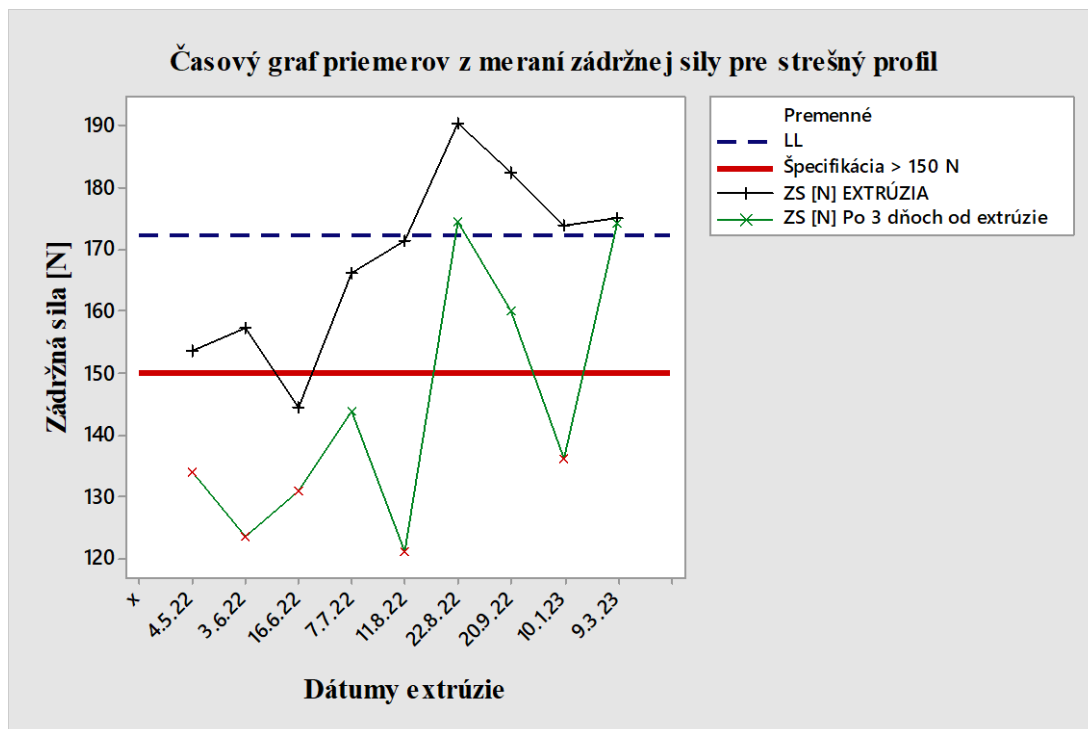
prerušovanou, je zvolená hodnota 172,5 N, čo je o 15 % prísnejšie nastavená hranica ako požaduje zákazník. Táto hodnota slúži ako dolný kontrolný limit pre merania ZS pri extrúzii. Horný kontrolný limit nie je určený, pretože nie je určená ani horná zákaznícka špecifikácia.



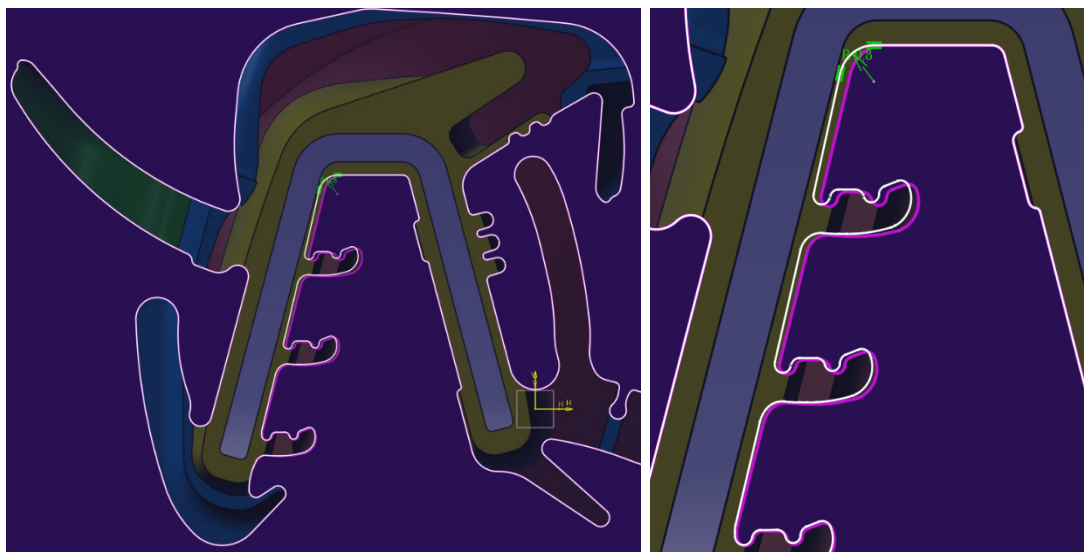
Obrázok 52. Časový graf meraní ZS v čase pre profil čiernej strechy

Graf na obrázku č. 53 predstavuje rovnaký princíp kontroly sledovanej charakteristiky, s tým rozdielom, že sú vynesené priemery merní z jednotlivých extrúzií. Z grafu je vidieť, že v prípade prekročenia kontrolnej hranice (modro prerušovanej) počas extrúzie, je možné očakávať, že profil z tohto dátumu, po analýze po 3 dňoch, už nebude spĺňať špecifikáciu.

Z vytvorených kontrolných grafov je vidieť (Obr. 52 a Obr. 53), že veľkým problémom je udržať zádržnú silu čiernej strechy nad 150 N podľa požiadaviek zákazníka. Zadržná sila meraná pri extrúzii špecifikáciu dosahovala, výnimkou bola extrúzia zo 16.6.2022 (Obr. 53). Po opätovnom premeraní po 3 dňoch, zádržná sila nedosahovala požadovanú špecifikáciu. Po extrúzii z 10.1.2023 kedy opätovne ZS nedosiahla špecifikáciu muselo byť navrhnuté technické riešenie. Riešením bolo zväčšenie hustoty vnútorných jazýčkov v narážacej oblasti (Obr. 54). Extrúzia z 9.3.2023 z pohľadu narážacích a zádržných síl bola vyhodnotená úspešne.

