

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Štíhlá výroba a metoda Six Sigma v elektrotechnickém průmyslu

**Vedoucí práce: Ing. Radek Soukup, Ph.D.
Autor práce: Bc. Jan Lenk**

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan LENK**
Osobní číslo: **E10N0034P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Štíhlá výroba a metoda Six Sigma v elektrotechnickém průmyslu**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Popište zásady štíhlé výroby a metody Six Sigma.
2. Kriticky zhodnoťte metodu Lean Six Sigma a následující metodiky Six Sigma: DMAIC, DMADV, DFSS.
3. Popište nástroje a metody používané v metodě Six Sigma a ukažte jejich použití v případové studii.
4. Rozeberte použití metod štíhlé výroby, Six Sigma a Lean Six Sigma v elektrotechnickém průmyslu.

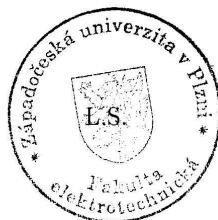
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

1. Kapesní příručka Lean Six Sigma : rychlý průvodce téměř 100 nástroji na zlepšování kvality procesů, rychlosti a komplexity / Michael L. George; překlad Kateřina Hodická. 1. vyd. Brno. SC&C Partner. 2010. 280 s.
Název originálu: Lean Six Sigma pocket toolbox. ISBN: 978-80-904099-2-7
2. Töpfer, A. a kol. - Six sigma, Koncepce a praktické příklady pro bezchybné řízení, Computer Press 2008, ISBN 978-80-251-1766-8.
3. NOVOTNÝ, R. Šest pilířů koncepce six sigma a jejich praktická úskalí. Moderní řízení, 2007, roč. 2007, č. 3, s. 30-35. ISSN 0026-8720.
4. George, Mike, Rowlands, Dave, Kastle, Bill (2005), Co je to Lean Six Sigma?, SC&C Partner Brno, ISBN 80-239-5172-6.
5. Pande, Peter S., Neuman, Robert P., Cavanagh, Roland R. (2002), Zavádíme Metodu Six Sigma, přeložil Ing. Martin Lhoták a kolektiv, TwinsCom s.r.o., ISBN 80-238-9289-4.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radek Soukup, Ph.D.**
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: **17. října 2011**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Hamerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace:

Práce je zaměřena na zásady štíhlé výroby a metody Six Sigma. Práce obsahuje popis metod štíhlé výroby – Kaizen, Kanban, Just-in-time, Poka-yoke, 5S a 5Proč, zhodnocení metod a dalších metodik Six Sigma a informace o Six Sigma týmu. Metodiky Six Sigma jsou DMAIC, DMADV a FDSS. Dále práce obsahuje statistiku o společnostech využívajících Six Sigma. V práci je popsáno použití nástrojů a hodnotících metod Six Sigma – bodový diagram, časový digram, histogram, test normality, souhrn a analýza rozptylu a jejich aplikace v případové studii.

Klíčová slova: Six Sigma, štíhlá výroba, Lean Six Sigma

Abstract: Lean manufacturing and Six Sigma method in the electrical engineering industry

The thesis is focused on the principles of lean manufacturing and Six Sigma methods. The thesis includes description of the methods of Lean manufacturing - Kaizen, Kanban, Just-in-time, Poka-yoke, 5S a 5Whys, assessment of methods and other Six Sigma methodologies and information about team of Six Sigma.. Six Sigma methodologies are DMAIC, DMADV a FDSS. The statistics about Six Sigma companies is in this thesis too. This thesis describes the use of tools and evaluation methods of Six Sigma – dotplot, time series plot, histogram, normality test, summary and analysis of variance and their application in the case study.

Keywords: Six Sigma, lean manufacturing, Lean Six Sigma

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 23.4.2012

Jan Lenk

.....

Poděkování

Děkuji Ing. Radku Soukupovi, Ph.D. za hodnotné rady a odborné vedení mé práce.

Obsah

Obsah	5
Úvod	7
Seznam použitých symbolů a zkratek	8
1 Six Sigma	9
1.1 Základní charakteristika Six Sigma	9
1.1.1 Historie, vývoj	9
1.1.2 Evropský klub Six Sigma	9
1.1.3 Definice	9
1.1.4 Metodiky Six Sigma	12
1.2 DMAIC	12
1.2.1 Define – definovat	13
1.2.2 Measure – měření	13
1.2.3 Analyse – analyzovat	13
1.2.4 Improve – zlepšit	14
1.2.5 Control – řídit	14
1.2.6 Zhodnocení DMAIC	14
1.3 DFSS	15
1.4 DMADV	15
1.4.1 Define – definovat	16
1.4.2 Measure - měřit	16
1.4.3 Analyse – analyzovat	16
1.4.4 Design – návrh	16
1.4.5 Verify - ověření	16
1.4.6 Zhodnocení DMADV	16
1.5 Zavedení Six Sigma	18
1.6 Řešitelský tým Six Sigma – role a školení	18
1.6.1 Rada kvality.....	18
1.6.2 Sponzor.....	19
1.6.3 Champion	19
1.6.4 Master Black Belt.....	19
1.6.5 Black Belt.....	20

1.6.6	Green Belt	20
1.7	Nástroje.....	22
1.7.1	VOC, CTQ a CTP	22
1.7.2	SIPOC.....	23
1.7.3	Sedm základních nástrojů pro řízení a zlepšování kvality	24
1.7.4	Vývojový diagram.....	24
1.7.5	Ishikawův diagram	25
1.7.6	Paretova analýza.....	26
1.7.7	Histogramy	27
1.7.8	Sběr dat.....	28
1.7.9	Korelační analýza	28
1.7.10	Regulační diagramy.....	29
1.7.11	Pokročilé nástroje	30
2	Štíhlá výroba.....	33
2.1	Základní charakteristika	33
2.1.1	Historie	33
2.1.2	Nový výrobní systém Toyoty.....	34
2.2	Nástroje a techniky.....	35
2.2.1	Kaizen.....	35
2.2.2	Just-in-time (JIT).....	36
2.2.3	Kanban	37
2.2.4	Poka-yoke.....	37
2.2.5	5S.....	38
2.2.6	5 Why (5 Proč)	38
3	Lean Six Sigma	39
4	Štíhlá výroba, Six Sixma a Lean Six Sigma v elektrotechnickém průmyslu a dalších odvětvích	40
5	Případová studie.....	43
	Závěr.....	50
	Seznam literatury a informačních zdrojů.....	52
	Seznam příloh	54
	Přílohy	1

Úvod

V dnešním konkurenčním světě není prostor pro chyby. Ten, kdo chyby dělá, je neúspěšný, kdo je neodstraní, krachuje. Zákazníci požadují kvalitu, rychlost a nízké náklady. Ten, kdo dokáže takto vyrábět a nabízet své služby, může být úspěšný.

Filosofie, metody a nástroje, které vedou k tomuto cíli, jsou předmětem této práce. Jsou zde popsány a rozděleny metody Six Sigma, Lean Six Sigma a zásady štíhlé výroby. Práce obsahuje terminologii, popis a v některých případech porovnání jednotlivých metod, které pomáhají největším společnostem udržet se na vrcholu ve svých oborech. To je zajištěno zlepšováním výrobních procesů a odstraňováním nežádoucích chyb, což vede ke zrychlení a zvýšení produktivity procesu a snížení nákladů.

Popisované metody nejsou univerzálním lékem pro všechny společnosti, které se rozhodnou pro jejich zavedení. Některé metody jsou vhodné pouze pro podniky, jejichž produkce dosahuje milionů kusů výrobků denně, některé lze použít celoplošně. Rozdíl je také to, že metody jsou založeny na různých principech svého použití. Některé metody představují filosofii, pohled a způsob myšlení, kterému se musejí přizpůsobit všichni zaměstnanci podniku, aby tato metoda mohla přinést své výsledky. Zde mohou nastat problémy při zavádění nové způsobu vedení a aplikaci nových metod, které mohou vést k celkové reorganizaci podniku, změně pracovních postupů a zapojení řadových zaměstnanců do zlepšovacích opatření. Velká část metod vznikla v Japonsku, proto jejich zavedení v jiné zemi nemusí být jednoduché vzhledem k odlišné mentalitě různých národů. Další metody jsou striktně založeny na datech, naměřených hodnotách, jasných výsledcích a na jejich následném vyhodnocení pomocí matematické statistiky.

Použití některých nástrojů je předvedeno v případové studii. Součástí případová studie je vysvětlení používaných diagramy a jednotlivých hodnot.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Zkratka	Anglický popis	Český popis
DPMO	defects per million opportunities	počet vad na milion příležitostí
ESSC	European Six Sigma club	evropský Six Sigma klub
VOC	voice of customer	hlas zákazníka
CTQ	critical to quality	parametr kritický z pohledu zákazníka
CTP	critical to process	parametr kritický z pohledu organizace
FMEA	failure mode and effect analysis	analýza možných vad a jejich příčin
VSM	value stream map	mapa toku hodnoty
ANOVA	analysis of variance	analýza rozptylu
CL	central line	střední hodnota
LCL	lower control limit	dolní regulační limit
UCL	upper ontrol limit	horní regulační limit
JIT	just-in-time	právě včas

1 Six Sigma

1.1 Základní charakteristika Six Sigma

1.1.1 Historie, vývoj

Vznik metody Six Sigma se datuje do roku 1987 a stalo se tak ve společnosti Motorola v USA. Na počátku 90. let přijaly Six Sigma další velké americké podniky (Kodak, Allied Signal, General Electric) a tím začala pronikat i do Evropy. Nejprve se objevovala u dceřiných společností těchto podniků, poté rostla potřeba, aby evropští dodavatelé zlepšovali své procesy pomocí metod Six Sigma. Vzhledem k podstatnému nárůstu podniků, které začali využívat výhod metody Six Sigma, se Kjell Magnusson a Michael Harry rozhodli uspořádat setkání zástupců těchto podniků. Jednalo se o setkání, na kterém byly probírány zkušenosti a výměny názorů a myšlenek jednotlivých zástupců podniků a konalo se jednou za rok. Počet účastníků každým rokem rostl a roku 1999 byl založen Evropský klub Six Sigma (ESSC) [3], [4].

1.1.2 Evropský klub Six Sigma

Po založení organizace byl určen její řídicí výbor. Jeho členy byli zástupci podniků používajících Six Sigma, především ABB, Philips, Siemens, atd. Evropský klub Six Sigma pořádal dvoudenní setkání, na kterých prosazoval rozšíření a rozvíjení Six Sigma a dalších okolností s tím spojených (školení členů řešitelských týmů, atd.). Na setkáních v následujících letech byly probírány podmínky přijetí nových členů a nových metod (DFSS). Tyto setkání pořádané ESSC mají nesporně velký podíl na posunu této metody a dalším vývoji [3], [4].

1.1.3 Definice

Jednoznačně definovat pojem Six Sigma není snadné. Existuje několik definic, všechny jsou samozřejmě pravdivé, často ale popisují Six Sigma z jiného úhlu pohledu. Ani odborníci se neshodnou na jednoznačné definici, každý se přiklání k jiné. Faktem je, že všechny definice míří ke stejnému cíli a tím je zlepšení kvality. Setkáme se tak s názory, že Six Sigma je manažerská filosofie, jejímž cílem je neustálé zlepšování procesů a služeb. Další definice říká, že Six Sigma je statistický nástroj, založený na měření a vyhodnocování vedoucí ke stejnému cíli, tedy k lepší kvalitě. Jiný popis tohoto pojmu udává, že je to metoda pro uspokojení všech očekávání zákazníků [2].

Six Sigma je sice zaměřena na zlepšení kvality, s tím je však spojena snaha o snížení nákladů, snížení počtu vad, zvýšení produktivity, získání nových zákazníků a samozřejmě zvýšení zisků. Nikdo přeci neinvestuje finance do zlepšování svých výrobních postupů jen proto, aby zlepšil kvalitu svých výrobků a neočekával zisk. Samozřejmě samotným zlepšením kvality se odstraní část nákladů spojeným se zmetkovitostí.

Sigma ve statistice představuje směrodatnou odchylku. Samotný termín Six Sigma označuje proces, jehož hodnocení dosahuje v dlouhodobém měřítku 3,4 DPMO (defects per million opportunities). To znamená, že se procesu nevyskytne více než 3,4 vady na milion příležitostí. Lze říci, že čím vyššího Sigma proces dosahuje, tím je lepší.

Tabulka 1 ukazuje počet vad na milion příležitostí (DPMO) a procentuální vyjádření výtěžnosti procesů [1], [2], [3].

Tab. 1 Tabulka hodnot Sigma

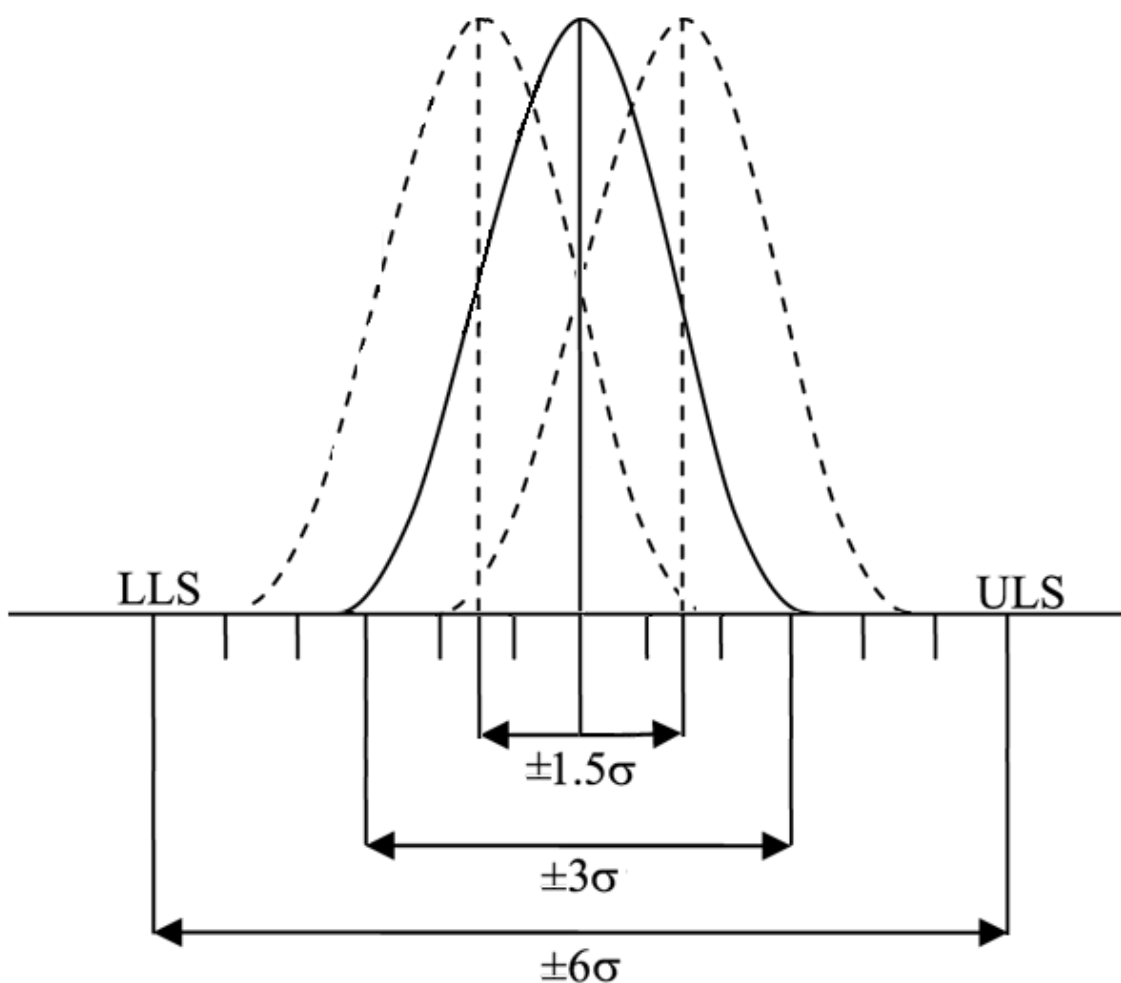
Sigma	% OK	% KO	DPMO
1	30,9	69,1	691462
2	69,1	30,9	308538
3	93,3	6,7	66807
4	99,38	0,62	6210
5	99,977	0,023	233
6	99,99966	0,00034	3,4

Tab. 2 Praktická ukázka rozdílu mezi úrovní Six Sigma a 99,9%

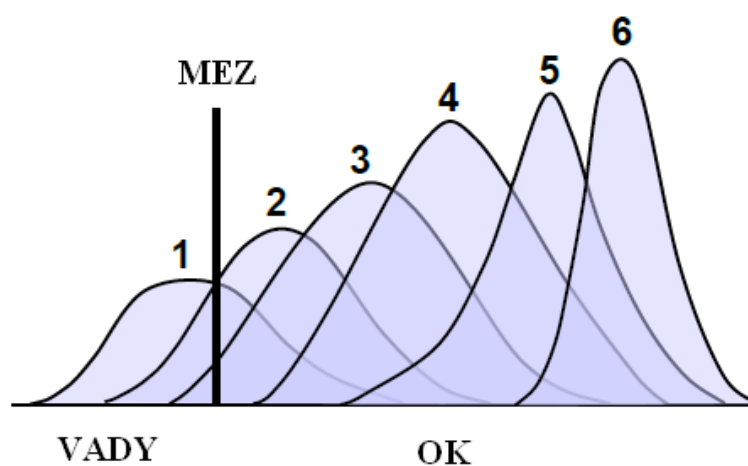
proces	99,9%	6 σ
Z 300 000 příjezdů na zastávku bude mít autobus zpoždění	300x	1x
Z 525 600 minut (1 rok) nebude zabezpečena dodávka el. energie	535,6 min	1 min 48s
Z 1 000 000 výrobku na výrobní lince bude zmetků	1000ks	3-4ks

Na výstupu většiny kvalitních procesů vzniká normální (Gaussovo) rozdělení, kterému odpovídá Gaussova křivka. Gaussova křivka ukazuje hustotu rozdělení hodnot ze souboru okolo střední hodnoty neboli variabilitu (rozptyl) procesu. V dlouhodobém měřítku a

velkoprodukční výrobě je běžné, že se střední hodnota posouvá o $\pm 1,5\sigma$, to může být způsobeno změnou okolních podmínek, opotřebením výrobních nástrojů atd.



Obr. 1 Gaussova křivka



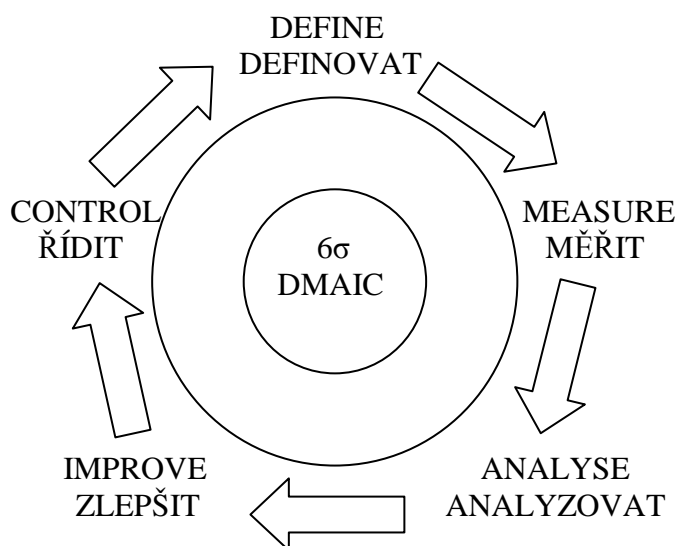
Obr. 2 Vývoj Gaussovy křivky v závislosti na hodnotě Sigma [18]

1.1.4 Metodiky Six Sigma

Rozlišujeme několik metodik používaných k optimalizaci procesu. Používají se v různých stádiích procesu – vývoj výrobku, nový proces, stávající proces.

1.2 DMAIC

DMAIC je strukturovaná metodika Six Sigma, vedoucí ke dlouhodobému zlepšení procesů. DMAIC je zkratka počátečních písmen anglických slov Define, Measure, Analyse, Improve a Control, česky definovat, měřit, analyzovat, zlepšovat a řídit. DMAIC je pravděpodobně hlavní a nejvíce používanou metodikou Six Sigma, přináší minimalizaci chyb, snížení nákladů a zvýšení konkurenceschopnosti. Tato metodika se aplikuje na již existující procesy, které je potřebné zlepšit. Před započítím prvního kroku této metodiky musí management společnosti stanovit, kterých procesů se bude zlepšování týkat. Champion společně s příslušným manažerem provede návrh zlepšovacího procesu. Hlavním bodem tohoto návrhu je stanovení cílů, kterých má řešitelský tým, pomocí metodiky DMAIC, dosáhnout. Tento návrh nemusí být konečný, po rozpracování problému řešitelským týmem a konzultaci s manažery, může dojít ke korekcím cílů, rozšíření týmu a podobně, to už je součástí prvního kroku metodiky – Define [1], [2].



Obr. 3 Cyklus DMAIC

1.2.1 Define – definovat

Jak už bylo napsáno na konci předchozího odstavce, do této fáze patří definování cílů, sestavení řešitelského týmu a následná diskuse a případné pozměnění zadání. Důležitou vstupní informací jsou požadavky a představy zákazníků, na jejich základě můžeme proces zlepšit. Všeobecně je zpětná vazba od zákazníků velmi prospěšná pro obě strany. Dalším bodem je definování samotného procesu, kterého se zlepšování týká. Pro tento účel se často používá nástroj pro vytváření mapy procesu SIPOC, který popisuje dodavatele, vstupy, proces, výstupy a zákazníky, slouží především pro vizuální představu procesu. Dalším používaným nástrojem pro znázornění procesu je mapa toku hodnoty (Value Stream Map), která navíc obsahuje reálná data, např. výrobní a čekací doby. Pro získání dalších informací se používají nástroje Voice of customer (VOC), Critical to quality (CTQ) a Critical to process (CTP). Tyto a další nástroje budou podrobně v dalších kapitolách. Dále by mělo být stanoveno, co bude měřítkem úspěchu, co bude porovnáváno s počátečními hodnotami a podle čeho bude rozhodováno o úspěšnosti projektu [1], [2].

1.2.2 Measure – měření

V této fázi metodiky je úkolem změřit současný stav pomocí dat a po jejich zpracování případně upravit cíle. Tato metoda je založena na datech, proto je nutné zajistit, aby získávání dat a všechna měření probíhala za stejných podmínek. Samozřejmě se musíme zaměřit na data, díky kterým budeme schopni odhalit příčiny problémů procesu a na data, která povedou k odstranění takových nedostatků, které budou důležité pro zákazníky i organizaci. Tyto data nám poskytují nástroje CTQ a CTP. Je zbytečné zabývat se něčím, co zákazníci nepovažují za důležité. Volí se takové parametry, které se dají reálně ovlivnit, musí se brát také ohled na časovou a finanční náročnost jejich získání a naměření. Výsledkem této fáze by mělo být rozhodnutí, které parametry tým naměřil, bude z nich vycházet a odůvodnění této volby [1], [2].

1.2.3 Analyse – analyzovat

V této fázi se analyzují získaná data a na jejich základě se zjišťují příčiny problémů a vad. K tomu slouží nástroje – Ishikawův diagram (diagram příčin a následků, rybí kost), Paretova analýza (pravidlo 80/20), korelační diagram, atd. Na konci této fáze by měl tým uvést příčiny problémů a vad, matematický model procesu, vývoj týmu a podobně [1], [2].

1.2.4 Improve – zlepšit

Cílem této fáze je definovat řešení problému. Při práci na tomto úkolu mohou nastat dvě možnosti – řešení je naprosto jasné a shodují se na něm všichni členové týmu nebo případ opačný. Pro tento případ existují nástroje pro rozhodnutí o řešení – rozhodovací matice, brainstorming. Po této etapě tým předkládá možnosti řešení, odůvodnění výběru určitého řešení, jeho popis a plán realizace [1], [2].

1.2.5 Control – řídit

Po úspěšném zavedení změn do procesu je důležité zabezpečit, aby proces dále probíhal ve zlepšeném stavu. To se většinou provádí pomocí dokumentace (popis, postup, návod, směrnice, ...). Dokumentace je tvořena podle náročnosti procesu a kvalifikace pracovníků. Nová dokumentace zajišťuje popis pracovních postupů, určuje odpovědnost za proces, stanovuje preventivní opatření v kritických částech procesu, zaměřuje se na hlavní body zjištěné nástroji CTQ a CTP, atd. Proces může ovlivnit nenáhodná chyba, její příčina a odstranění se řeší pomocí regulačního diagramu a jeho následným vyhodnocením a metodou Failure mode and effect analysis (FMEA). Závěrečným krokem řešitelského týmu je vyhodnocení výsledků a stabilizace řešení, nového stavu. Dále posouzení finančního hlediska a závěrečná prezentace hlavních bodů ostatním zúčastněným projektu [1], [2].

1.2.6 Zhodnocení DMAIC

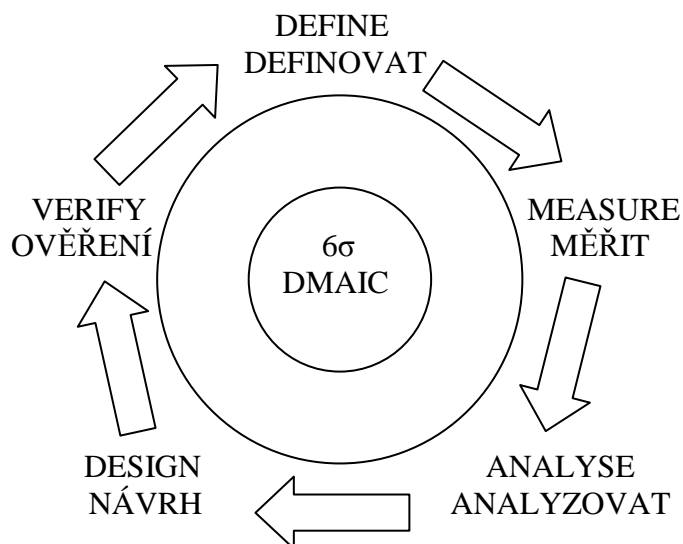
DMAIC je časem a mnoha procesy pověřená zlepšovací metodika Six Sigma, která přináší ve výsledku ušetření finančních prostředků. Na druhé straně je potřeba říci, že před jejím zahájením je nutné investovat nemalé peníze do školení členů řešitelského týmu, což znamená investici v řádu statisíců korun. Také se musí počítat s tím, že někteří členové týmu jsou i řádovými zaměstnanci a nebudou tak moci vykonávat svoji běžnou práci během implementace DMAIC. Další investicí je také potřebný rozpočet na získávání informací, měření a chod celého projektu.

1.3 DFSS

Zkratka DFSS znamená Design For Six Sigma. Hlavní myšlenkou DFSS je navrhnout výrobek tak, aby při výrobě a následným používáním vznikalo co nejméně neshod a vad. DFSS se tak snaží předejít následným investicím do zlepšení výrobku, úpravy výrobního postupu a nákladům na reklamace vlivem nedostatečného vývoje. Relativně ušetřené peníze, nedostatečnou investicí a krátkým časem na vývoj a návrh nového výrobku, mohou ve výsledku přijít velmi drahο, až několikanásobně více než bylo původně „ušetřeno“ na vývoji. Slouží k tomu metodika DMADV [4].

1.4 DMADV

DMADV je metodika, která se používá při zavádění úplně nového procesu nebo služby nebo při novém návrhu stávajícího procesu či služby. Zkratka je složena z počátečních písmen slov – Define (definovat), Measure (měřit), Analyse (analyzovat), Design (návrh), Verify (ověření) [4].



Obr. 4 Cyklus DMADV

1.4.1 Define – definovat

Tato fáze je v podstatě stejná jako u metodiky DMAIC. Jejím cílem je stanovení cílů, určení řešitelského týmu, pravomoci a odpovědnosti. Dále pak obsahuje očekávané výsledky a určení podle čeho bude hodnocena míra úspěchu projektu [4].

1.4.2 Measure - měřit

Obsahem tohoto kroku je zjišťování a následné vyhodnocení a stanovení potřeb a přání zákazníků. K tomuto účelu slouží různé dotazníky a průzkumy. Tyto zjištěné informace se následně převedou na konkrétní požadavky výsledného produktu [4].

1.4.3 Analyse – analyzovat

V této fázi se řešitelský tým zaměřuje na vypracování několika konceptů řešení. Koncept představuje možnosti a návrh řešení pro konkrétní produkt nebo službu. Následně se tým zabývá důkladným porovnáním konceptů, sestavením různých kombinací, vyhodnocením a navrhnutím optimálního konceptu daného produktu či procesu [4].

1.4.4 Design – návrh

Doporučený koncept z předešlé fáze prochází důkladným posouzením a optimalizací. Výsledkem tohoto kroku cyklu je důkladný návrh konečného produktu nebo procesu, který odpovídá požadavkům zákazníků a možnostem výrobní společnosti [4].

1.4.5 Verify - ověření

Jedná se o poslední fázi cyklu DMADV, jejím cílem je ověření funkčnosti a správnosti navrženého postupu. Nejprve se ověření týká první vyrobené série, následuje vyhodnocení a případné korekce. Posledním krokem je přechod k běžnému provozu, poté ještě řešitelský tým zpracuje a předá kompletní dokumentaci k výrobku či službě [4].

1.4.6 Zhodnocení DMADV

Metodika DMADV se od počátku vývoje nového výrobku či procesu zaměřuje na požadavky zákazníků. Konečný návrh by měl od počátku zavedení dosahovat kvality Six Sigma. Stejně jako u metodiky DMAIC je nutné počítat s investicí na školení členů týmu a na rozpočet celého projektu. Tato investice však nastává již na začátku celého vývoje nového procesu, není proto nutné investovat další prostředky i v průběhu výroby jako u metodiky DMAIC, kde podnik investoval prostředky na začátku výroby bez strategie Six Sigma.

Tab. 3 Činnosti ve fázích DMAIC a DMADV

	DMAIC	DMADV
Definovat	<ul style="list-style-type: none"> definování cílů a předmětu projektu, metriky (měřítka) sestavení týmu požadavky zákazníků 	<ul style="list-style-type: none"> definování cílů a předmětu projektu, metriky (měřítka) sestavení týmu požadavky zákazníků
Měřit	<ul style="list-style-type: none"> měření současného stavu pomocí dat 	<ul style="list-style-type: none"> zjišťování potřeb a přání zákazníků (VOC) stanovení CTQ na základě VOC
Analyzovat	<ul style="list-style-type: none"> analyzování získaných dat a zjišťování příčin problémů a vad 	<ul style="list-style-type: none"> vypracování několika konceptů řešení porovnání konceptů a výběr nejvhodnějšího
Zlepšit/Návrh	<ul style="list-style-type: none"> aplikace řešení problému 	<ul style="list-style-type: none"> optimalizace vybraného zadání důkladný návrh konečného produktu nebo procesu
Řídit/Ověření	<ul style="list-style-type: none"> udržování procesu ve zlepšeném stavu vypracování dokumentace (popis, postup, návod, směrnice, atd.) 	<ul style="list-style-type: none"> ověření funkčnosti a správnosti navrženého postupu

Tab. 4 Používané nástroje ve fázích DMAIC a DMADV

	DMAIC	DMADV
Definovat	<ul style="list-style-type: none"> model SIPOC Value stream map (VSM) Voice of customers (VOC) Critical to quality (CTQ) Critical to process (CTP) 	<ul style="list-style-type: none"> Model SIPOC Critical to quality (CTQ)
Měřit	<ul style="list-style-type: none"> sběr dat – dotazníky, formuláře histogramy 	<ul style="list-style-type: none"> brainstorming FMEA
Analyzovat	<ul style="list-style-type: none"> Ishikawův diagram (diagram příčin a následků, rybí kost) Paretova analýza (pravidlo 80/20) korelační diagram ANOVA 	<ul style="list-style-type: none"> FMEA Paretova analýza
Zlepšit/Návrh	<ul style="list-style-type: none"> rozhodovací matice brainstorming 	<ul style="list-style-type: none"> projektování konstrukce
Řídit/Ověření	<ul style="list-style-type: none"> regulační diagramy FMEA 	<ul style="list-style-type: none"> FMEA

1.5 Zavedení Six Sigma

Za rozhodnutím o zavedení metody Six Sigma stojí zpravidla vrcholový management podniku. V některých případech se jedná preventivní opatření, zvýšení kvality a konkurenceschopnosti již úspěšné společnosti. Naopak implementace Six Sigma může být posledním krokem k záchraně podniku a odrazu ode dna. Tak či tak je důležité si uvědomit, že zavedení Six Sigma není ze dne na den. Vedení společnosti musí velmi pečlivě vybrat řešitelský tým, určit role členů týmu a zajistit požadované školení. Tento krok je velmi důležitý, bude na něm záviset úspěch zlepšovacích projektů a zhodnocení investovaných financí a času do školení členů týmu a do rozpočtů a realizace projektů. Tímto činností vrcholového managementu v procesu Six Sigma teprve začíná, management bude součástí každého projektu, bude na něm ležet významný díl zodpovědnosti, bude informován o realizaci a výsledcích jednotlivých projektů, bude řešit některé případné problémy, které nastanou během práce na projektu a podobně [3], [4].

1.6 Řešitelský tým Six Sigma – role a školení

Skladba řešitelského týmu a rozdělení rolí je důležité pro vymezení pravomocí, zodpovědnosti, náplně práce a typu úvazku. Školení probíhá v rámci intenzivního kurzu, jehož časová náročnost je od několika dnů po několik týdnů podle role člena týmu.

1.6.1 Rada kvality

Rada kvality je složena z členů vrcholového vedení. Mezi základní činnosti rady kvality patří:

- sestavení týmu při zavádění Six Sigma
- plánování
- stanovení projektů ke zlepšení
- podpora a kontrola řešitelského týmu
- řešení některých problémů vzniklých během projektu
- sponzoring projektů.

Členové Rady kvality absolvují pouze interní školení, získají základní znalosti [3], [4].

1.6.2 Sponzor

Sponzorem je člen vrcholového vedení a jeho náplň práce na projektech Six Sigma je finanční zabezpečení projektu a schvalování rozpočtu.

Sponzor absolvuje pouze interní školení, získá základní znalosti [3], [4].

1.6.3 Champion

Champion je vedoucí pracovník, který většinou působí ve vrcholovém managementu a jeho činnosti jsou:

- vedení týmu k cíli
- určení strategického směru
- kontrola postupu
- komunikace s vrcholovým vedením a radou kvality
- schvalování případných korekcí nebo změn

Školení na pozici Champion obvykle trvá 2 dny a součástí tréninku je volba správného projektu [3], [4].

1.6.4 Master Black Belt

Master Black Belt je partnerem Championa. Zároveň je trenérem pracovníků úrovně Black Belt, svoji práci v řešitelském týmu vykonává na plný úvazek a náplní práce je:

- koordinace činnosti týmu
- podpora týmu
- poskytování rad členům týmu
- spolupráce při výběru členů týmu

Školení na tuto pozici probíhá 3-4 týdny, součástí školení je spolupráce na zkušebním projektu. Podmínkou absolvování školení jsou předchozí zkušenosti projekty Six Sigma [3], [4].

1.6.5 Black Belt

Black Belt je vedoucí týmu a trenér dalších členů. Pracuje na plný úvazek, stejně jako Master Black Belt.

Činnost:

- sleduje a řídí práci týmu
- mluví týmu
- zastupuje tým
- naslouchá členům týmu.

Školení na tuto pozici probíhá 3 týdny, součástí školení je spolupráce na zkušebním projektu. Podmínkou absolvování školení jsou předchozí zkušenosti projekty Six Sigma [3], [4].

1.6.6 Green Belt

Green Belt je pracovník ze středního managementu. Na projektech Six Sigma pracuje na částečný úvazek.

Činnost:

- podpora Black Beltů
- řízení menších projektů (pod dohledem Black Beltů)

Školení na tuto pozici probíhá 2 týdny, součástí školení je spolupráce na zkušebním projektu [3], [4].

Tab. 5 Role Six Sigma

	Rada kvality	Sponzor	Champion	Master black belt	Black belt	Green belt
Pozice v organizaci	členi vrcholového managementu	člen vrcholového vedení	vedoucí pracovník, většinou z vrcholového managementu	---	---	většinou ze středního managementu
Úvazek v 6σ	částečný	částečný	částečný	Plný	plný	částečný
Činnost na projektu	sestavení týmu plánování a stanovení projektů ke zlepšení	finanční zabezpečení projektu schvalování rozpočtu	určení strategického směru	koordinuje činnost týmu podporuje a pomáhá členům	sleduje a řídí práci týmu zástupce	podpora pracovníků Black Belt řízení menších projektů
Činnost organizace x projekt	hlavní zaměstnání v organizaci + účast na projektech 6σ	hlavní zaměstnání v organizaci + účast na projektech 6σ	hlavní zaměstnání v organizaci + účast na projektech 6σ	Pouze 6σ	pouze 6σ	hlavní zaměstnání v organizaci + účast na projektech 6σ
Školení	interní školení	interní školení	2 dny volba projektu	20 dní a více zkušební projekt předchozí zkušenosti	20 dní zkušební projekt předchozí zkušenosti	10 dní zkušební projekt

1.7 Nástroje

1.7.1 VOC, CTQ a CTP

Spokojenost zákazníka je jedno z nejdůležitějších měřítek úspěchu, proto je nutné hned od počátku naslouchat hlasu zákazníka, právě on výrobci radí co a jak vyrábět, na co klade spotřebitel důraz, co považuje za důležité a za co bude ochoten si výrobek či službu koupit. Je proto v zájmu výrobce či poskytovatele služby se těmito hlasy řídit. Tyto informace se získávají pomocí různých dotazníků, schůzek a rozhovory se zákazníky. Další potřebné informace, především kritické, je možné získat ze stížností nebo reklamací.

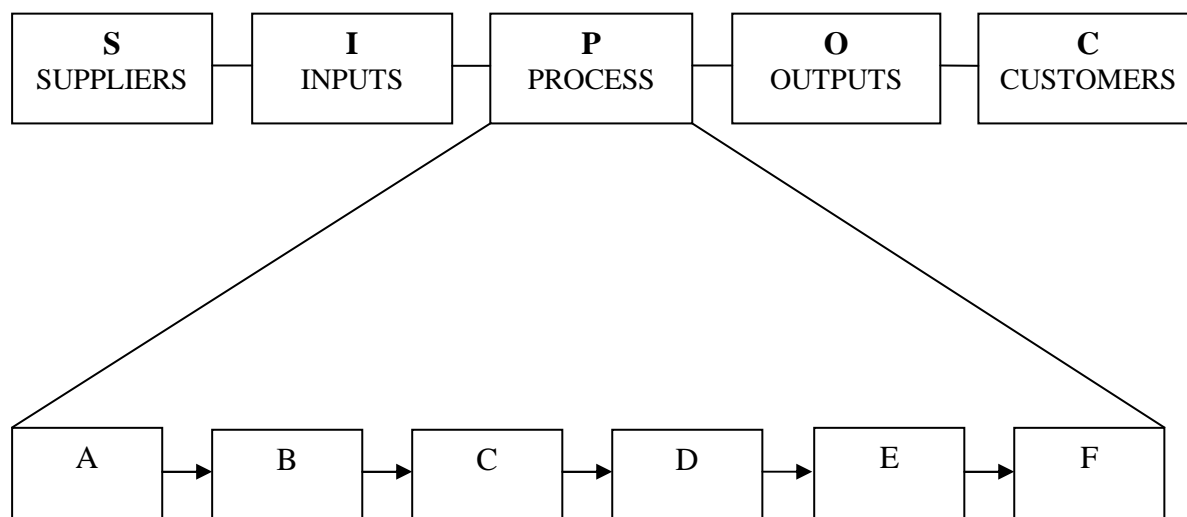
Critical to quality (CTQ) představuje převod hlasů na konkrétní hodnoty, čísla, čas, peníze atd. CTQ určuje meze a parametry, které jsou důležité z pohledu zákazníka, které zákazník očekává a které budou rozhodující v úspěšnosti výrobku či služby na trhu. Každé nedodržení mezí a parametrů znamená mínus v očích zákazníka.

Critical to process (CTP) představuje určení kritických mezí a parametrů z pohledu výrobce.

A je potřeba najít kompromis mezi mezemi danými zákazníkem a výrobcem. To znamená, že pokud je přijatelná cena z pohledu zákazníka maximálně 100 korun a z pohledu výrobce (s ohledem na cenu výroby a následný zisk) minimálně 90 korun, vzniká tak interval pro nastavení ceny, která bude vyhovovat oběma stranám [2].

1.7.2 SIPOC

Model SIPOC podává ucelenou a přehlednou informaci o dodavatelích (suppliers), vstupech (inputs), procesu (process), výstupech (outputs) a zákaznících (customers). K jednotlivým polím se přiřadí položky podle procesu [2].



Obr. 5 Model SIPOC

Tab. 6 Tabulka používaná pro model SIPOC

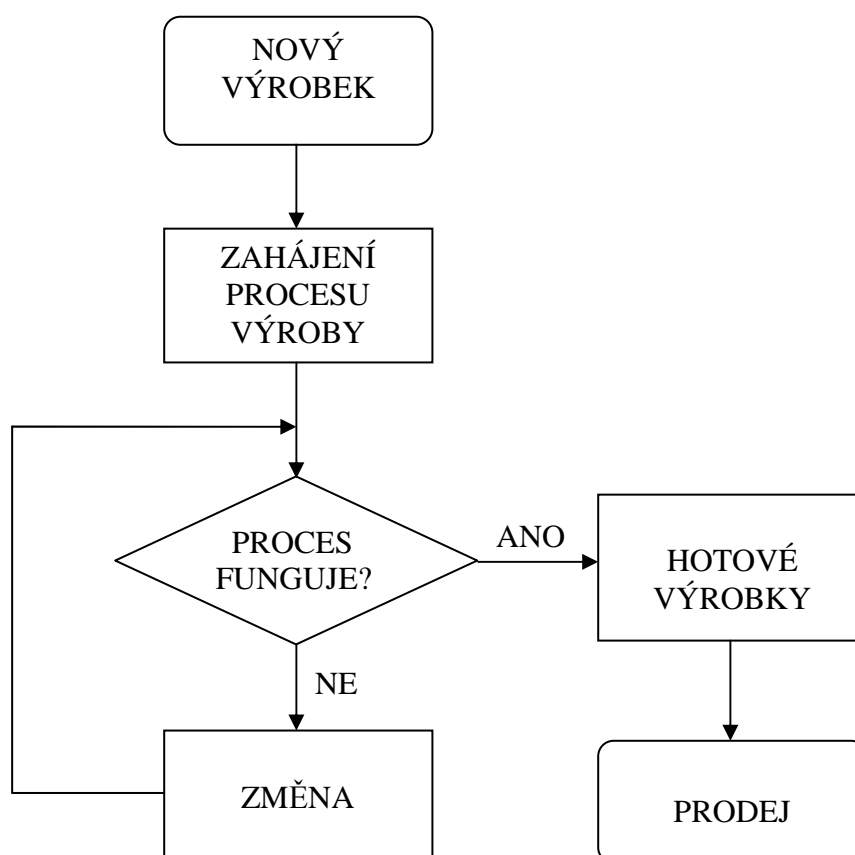
S	I	P	O	C
SUPPLIERS	INPUTS	PROCESS	OUTPUTS	CUSTOMERS
DODAVATELÉ	VSTUPY	PROCES	VÝSTUPY	ZÁKAZNÍCI
<ul style="list-style-type: none"> • dodavatel materiálu 	<ul style="list-style-type: none"> • materiál • data • fakta • zkušenosti 	<ul style="list-style-type: none"> • výrobní a pracovní postupy 	<ul style="list-style-type: none"> • produkty 	<ul style="list-style-type: none"> • příjemce produktů

1.7.3 Sedm základních nástrojů pro řízení a zlepšování kvality

Tyto základní nástroje vznikly v 50. letech 20. století v Japonsku. Za jejich vývojem stojí japonský profesor Kaoru Ishikawa a americký statistik William Edwards Deming. W. E. Deming byl roku 1991, za svůj celoživotní přínos v oblasti statistického řízení kvality, uveden do automobilové síně slávy a je na jeho počest pojmenována jedna z cen udělovaných v oboru kvality [5], [7], [9].

1.7.4 Vývojový diagram

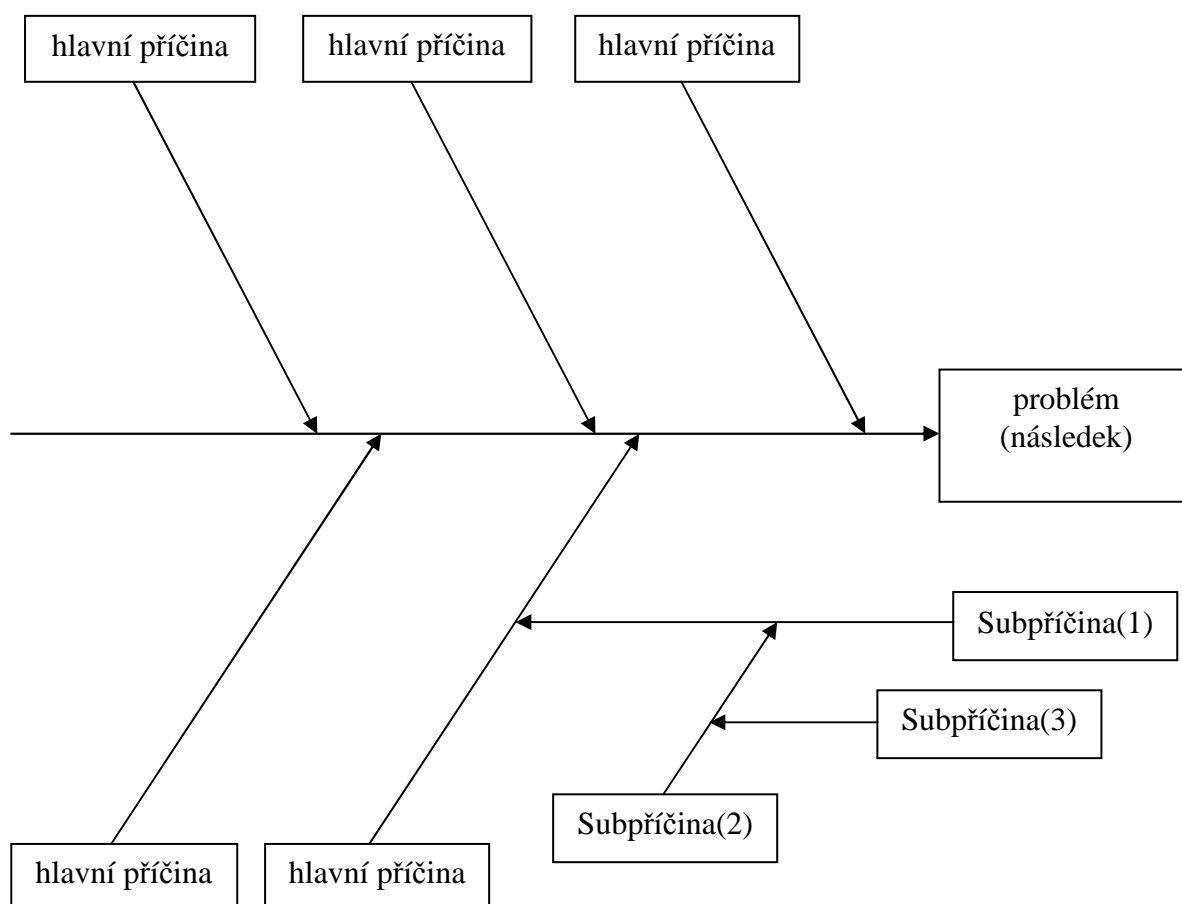
Vývojový diagram slouží ke grafickému zobrazení procesu, ve kterém se vyskytují rozhodovací úrovně. Je pak dobře patrné, jak proces pokračuje po určité volbě na rozhodovací úrovni [2], [7], [8].



Obr. 6 Vývojový diagram

1.7.5 Ishikawův diagram

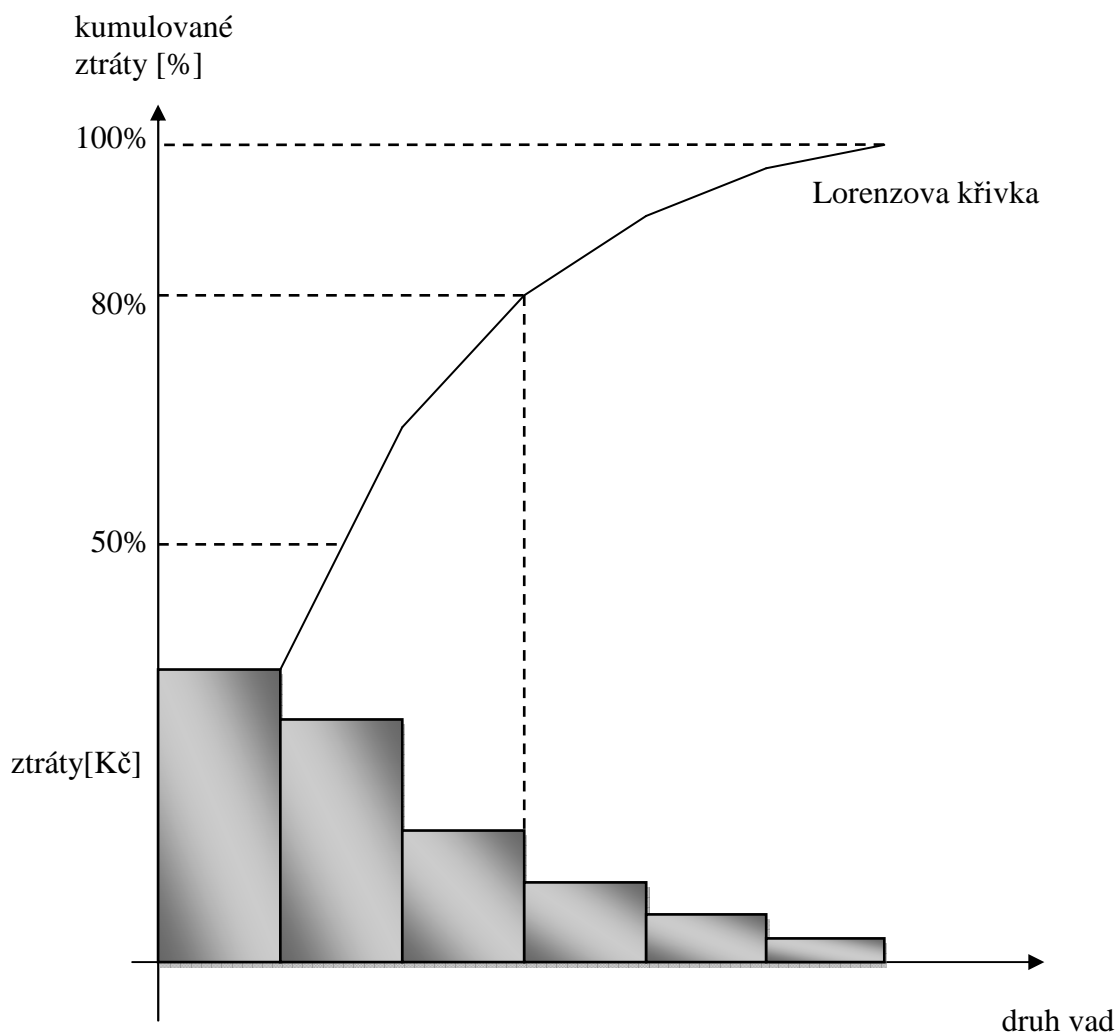
Tento diagram vymyslel japonský profesor Kaoru Ishikawa roku 1943 v Tokiu. Nazývá se také diagram příčin a následků nebo také diagram „rybí kost“ podle svého tvaru. Na konci „páteře“ diagramu je uveden problém (následek), který má být odstraněn a k „páteři“ se připojují další „kosti“, které představují příčiny problému. Nejprve se určí hlavní příčiny a poté se určují další subpříčiny v několika úrovních. K určení příčin se používá skupinová metoda brainstorming. Smysl této metody spočívá v tom, že lidé ve skupině vyslovují své názory a nápady, výsledkem by měl být větší počet a větší různorodost nápadů než při individuálním přístupu [2], [5], [7], [8].



Obr. 7 Ishikawův diagram

1.7.6 Paretova analýza

U objevu tohoto nástroje stál italský ekonom a statistik Vilfredo Pareto. Ten již na konci 19. století zjistil, že 80% majetku v Itálii vlastní 20% obyvatel. Je potvrzeno, že většina následků je způsobena malým procentem příčin (20%). Proto se také Paretova analýza někdy nazývá pravidlo 80/20. To představuje, že pokud najdeme a odstraníme 20% hlavních příčin problémů, odstraníme tím 80% ztrát. Těchto 20% hlavních příčin označujeme jako životně důležitá menšina. Při sestavování Paretova diagramu postupujeme tak, že seřadíme vady podle ztrát, pak vytvoříme kumulativním součtem Lorenzovu křivku, stanovíme 80% ztrát a podle průsečíku s Lorenzovou křivkou zjistíme, které vady je nutné odstranit [5], [7], [8].



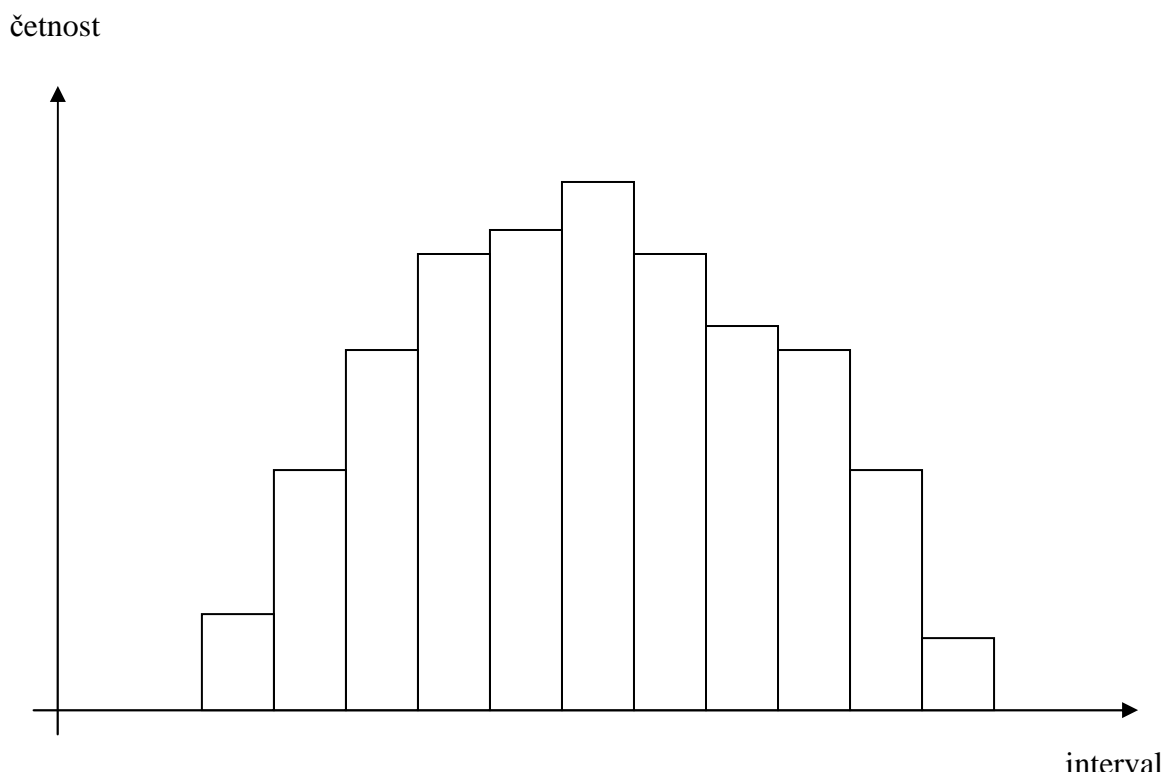
Obr. 8 Paretoův diagram

1.7.7 Histogramy

Histogram je grafická závislost intervalů hodnot a jejich četnosti. Intervaly se sestavují ze souboru hodnot, počet intervalů a jejich šířka se určuje podle vzorců. Správná šířka intervalu je velmi důležitá, může dojít ke zkreslení histogramu a narušení jeho informační hodnoty.

Tvar histogramu podává informaci o procesu a jeho chybách. Histogramy většinou nabývají osmi základních tvarů:

- Histogram zvonovitého tvaru
- Dvouvrcholový histogram
- Histogram plochého tvaru
- Histogram hřebenového tvaru
- Histogram asymetrického tvaru
- Useknutý histogram
- Histogram zvonovitého tvaru s izolovanými hodnotami
- Dvouvrcholový histogram s výraznou četností v krajní třídě [5], [7], [8].