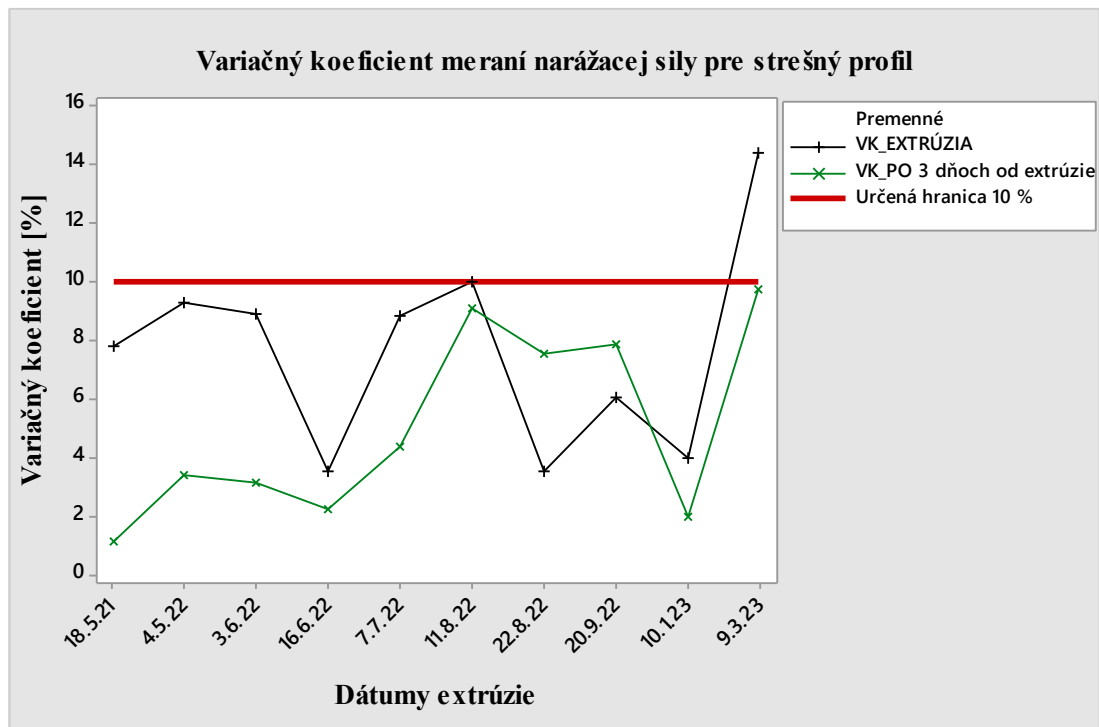


Obrázok 53. Časový graf priemerov z meraní ZS v čase pre profil čiernej strechy

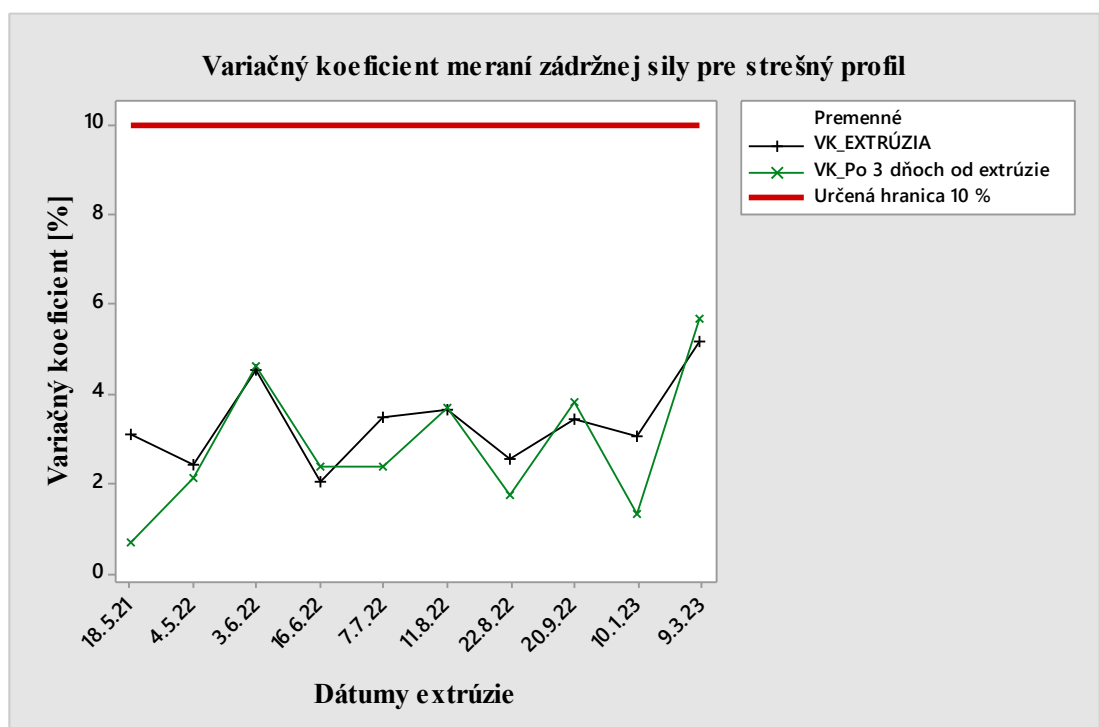


Obrázok 54. Zmena nástroja – zväčšenie hustoty vnútorných jazýčkov, SG

Na obrázku č. 55 a 56 je vyobrazený variačný koeficient jednotlivých meraní NS a ZS profilu čiernej strechy. Variačný koeficient vyjadruje relatívnu mieru variability priemeru premennej (NS respektíve ZS) a slúži ako dôkaz, že namerané údaje sú správne a že stredná hodnota nie je znehodnotená rozptylom. Variačný koeficient je určený pre meranie NS/ZS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie. Zvýraznená červená hranica bola zvolená ako kontrolná hranica a stanovená na 10 %.

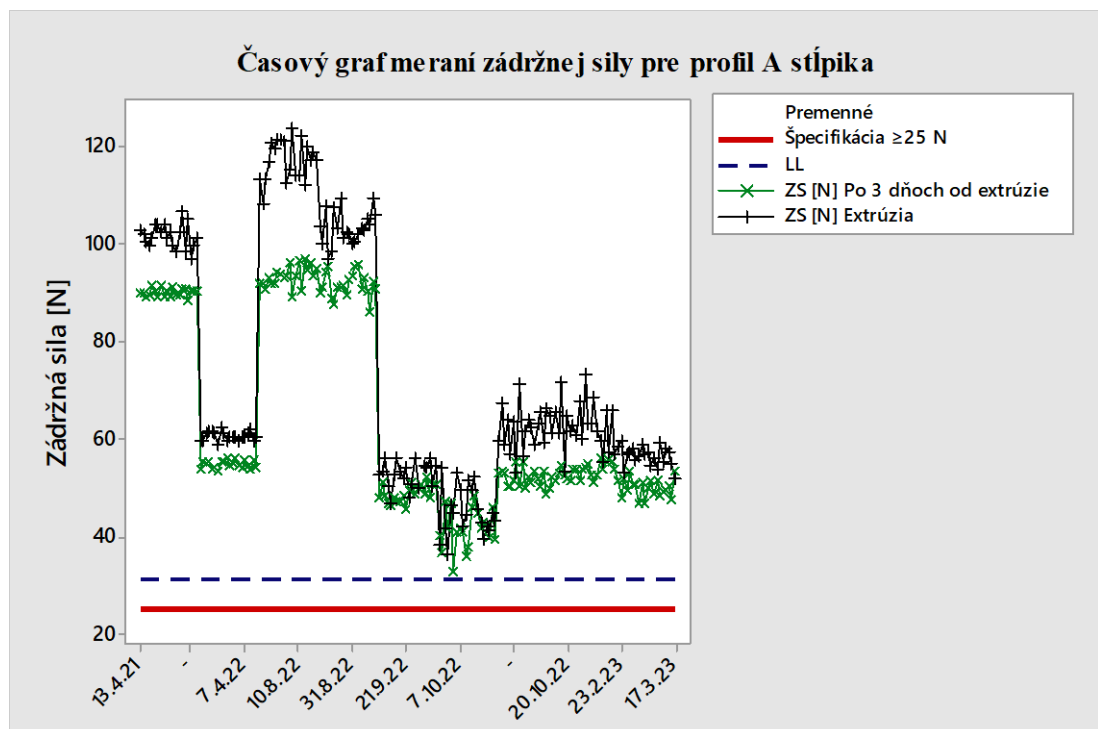


Obrázok 55. Variacný koeficient pre merania NS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie



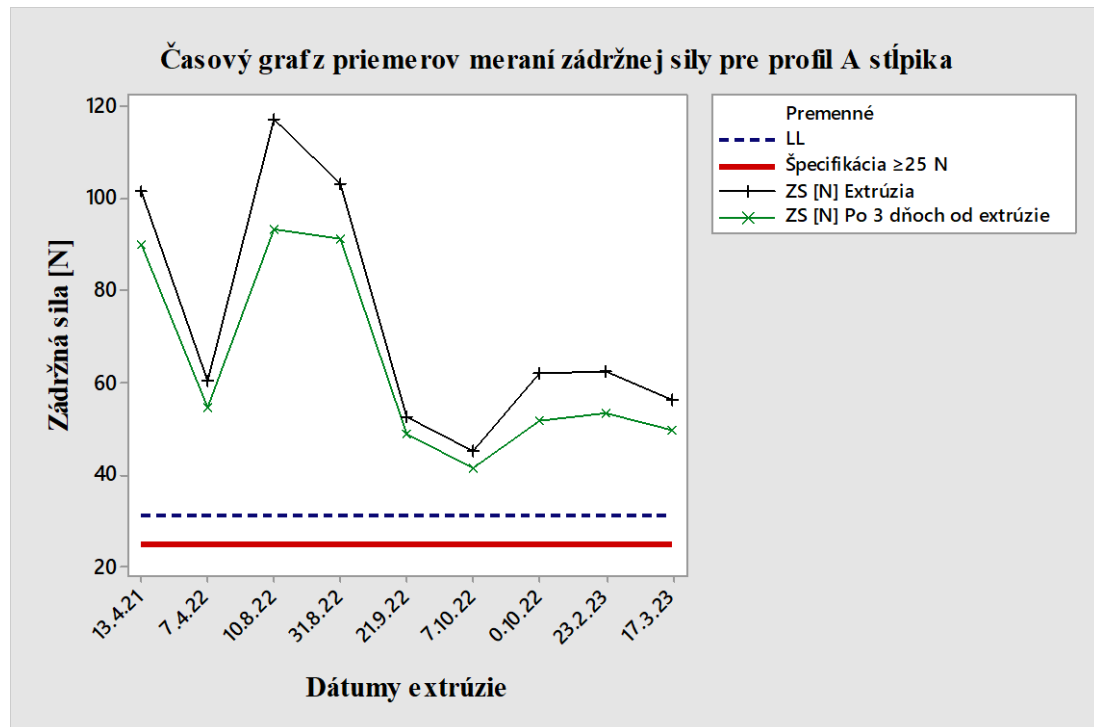
Obrázok 56. Variacný koeficient merania ZS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie

Obrázok č. 57 predstavuje časovú závislosť meraní zádržnej sily jednotlivých extrúzií pre profil A stĺpika. V grafe sú vynesené dve kontrolné hranice. Červená hranica predstavuje špecifikáciu určenú zákazníkom a to  $\geq 25$  N. Zádržná sila profilu A stĺpika nesmie klesnúť pod túto hranicu, v opačnom prípade je profil nevyhovujúci. Druhou kontrolnou hranicou, modro prerušovanou (LL), je zvolená hodnota 31,3 N, čo je približne o 25 % prísnejšie nastavená hranica ako požaduje zákazník. Táto hodnota slúži ako dolný kontrolný limit pre merania ZS pri extrúzii. Horný kontrolný limit nie je určený, pretože nie je určená ani horná zákaznícka špecifikácia.