Obr. 9 Histogram zvonovitého tvaru

1.7.8 Sběr dat

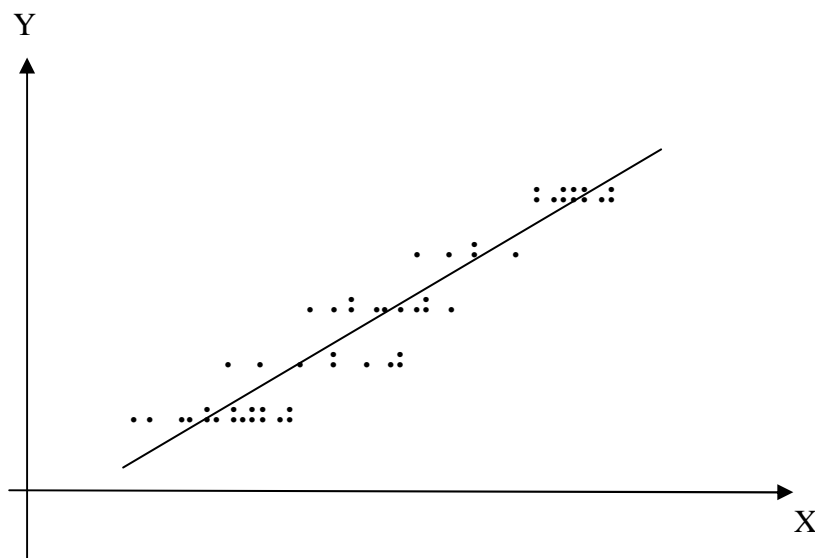
Ke sběru dat se používají různé tabulky, formuláře, dotazníky, do kterých se zapisují důležité a cílené informace, data nebo hodnoty. Jedná se jednoduchý a přehledný způsob získání informací, který je připravený pro další zpracování, např. grafické znázornění získaných dat pomocí grafu, který má mnohem větší vypovídající hodnotu než stovky hodnot v tabulce [5], [7], [8].

Tab. 7 Tabulka pro sběr dat

	1	2	3	4	5	6
A [mm]	10,5	11,1	9,8	10,3	9,9	10,9
B [mm]	25,2	23,5	26,1	24,6	23,3	25,3
C [mm]	51	52,3	49,6	50,8	51,7	50,3
D [g]	1020	999	1001	988	979	1011
E [g]	303	301	299	291	305	302

1.7.9 Korelační analýza

Korelační analýza představuje grafickou závislost mezi dvěma proměnnými, která je vyjádřena body v kartézském souřadnicovém systému. Podle polohy těchto bodů je možné určit korelaci (vzájemný vztah) mezi proměnnými. Zjištěním vztahu mezi proměnnými je možné uspořit čas a finance, protože při dalším měření budeme měřit pouze jednu, snáze měřitelnou, proměnnou a druhá se určí podle zjištěného vzájemného vztahu [5], [7], [8].



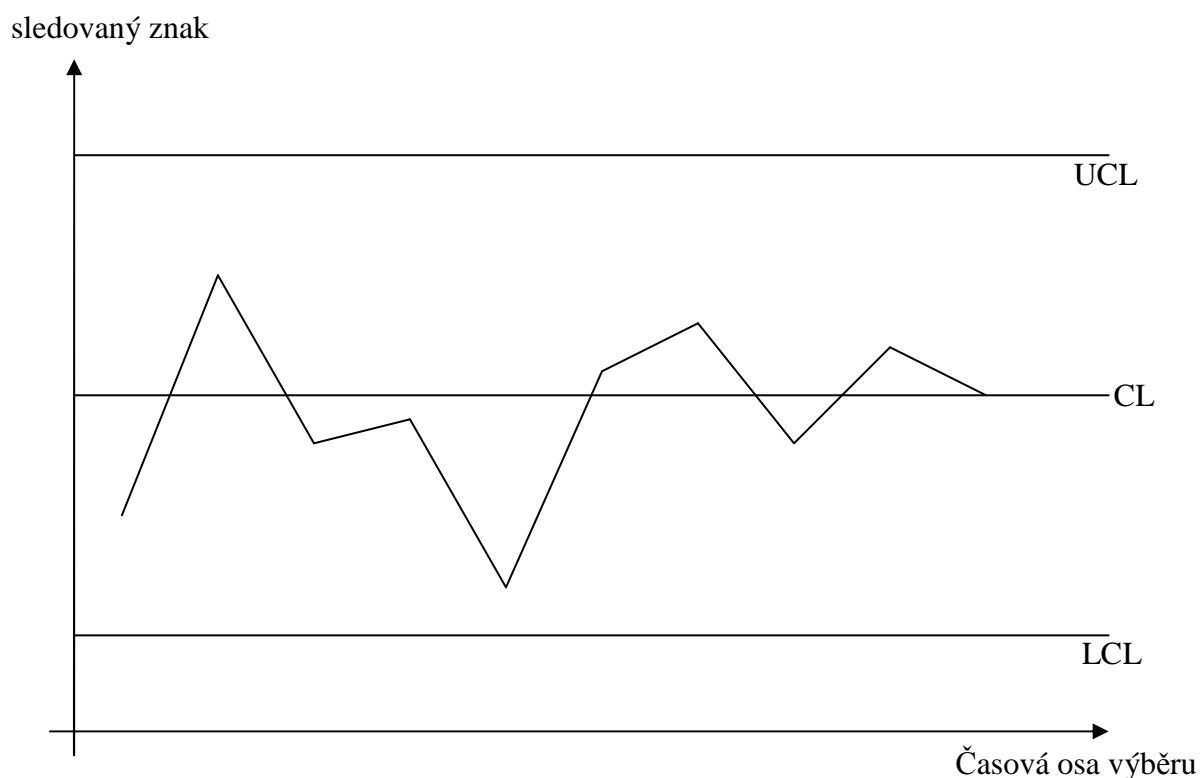
Obr. 10 Korelační diagram

1.7.10 Regulační diagramy

Regulační diagramy jsou nástrojem statistické regulace výroby. Diagram obsahuje střední hodnotu (CL), dolní regulační mez (LCL) a horní regulační mez (UCL), stabilní proces se musí pohybovat mezi těmito mezemi.

Používají se dvě metody regulace – měřením (spojitá veličina) a srovnáváním (diskrétní veličina). U regulace měřením se typ diagramu volí podle rozsahu výběru v podskupině. U regulace srovnáváním se typ diagramu volí podle toho, zda je počet hodnot v podskupině konstantní a jedná-li se o neshodné jednotky nebo o neshody. Neshodná jednotka představuje zmetek – chyba na výrobku má vliv na jeho funkci (přerušený napájecí kabel). Neshoda znamená vadu, která nemá vliv na funkčnost výrobku (vadný pixel).

Podle regulačního diagramu se zjišťuje, zda se proces nachází ve statisticky zvládnutém stavu. Proces se nachází ve statisticky zvládnutém stavu, pokud nedojde k žádné s osmi vymezitelných příčin kolísání [5], [7], [8].



Obr. 11 Regulační diagram

1.7.11 Pokročilé nástroje

VSM - Value stream map

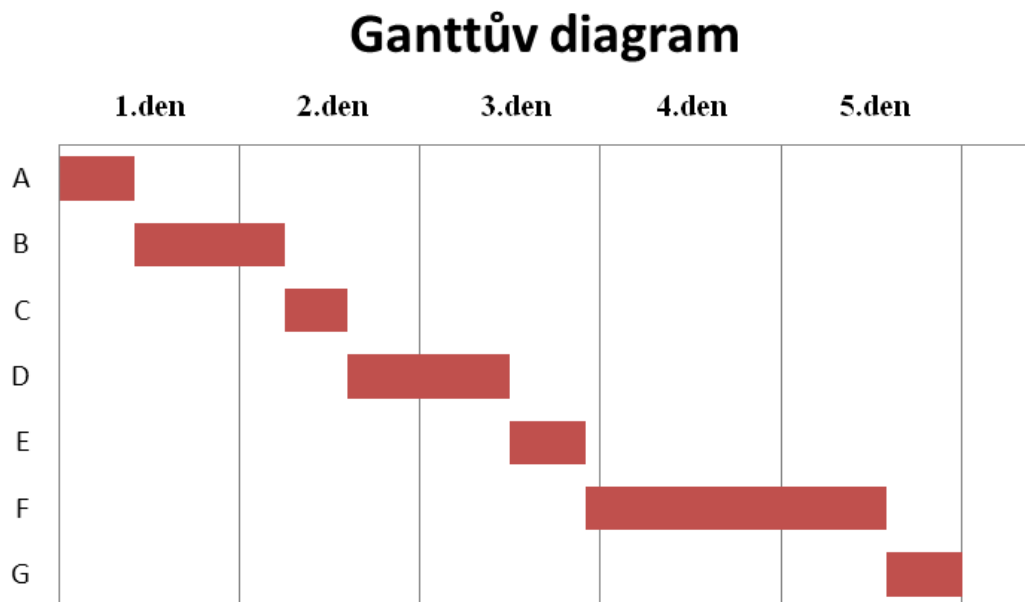
Jedná se v podstatě o model SIPOC doplněný o výrobní a čekací časy, mapuje informační a materiálové toky v procesu [2].

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis

FMEA neboli analýza možných vad a jejich důsledků, jedná se tedy o nástroj zaměřující se na vady, které by mohli vzniknout v průběhu procesu. Sestaví se souhrn možných vad, většinou pomocí brainstormingu. Těmto vadám se přidělí koeficient (stupnice 1 – 10) podle různých kritérií – míra rizika, pravděpodobnost výskytu vady a pravděpodobnost odhalení vady. Vynásobením koeficientů získáme informaci o závažnosti vady, čím vyšší číslo, tím vyšší nutnost zamezení této vady [2], [7].

Ganttův diagram

Ganttův diagram je grafické vyjádření časové posloupnosti postupů v procesu [2].



Obr. 12 Ganttův diagram

ANOVA – analysis of variance

Analýza rozptylu (ANOVA) je nástrojem matematické statistiky. Úkolem nástroje ANOVA je rozdělení příčin variability na dvě skupiny – náhodné chyby a příspěvky způsobené změnou faktorů (znaků). Těmito faktory se rozumí parametry, které ovlivňují výsledek pokusu, vývoje atd.

Analýza rozptylu se rozděluje na jednofaktorovou, dvoufaktorovou a vícefaktorovou.

Obecné vyjádření:

$$X = \mu + (\alpha + \beta + \dots) + (\alpha\beta + \dots) + e \quad (3.1)$$

kde:

μ ... měřená hodnota při nulovém vlivu faktoru

α, β ... vlivy faktorů na měřenou veličinu

$\alpha\beta$... interakce vlivů faktorů

e ... náhodné chyby

Jednofaktorová ANOVA

Pomocí jednofaktorové analýzy se zjišťuje vliv jednoho faktoru na výslednou sledovanou veličinu.

Součet čtverců odchylek mezi průměry:

$$SS_1 = \sum_i^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (3.2)$$

Součet čtverců odchylek od jednotlivých hodnot od sloupcového průměru:

$$SS_2 = \sum_i^k \sum_j^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (3.3)$$

Celkový součet čtverců SS:

$$SS_0 = \sum_i^k \sum_j^{n_i} (\bar{x}_{ij} - \bar{x})^2 \quad (3.4)$$

$$SS_0 = SS_1 + SS_2 \quad (3.5)$$

Stupně volnosti DF:

$$DF_1 = k - 1 \quad (3.6)$$

$$DF_2 = N - k \quad (3.7)$$

$$DF_0 = DF_1 + DF_2 \quad (3.8)$$

Průměrné čtverce MS:

$$MS_1 = \frac{SS_1}{DF_1} \quad (3.9)$$

$$MS_2 = \frac{SS_2}{DF_2} \quad (3.10)$$

Hodnota F:

$$F = \frac{MS_1}{MS_2} \quad (3.11)$$

Hodnota Fkrit:

MS Excel =FINV(prst; volnost1; volnost2)
Statistické tabulky

Porovnáním hodnoty F s hodnotou Fkrit a hodnoty P s hladinou významnosti α získáme informaci o tom, zda zamítneme nebo potvrdíme nulovou hypotézu. Nulovou hypotézou H_0 se rozumí, že výsledné hodnoty jsou ovlivněny pouze náhodnými chybami a nikoliv vlivem faktoru. Hladina významnosti je většinou 0,05.

Pokud platí:

$$F > F_{\text{krit}} \text{ a } P < 0,05,$$

tak tuto hypotézu zamítáme oproti alternativní hypotéze H_a (výsledky jsou ovlivněny faktorem), která se může dále analyzovat pomocí Bonferroniho, Tukeyovo a Scheffého metody.

Platí tedy, že výsledky nejsou ovlivněny jen náhodnými chybami, ale i daným faktorem [17].

2 Štíhlá výroba

2.1 Základní charakteristika

2.1.1 Historie

Aby mohla vzniknout štíhlá výroba (Lean manufacturing), jak ji známe dnes, musíme se přenést o více jak 200 let zpátky, kdy lidé začali chápat, že dělbou práce dokážou vyrobit mnohem více za stejný čas. Manufaktura tedy začala nahrazovat řemeslnickou práci, lidé se učí spolupracovat se stroji a dělat jen svoji část práce.

Na počátku 20. století poznává svět obrovský milník průmyslové výroby, za kterým stál Henry Ford. Roku 1908 představil nový model T a o dva roky později již stála nová výrobní hala. Z haly začali vyjíždět vozy shodné kvality, barvy, ceny, z naprosto stejných dílů, stavěli je stejní lidé a každý měl na starosti jen svoji danou část práce podle přísně daných plánů. Tyto dílčí postupy byly již známy, ale až Henry Ford jim dal podobu masové velkovýroby. Postupem času klesala cena vozu a Ford věřil, že každým dolarem získá až tisícinásobek nových zájemců o tento vůz, odmítal jakékoliv změny či individualizaci vozu a trval na ještě rychlejší výrobě. Po 17 letech byla výroba tohoto vozu ukončena a zastavila se na čísle 15 milionů kusů.

Fordem se nechal inspirovat Tomáš Baťa, proto rok pracovat ve Fordově továrně a své nové poznatky přenesl na velkovýrobu levných bot. Jeho záměrem bylo prodávat boty levně, s malým ziskem, ale v obrovském množství. V nejlepších letech se dokázalo v jeho továrnách vyrobit přes 29 tisíc párů bot za den. Navíc zavedl prvek používaný i dnes – „cenový klam“, výrobek nestojí přesně 10 korun, ale 9 korun a 90 haléřů.

Další obrovský posun průmyslové výroby přinesla druhá světová válka. Zejména v Německu, USA, sovětském svazu a Japonsku. Velký posun zaznamenaly obory spojené s válkou – vojenství (letecké motory, zbraně, munice, atd.), lékařství, logistika a mnohé další. Válka samozřejmě nepřinášela jen rozvoj, kromě milionů ztracených životů také upadá finančníctví a účetnictví.

Začíná se objevovat pojem automatizace, první závod byl postaven v Japonsku a měl splňovat podmínku, aby zde byla zaměstnána pouze dvacetina zaměstnanců jako u srovnatelného závodu v Německu, zaměstnanci byli nahrazeni automaty. Tento projekt vzbuzoval pozornost a úspěch, narušovaly ho ale časté poruchy a velké nároky na údržbu. Odpovědí byla stavba automobilového závodu společnosti General Motors, pokrok ale nedosáhl úrovně, jaké se očekávalo.

Po válce bylo Japonsko na určitou dobu pod vládou USA, proto přijížděli do země američtí odborníci učili Japonce velmi kvalitní a inženýrské výrobě. Japonci jsou velmi učenlivý a pracovitý národ, proto bylo jen otázkou času, kdy bude domácí trh malý. Japonsko začíná vyvážet své výrobky do USA, nejprve ostnatý drát, postupem času motorčky a nakonec i automobily. Japonsko dále vyvází, ale na svůj trh nepřipouští americké výrobky a omezuje dovoz, to se samozřejmě USA nelíbí a vznikají spory. Japonci argumentují, že americké výrobky jsou dražší, méně kvalitní a že americký průmysl upadá, USA tvrdí opak. Pro ukončení sporů vznikla spolupráce japonské Toyoty a amerického General Motors. Výsledkem je společná automobilka, která má japonské vedení a americké dělníky. Společný podnik vykazoval lepší výsledky než jiné americké automobilky, ale horší než japonské, výsledný efekt byl prakticky nulový a spory pokračovali dalších několik let. A zde se začíná formovat nový výrobní systém Toyoty, dnes známý jako štíhlá výroba [6].

2.1.2 Nový výrobní systém Toyoty

Toyota se zaměřuje na koncového zákazníka, snaží se v relativně krátkých intervalech inovovat nabídku svých automobilů, nabízí bezkonkurenční kvalitu, ekonomicky příznivé motory a vstřícnou cenu. Američtí občané dávají přednost těmto japonským vozům i přes svoji národní hrdost. Japonci hledají chyby ve výrobních postupech amerických automobilek a zjišťují evidentní nedostatek a to je nízká rychlost ve výrobě. Toyota na to reaguje snahou o zkracování výrobních časů, omezování nebo úplné odstraňování prostojů pomocí lepší přípravy nástrojů, náradí, materiálu, pravidelná údržba strojů a přístrojů a podobně. Toyota zavádí co nejrychlejší a maximálně efektivní cestu výrobou při zachování potřebné vysoké kvality. Pozornost je také zaměřena na skladové zásoby, na jejich oběh a jejich potřebu v daný čas, tato metoda se nazývá just-in-time (právě včas), někdy se také nazývá „nulové zásoby“. Klíčovou činností je celková minimalizace plýtvání [6], [10].

Tab. 8 Druhy plýtvání [10]

Druh plýtvání	Konkretizace plýtvání
velké zásoby	větší množství materiálu než je nutné
Čekání	čekání na práci, na dodání materiálu, nástrojů, atd.
nadbytečná výroba	výroba produktů, o které není zájem, zůstávají na skladu
Doprava	dopravníky, pásy, vozíky
vady, chyby	nutnost opravy, ztráta času, narušení výroby, náklady
neefektivní pohyby a manipulace	více pohybů a přesunů než je nutné
nevyužitá kreativita pracovníků	nevyužití všech možností pracovníků

2.2 Nástroje a techniky

2.2.1 Kaizen

Název Kaizen vznikl ze dvou japonských slov – kai = změna a zen = dobré. Kaizen tedy znamená změna k lepšímu nebo zlepšení. Kaizen je filosofie založená na neustálém zlepšování. Kaizen představuje způsob myšlení, nemusí být používán jen v oblasti procesů, ale zlepšení se může týkat čehokoliv ve firmě. Do této filosofie společnosti jsou zapojeni všichni zaměstnanci, každý nahlíží na situaci z jiného úhlu pohledu a tak zaměstnanci od výrobní linky mohou přijít s lepším návrhem zlepšení než vrcholový management. Zlepšování je realizováno neustálými malými změnami. Základem je neuspokojit se momentálním stavem a stále hledat nové způsoby, jak se posunout kupředu [11].

Obr. 13 Japonské znaky kai a zen

2.2.2 Just-in-time (JIT)

Just-in-time česky překládáme právě včas, celosvětově se však používá v anglický název. Z pohledu JIT představují zásoby zbytečné plýtvání, snaží se o to, aby vše přicházelo právě včas, bez skladování, které přináší nežádoucí náklady. Ideálním způsobem je, aby materiál putoval z nákladního vozu ihned do procesu po nejkratší možné dráze a hotové výrobky opačným směrem, nevznikají tudíž žádné zásoby, vše je hned spotřebováno. Takové dodávky musejí probíhat mnohem častěji, proto se klade důraz na to, aby dodavatel sídlil co nejbližší. Pokud se udržují částečné skladové zásoby, tak další objednávka je vystavena až po poklesu zásob na určitou hranici, to představuje značnou úsporu místa i nákladů.

Mnohem větší díl zodpovědnosti leží na přepravní společnosti a dodavateli. Při tomto systému je nezbytné mít dlouhodobě prověřeného dodavatele, u kterého se odběratel může spolehnout na nejvyšší kvalitu dodávky a na jeho přizpůsobivost potřebám odběratele. Důležitým faktorem je také přepravní vzdálenost, která může mít vliv na kvalitu dodávky.

Souhrn výhod JIT:

- zvýšení produktivity
- snížení nákupních cen
- snížení zásob hotových výrobků
- snížení výrobních zásob
- snížení množství odpadu
- zkrácené manipulační a přepravní doby
- úspora výrobních a skladovacích ploch
- zlepšení kvality
- zvýšení včasných dodávek
- snížení celkových nákladů na materiál
- zrušení míst k přebalování
- zrušení kontrolních stanovišť a mnoho dalších

JIT přináší samozřejmě i některé nevýhody. Jsou to např. nepředpokládané situace na silnicích, kolony, nehody, počasí, narůstající počet automobilů, zvyšování cen pohonných hmot a podobně [12].

2.2.3 Kanban

Kanban v překladu z japonštiny znamená nástěnka, kartička. To je základem celé této metody. Potřeby jednotlivých pracovišť jsou prezentovány právě Kanban kartičkami, které předchozímu pracovišti říkají, co je potřeba vyrobit nebo přivést z omezeného skladu. Kanban se zaměřuje na to, aby nebyly tvořeny zbytečné zásoby, než je nezbytně nutné. To klade vyšší nároky na organizaci celého systému podniku.

V praxi pracovník umístí Kanban kartičku na nástěnku, např. při poklesu materiálu pod určitou úroveň. Na kartičce jsou uvedeny informace o požadovaném výrobku nebo materiálu a o pracovištích, kterých se požadavek týká. Další pracovník kartičku vyzvedne a podle informací odebere z Kanban skladu potřebný materiál a zároveň zanechá další kartičku ve skladu. Ukázka Kanban skladu je na obrázku 14. Tím ve skladu dostávají informaci, že je potřeba vyrobit a dodat daný výrobní materiál a tak předají kartičku k dalšímu pracovišti a takto pokračuje celý systém Kanban.

Tímto způsobem nevznikají zásoby, vyrábí se, převáží a dodává se pouze to, co je momentálně potřeba [13].

2.2.4 Poka-yoke

Poka-yoke je preventivní opatření proti chybám. Cílem je zamezit nechtěným chybám pracovníků ve výrobním procesu nebo dalších uživatelů. Opatření spočívá v tom, že lze proces nebo činnost nelze provést jinak než správně. Pokud mají být do sebe zasunuty dvě součásti čtvercového tvaru, tak se například zkosí potřebný roh na obou součástkách a tak jejich spojení lze provést pouze jedním a správným způsobem. Typickým příkladem Poka-yoke jsou konektory USB [14].



Obr. 14 Tvary konektorů USB – Poka-yoke opatření

2.2.5 5S

Metoda 5S je zaměřena na zaměstnance a jejich vedení a motivaci. Jedná se o nástroj, kterým je zajišťována údržba a zlepšování pracovního prostředí. Zkratka 5S představuje pět japonských slov, jejichž počáteční písmeno je S [15].

Tab. 9 5S

5S	činnost
Seiri	kontrola pracoviště, rozřídění a odstranění nepotřebných věcí, nástrojů
Seiton	přehledná skladba a rozmístění nástrojů, vyznačení polohy
Seiso	udržování pracoviště v čistotě, určení míst pro odpad v dosahu
Seiketsu	standardizace
Shituke	neustálé udržování předchozích zásad, zlepšování, kontroly

2.2.6 5 Why (5 Proč)

5 Proč je metoda k určení příčiny problému, vady. K určení příčiny se 5x klade otázka proč. Počet opakování otázky byl určen používáním v praxi a bylo zjištěno, že právě po pátém proč byla odhalena skutečná příčina [16].

Proč se nevyrábí?
Protože přepravce přivezl nesprávné součástky.
Proč přepravce přivezl nesprávné součástky?
Protože mu je naložil dodavatel.
Proč dodavatel poslal nesprávné součástky?
Poslal součástky podle skladového čísla na objednávce.
Proč nesouhlasí součástky se skladovým číslem?
Protože je špatně označený regál ve skladu.
Proč je špatně označený regál ve skladu?
Protože skladník prohodil čísla sousedních regálů.

3 Lean Six Sigma

Základní charakteristika

Již z názvu vyplývá, že Lean Six Sigma bude kombinací Lean manufacturing (štíhlé výroby) a Six Sigma. Six Sigma se zaměřuje hlavně na kvalitu a štíhlá výroba se zaměřuje především na rychlost, optimalizaci procesního toku a redukci plýtvání.

Six Sigma i štíhlá výroba se orientují na zákazníka, na jeho potřeby a očekávání. Tím jsou právě kvalita a rychlost, těžko se bude vyrábět rychle, když bude v procesu mnoho chyb, které se musí opravovat. Malá rychlost se zase odráží na nižší kvalitě – zákazníci jistě nebudou považovat za kvalitní, že jejich objednávka čeká u prodejce v emailu déle než je nezbytně nutné.

Lean Six Sigma se zaměřuje na optimalizaci a zrychlení procesního toku a na odstranění variability a neshod.

Základem pro správné fungování a zlepšování procesů je týmová práce. Ve skupině se vždy vymyslí více nápadů, které jsou mnohem různorodější než při práci samotného pracovníka. Typickou pracovní metodou týmu je brainstorming.

Společnosti využívající Lean Six Sigma se musejí nutně opírat o data a fakta, na nich zakládají svá rozhodnutí. Chybná rozhodnutí mohou vzniknout z těchto důvodů:

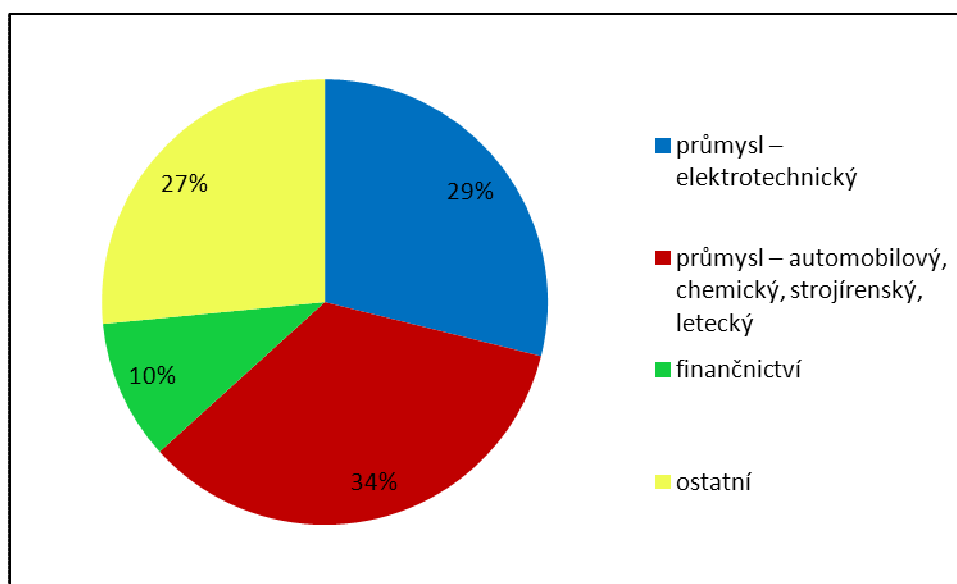
- nedostatek dat
- nedostatečné školení – sběr a analýza dat
- nesprávné využití dostupných dat.

Zároveň je důležité, aby rozhodnutí proběhla na základně správného typu dat. Ty rozlišujeme na:

- spokojenost zákazníka
- finanční výsledky
- rychlost - průběžná doba potřebná k realizaci
- kvalita – počet neshod [1].

4 Štíhlá výroba, Six Sixma a Lean Six Sigma v elektrotechnickém průmyslu a dalších odvětvích

Alespoň některé z prvků štíhlé výroby, Six Sigma nebo Lean Six Sigma dnes využívá každá firma. Tím nejjednodušším může být snaha o minimalizaci plýtvání. Všechny špičkové společnosti využívají některou z metod, jejich kombinace nebo vyvíjení vlastní systémy, to se týká především japonských společností. Lze tvrdit, že prvky štíhlé výroby používají především japonské společnosti a metoda Six Sigma je většinou využívána americkými a evropskými společnostmi, je to dáno zeměpisnou polohou vzniku jednotlivých metod zlepšování kvality a mentalitou obyvatel. Silné zastoupení, mezi společnostmi používající tyto metody, mají společnosti podnikající v elektrotechnickém odvětví. Okruh dalších odvětví je ale široký a obsahuje podstatnou část oblastí trhu – průmysl, obchodní řetězce, bankovníctví, atd. Na obrázku 16 je vidět podíl společností využívajících Six Sigma podle odvětví jejich činnosti z dostupných dat a informací.