Obrázok 57. Časový graf meraní ZS v čase pre profil A stĺpika

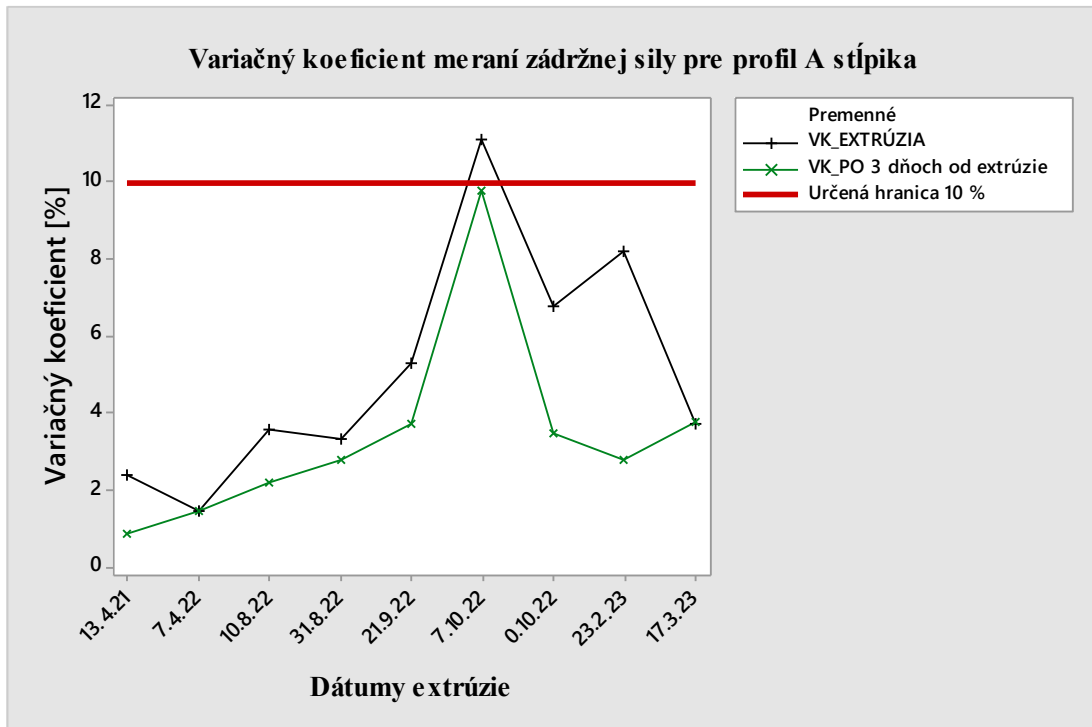
Graf na obrázku č. 58 predstavuje rovnaký princíp kontroly sledovanej charakteristiky, avšak s tým rozdielom, že sú vynesené priemery merní z jednotlivých extrúzií. Z grafov (Obr. 57 a Obr. 58) je vidieť kolísanie síl medzi jednotlivými dátumami extrúzie. Toto kolísanie, resp. zmeny síl medzi extrúziami z 13.4.21, 10.8.22 a 31.8.22 v porovnaní s ostatnými nastalo z dôvodu použitia inej verzie zmesi, vzhľadom k zlepšovaniu inej charakteristiky ako ZS profilu.



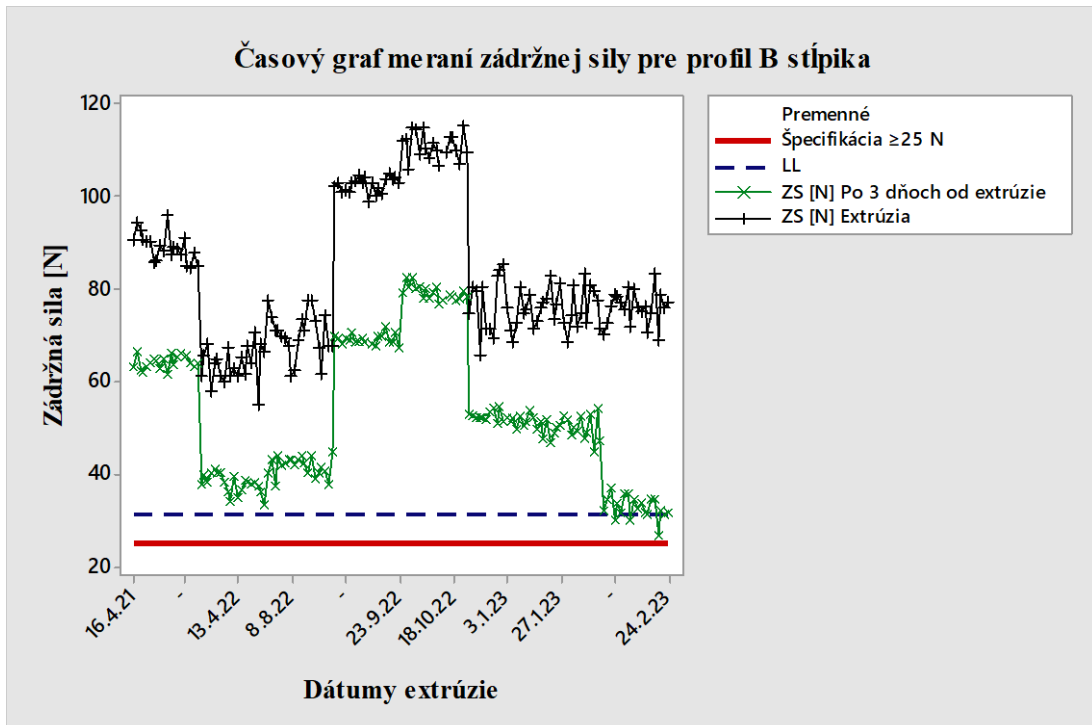
Obrázok 58. Časový graf priemerov z meraní ZS v čase pre profil A stĺpika

Na obrázku č. 59 je vyobrazený variačný koeficient z meraní ZS profilu A stĺpika. Variačný koeficient je určený pre meranie ZS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie. Zvýraznená červená hranica bola zvolená ako kontrolná hranica a stanovená na 10 %. Variačný koeficient pre merania počas extrúzie zo 7.10.22 prekročil kontrolnú hranicu a to presne s hodnotou 11,15 %. Dôvodom prekročenia bol príliš veľký rozptyl medzi meraniami na začiatku extrúzie, kedy prebiehalo ladenie profilu z pohľadu tvaru prierezu a výkresových tolerancií, a po ustálení extrúzie.

Obrázok č. 60 predstavuje časovú závislosť meraní zádržnej sily jednotlivých extrúzií pre profil B stĺpika. V grafe sú vynesené dve kontrolné hranice. Červená hranica predstavuje špecifikáciu určenú zákazníkom, a to  $\geq 25$  N. Zádržná sila profilu B stĺpika nesmie klesnúť pod túto hranicu, v opačnom prípade je profil nevyhovujúci. Druhou kontrolnou hranicou, modro prerušovanou (LL), je zvolená hodnota 31,3 N, čo je približne o 25 % prísnejšie nastavená hranica ako požaduje zákazník. Táto hodnota slúži ako dolný kontrolný limit pre merania ZS pri extrúzii. Horný kontrolný limit tu taktiež nie je určený.