Obr. 15 Podíl společností používajících Six Sigma podle odvětví činnosti

Tab. 10 Přehled podniků používajících Six Sigma [19]

Six Sigma			
Elektrotechnický průmysl	Průmysl – automobilový, chemický, strojírenský, letecký	finančnictví	ostatní
Advanced Micro Device	3M	AXA	Acme Markets
Agilent Technologies	Air Canada	Bank of America	BD Medical
Amazon.com	Alaska Airlines	Bank of Montreal	Canada Post
Bechtel Corporation	ALCAN	Convergys	Chartered Quality Institute
Cabot Microelectronics Ltd.	BAE Systems	Credit Suisse	CIGNA
CAE Inc.	Boeing	DSB Bank	Cintas Uniforms
Cognizant Technology Solutions	Caterpillar Inc.	GEICO	DHL
Computer Sciences Corporation	Chevron	HSBC Group	DsignStudio
Dell	Cookson Group	Merrill Lynch	Heinz Co.
Deutsche Telekom	Corning	Shinhan Bank	Idearc Media
Dominion Resources	CoorsTek	The Vanguard Group	ITC Welcomgroup Hotels, Palaces and Resorts
Eastman Kodak Copany	Cummins Inc.	TSYS	JEA
EMC	Deere & Company	Xchanging	Maple Leaf Foods
Flextronics	Delphi Corporation		McKesson Corporation
General Electric	Denso		Mumbai's dabbawalas
Genpact	Dow Chemical Company		Nielsen Company
HCL Technologies	DuPont		Penske Truck Leasing
Ingram Micro	Finning		Pepsi Co.
Inventec	Ford Motor Company		Procise gmbh
Korea Telecom	General Dynamics		Quest Diagnostics
KTF	GlaxoSmithKline		ResMed
LG Group	Honeywell		Sears
Motorola	Hertel		Shop Direct Group
Nortel Network	ITT Corporation		Starwood Hotels & Resorts Worldwide
RaggedCom	Lockheed Martin		Staples Inc.
Samsung Group	Mando Corporation		Target Corporation
SimplexGrinnell	Microflex Inc.		Teraeon Consulting Corporation

Siemens AG	Network Rail		The Hertz Corporation
Skyworks Solutions, Inc.	NewPage Corporation		The McGraw-Hill Companies
Sterlite Optical Technologies	Northrop Grumman		UMS UNIVERSAL MANAGEMENT SERVICES GMBH
Teradyne	Owens-Illinois		Unipart
Toshiba	Patheon		United Biscuits
Tyco International	PolyOne Corporation		UnitedHealth Group
Vodafone	Precision Castparts Corp.		Volt Information Sciences
Whirlpool	Raytheon		
Wipro	SGL Group		
Xerox	Shaw Industries		
	Shinhan Card		
	SKF		
	Trane		
	Textron		
	TomoTherapy, Inc.		
	TRW		
	Paper Products Limited		

5 Případová studie

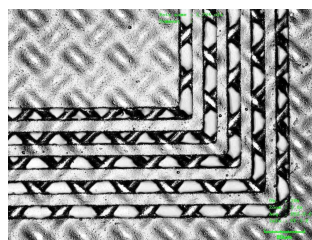
Předmětem případové studie je vyhodnocení ultra jemného tisku rezinátových past na korundové substráty přes speciální síta s uvažováním parametrů, které ovlivňují výslednou šířku dráhy. Těmito parametry jsou rychlost a tlak těrky, odtrh síta, tloušťka kapilárního filmu a zaplavení síta. Cílem je vytvořit dráhu o šířce 50 μ m rezinátovou Au pastou. Data byly naměřeny pomocí konfokálního mikroskopu Olympus LEXT. Data byla zpracována ve statistickém programu MINITAB.

Sítotisk

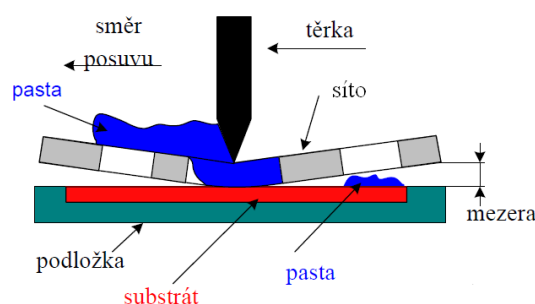
Sítotisk je vhodná metoda například k vytváření elektrodových struktur a selektivnímu nanášení dielektrických, senzorických a ochranných vrstev. Na sítu je pomocí fotocitlivé emulze vytvořený žádaný motiv. Pomocí těrky se protlačí pasta na keramický nebo flexibilní substrát. Pasta je tvořena pájecí pastou, lepidlem, nepájivou maskou, atd. Pro ultra jemný tisk je výhodné využívat rezinátové pasty, které obsahují stříbro nebo zlato ve formě rozpustných organometalických sloučenin. Nejčastěji se používá síto se čtvercovými oky (tzv. square mesh), které je tvořeno pomocí polyesterových, nylonových, metalizovaných vláken nebo nerezových drátů s různým průměrem podle použití. S tloušťkou vlákna nebo drátu souvisí samozřejmě šířka dráhy. Pro ultra jemný tisk se používají nerezové dráty s průměrem 18 μ m. Důležitým parametrem je úhel mezi směrem vláken a tvarem motivu, ideální úhel je 22,5° [20].



Obr. 16 Úhel 22,5° [20]



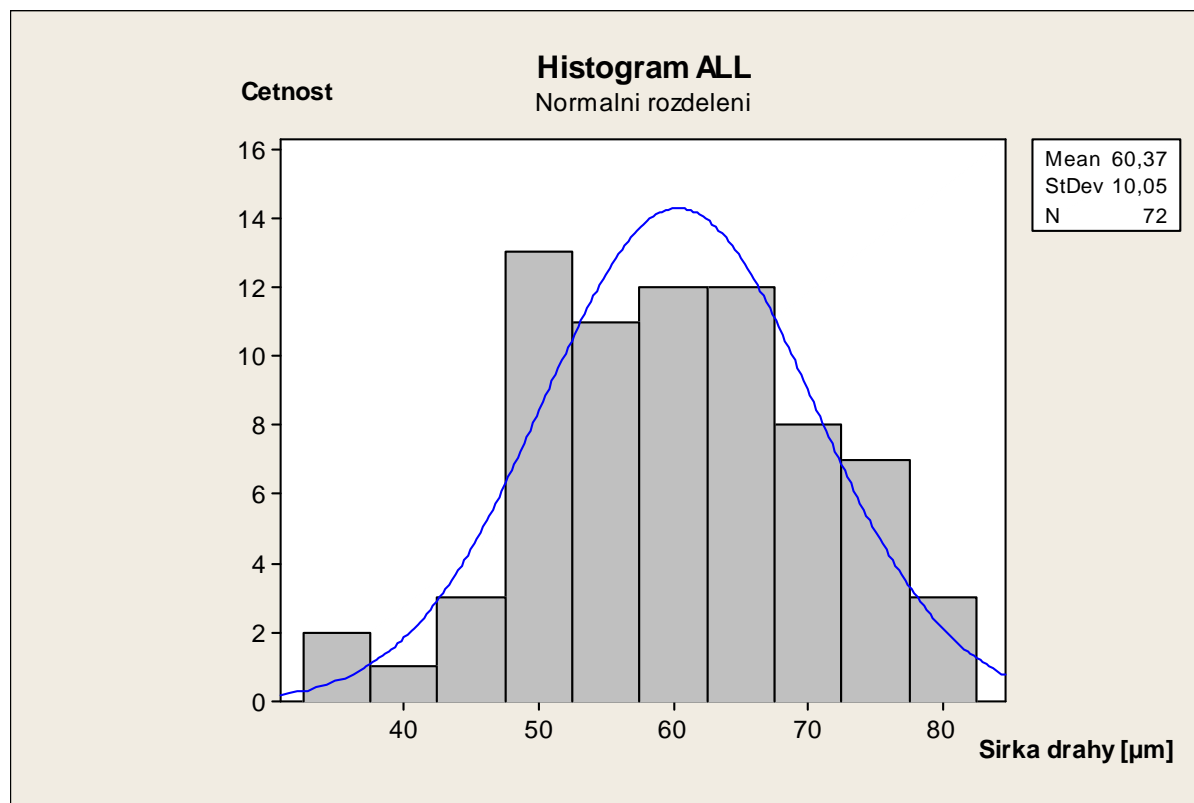
Obr. 17 síto pro tisk jemných drah [20]



Obr. 18 Sítotisk [20]

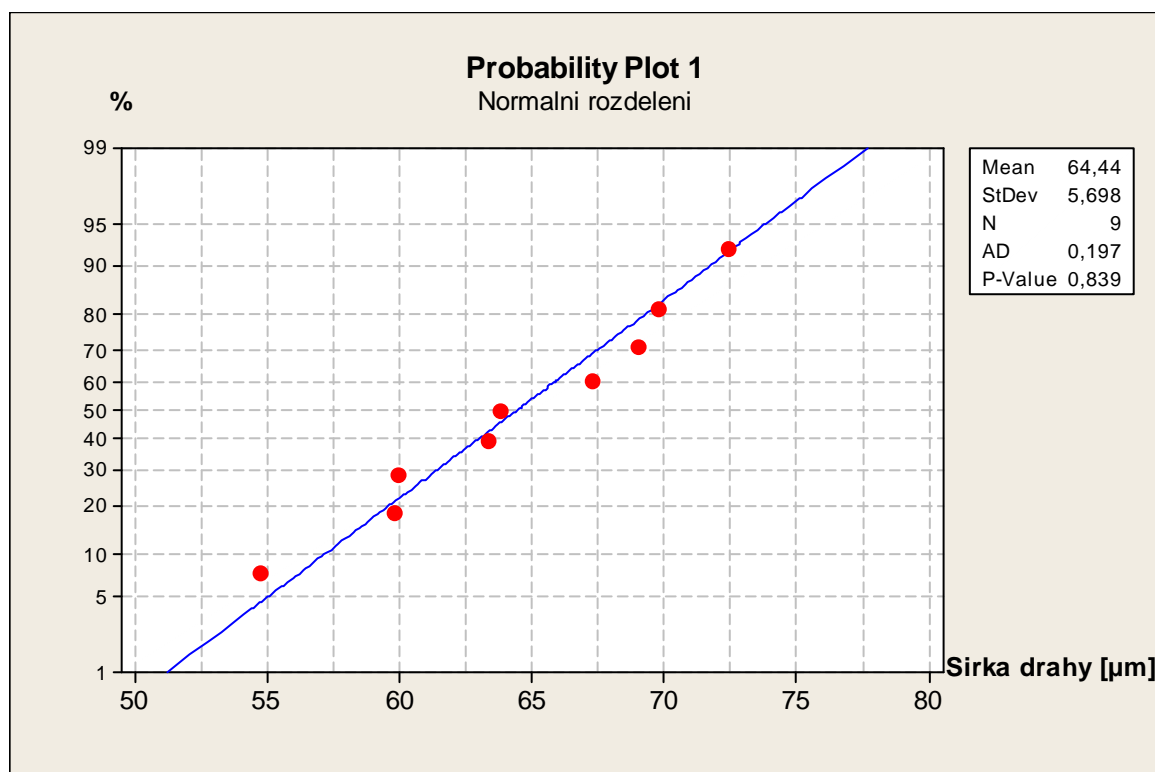
Grafické závislosti a jejich význam

Histogram



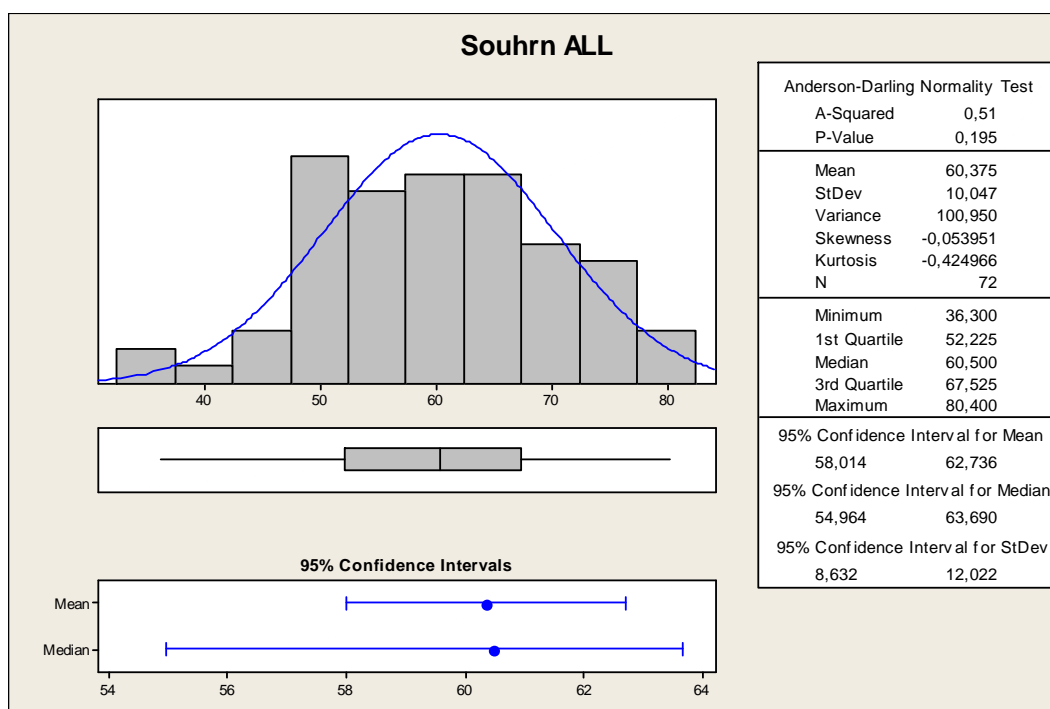
Anglický popis	Český popis	Význam
Mean	střední hodnota	aritmetický průměr
StDev - standard deviation	směrodatná odchylka	kvadratický průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru
N	počet	počet prvků v souboru

Test normality



Anglický popis	Český popis	Význam
Mean	střední hodnota	aritmetický průměr
StDev - standard deviation	Směrodatná odchylka	kvadratický průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru
N	počet	počet prvků v souboru
AD	AD	hodnota testovaného kritéria Anderson – Darlingova testu
P – Value	hodnota P	hodnota (kritérium) Anderson – Darlingova testu pro rozhodnutí

P – Value (hodnota P) je hodnota, podle které se rozhoduje zda má soubor hodnot normální rozdělení. Pokud je hodnota P menší než 0,05 můžeme s pravděpodobností 95% říci, že se nejedná o normální rozdělení. V tomto případě je hodnota P větší než 0,05, jedná se tedy o normální rozdělení, což je podstatné pro tvorbu dalších analýz. Je tedy například možné provést analýzu rozptylu [21].



Anglický popis	Český popis	Význam
A – Squared	A^2	hodnota testovaného kritéria Anderson – Darlingova testu
P – Value	hodnota P	hodnota (kritérium) Anderson – Darlingova testu pro rozhodnutí
Mean	střední hodnota	aritmetický průměr
StDev – standard deviation	směrodatná odchylka	kvadratický průměr odchylek hodnot od jejich aritmetického průměru
Variance	rozptyl	střední hodnota druhých mocnin odchylek od střední hodnoty
Skewness	šikmost	popis nesymetrie rozdělení
Kurtosis	špičatost	porovnání strmosti nebo plochosti rozdělení s normálním rozdělením
N	počet	počet prvků v souboru
Minimum	minimum	nejmenší prvek v souboru
1 st Quartile	první kvartil	rozdělení souboru hodnot na čtvrtiny (25%)
Median	medián	rozdělení řady, seřazené podle velikosti výsledků, na stejně početné poloviny (50%)
3 rd Quartile	třetí kvartil	rozdělení souboru hodnot na čtvrtiny (75%)
Maximum	maximum	největší prvek v souboru

Příklad výpočtů

Soubor hodnot:

$$N = 6$$

$$x_1 = 70,5$$

$$x_2 = 70,5$$

$$x_3 = 73,8$$

$$x_4 = 79,9$$

$$x_5 = 77,0$$

$$x_6 = 80,4$$

Střední hodnota (Mean):

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6)}{N} = 75,34$$

$$\bar{x} = \frac{(70,5 + 70,5 + 73,8 + 79,9 + 77,0 + 80,4)}{6} = 75,34$$

Rozptyl (Variance):

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + (x_4 - \bar{x})^2 + (x_5 - \bar{x})^2 + (x_6 - \bar{x})^2}{N - 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{(70,5 - 75,34)^2 + (70,5 - 75,34)^2 + (73,8 - 75,34)^2 + (79,9 - 75,34)^2 + (77,0 - 75,34)^2 + (80,4 - 75,34)^2}{6 - 1} = 19,67$$

Směrodatná odchylka (StDev):

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{19,67} = 4,43$$

P – Value (hodnota P) je hodnota, podle které se rozhoduje zda má soubor hodnot normální rozdělení. Pokud je hodnota P menší než 0,05 můžeme s pravděpodobností 95% říci, že se nejedná o normální rozdělení. V tomto případě je hodnota P větší než 0,05, jedná se tedy o normální rozdělení, což je podstatné pro tvorbu dalších analýz.

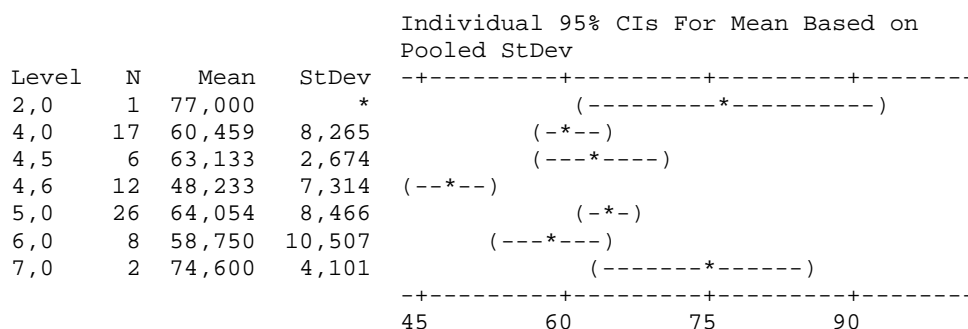
Šikmost vypovídá o nesymetrii rozdělení. Tento ukazatel vypovídá o rozložení dat v souboru. Šikmost může nabývat záporných a kladných hodnot a také nulové hodnoty. Nulová hodnota představuje stav, kdy jsou hodnoty ze souboru rovnoměrně rozděleny na obě strany od střední hodnoty. Záporná hodnota šikmosti ukazuje na stav, kdy je většina hodnot vpravo od střední hodnoty a zároveň v její těsné blízkosti, ostatní hodnoty se nacházejí na opačné straně a jsou více vzdálené od střední hodnoty. Pro kladnou šikmost platí opačné pravidlo.

Špičatost poskytuje informaci strmosti nebo naopak plochosti rozdělení. Kladná hodnota špičatosti představuje větší strmost a záporná hodnota naopak větší plochost daného rozdělení od normovaného normálního rozdělení. Z hodnot špičatosti a šikmosti je patrné, že proces tisku tenkých drah není zcela stabilní a pod kontrolou.

Medián a kvartily rozdělují řadu hodnot, seřazenou podle velikosti hodnot, na stejně početné poloviny a čtvrtiny. Poskytují tak lepší přehled o rozdělení hodnot v daném souboru [21], [22], [23].

One-way ANOVA: ALL versus tlak těrky

Source	DF	SS	MS	F	P	Fkrit
C3	6	2868,9	478,2	7,23	0,000	2,242
Error	65	4298,5	66,1			
Total	71	7167,5				



$F > F_{krit}$

$P < 0.05$

Z výsledků vyplývá, že tlak těrky má významný vliv na výsledné hodnoty.

Anglický popis	Český popis	Význam
Source	Zdroj	příčina variability
DF - degrees of freedom	stupně volnosti	součet parametrů zmenšený o 1 $DF = (\text{Počet úrovní Level}) - 1$ $DF = 7 - 1 = 6$
SS - sum of squares	součet čtverců	odchylka střední hodnoty zdroje
MS – mean square	průměrný čtverec $MS = SS/DF$	poměr stupně volnosti a součtu čtverců
F	Hodnota F $F = MS(C3)/MS(\text{Error})$	určení statistické významnosti hodnoty zdroje
P	Hodnota P	hodnota (kritérium) pro rozhodnutí

P – Value (hodnota P) a hodnota F jsou hodnoty, podle kterých se rozhoduje zda daný faktor ovlivňuje výsledek měření. Pokud je hodnota F větší než hodnota F_{krit} a hodnota P menší než 0,05 můžeme s pravděpodobností 95% říci, že nejméně jeden průměr je výrazně odlišný od ostatních a faktor, v tomto případě tlak těrky, má výrazný vliv na výsledné hodnoty [21].

Závěr

V práci jsou shrnuty informace o zásadních filosofiích, metodách a nástrojích na poli zlepšování procesů výroby.

Velmi účinnou metodou je Six Sigma, jejíž cílem je dosažení kvality až na úroveň 3,4 vad na milion příležitostí. Této úrovni zatím dosáhlo pouze několik málo společností. Metoda Six Sigma je soubor nástrojů, jakými lze dosáhnout výrazného zlepšení. Za vznikem metody stojí americká společnost Motorola, používá se již 25 let a je založena na statistickém vyhodnocení získaných dat. K vyhodnocení jsou velice důležité konkrétní parametry z hlediska zákazníků a z hlediska společnosti. Pro řešení zlepšovacích projektů je sestavený speciální pracovní tým, který je složen ze zaměstnanců z různých vrstev podniku. Proto je Six Sigma použitelná především ve velkých podnicích s výraznou zaměstnaneckou strukturou a značnou produkcí a ziskem z důvodu vysokých nákladů na školení členů týmu. Práce týmu probíhá na základě metodik DMAIC (stávající proces) a DMADV (nový proces), ve kterých jsou využívány především statistické nástroje pro vyhodnocení dat a na jejich základě vzniká návrh nového řešení. Metoda Six Sigma klade značné nároky na členy týmu a jejich znalosti pro správné vyhodnocení a interpretaci používaných nástrojů, proto je školení značně finančně i časově náročné.

Další cestou ke zlepšování procesů je štíhlá výroba, která představuje minimalizaci a předcházení plýtvání. Štíhlá výroba není založena na přesných datech, představuje způsob myšlení a potřebu neuspokojení se se stávajícím stavem. To je definice metody Kaizen, která je čistě filosofií a dává možnost pro návrh změn všem zaměstnancům a přímo to po nich vyžaduje. Další metody se zaměřují na minimalizaci skladových zásob, materiálového plýtvání a výborné načasování procesů výroby, jsou to metody Just-in-time a Kanban. Metoda 5S udržuje čistotu, přehled a uspořádání ve výrobním a pracovním prostoru. S metodou Poka-yoke se setkáváme v každodenním životě a jedná se o opatření proti nechtěným chybám jak ve výrobě, tak i při používání. Většina těchto opatření je provedena pomocí různých tvarových omezení. Metody jsou japonského původu, proto může tvořit částečné problémy jejich implementace u jiných národů.

Lean Six Sigma je kombinací Lean manufacturing (štíhlé výroby) a Six Sigma. Six Sigma se zaměřuje hlavně na kvalitu a štíhlá výroba se zaměřuje především na rychlost, optimalizaci procesního toku a redukci plýtvání.

Použití všech popsaných metod je možné v mnoha průmyslových odvětvích. Neodmyslitelné zastoupení má i elektrotechnický průmysl. Elektrotechnické podniky tvoří více než čtvrtinu mezi podniky využívajícími Six Sigma.

V případové studii je ukázáno použití statistických nástrojů, které jsou nedílnou součástí metody Six Sigma. Je zde vysvětlen význam jednotlivých závislostí a hodnot a jsou zde uvedeny příklady výpočtů některých hodnot. Je zde možné pozorovat časový vývoj naměřených dat v závislosti na různých parametrech. Dále získáváme informace o rozdělení, rozložení, šikmosti a špičatosti souboru dat, minimální a maximální hodnoty a v různých etapách měření, průměrné hodnoty, odchylky od průměru nebo vliv faktorů na výsledné hodnoty.