Obrázok 59. Variačný koeficient (A stĺpik) meraní ZS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie

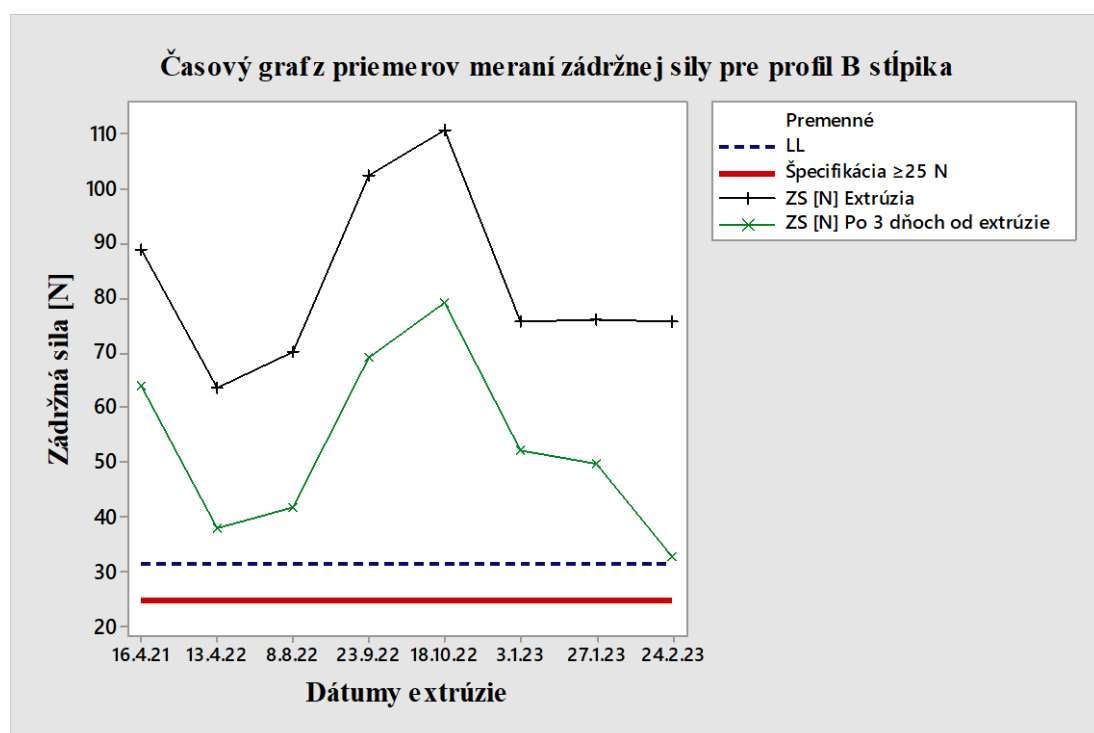


Obrázok 60. Časový graf jednotlivých meraní ZS v čase pre profil B stĺpika



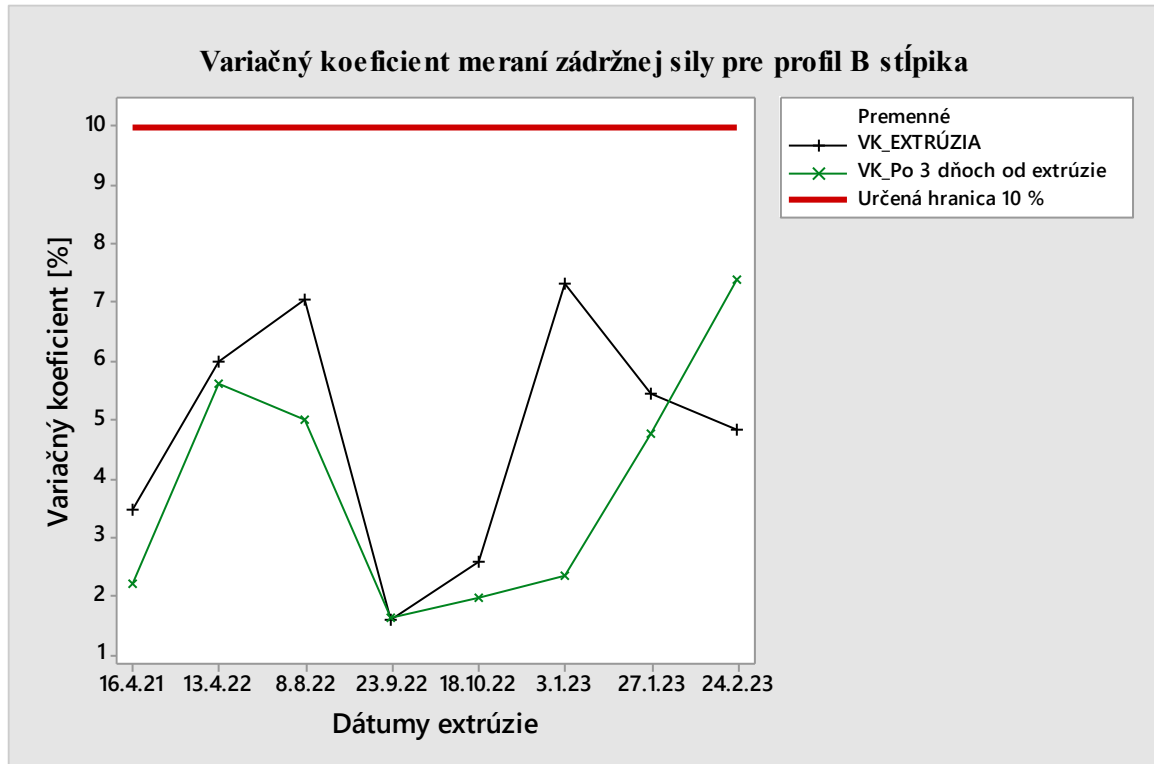
Graf na obrázku č. 61 predstavuje rovnaký princíp kontroly sledovanej charakteristiky, avšak s tým rozdielom, že sú vynesené priemery merní z jednotlivých extrúzií. Z grafov (Obr. 60 a Obr. 61) je vidieť kolísanie síl medzi jednotlivými dátumami extrúzie, ktoré sa dajú rozdeliť na dve skupiny. Pri extrúziach zo 16.4.21, 23.9.22 a 18.10.22 bola použitá zmes typu „B“ a pri extrúziach z 13.4.22, 8.8.22, 3.1.23, 24.2.23 zmes typu „C“. Tak ako už bolo spomenuté, skúšaním použitia inej verzie zmesi, prebehlo kvôli zlepšovaniu inej charakteristiky ako ZS profilu.

Pri poslednej extrúzii z 24.2.23 je možné vidieť, že ZS klesla na kontrolnú hranicu. Z toho dôvodu boli skontrolované parametre extrúzne linky počas tejto extrúzie. Preverení bolo zistené, že ku koncu extrúzie boli nižšie teploty v UHF kanáli z dôvodu výpadku jedného z magnetónov, ktoré mikrovlnné žiarenie generujú. Práve toto bolo príčinou, že hodnoty ZS boli 56,8 % nižšie pri meraní po 3 dňoch v porovnaní s meraniami pri extrúzii, kedy profil nebol kompletne zvlukanizovaný.



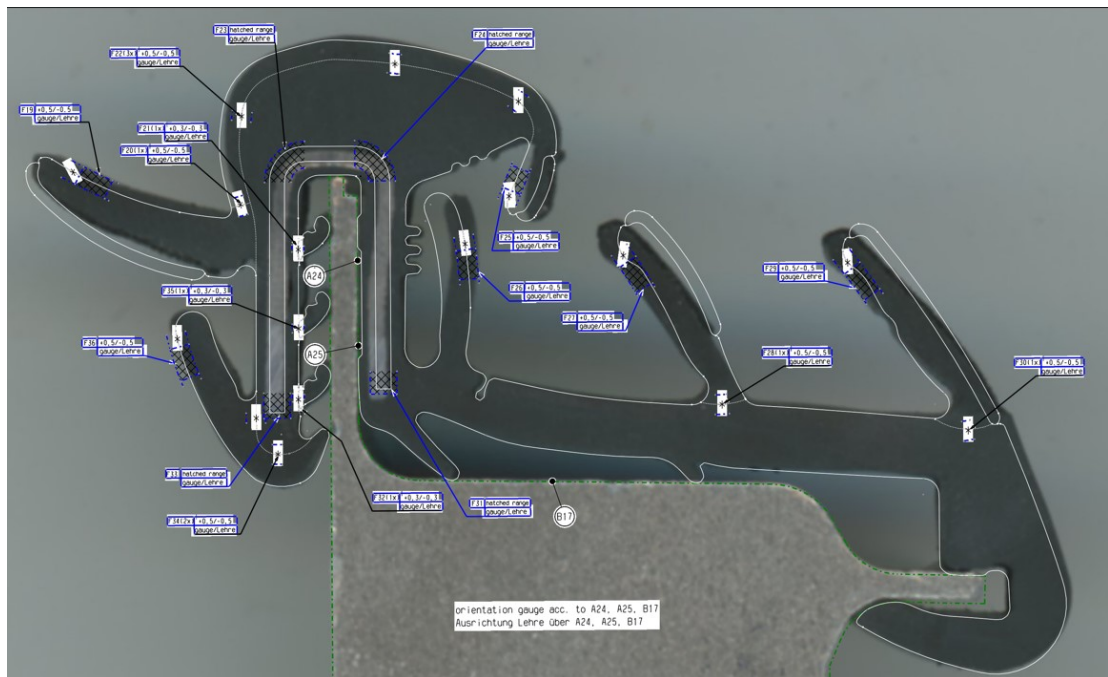
Obrázok 61. Časový graf priemerov z meraní ZS v čase pre profil B stĺpika

Na obrázku č. 62 je vyobrazený variačný koeficient z meraní ZS profilu B stĺpika. Variačný koeficient je určený pre merania ZS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie. Zvýraznená červená hranica bola zvolená ako kontrolná hranica a stanovená na 10 %.

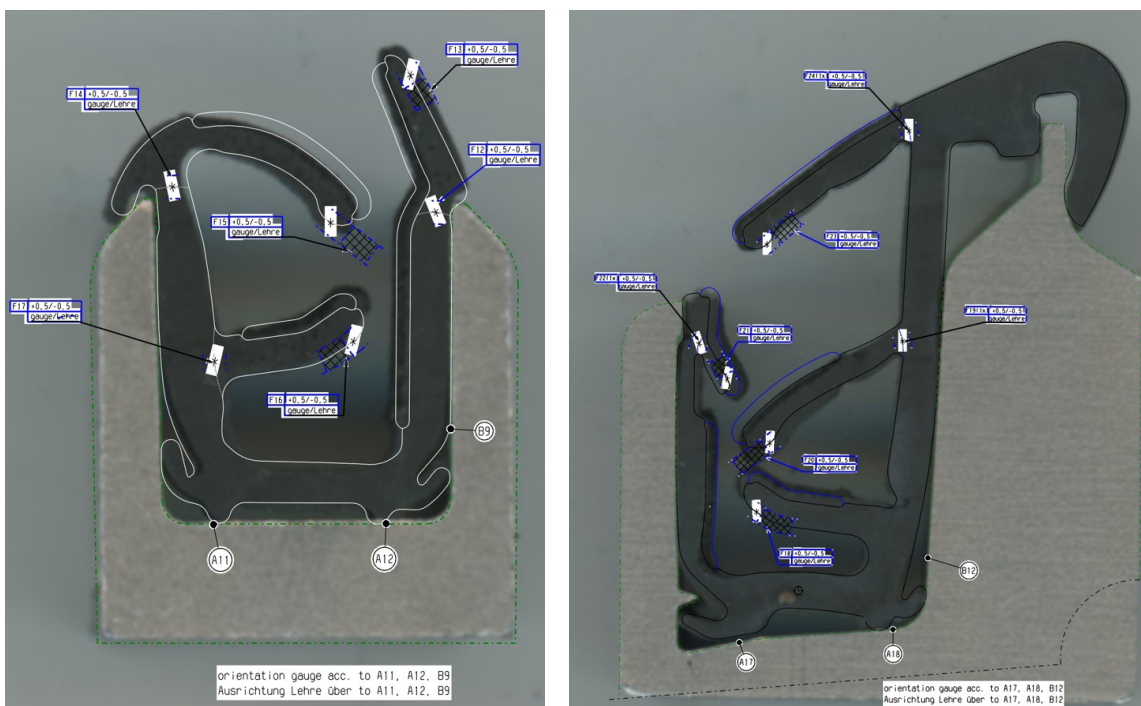


Obrázok 62. Variačný koeficient (B stĺpik) meraní pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie

Vzorky čiernej strechy, A stĺpika, B stĺpika z posledných extrúzií boli podrobené analýze tvarovej presnosti. V definovanom mieste profilu sa vzorka oddelila a plocha rezu sa zabrusila na kotúčovej brúske. Vzorka potom bola na štandardnom 2D skeneri nasnímaná. Získaný snímok sa vložil do CAD softwaru, kde sa jeho kontúra porovnávala s originálom výkresovej dokumentácie (Obr. 63 a Obr. 64).



Obrázok 63. Sken prierezu profilom čiernej strechy z 9.3.2023



Obrázok 64. Sken prierezu profilov A stĺpika zo 17.3.2023 a B stĺpika z 24.2.2023

## ZÁVER

Riadenie charakteristiky narážacích a zádržných síl tesnenia je náročné z pohľadu veľkého množstva spracovávaných dát, ktoré je potrebné sledovať v čase. Bežným spôsobom boli namerané dáta vedené len v tabuľkách, ktorých veľkou nevýhodou je zhoršená názornosť, ktoré zhromaždené informácie obsahujú. Bolo potrebné zachytiť priebehy narážacích a zádržných síl tesnenia v čase.

Prvým krokom bol správny a včasný odber vzoriek, ktoré prezentovali celú výrobnú dávku z danej extrúzie. Vzorky boli ďalej premerané danou technikou podľa normy PV3365 [22]. 20 vzoriek bolo skúšaných vždy pri extrúzii profilu a ďalších 20 vzoriek bolo uchovaných a premeraných po 3 dňoch od ich extrúzie.

Vzhľadom k obsiahlosti celého projektu a limitovanému rozsahu diplomovej práce sú v praktickej časti použité predovšetkým najdôležitejšie poznatky, ktoré majú primárny vplyv na vypovedajúcu hodnotu síl. Namerané hodnoty boli vyhodnocované v softvéri Minitab 17. V tomto softvéri bol vytvorený aj tzv. nový vizualizačný nástroj priebehov síl tesnenia v čase, v ktorom je možné sledovanú charakteristiku riadiť už počas extrúzie profilu, keďže meraniami bolo dokázané, že hodnoty sledovaných charakteristík pri extrúzii a po troch dňoch od ich extrúzie sa štatisticky významne líšia (Tab. 5 a Tab. 6).

V grafe časovej závislosti meraní narážacej sily profilu čiernej strechy sú vynesené dve hranice, jednou je zákaznícka špecifikácia, a to  $< 50$  N. Narážacia sila strešného profilu nesmie túto hranicu prekročiť. Druhou, kontrolnou hranicou (UL), je o približne 20 % prísnejšie zvolená hodnota, ako požaduje zákazník. Z grafu (Obr. 50 a Obr. 51) je vidieť, že narážacia sila strešného profilu z 3.6.2022 vyšla po opätovnom premeraní po 3 dňoch od extrúzie 56,8 N. Z pohľadu NS bola extrúzia vyhodnotená neúspešne. Nárast sily bol medzi meraním pri extrúzii profilu a po 3 dňoch o 93,7 %. Príčinou boli parametre extrúzneho linky, kde rýchlosť extrúzie bola nastavená na vyššie hodnoty a teploty teplovzdušného kanála a UHF boli nižšie, ako bolo predpísané v technologickom predpise. Práve tieto parametre sú dôležité sledované parametre procesu vulkanizácie. S týmto zistením, boli polotovary preverené z pohľadu vulkanizácie. Vulkanizácia nebola dostatočná, z toho dôvodu boli profily dodatočne dovulkanizované v peci. Príčinou nárastu sily medzi meraniami pri extrúzii a po 3 dňoch od ich extrúzie teda bolo, že meranie pri extrúzii sa vykonalo ešte na profiloch, ktoré neboli úplne zvulkanizované a ďalšie merania na dodatočne zvulkanizovaných profiloch malo vplyv na nárast narážacej sily.

V grafe časovej závislosti meraní zádržnej sily profilu čiernej strechy sú taktiež vynesené dve hranice. Červená hranica predstavuje špecifikáciu určenú zákazníkom, a to  $> 150$  N. Zádržná sila strešného profilu nesmie pod túto hranicu klesnúť. Druhou hranicou je kontrolná hranica, nastavená o 15 % prísnejšie ako požaduje zákazník. Z grafu (Obr. 53) je vidieť, že v prípade prekročenia tejto kontrolnej hranice počas extrúzie, je možné očakávať, že profil z tohto dátumu po analýze po 3 dňoch už nebude spĺňať špecifikáciu. Z vytvorených kontrolných grafov je vidieť (Obr. 52 a Obr. 53), že veľkým problémom je udržať zádržnú silu čiernej strechy nad 150 N podľa požiadaviek zákazníka. Zádržná sila meraná pri extrúzii špecifikáciu dosahovala vo väčšine prípadoch, avšak po opätovnom premeraní po 3 dňoch, zádržná sila klesla pod zákaznícku špecifikáciu. Z toho dôvodu bola vyskúšaná pri extrúzii z 22.8.22 zmes typu „A“ a extrúzia bola vyhodnotená úspešne. Po extrúzii z 20.9.22, kedy zádržná sila dosiahla špecifikáciu, avšak sa priblížila k červenej, zákazníckej, hranici bola nasledujúca extrúzia z 10.1.2023 dôkladne sledovaná. Zádržné sily z tejto extrúzie opätovne nedosiahli zákaznícku špecifikáciu, a teda muselo byť navrhnuté technické riešenie. Riešením bolo zväčšenie hustoty vnútorných jazýčkov v narážacej oblasti (Obr. 54). Extrúzia z 9.3.2023 z pohľadu narážacích a zádržných síl bola vyhodnotená úspešne.