Výsledkem případové studie je zjištění, že výslednou šířku dráhy ovlivňují všechny parametry a nejvýznamnější vliv mají parametry tloušťka kapilárního filmu a provádění zaplavování síta (tzv. flooding). Toto tvrzení získané pomocí statistických nástrojů bylo rovněž potvrzeno výsledky dalších experimentálních tisků.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] George, M., Rowlands, D., Kastle, B.: Co je to Lean Six Sigma?, SC&C Partner Brno 2005, ISBN 80-239-5172-6
- [2] George, M. L.: Kapesní příručka Lean Six Sigma, 1. vyd. SC&C Partner Brno 2010, ISBN: 978-80-904099-2-7
- [3] Pande, P. S., Neuman, R. P., Cavanagh, R. R.: Zavádíme Metodu Six Sigma, přeložil Ing. Martin Lhoták a kolektiv, TwinsCom s.r.o. 2002, ISBN 80-238-9289-4
- [4] Töpfer, A. a kol.: Six sigma, Koncepce a praktické příklady pro bezchybné řízení, Computer Press 2008, ISBN 978-80-251-1766-8
- [5] Tůmová, O., Pirich, D.: Nástroje řízení jakosti a základy technické diagnostiky, 1. vyd. Západočeská univerzita v Plzni 2003, ISBN 80-7043-247-0
- [6] Jirásek, J.: Štíhlá výroba, 1. vyd. Grada Publishing 1998, ISBN 80-7169-394-4
- [7] Plášková, A.: Metody a techniky analýzy a zlepšování kvality, Vysoká škola ekonomická v Praze 1999, ISBN 80-7079-119-5
- [8] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-12].
Dostupný z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sedm_základních_nástrojů_zlepšování_kvality>.
- [9] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-12].
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/W._Edwards_Deming>.
- [10] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-17].
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Štíhlá_výroba>
- [11] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-21].
Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Kaizen>>
- [12] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-17].
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Just_in_time>
- [13] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-21].
Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Kanban>>
- [14] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-21].
Dostupný z WWW: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Poka-yoke>>

- [15] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-21].
Dostupný z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/5S_\(methodology\)](http://en.wikipedia.org/wiki/5S_(methodology))>
- [16] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2011-12-21].
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/5_Whys>
- [17] Otyepka, M., Banáš, P., Otyepková, E.: *Základy zpracování dat*, Katedra fyzikální chemie, Univerzita Palackého v Olomouci [online]. 2007 - [cit. 2012-03-05].
Dostupný z WWW: <<http://fch.upol.cz/skripta/zzd/chemo/chemo.pdf>>
- [18] Tůmová, O. *Řízení jakosti a technická diagnostika* (přednáška) Plzeň: FEL ZČU, 21.9.2011
- [19] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2012-02-22].
Dostupný z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Six_Sigma_companies>
- [20] Skočil, V. *Technologie elektroniky* (přednáška) Plzeň: FEL ZČU
- [21] Česká společnost pro jakost: *Analýza systémů měření (MSA)*, 3.vyd. přeložili Ivana Petrašová, dpt., Ing. Vratislav Horálek, DrSc., Česká společnost pro jakost, Praha 2003, ISBN 80-02-01562-2
- [22] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2012-04-21].
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koeficient_šikmosti>
- [23] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. 2001- [cit. 2012-04-21].
Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Koeficient_špičatosti>

Seznam příloh

Data pro případovou studii

Měření pomocí mikroskopu

Bodové digramy

Časové diagramy

Rozptyl hodnot

Histogramy

Testy normality

Souhrny

ANOVA

Přílohy**Data pro případovou studii**

Print batch Skupina	Print sample identification Vzorek	Squeegee pressure (Kg) Tlak těrky	Squeegee speed (mm/s) Rychlost těrky	Snap off (mm) Vzdálenost síta od desky	Print sequence Nr. Pořadí	Emulsion thickness (μm) Tloušťka emulze	Screen Síto	Flooding Zaplavení síta	Average width of 50 μm line (μm) Šířka dráhy
1	1	5	80	0,75	1 st	3	Square Mesh 400/18/45	No	54,7
1	2	5	80	0,75	2 nd	3	Square Mesh 400/18/45	No	69,8
1	3	5	80	0,75	3 rd	3	Square Mesh 400/18/45	No	63,3
1	4	5	80	0,75	4 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	59,9
1	5	5	80	0,75	5 ^h	3	Square Mesh 400/18/45	No	72,4
1	6	5	80	0,75	6 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	69
1	7	5	80	0,75	7 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	59,8

1	8	5	80	1	8 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	63,8
1	9	5	80	1	9 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	67,3
3	10	5	80	1,25	10 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	61,5
3	11	5	80	1,25	11 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	64,5
3	12	4,5	80	0,75	12 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	62,3
3	13	4,5	80	0,75	13 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	59,3
3	14	4,5	80	1	14 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	61,8
3	15	4,5	80	1	15 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	63,8
3	16	4,5	80	1,25	16 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	64,4
3	17	4,5	80	1,25	17 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	67,2
3	18	4	80	0,6	18 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	57,8
3	19	4	80	0,6	19 ^h	3	Square Mesh 400/18/45	No	61,5
3	20	4	80	0,75	20 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	63,2

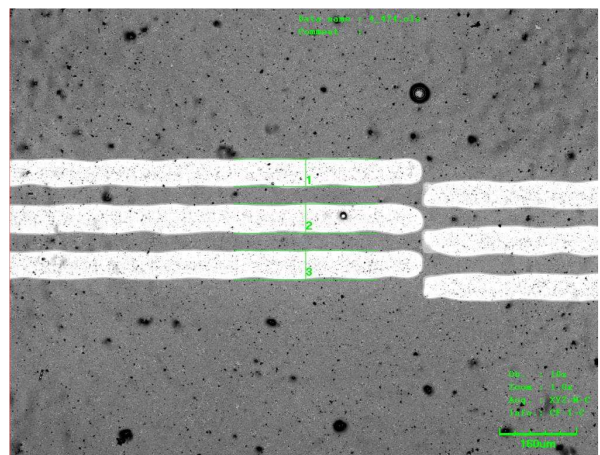
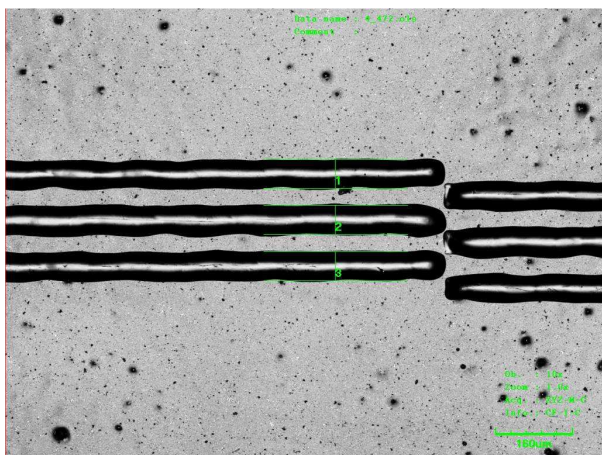
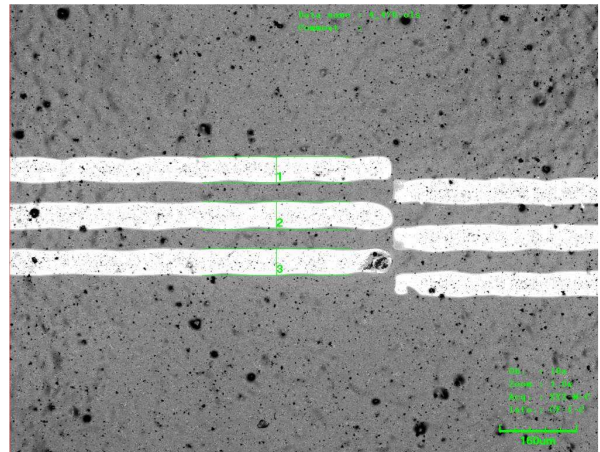
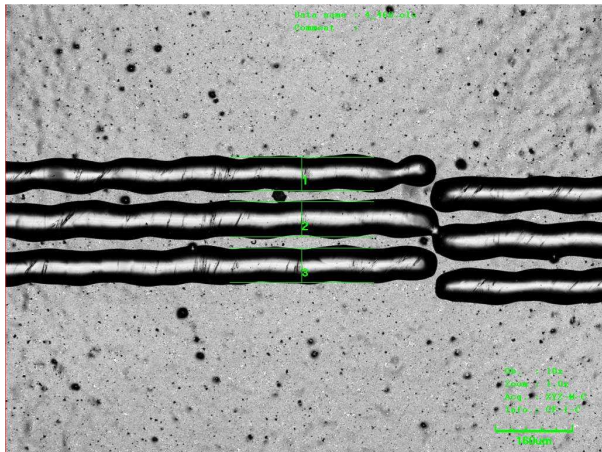
3	21	4	80	0,75	21 st	3	Square Mesh 400/18/45	No	60,8
3	22	4	80	1	22 nd	3	Square Mesh 400/18/45	No	67,6
3	23	4	80	1	23 rd	3	Square Mesh 400/18/45	No	64,3
3	24	4	80	1,25	24 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	68,6
3	25	4	80	1,25	25 th	3	Square Mesh 400/18/45	No	66,7
4	1	4,6	80	1	1 st	6	Square Mesh 400/18/45	YES	54
4	2	4,6	80	1	2 nd	6	Square Mesh 400/18/45	YES	56
4	3	4,6	80	1	3 rd	6	Square Mesh 400/18/45	YES	59,7
4	4	4,6	80	1	4 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	36,3
4	5	4,6	80	1	5 ^h	6	Square Mesh 400/18/45	YES	52,1
4	6	4,6	80	1	6 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	47,8
4	7	4,6	100	1	7 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	45,2
4	8	4,6	100	1	8 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	36,8

4	9	4,6	100	1	9 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	47,1
4	10	4,6	100	1	10 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	41,4
4	11	4,6	100	1	11 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	51,6
4	12	4,6	100	1	12 th	6	Square Mesh 400/18/45	YES	50,8
2	1	4	25	1	3 rd	3	Square Mesh 400/18/45	NO	65,9
2	2	4	25	1	4 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	72,9
2	3	4	25	1,25	5 ^h	3	Square Mesh 400/18/45	NO	72,9
2	4	5	25	1,25	6 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	60,2
2	5	5	25	1,25	7 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	61,4
2	6	5	25	1,25	8 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	67,1
2	7	5	25	1,25	9 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	74,6
2	8	6	25	1,25	10 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	74,5
2	9	6	25	1,25	11 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	76,9

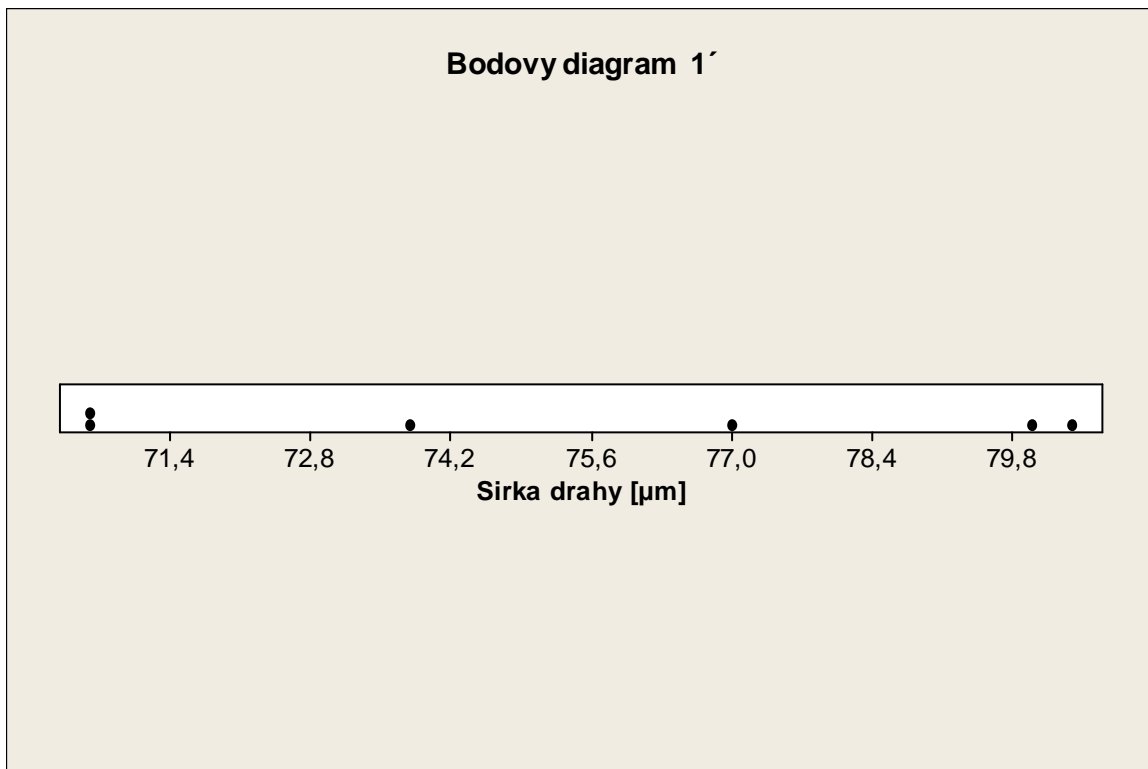
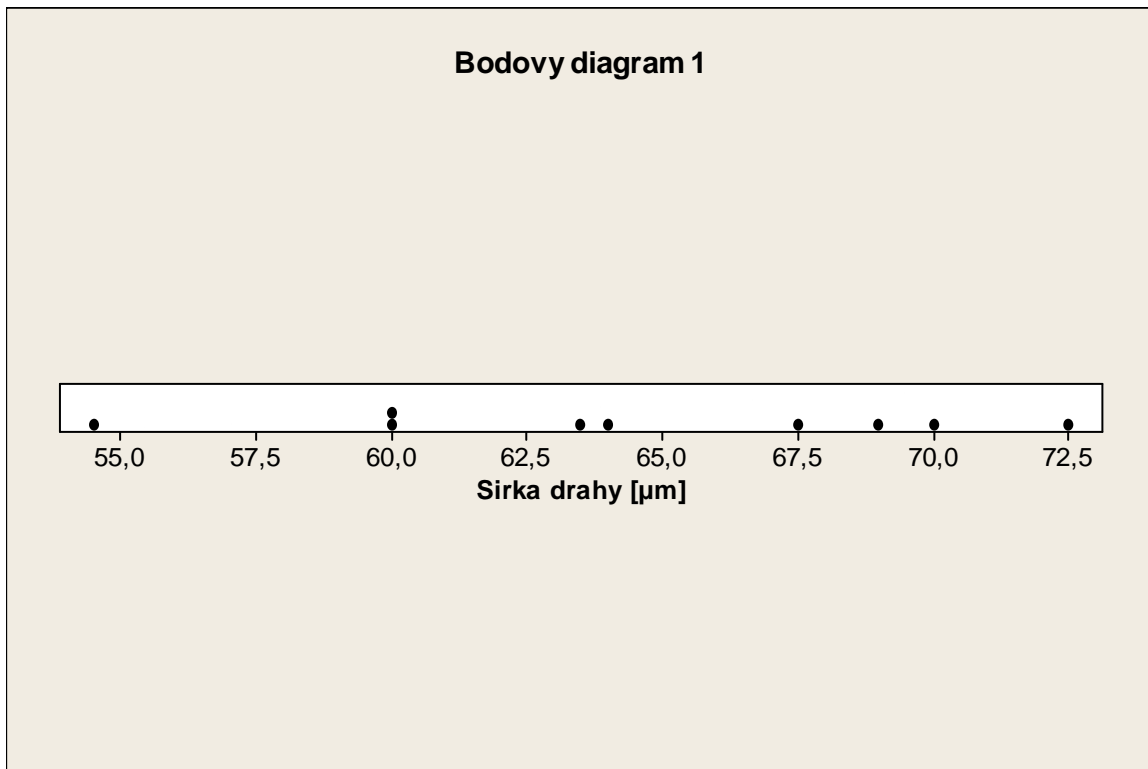
2	10	7	25	1,25	12 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	77,5
2	11	7	25	1,25	13 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	71,7
1	1	5	25	2	1 st	3	Square Mesh 400/18/45	NO	70,5
1	2	5	25	2	2 nd	3	Square Mesh 400/18/45	NO	70,5
1	3	5	25	2	5 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	73,8
1	4	5	25	2	6 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	79,9
1	5	2	25	1,5	8 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	77,0
1	6	5	25	1,5	9 th	3	Square Mesh 400/18/45	NO	80,4
5	1	4	120	0,75	2 nd	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	46,9
5	2	4	120	0,75	3 rd	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	52,2
5	3	4	120	1	4 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	52,2
5	4	4	120	1	5 ^h	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	51,8
5	5	4	120	1,25	6 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	52,3

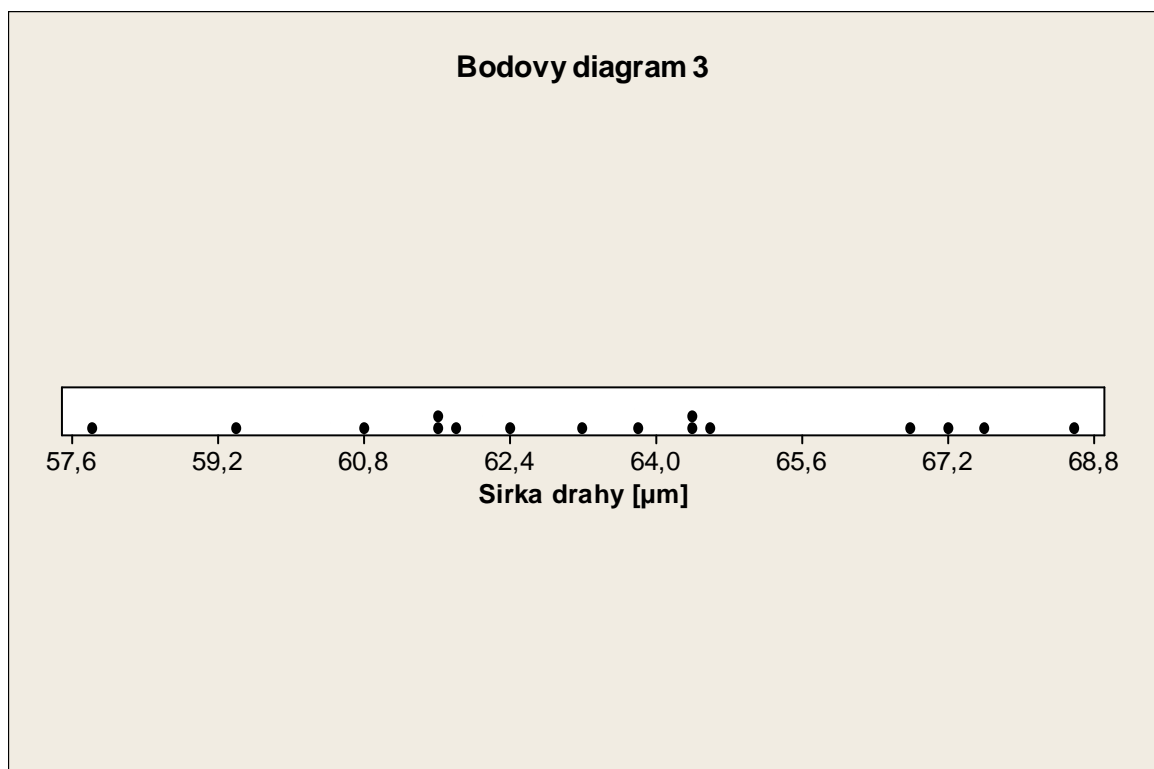
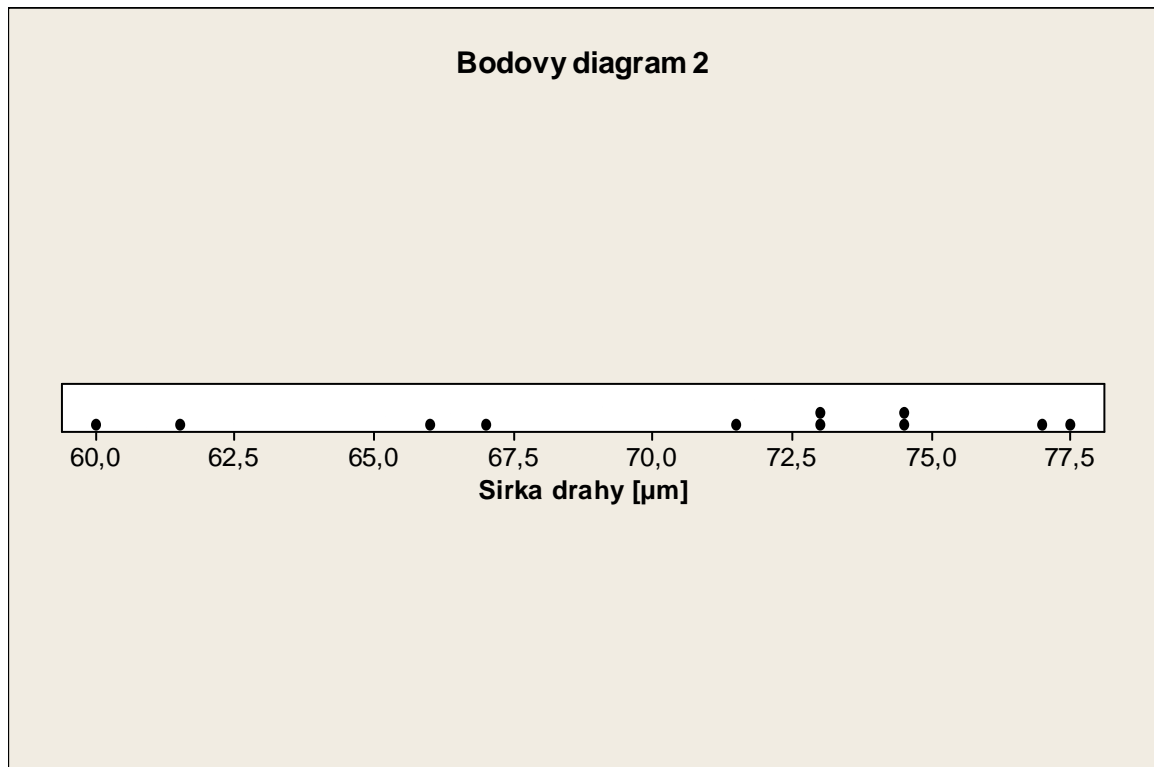
5	6	4	120	1,25	7 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	50,2
5	7	5	120	0,75	8 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	53,9
5	8	5	120	0,75	9 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	54,6
5	9	5	120	1	10 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	51,7
5	10	5	120	1	11 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	55,9
5	11	5	120	1,25	12 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	53,9
5	12	5	120	1,25	13 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	51,0
5	13	6	120	0,75	14 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	52,2
5	14	6	120	0,75	15 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	52,2
5	15	6	120	1	16 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	52,8
5	15	6	120	1	17 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	53,2
5	15	6	120	1,25	18 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	54,3
5	15	6	120	1,25	19 th	9,6	Square Mesh 400/18/45	YES	53,9

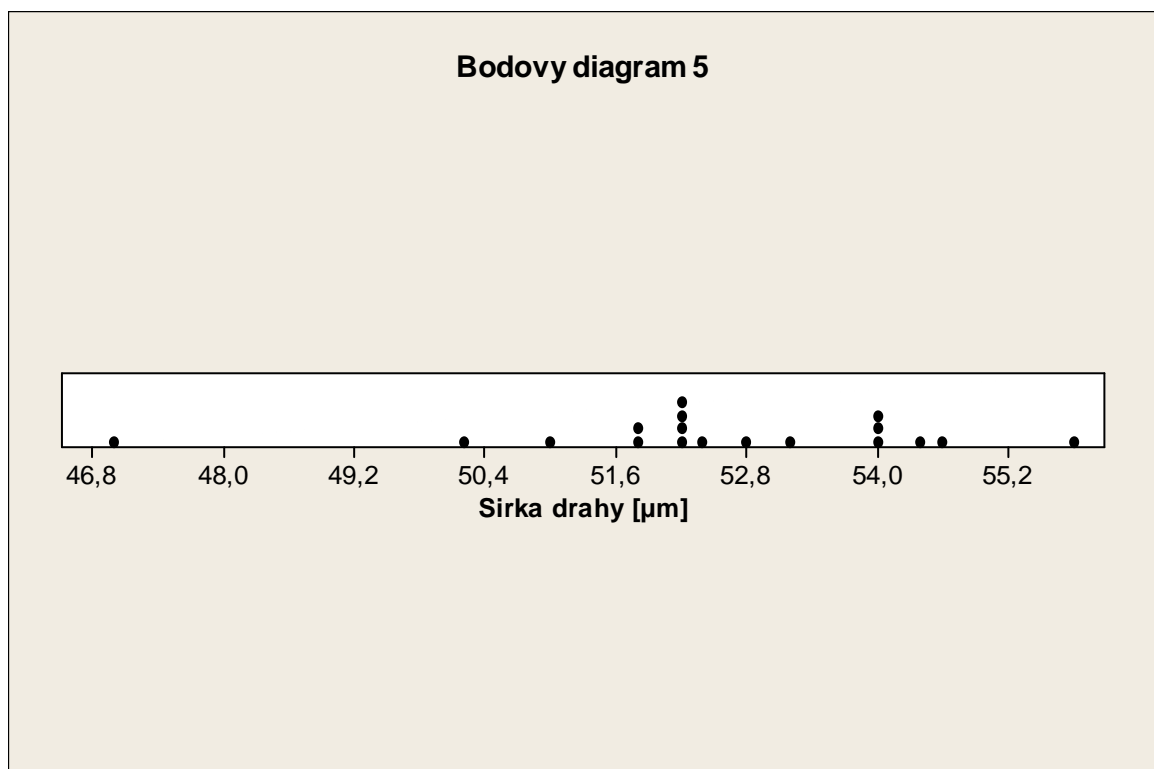
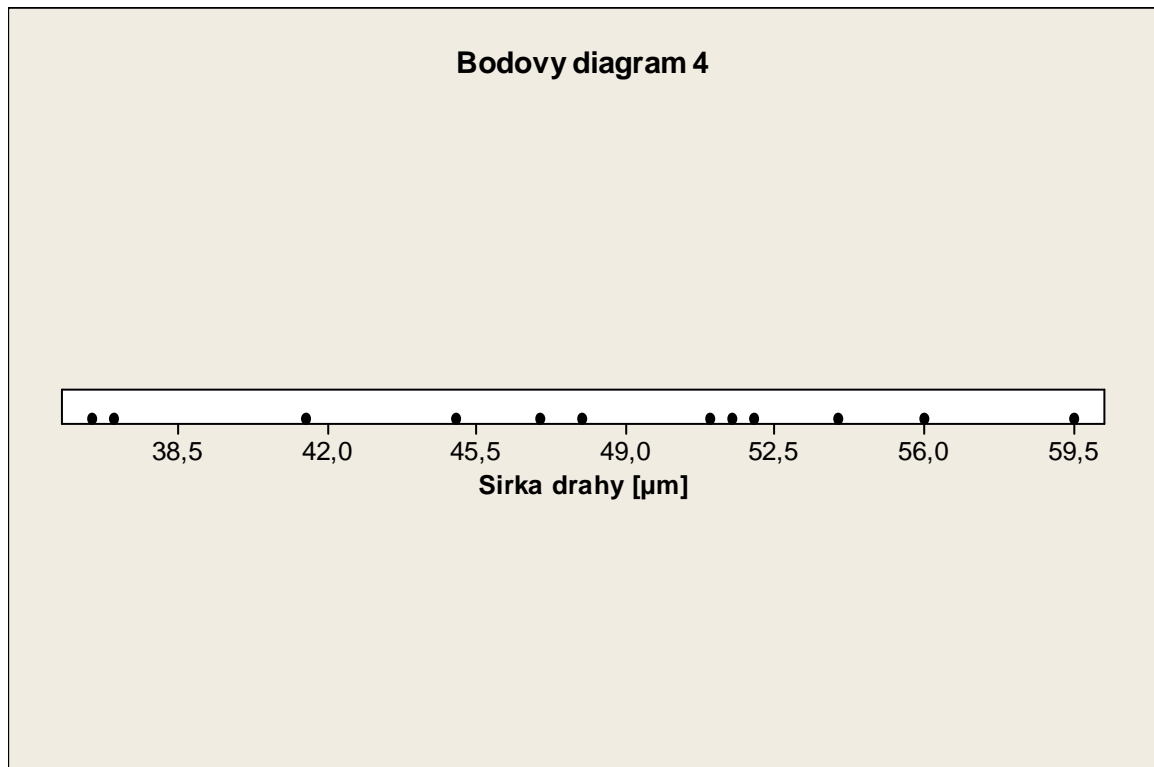
Měření pomocí mikroskopu

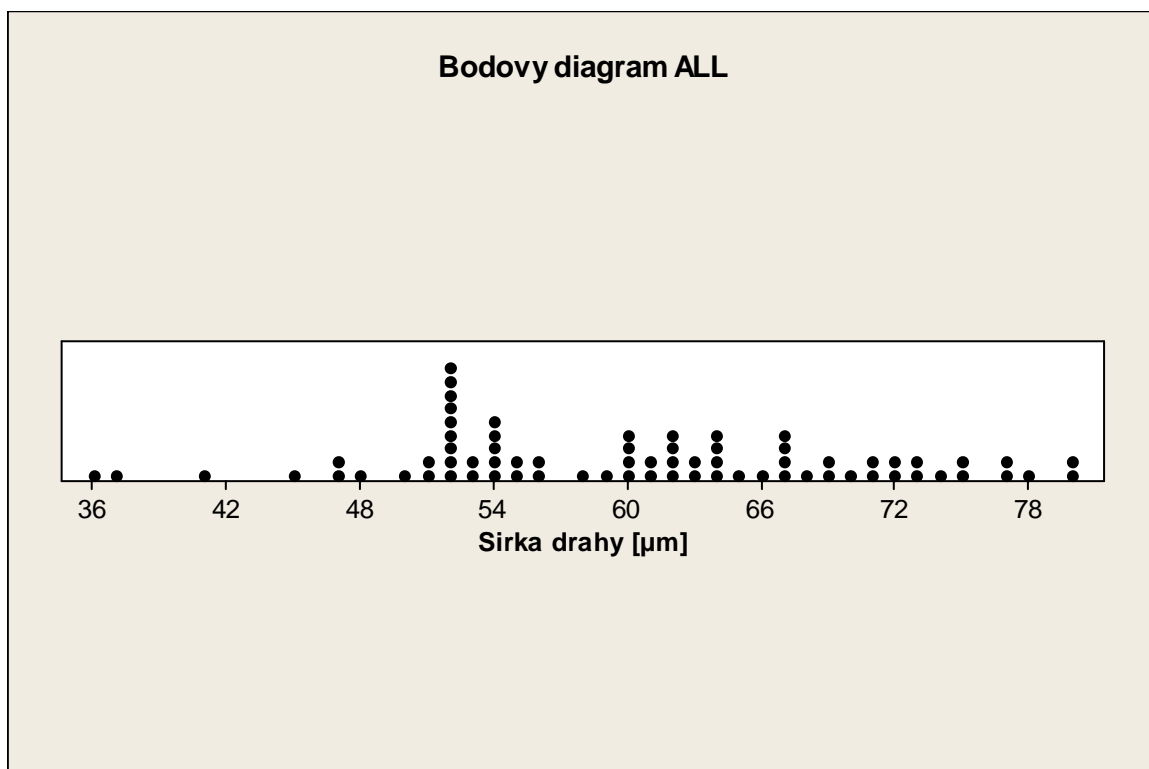
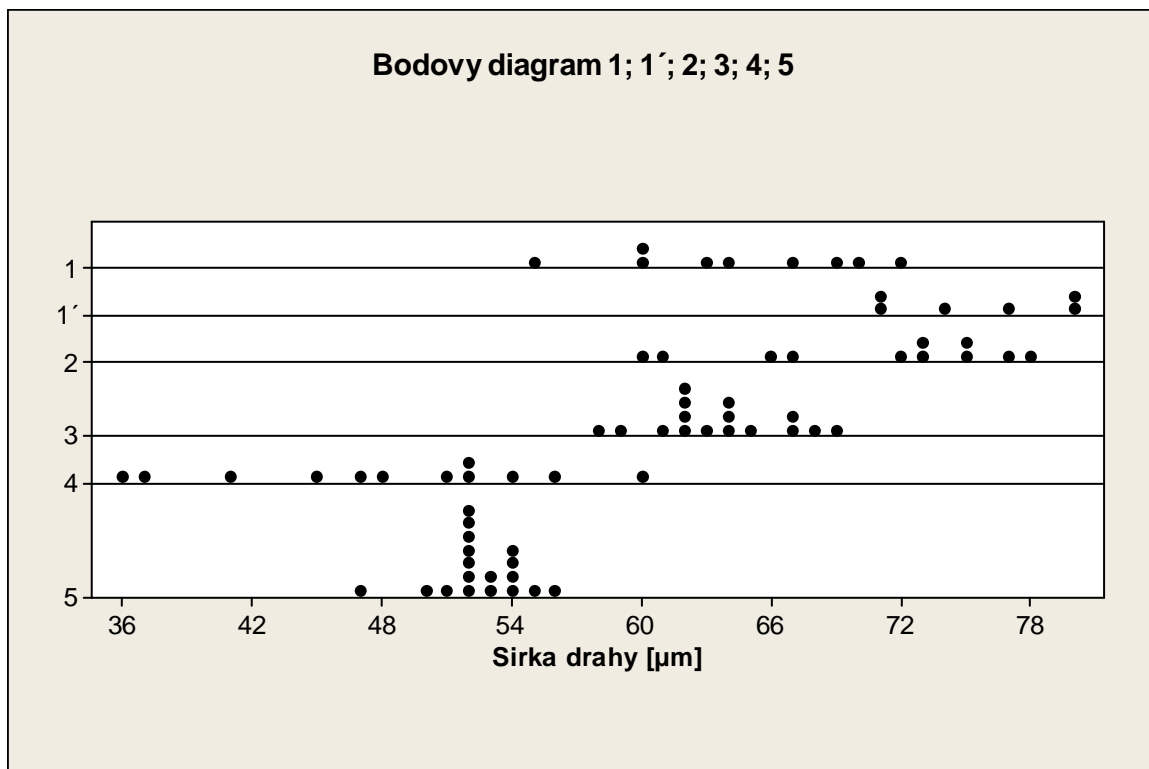


Bodové diagramy

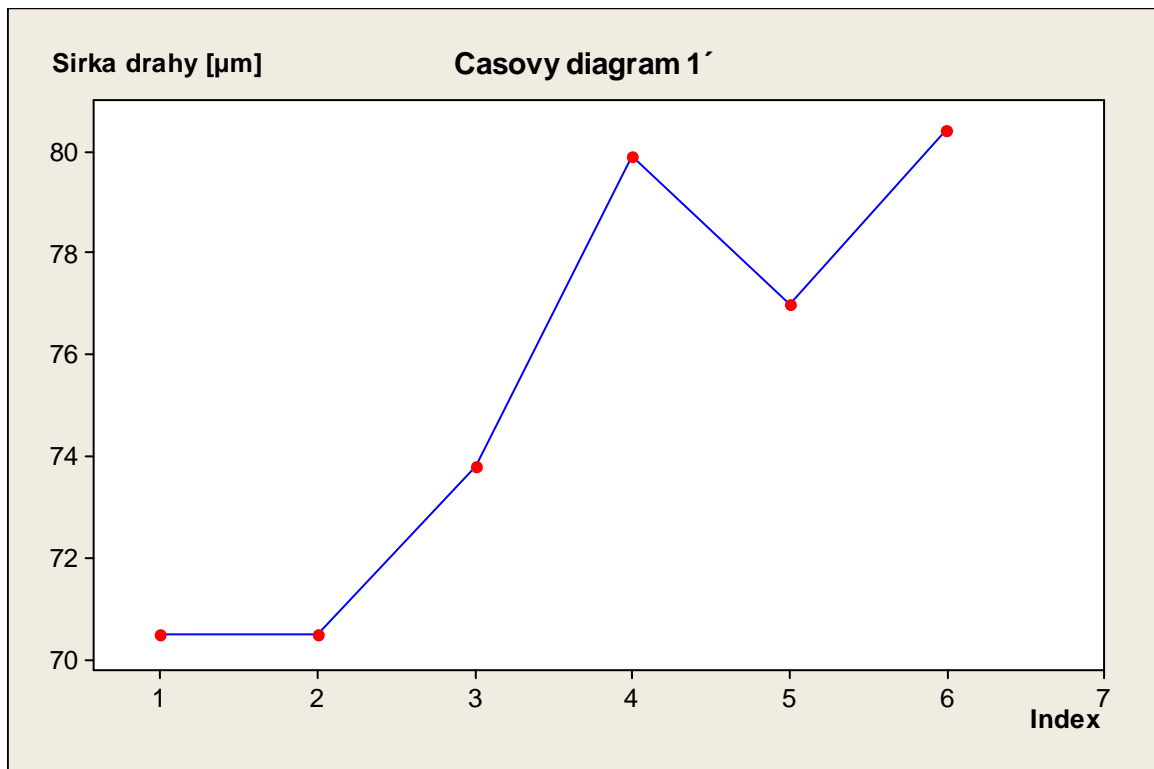
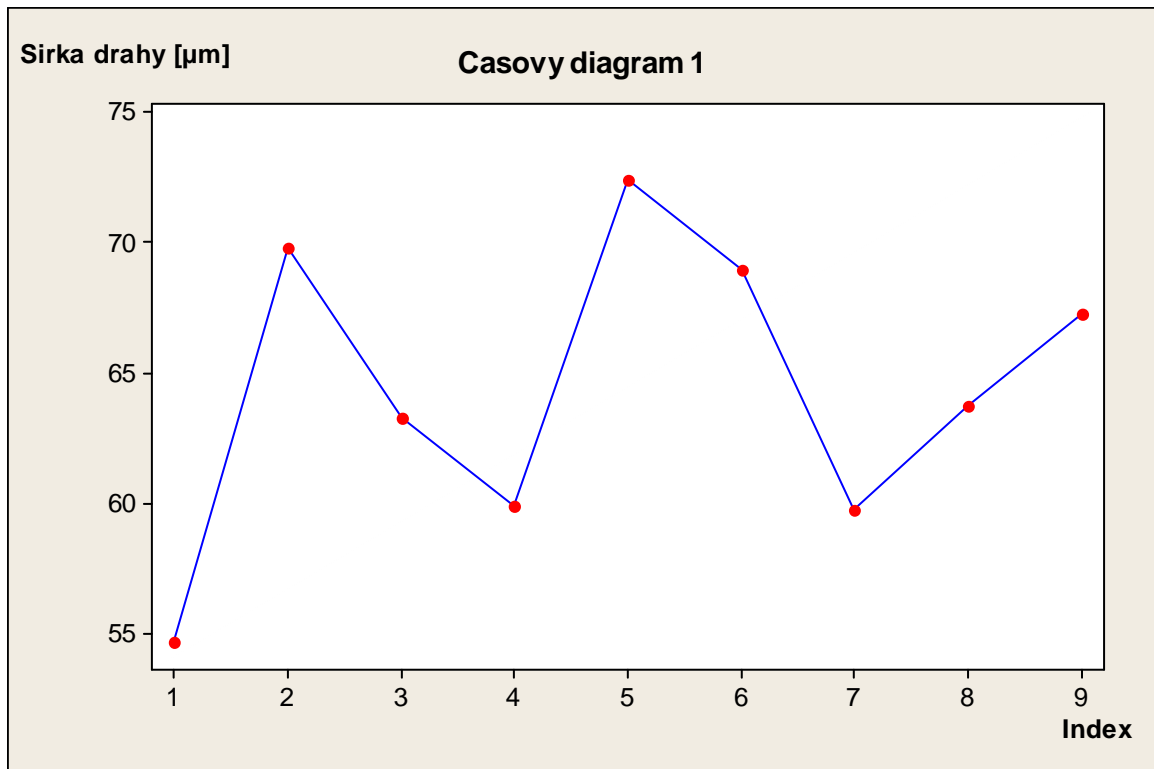


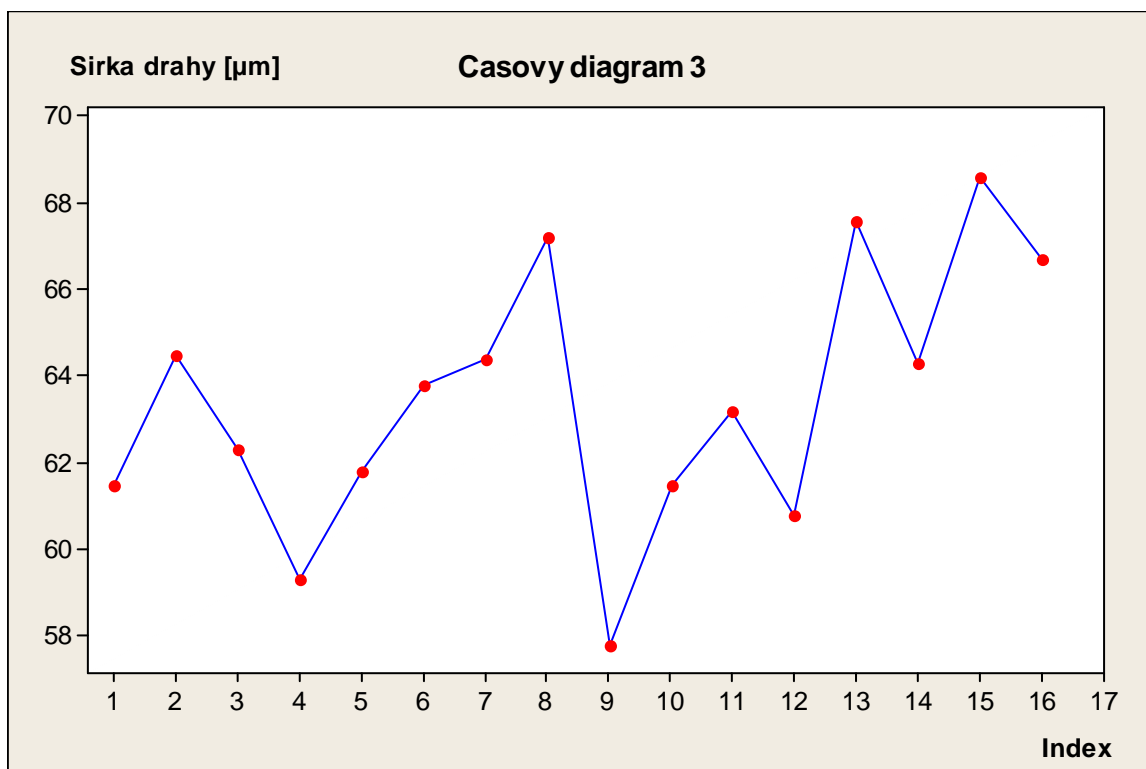
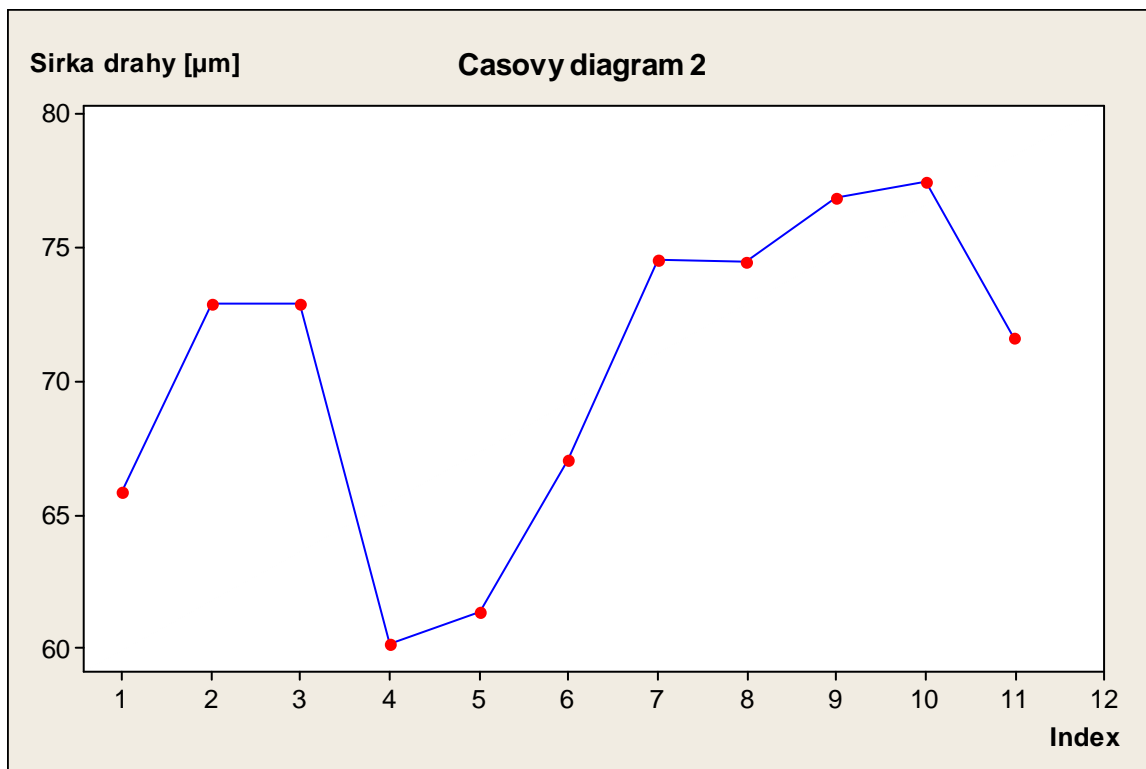


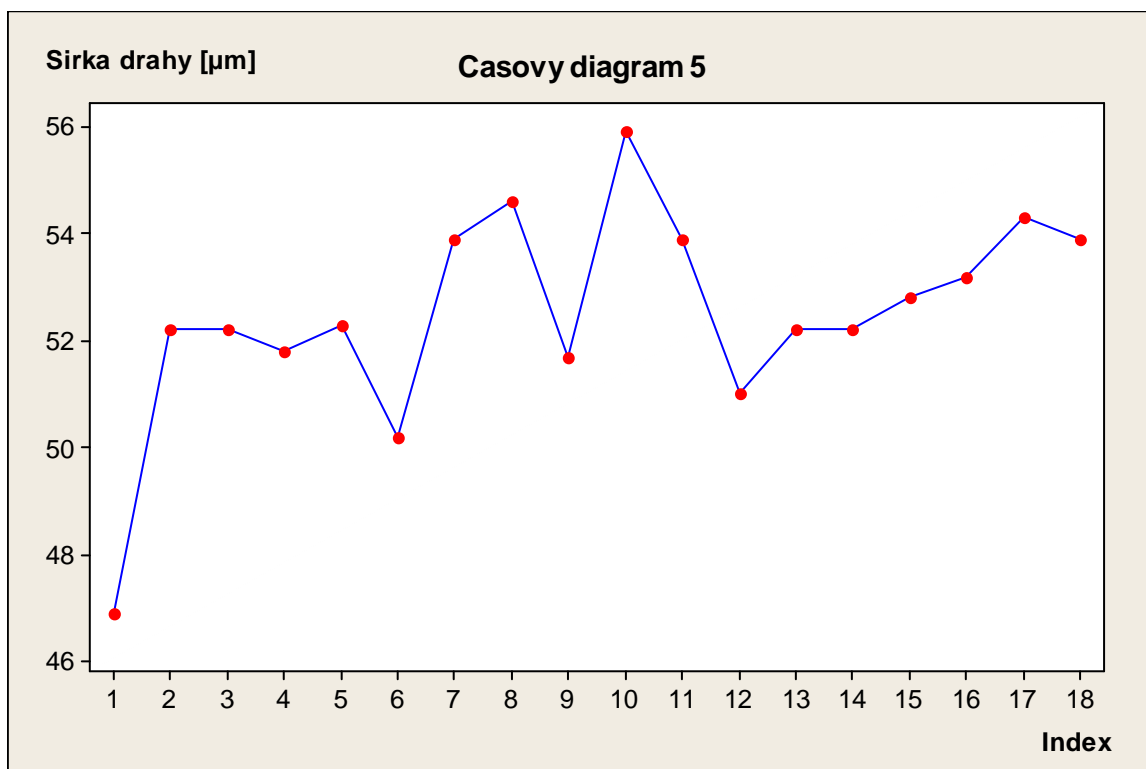
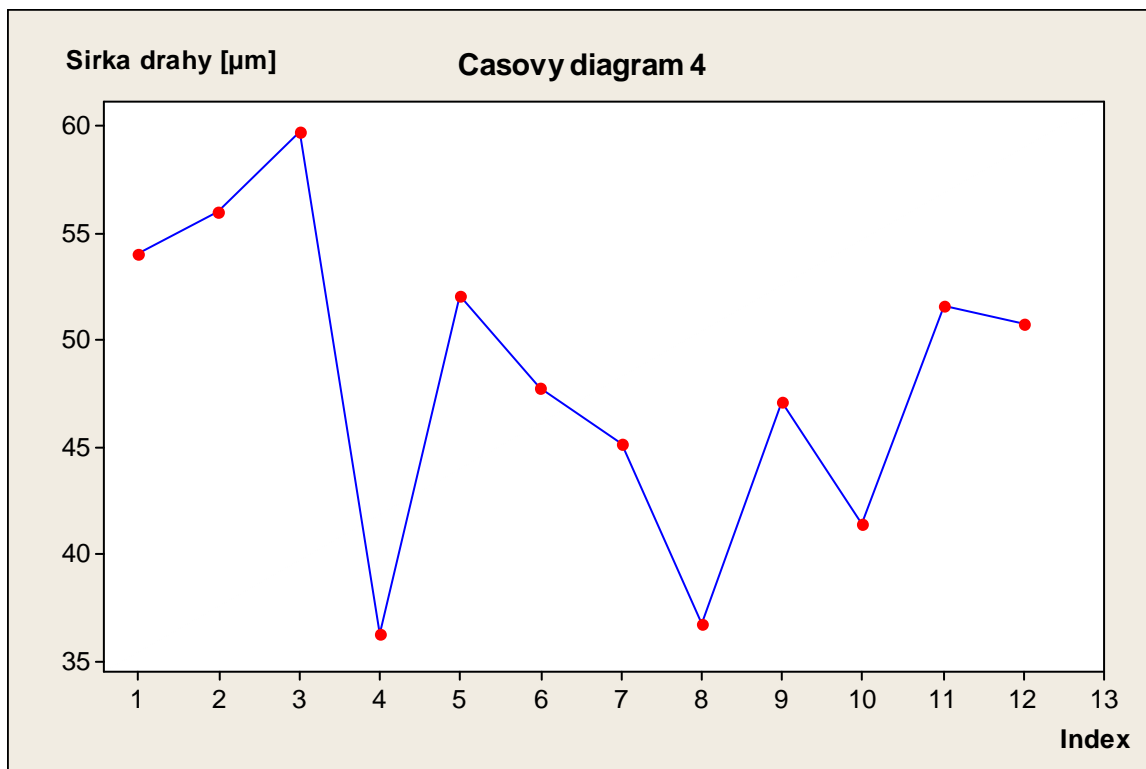


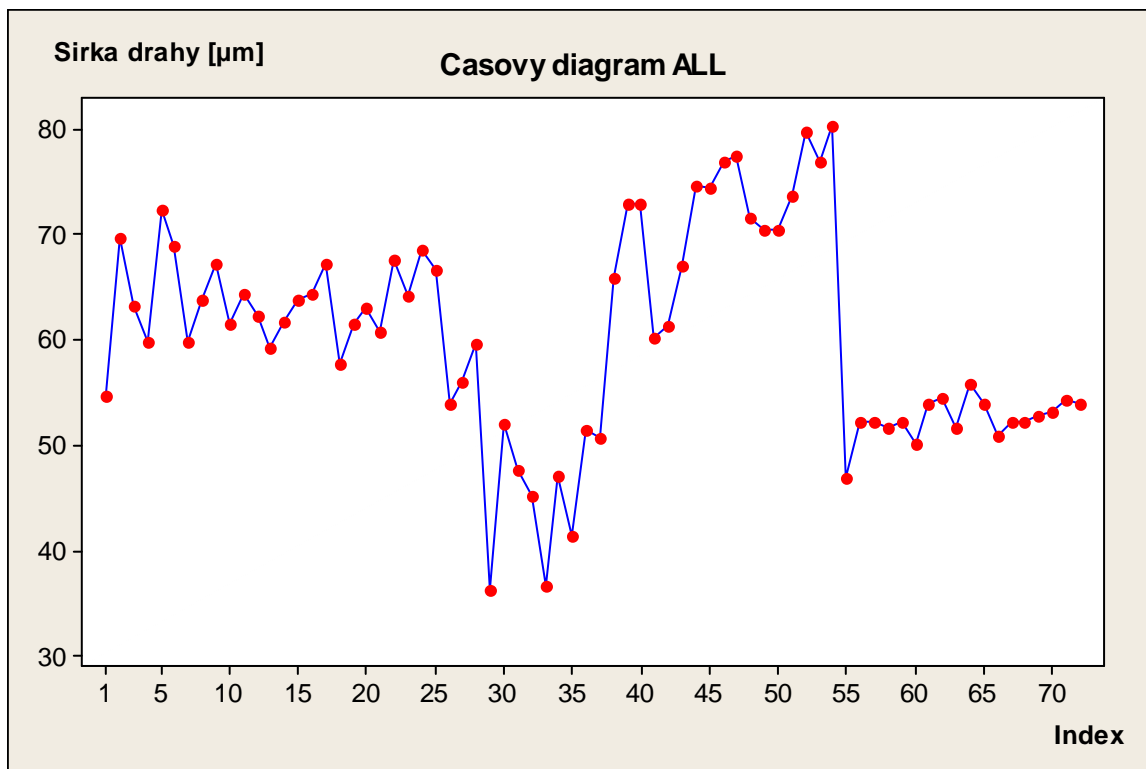


Časové diagramy

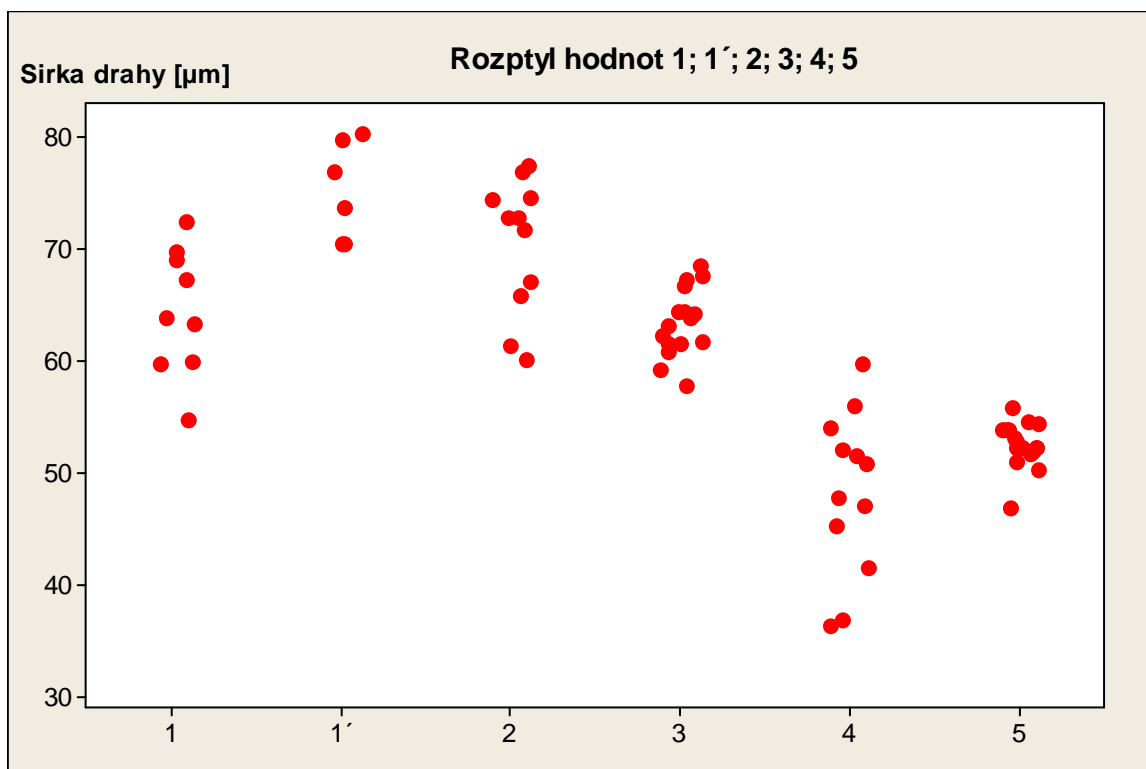




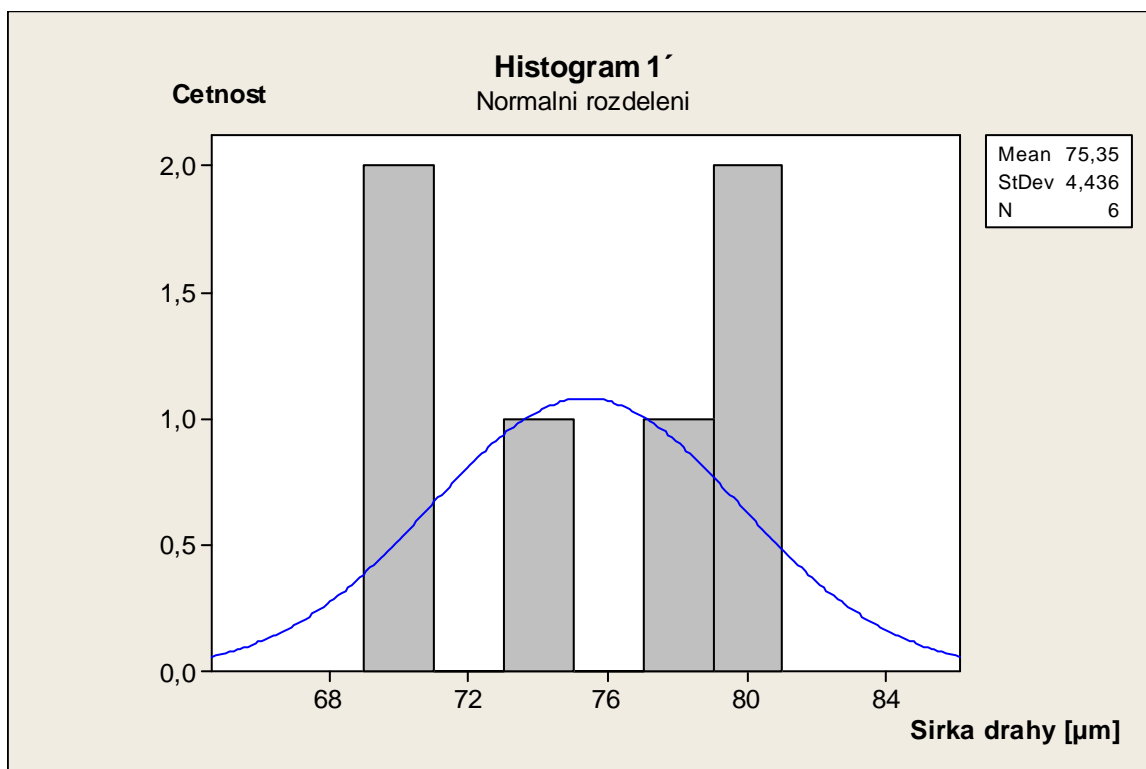
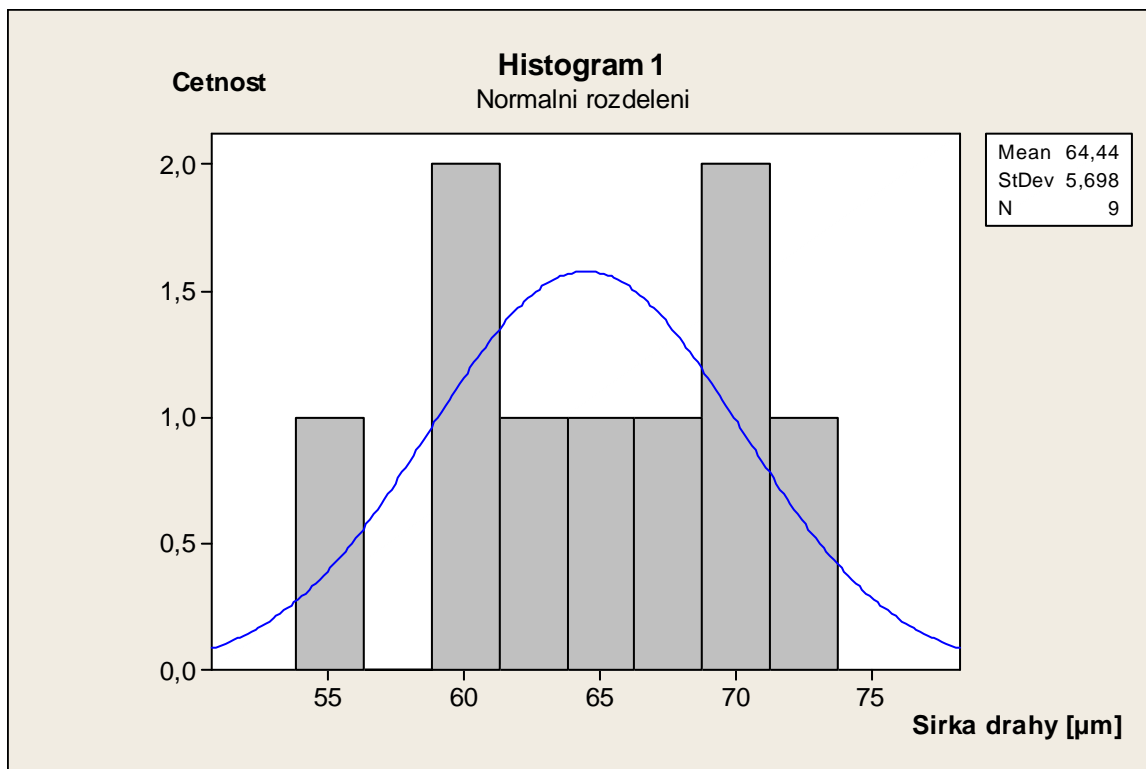