V časovej závislosti meraní zádržnej sily z jednotlivých extrúzii profilu A stĺpika (Obr. 57 a Obr. 58) sú vynesené dve hranice. Jednou je červená hranica, ktorá predstavuje špecifikáciu určenú zákazníkom, a to  $\geq 25$  N. Druhou kontrolnou hranicou (LL) je zvolená hodnota, čo je približne o 25 % prísnejšie nastavená hranica ako požaduje zákazník. Z časových závislosti je vidieť kolísanie síl medzi jednotlivými dátumami extrúzie. Toto kolísanie, resp. zmeny síl medzi extrúziami z 13.4.21, 10.8.22 a 31.8.22 v porovnaní s ostatnými nastalo z dôvodu použitia inej verzie zmesi, vzhľadom k zlepšovaniu inej charakteristiky ako ZS profilu.

V grafe časovej závislosti meraní zádržných síl profilu B stĺpika sú taktiež vynesené dve hranice, identicky ako u profilu A stĺpika. Z grafov (Obr. 60 a Obr. 61) je vidieť kolísanie síl medzi jednotlivými dátumami extrúzie, ktoré sa dajú rozdeliť do dvoch skupín. Pri extrúziach zo 16.4.21, 23.9.22 a 18.10.22 bola použitá zmes typu „B“ a pri extrúziach z 13.4.22, 8.8.22, 3.1.23, 24.2.23 zmes typu „C“. Tak ako už bolo spomenuté, skúšanie za použitia inej verzie zmesi, prebehlo kvôli zlepšovaniu inej charakteristiky ako ZS profilu. Pri poslednej extrúzii z 24.2.23 je možné vidieť, že ZS klesla na kontrolnú hranicu. Z toho dôvodu boli skontrolované parametre extrúzneho linky počas tejto extrúzie. Preverení boli zistené, že ku koncu extrúzie boli nižšie teploty v UHF kanáli z dôvodu

výpadku jedného z magnetrónov, ktoré mikrovlnné žiarenie generujú. Práve toto bolo príčinou, že hodnoty ZS boli o 56,8 % nižšie pri meraní po 3 dňoch v porovnaní s meraniami pri extrúzii, kedy profil nebol úplne zvulkanizovaný.

Ďalším vytvoreným nástrojom bolo vyobrazenie veľkosti variačných koeficientov pre jednotlivé merania narážacích a zádržných síl strešného profilu (Obr. 55 a Obr. 56) a zádržných síl profilov A a B stĺpika (Obr. 59 a Obr. 62). Zvýraznená hranica bola zvolená ako kontrolná hranica a stanovená na 10 %. Tento nástroj potvrdzuje, že stredné hodnoty nameraných dát nie sú znehodnotené rozptylom.

Variačný koeficient z meraní zádržnej sily profilu A stĺpika z extrúzie zo 7.10.22 (Obr. 59) je vyhodnotený na 11,15 %, a teda kontrolnú hranicu prekročil. Dôvodom prekročenia bol príliš veľký rozptyl medzi meraniami na začiatku extrúzie, kedy prebiehalo ladenie profilu z pohľadu tvaru prierezu a výkresových tolerancií, a po ustálení extrúzie.

Takto vytvorené vizualizačné nástroje meraní síl tesnenia sú zákazníkovi poskytnuté, z ktorých môže vidieť, ako sa jeho tesnenie správa v priebehu času, prípadne v presne zvolenom dátumu extrúzie. Vytvorený vizualizačný nástroj je prehľadnejší a názornejší v porovnaní s tabuľkovým systémom spracovania nameraných dát.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] LIN, Chun-Liang. Robust Design of Glass Run-Channel Seal. 2004-03-08. Dostupné z doi: 10.4271/2004-01-1687
- [2] Door Glass Runs. Shidarubber [online]. Qinghe (China). Dostupné z: <https://www.shidarubber.com/automotive-weatherstrips/door-glass-runs-channels-window-glass-run-channels-china-manufacturer-supplier-factory/>
- [3] SEALING SYSTEM APPLICATIONS [online]. Michigan. Dostupné z: <https://nbjxusa.net/en/products/sealingsystems>
- [4] WAGNER, John R., Eldridge M. MOUNT a Harold F. GILES. 49 - Profile Extrusion: Extrusion (Second Edition). 2th ed. USA: William Andrew Publishing, 2014. ISBN 978-143-7734-812.
- [5] LIMPER, Andreas; SCHRAMM, Dominik. Process Description for the Extrusion of Rubber Compounds - Development and Evaluation of a Screw Design Software. Macromolecular Materials and Engineering. 2002, vol. 287, no. 11 s. 824-835, [online], ISSN:1438-7492.
- [6] MICHAELI Walter, Extrusion dies for plastics and rubber: design and engineering computations. 3rd rev. ed. Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 2003, 362 p. ISBN 978-3-446-40181-5.
- [7] DUCHÁČEK Vratislav. Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VSCHŠT, 2006. Str. 126. ISBN 80-7080-617-6.
- [8] JCGM/WG2. Terminologie z oblasti metrologie. [Online] 2. vyd. překl. Pospíšil M. Praha: ÚNMZ, 2010. Sborníky Technické Normalizace ÚNMZ.
- [9] VIM4. INTERNATIONAL VOCABULARY OF METROLOGY. 4th ed. Joint Committee for Guides in Metrology, 2021
- [10] STN 01 0115. Terminológia v metrologii. Slovenský ústav technickej normalizácie, 2011
- [11] CORPORATION, DaimlerChrysler. Measurement systems analysis: reference manual. 4th ed. Detroit, Mich: DaimlerChrysler, 2010. ISBN 978-160-5342-115.
- [12] Sborník technické harmonizace, 2010. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [online]. 2010

- [13] Pokyn Eurachem / CITAC: Průvodce kvality v analytické chemii. Pomůcka k akreditaci, Barwick (Ed), 3. vyd. 2016. ISBN 978-80-86322-10-0.
- [14] CZICHOS, Horst, Tetsuya SAITO a Leslie SMITH. Springer Handbook of Metrology and Testing. 2., nd Edition. Berlin: Springer Berlin, 2011. ISBN 978-364-2166-402.
- [15] Metrologie a hodnocení procesů. ISBN 978-80-7300-249-7 vydalo nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2009
- [16] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2196-8.
- [17] KRUŽLICOVÁ, Dáša. CHEMOMETRIA. Trnava: Univerzita sv. Cyrila a Metoda, 2015. ISBN 978-80-8105-671-0.
- [18] MELOUN, Milan. Nejlepší odhady polohy a rozptýlení chemických dat. Pardubice, 2002. Konference. Univerzita Pardubice
- [19] BRANDT, Siegmunt. *Data analysis: statistical and computational methods for scientists and engineers*. 4th ed. Přeložil Glen COWAN. Cham: Springer, c2014. ISBN 978-3-319-03761-5.
- [20] SANCHEZ-MARQUEZ, Rafael a José Manuel JABALOYES VIVAS. Multivariate SPC methods for controlling manufacturing processes using predictive models – A case study in the automotive sector. *Computers in Industry*. 2020, 123. ISSN 01663615.
- [21] AGGARWAL, Charu C. *Data Mining: The Textbook*. Cham: Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3-319-14142-8.
- [22] PV3365: Body Seals. Determining the Slip-On and Pull-Off Force. 3. dopl. vyd. 2019



**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

SG	SaarGummi Slovakia
NS	Narážacia sila
ZS	Zádržná sila
TPE	Termoplastický elastomér
EPDM	Ethylen-propylen-dienový kaučuk
FEM	„Finite-Elemente-Methode“ / Metóda konečných prvkov
CAD	„Computer-aided desing“
UHF	„Ultra High Frequency“ / Mikrovlnné žiarenie
R	Polomer
°C	Stupeň Celzia
N	Newton
mm	milimeter
F	Sila
$F_{\max NS}$	Maximálna nárazacia sila
$F_{\max ZS}$	Maximálna zádržná sila
s	Dráha
$\bar{x}$	Stredná hodnota
$\Delta$	Delta
$\Theta$	Théta
s	Rozptyl
n	Rozsah výberu
$\hat{x}_{MOD}$	Módus
$\tilde{x}_{0,5}$	Výberový medián
$P_i$	Poradová pravdepodobnosť
$\mu$	Mí

$\alpha$	Alfa
EDA	Exploratorna dátová analýza
UL	„Upper Line“ / Horný kontrolný limit
LL	„Lower Line“ / Dolný kontrolný limit