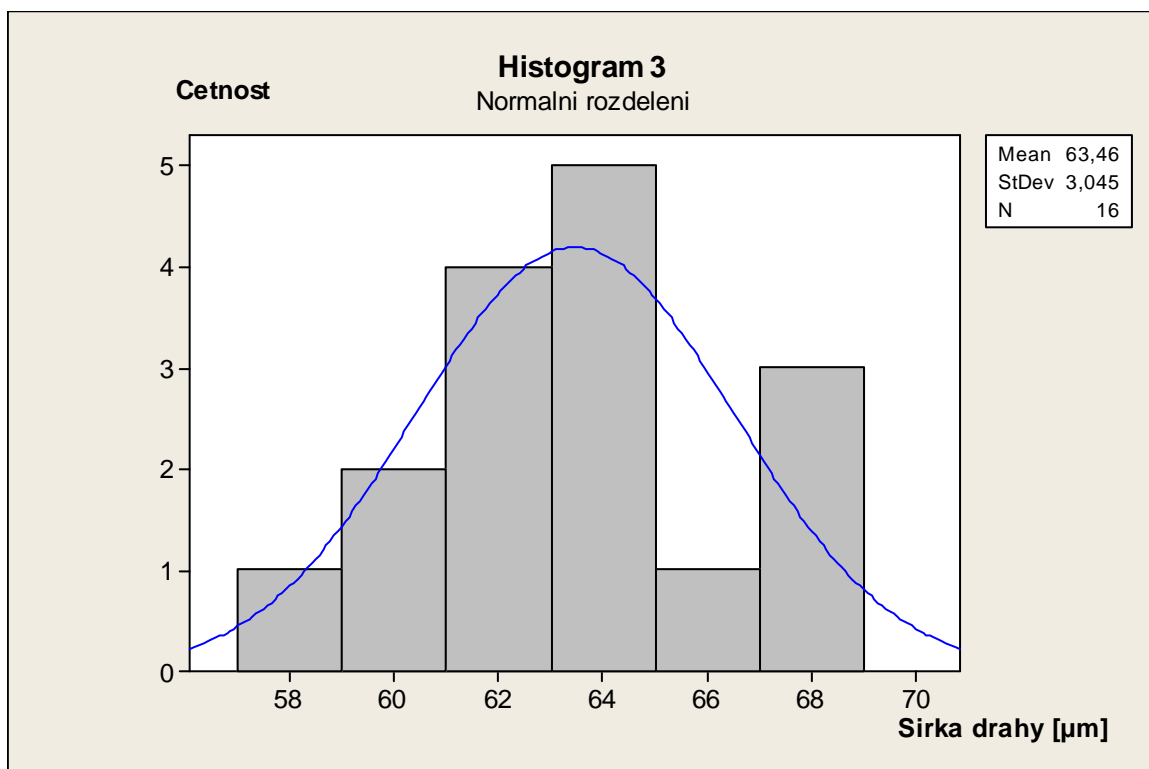
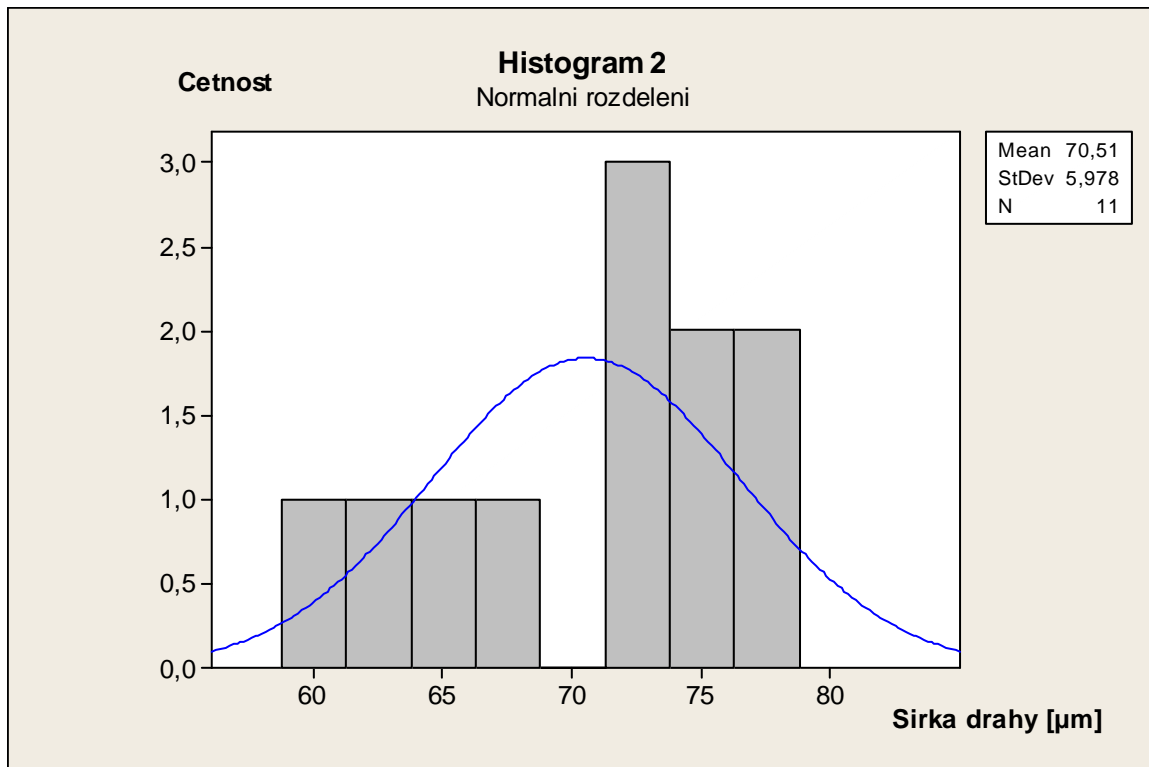


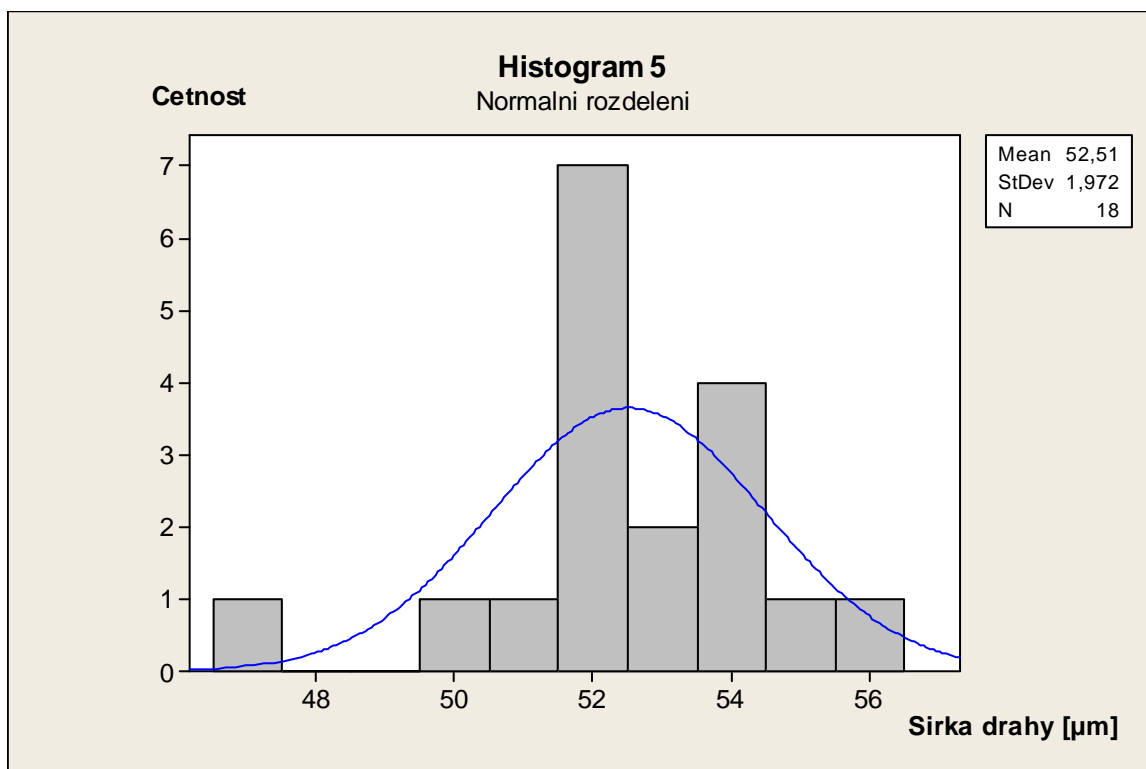
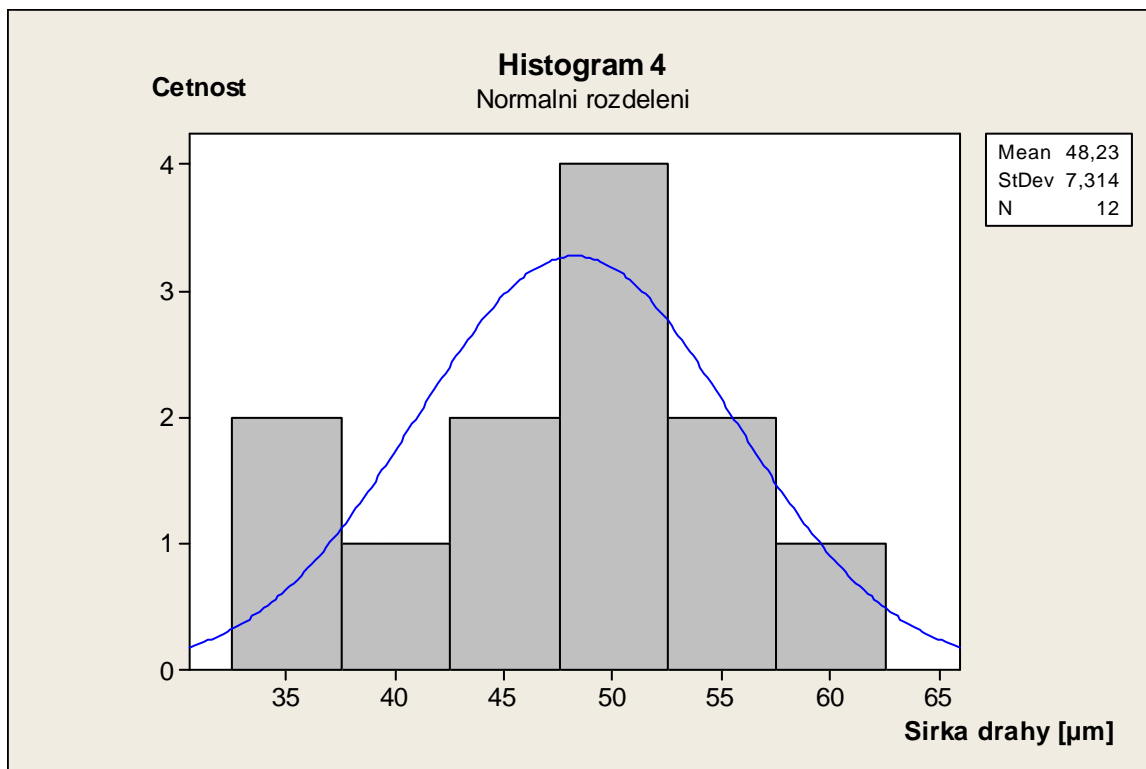
Rozptyl hodnot