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

Obrázok 1. Tesnenie vedenia skla .....	11
Obrázok 2. Tesnenie vedenia skla – predné ľavé, SG .....	11
Obrázok 3. Definičné rezy strešného profilu – lesklá v porovnaní s čiernou verziou, SG..	12
Obrázok 4. Kategórie tesnení automobilov .....	13
Obrázok 5. 3D dáta karosérie dverí s tesnením vedenia skla („Assembly design“), SG.....	15
Obrázok 6. Prevod 3D dát do 2D formy – naznačenie rezov, SG .....	15
Obrázok 7. Rez B-B, SG.....	15
Obrázok 8. Rez profilom B stĺpika vrátane okolitých dielov .....	16
Obrázok 9. Rez C-C, SG.....	18
Obrázok 10. Rez strešným profilom vrátane okolitých dielov .....	18
Obrázok 11. Rez A-A, SG .....	20
Obrázok 12. Rez profilom A stĺpika vrátane okolitých dielov .....	20
Obrázok 13. Jednozávitový extrúder .....	23
Obrázok 14. Úprava hubice na dosiahnutie štvorcového tvaru .....	25
Obrázok 15. Tlaky v závitovom extrúderi .....	26
Obrázok 16. Zobrazenie systematickej chyby .....	33
Obrázok 17. Zobrazenie stability .....	34
Obrázok 18. Zobrazenie opakovateľnosti .....	34
Obrázok 19. Zobrazenie reprodukovateľnosti .....	35
Obrázok 20. Konštrukcia bariérovo-číslícovej schémy .....	41
Obrázok 21. Kvantilové grafy (robustné a klasické) .....	42
Obrázok 22. Diagramu rozptýlenia a rozmietnutý diagram .....	43
Obrázok 23. Krabicový graf a vrubový krabicový graf.....	43
Obrázok 24. Grafy polosum.....	44
Obrázok 25. Grafy symetrie.....	44
Obrázok 26. Graf rozptýlenia .....	45
Obrázok 27. Jadrové odhady hustoty pravdepodobnosti .....	46
Obrázok 28. Grafy Q-Q .....	46
Obrázok 29. Kontrola prierezu strešným profilom .....	54
Obrázok 30. Kontrola prierezu profilom A stĺpika a B stĺpika.....	54
Obrázok 31. Usporiadanie skúšobného prípravku podľa normy .....	55
Obrázok 32. Usporiadanie skúšobného prípravku pre meranie vzoriek strešného profilu ..	55
Obrázok 33. Usporiadanie skúšobného prípravku pre meranie ZS vzoriek A stĺpika.....	56
Obrázok 34. Usporiadanie skúšobného prípravku pre meranie ZS vzoriek B stĺpika .....	56

Obrázok 35. Vzorka strešného profilu o dĺžke 300 mm .....	57
Obrázok 36. Vzorka strešného profilu po orezaní jazykov .....	57
Obrázok 37. Vzorka strešného profilu narazená na pomocné plechy.....	57
Obrázok 38. Pohľad uchytenia vzorky v meracom zariadení.....	57
Obrázok 39. Vzorka A stĺpika o dĺžke 100 mm .....	58
Obrázok 40. Vzorka A stĺpika v prípravku.....	58
Obrázok 41. Vzorka B stĺpika o dĺžke 100 mm.....	58
Obrázok 42. Vzorka B stĺpika v prípravku .....	58
Obrázok 43. Meranie NS a ZS.....	59
Obrázok 44. Meranie ZS stĺpikov smerom hore.....	60
Obrázok 45. Príklad krivky posunu-zat'azenia pre silu F a dráhu s.....	60
Obrázok 46. Pravdepodobnostný graf (Q-Q graf) .....	61
Obrázok 47. Histogram pre sériu meraní ZS strešného profilu .....	62
Obrázok 48. Graf boxplot pre sériu ZS strešného profilu z 9.3.2023.....	62
Obrázok 49. Grafický sumár meraní NS čiernej strechy z 9.3.2023 .....	63
Obrázok 50. Časový graf meraní NS v čase pre profil čiernej strechy.....	65
Obrázok 51. Časový graf priemerov z meraní NS v čase pre profil čiernej strechy .....	66
Obrázok 52. Časový graf meraní ZS v čase pre profil čiernej strechy .....	67
Obrázok 53. Časový graf priemerov z meraní ZS v čase pre profil čiernej strechy .....	68
Obrázok 54. Zmena nástroja – zväčšenie hustoty vnútorných jazyčkov, SG.....	68
Obrázok 55. Variačný koeficient pre merania NS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie....	69
Obrázok 56. Variačný koeficient merania ZS pri extrúzii a po 3 dňoch od extrúzie .....	69
Obrázok 57. Časový graf meraní ZS v čase pre profil A stĺpika .....	70
Obrázok 58. Časový graf priemerov z meraní ZS v čase pre profil A stĺpika.....	71
Obrázok 59. Variačný koeficient (A stĺpik) meraní ZS.....	72
Obrázok 60. Časový graf jednotlivých meraní ZS v čase pre profil B stĺpika .....	72
Obrázok 61. Časový graf priemerov z meraní ZS v čase pre profil B stĺpika .....	73
Obrázok 62. Variačný koeficient (B stĺpik) meraní.....	74
Obrázok 63. Sken prierezu profilom čiernej strechy z 9.3.2023 .....	75
Obrázok 64. Sken prierezu profilov A stĺpika zo 17.3.2023 a B stĺpika z 24.2.2023 .....	75

**ZOZNAM TABULIEK**

Tabuľka 1. Označenie písmenových hodnôt.....	42
Tabuľka 2. Zber vzoriek pre profil čiernej strechy .....	52
Tabuľka 3. Zber vzoriek pre profil A stĺpika.....	53
Tabuľka 4. Zber vzoriek pre profil B stĺpika .....	53
Tabuľka 5. Stredné hodnoty ZS stĺpikových profilov .....	63
Tabuľka 6. Stredné hodnoty NS/ZS strešného profilu.....	64

## **ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha P I: Výstup z merania NS a ZS, strešný profil

Príloha P II: Výstup z merania ZS, A stĺpik

Príloha P III: Výstup z merania ZS, B stĺpik

Príloha P IV: Vyhodnotenie NS a ZS čiernej strechy

Príloha P V: Vyhodnotenie ZS stĺpikov

# PRÍLOHA P I: VÝSTUP Z MERANIA NS A ZS, STREŠNÝ PROFIL



Protokol

12.03.2023

**Parametre:**

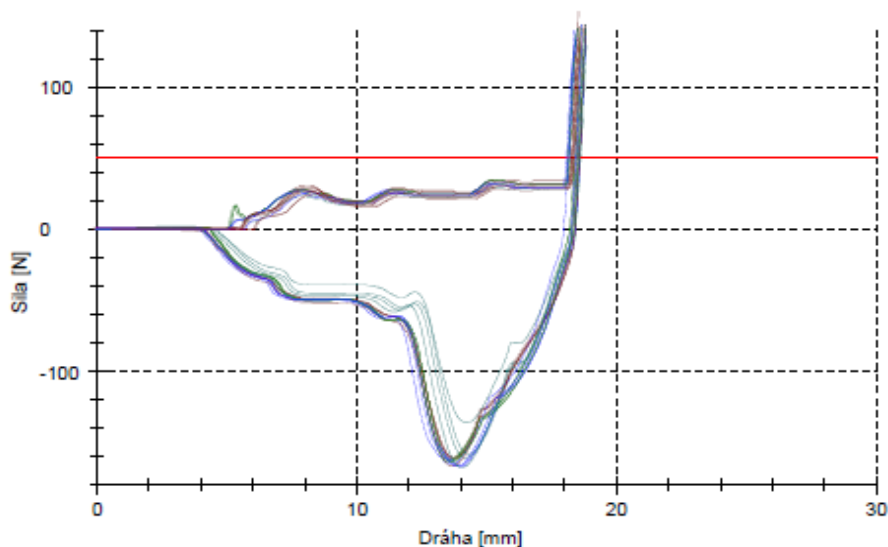
Názov tesnenia : Vedenie skla predné  
 Profil : Strecha čierna  
 Dátum extrúzie : 9.3.2023  
 Test : NS / ZS  
 Standard : PV 3365

Špecifikácia : 1,8 mm plech  
 Podmienky : Dodaný stav  
 Rýchlosť skúšky : 30 mm / 50 mm / min.  
 Technik : Demová R.

**Výsledky:**

Legenda	Nr	Poznámky	Narážacia sila N	Zádržná sila N
	max.		50,0	---
	min.		---	150,0
	1		30,9	161,8
	2		28,9	158,6
	3		32,0	169,2
	4		35,6	181,9
	5		38,8	196,1
	6		33,1	153,1
	7		34,8	186,7
	8		31,8	166,5
	9		34,0	175,7
	10		34,2	180,4
	11		36,7	173,9
	12		33,5	177,6
	13		34,7	179,2
	14		35,2	170,0
	15		33,1	173,6
	16		28,0	172,1
	17		29,6	171,2
	18		29,9	174,5
	19		27,1	183,6
	20		37,8	180,5

**Graf:**



# PRÍLOHA P II: VÝSTUP Z MERANIA ZS, A STĽPIK

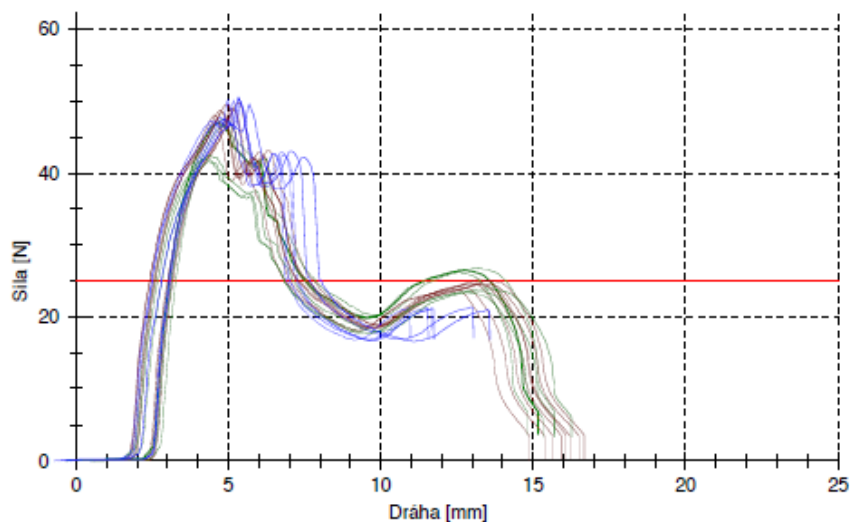
## Parametre:

Názov tesnenia	: Vedenie skla predné	Špecifikácia	: min. 25 N / 100mm
Profil	: A Stĺpik	Podmienky	: Dodaný stav
Dátum extrúzie	: 17.03.2023	Rýchlosť skúšky	: 50 mm / min
Test	: ZS	Technik	: Demová R.
Standard	: PV 3365		

## Výsledky:

Legenda	Č.	F max. N	Legenda	Č.	F max. N
	max.	---		max.	---
	min.	25,0		min.	25,0
	1	51,4		11	50,0
	2	48,0		12	51,4
	3	52,0		13	48,9
	4	49,4		14	51,3
	5	53,3		15	48,3
	6	50,6		16	49,1
	7	50,8		17	49,5
	8	46,9		18	50,3
	9	50,0		19	47,5
	10	47,0		20	53,2

## Graf:





# PRÍLOHA P III: VÝSTUP Z MERANIA ZS, B STĽPIK

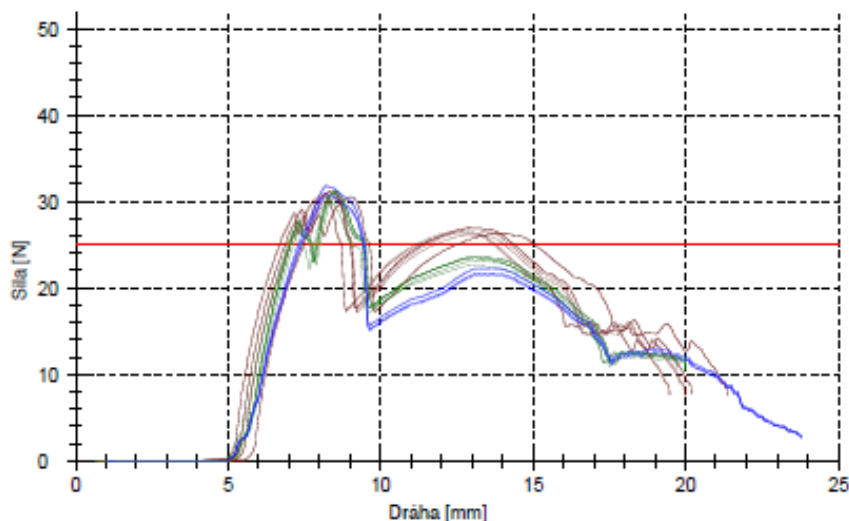
## Parametre:

Názov tesnenia	: Vedenie skla predné	Špecifikácia	: min. 25 N / 100mm
Profil	: B Stĺpik	Podmienky	: Dodaný stav
Dátum extrúzie	: 24.02.2023	Rýchlosť skúšky	: 50 mm / min
Test	: ZS	Technik	: Demová R.
Standard	: PV 3365		

## Výsledky:

Legenda	Č.	F max. N	Legenda	Č.	F max. N
	max.	---		max.	---
	min.	25,0		min.	25,0
	1	32,1		11	32,7
	2	34,7		12	33,7
	3	36,8		13	31,6
	4	30,0		14	31,2
	5	33,6		15	34,5
	6	31,9		16	34,7
	7	35,7		17	26,7
	8	35,6		18	32,1
	9	29,9		19	31,3
	10	34,7		20	31,6

## Graf:



## PRÍLOHA P IV: VYHODNOTENIE NS A ZS ČIERNEJ STRECHY

Profil čiernej strechy	NS [N] 9.3.23 EXT	NS [N] 9.3.23 Po 3 dňoch	ZS [N] 9.3.23 EXT	ZS [N] 9.3.23 Po 3 dňoch
Aritmetický priemer	36,129	32,989	175,09	174,31
Smerodajná odchýlka	5,188	3,214	9,07	9,89
Rozptyl	26,91	10,33	82,24	97,81
Plochosť	0,59	-0,13	0,10	-0,12
Šikmosť	0,74	-0,60	-0,02	0,66
Veľkosť súboru	20	20	20	20
Minimum	27,60	27,10	156,20	153,10
Prvý kvartil	31,88	30,17	169,18	169,40
Medián	36,20	33,30	174,50	174,22
Tretí kvartil	39,16	35,11	180,42	180,47
Maximum	49,30	38,80	192,48	196,10
95% Interval spoľahlivosti pre priemer	LL: 33,70    UL: 38,56	LL: 31,49    UL: 34,49	LL: 170,84    UL: 179,33	LL: 169,68    UL: 178,94
95% Interval spoľahlivosti pre medián	LL: 32,61    UL: 38,99	LL: 31,11    UL: 34,79	LL: 170,11    UL: 179,99	LL: 170,28    UL: 180,12
95% Interval spoľahlivosti pre smerodajnú odchýlku	LL: 3,95    UL: 7,58	LL: 2,44    UL: 4,70	LL: 6,90    UL: 13,25	LL: 7,52    UL: 14,44
P – Hodnota	0,89	0,93	0,90	0,86
Variačný koeficient [%]	14,36	9,74	5,18	5,67

## PRÍLOHA P V: VYHODNOTENIE ZS STĽPIKOV

Profil A stĺpika a B stĺpika	ZS [N] 17.3.23_EXT A stĺpik	ZS [N] 17.3.23_Po 3 dňoch A stĺpik	ZS [N] 24.2.23_EXT B stĺpik	ZS [N] 24.2.23_Po 3 dňoch B stĺpik
Aritmetický priemer	56,49	49,99	75,91	32,76
Smerodajná odchýlka	2,10	1,89	3,66	2,42
Rozptyl	4,40	3,57	0,68	0,52
Plochosť	-0,59	-0,01	13,38	5,84
Šikmosť	-0,18	-0,70	-0,15	-0,55
Veľkosť súboru	20	20	20	20
Minimum	51,86	46,87	68,99	26,71
Prvý kvartil	55,11	48,44	73,12	31,37
Medián	56,78	50,15	76,21	32,40
Tretí kvartil	58,10	51,41	78,56	34,69
Maximum	59,61	53,31	83,39	36,83
95% Interval spoľahlivosti pre priemer	LL: 55,51 UL: 57,48	LL: 49,11 UL: 50,88	LL: 74,20 UL: 77,63	LL: 31,63 UL: 33,89
95% Interval spoľahlivosti pre medián	LL: 55,48 UL: 57,79	LL: 48,90 UL: 51,24	LL: 74,78 UL: 78,06	LL: 31,61 UL: 34,64
95% Interval spoľahlivosti pre smerodajnú odchýlku	LL: 1,60 UL: 3,06	LL: 1,44 UL: 2,76	LL: 2,78 UL: 5,34	LL: 1,84 UL: 3,53
P – Hodnota	0,76	0,92	0,68	0,52
Variačný koeficient [%]	3,71	3,78	4,82	7,38