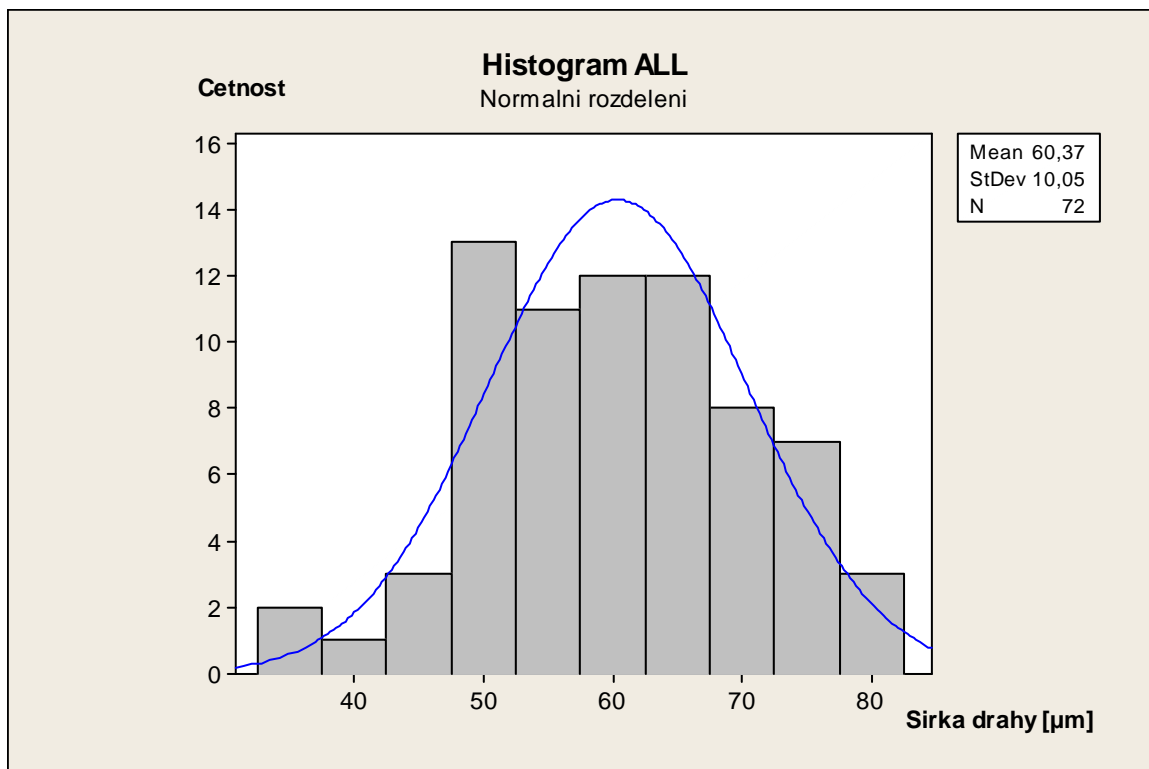


Histogramy

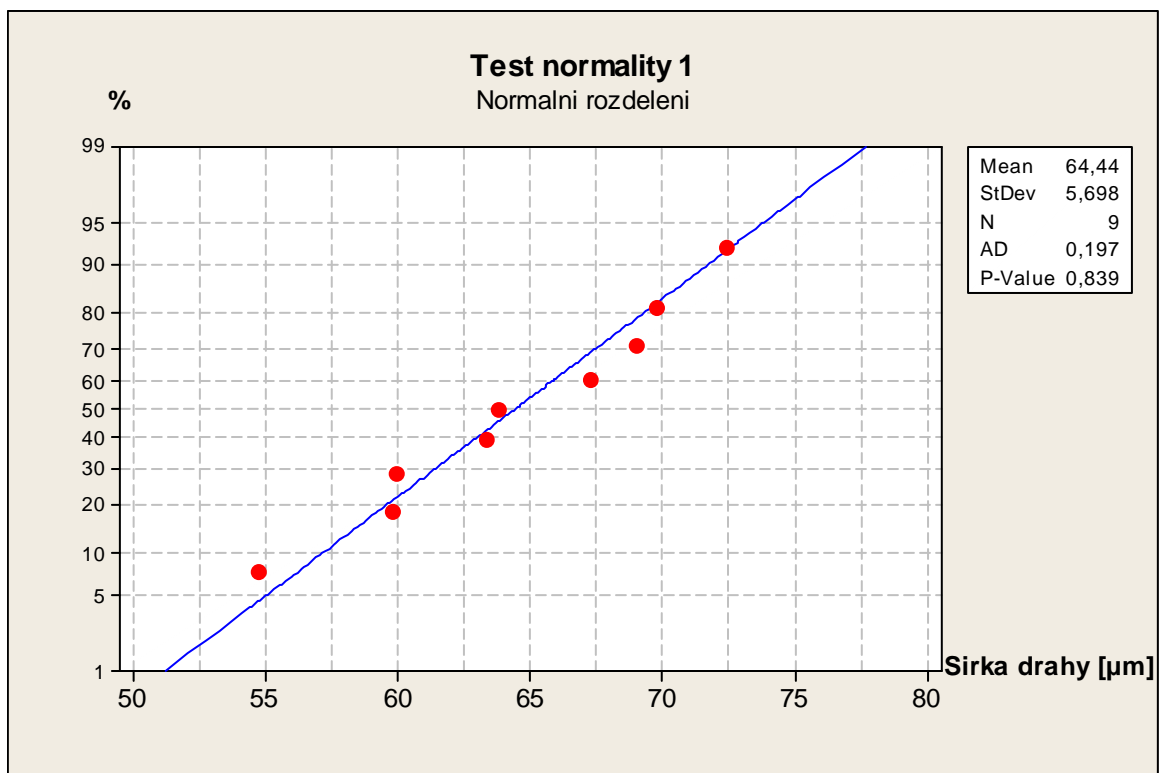




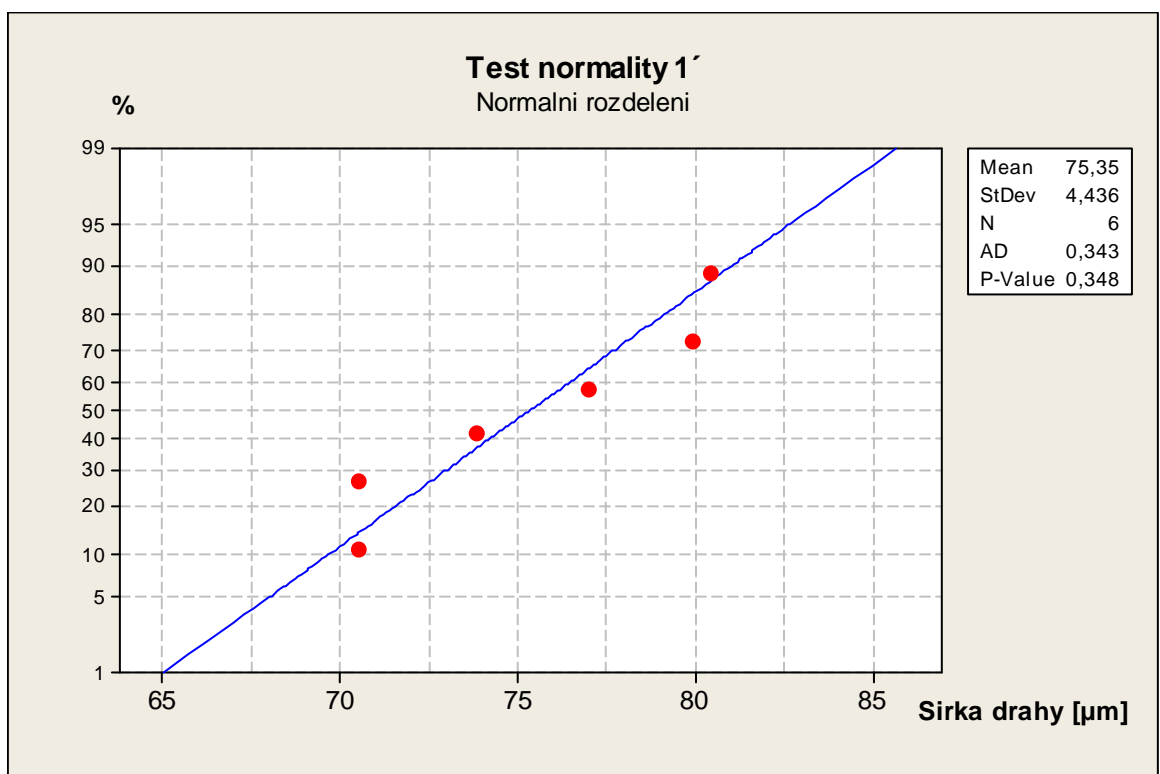




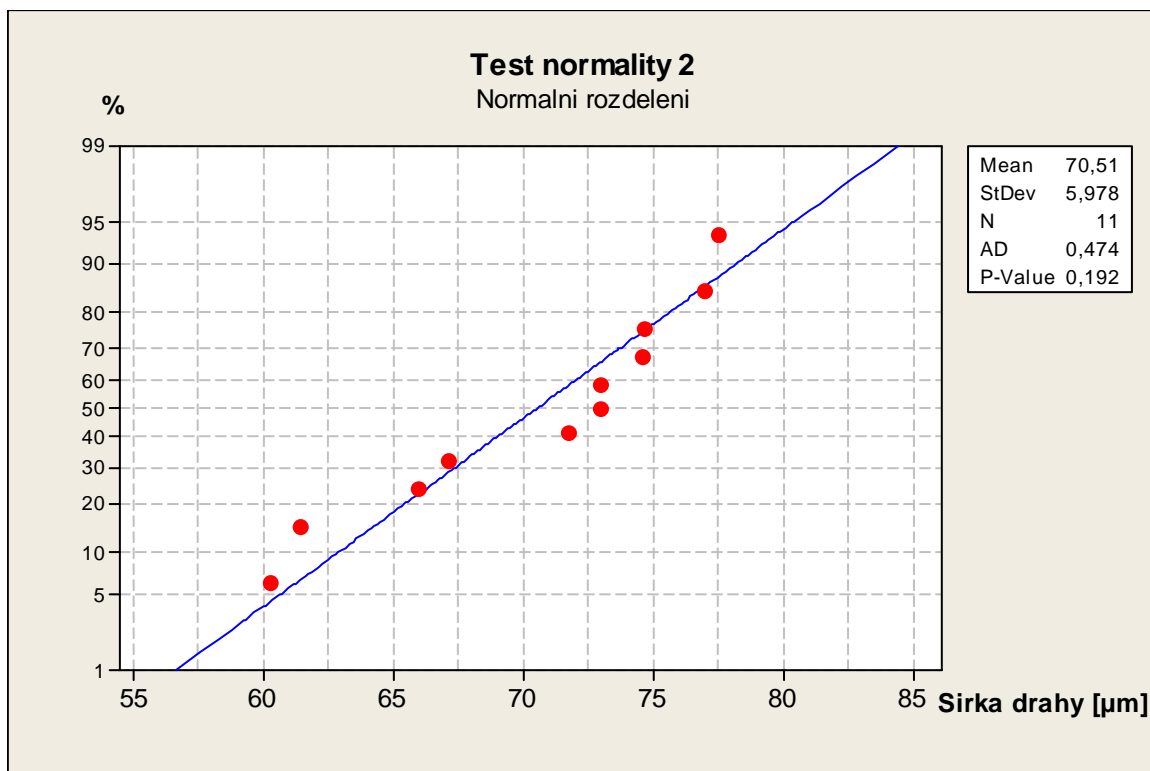
Testy normality



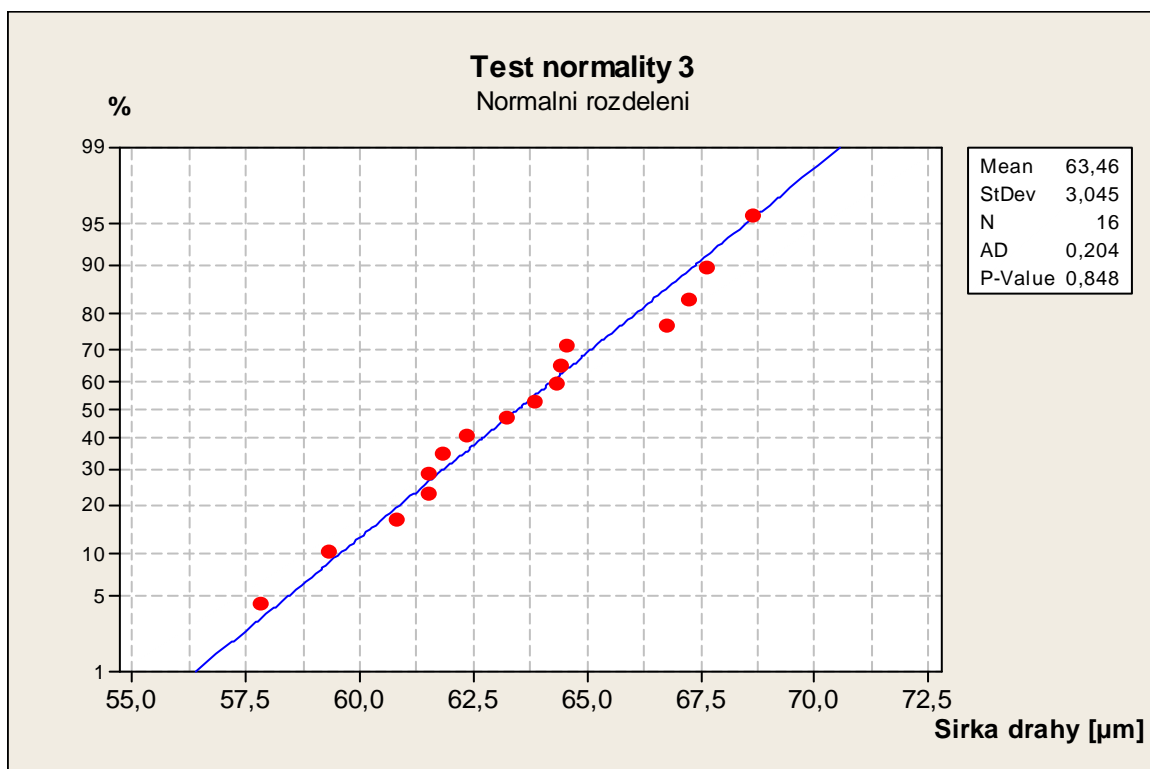
$P > 0,05$ – normální rozdění



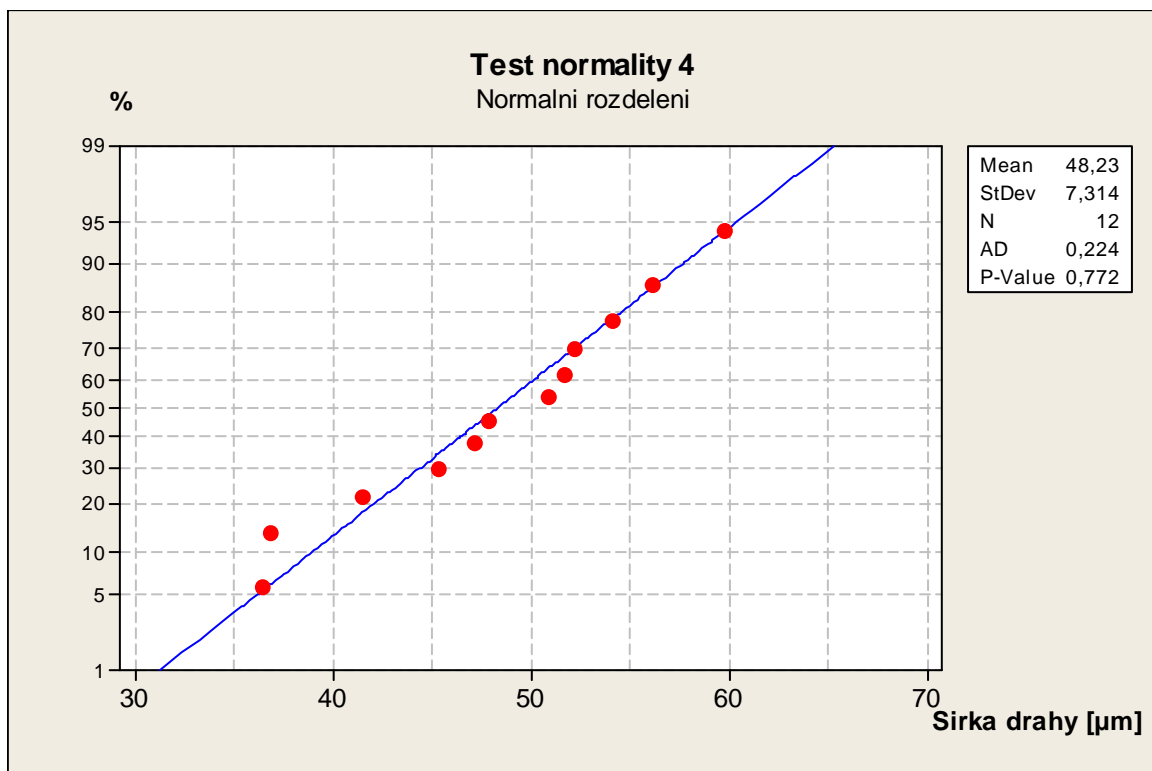
$P > 0,05$ – normální rozdění



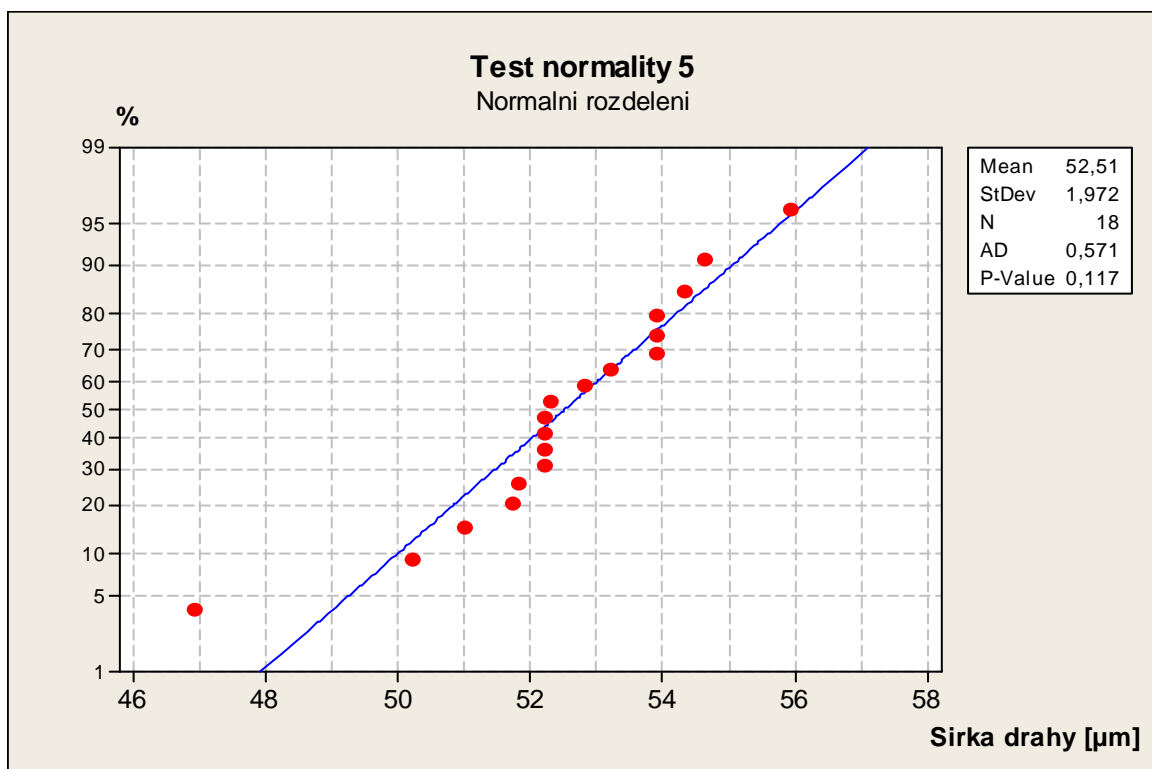
$P > 0,05$ – normální rozdělání



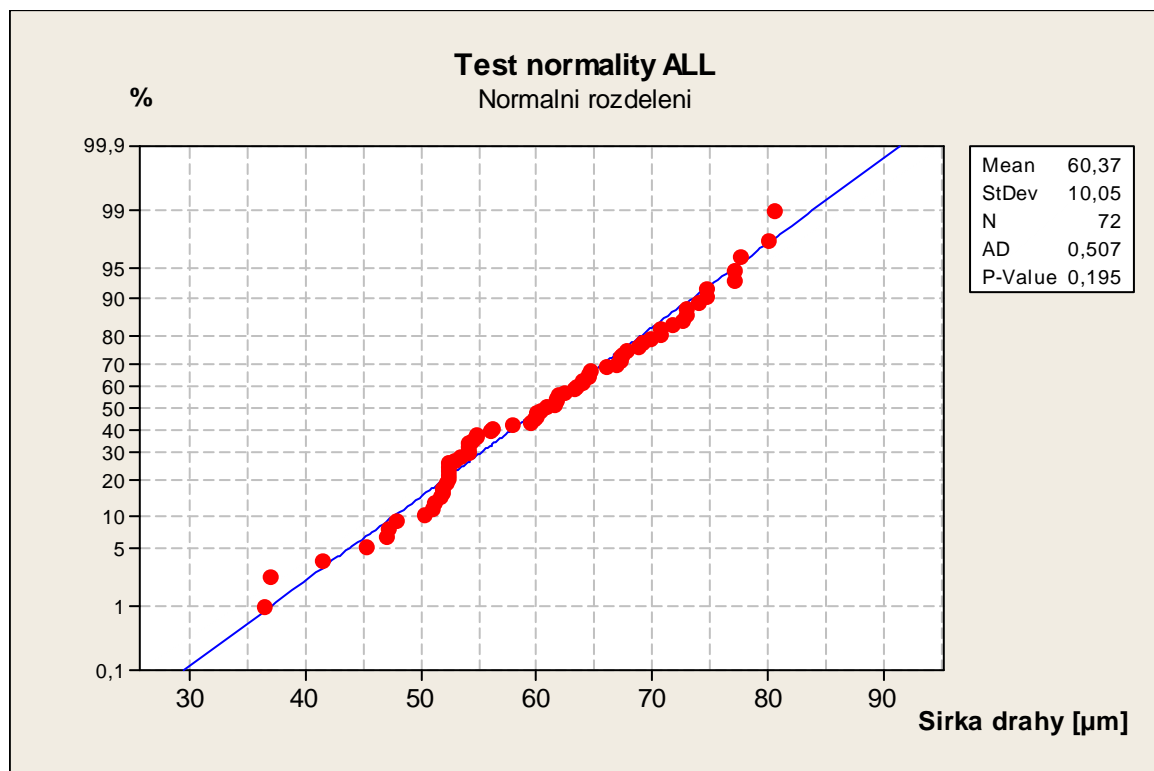
$P > 0,05$ – normální rozdělání



$P > 0,05$ – normální rozdění

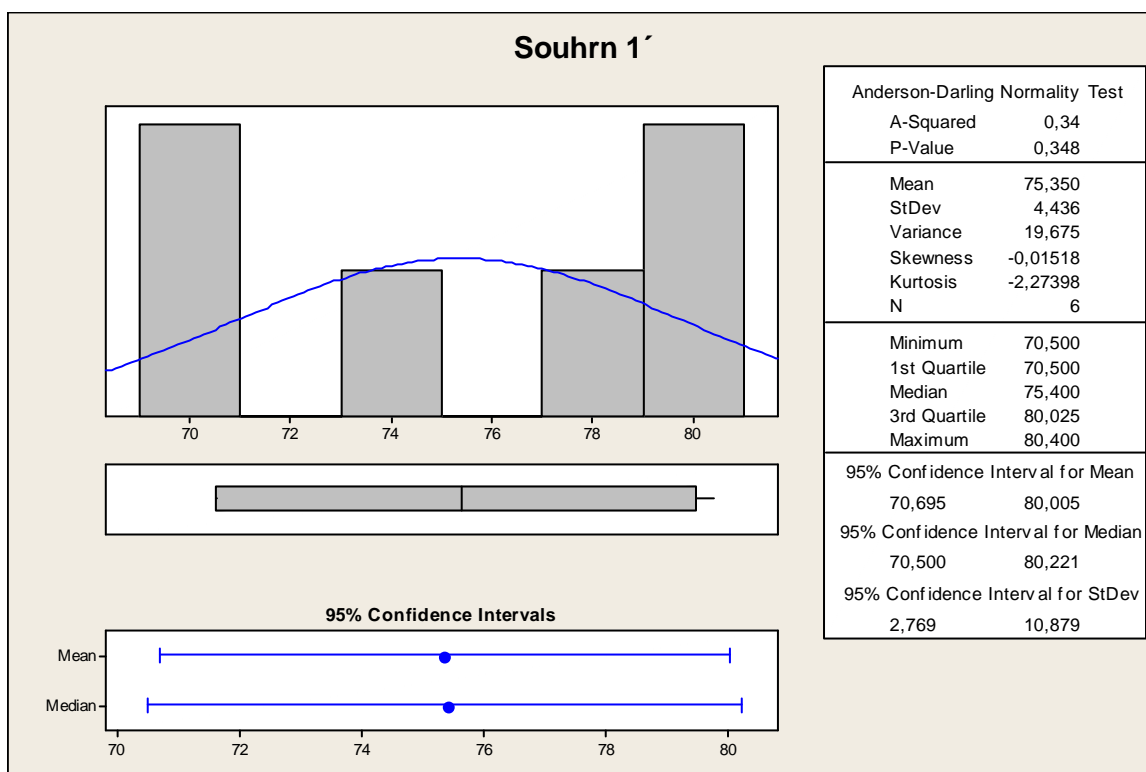
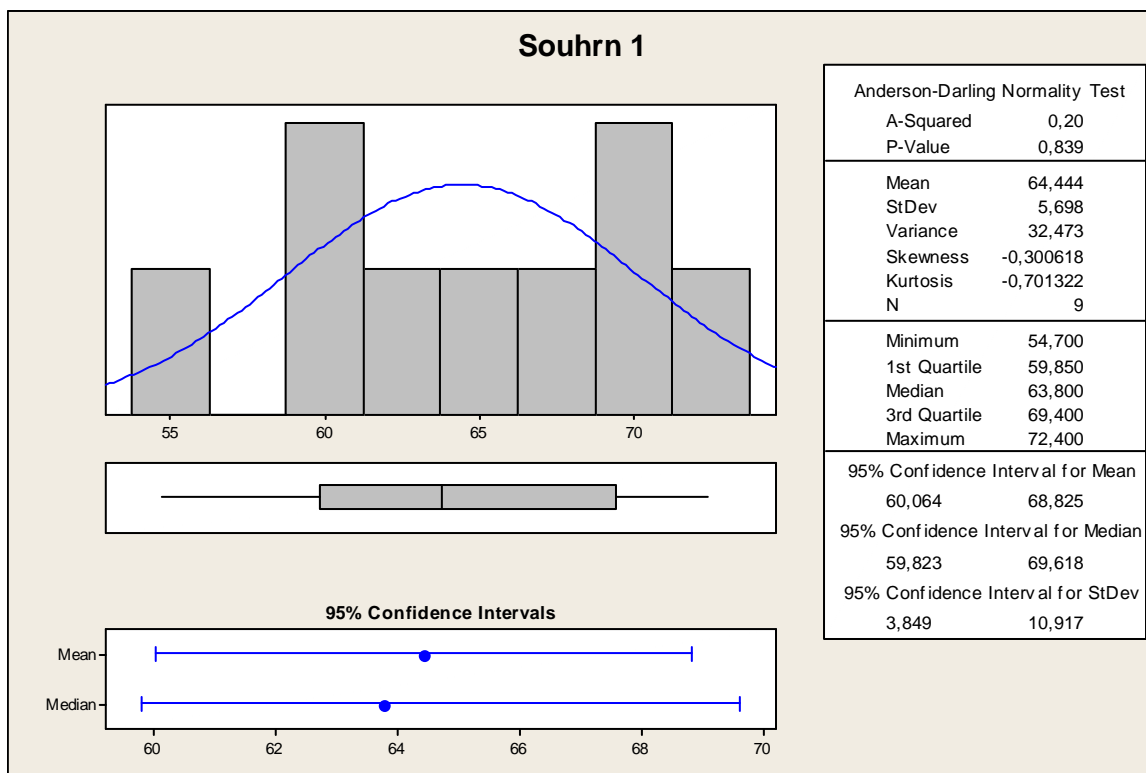


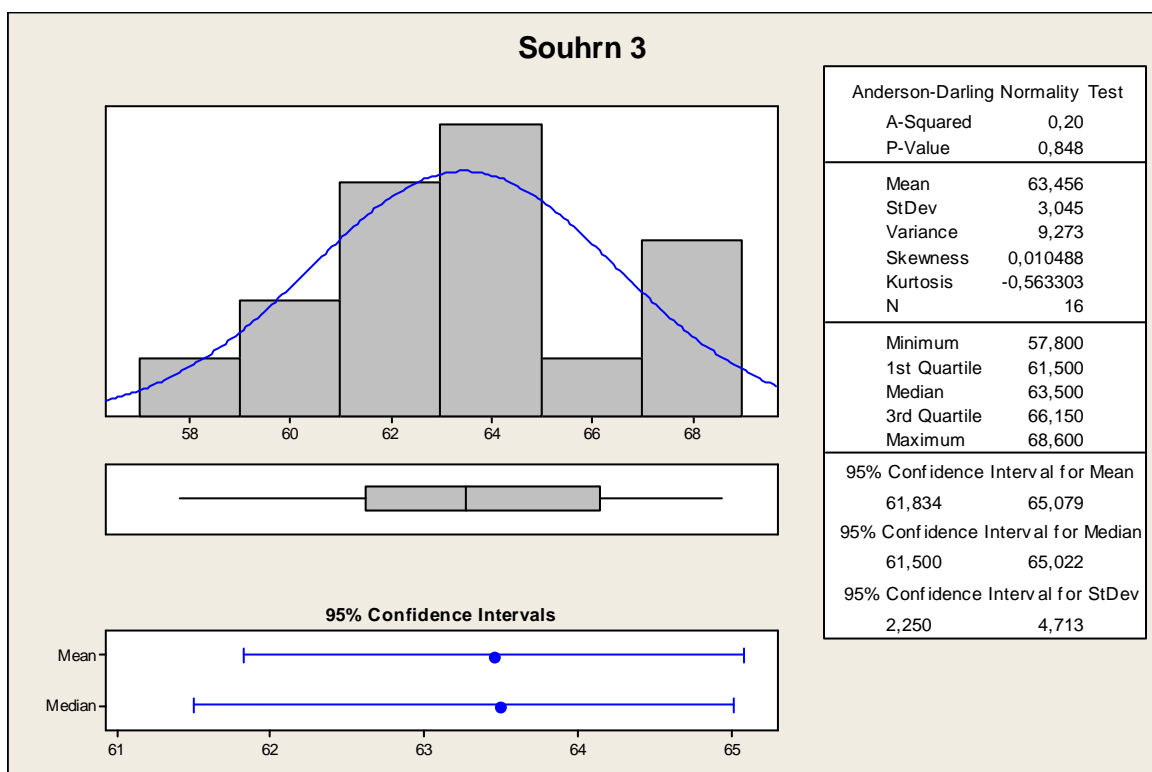
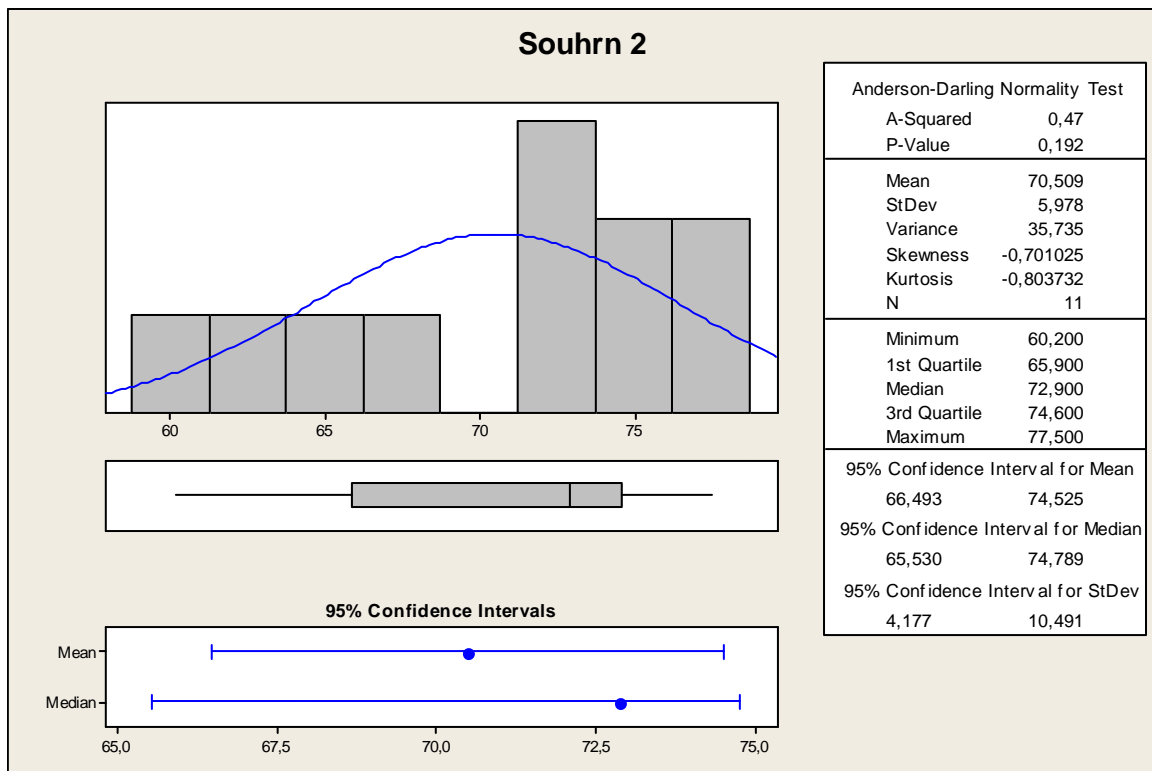
$P > 0,05$ – normální rozdění

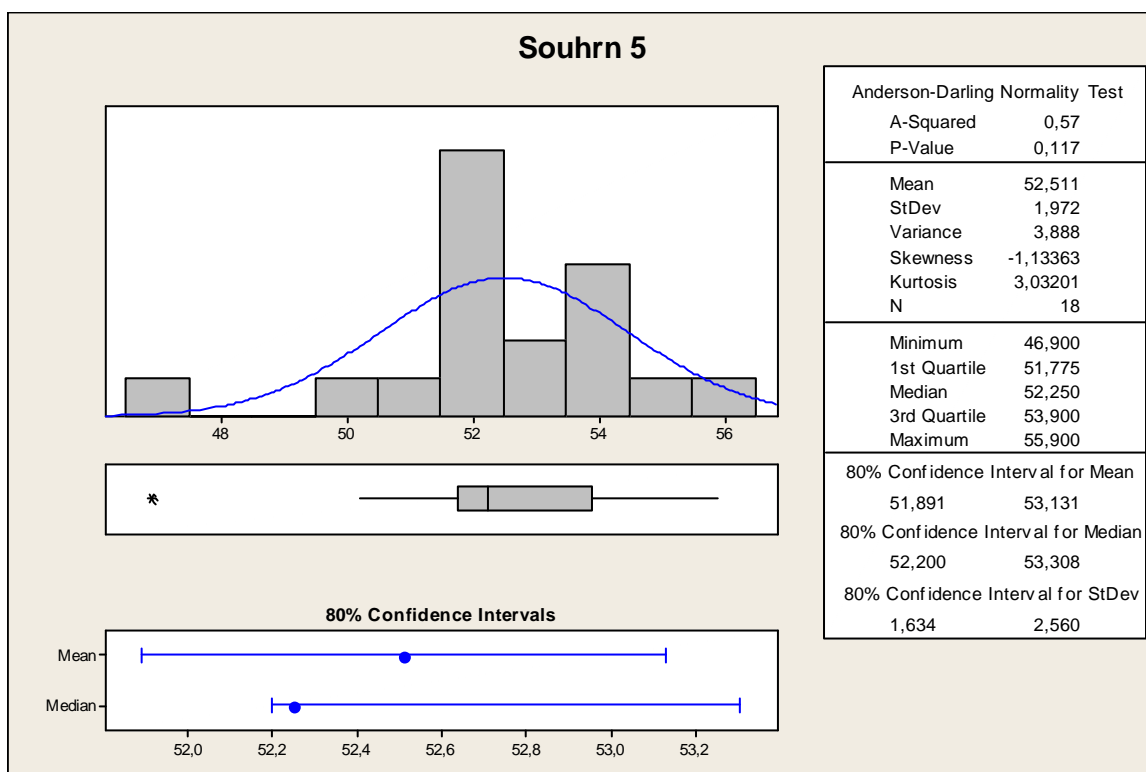
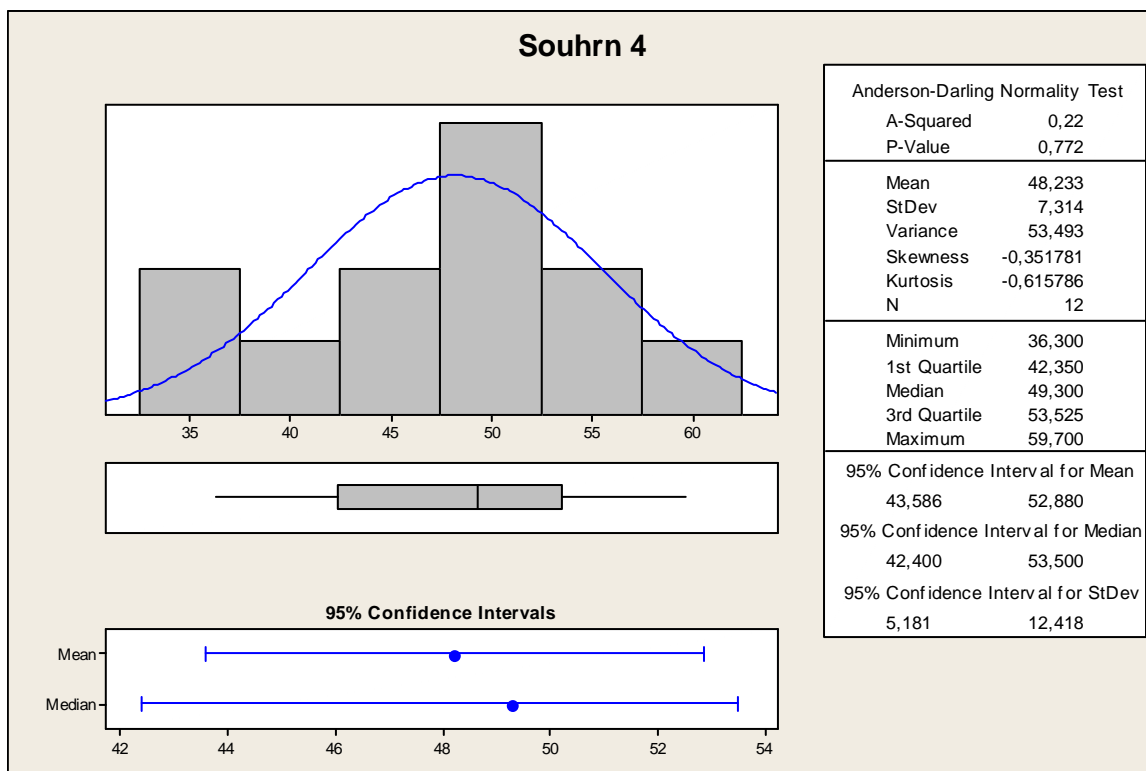


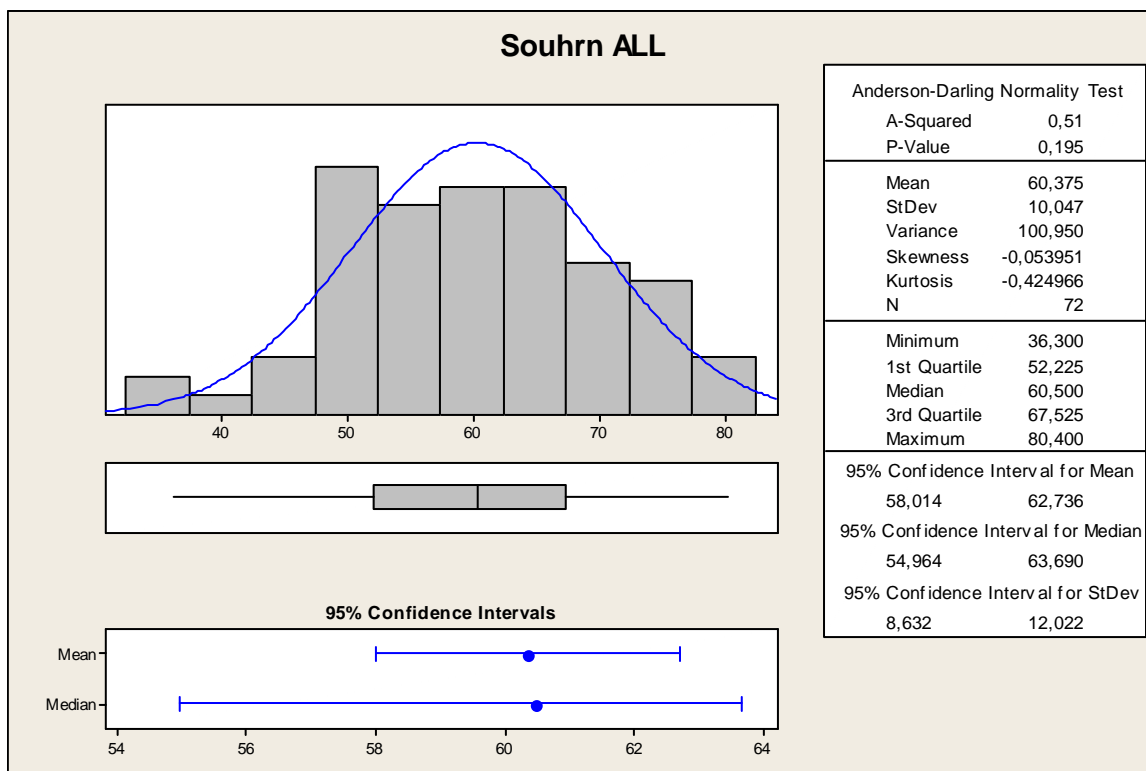
$P > 0,05$ – normální rozdění

Souhrny









ANOVA

One-way ANOVA: ALL versus tlak těrky

Source	DF	SS	MS	F	P	Fkrit
C3	6	2868,9	478,2	7,23	0,000	2,242
Error	65	4298,5	66,1			
Total	71	7167,5				

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
2,0	1	77,000	*	(-----*-----)
4,0	17	60,459	8,265	(-*-)
4,5	6	63,133	2,674	(---*---)
4,6	12	48,233	7,314	(--*--)
5,0	26	64,054	8,466	(-*-)
6,0	8	58,750	10,507	(---*---)
7,0	2	74,600	4,101	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
45 60 75 90

F>Fkrit

P<0,05

Z výsledků vyplývá, že tlak těrky má významný vliv na výsledné hodnoty.

One-way ANOVA: ALL versus rychlost těrky

Source	DF	SS	MS	F	P	Fkrit
C4	3	4856,1	1618,7	47,62	0,000	2,740
Error	68	2311,3	34,0			
Total	71	7167,5				

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
25	17	72,218	5,845	(--*--)
80	31	61,329	7,160	(-*-)
100	6	45,483	5,665	(---*---)
120	18	52,511	1,972	(--*--)

-----+-----+-----+-----+-----
50 60 70 80

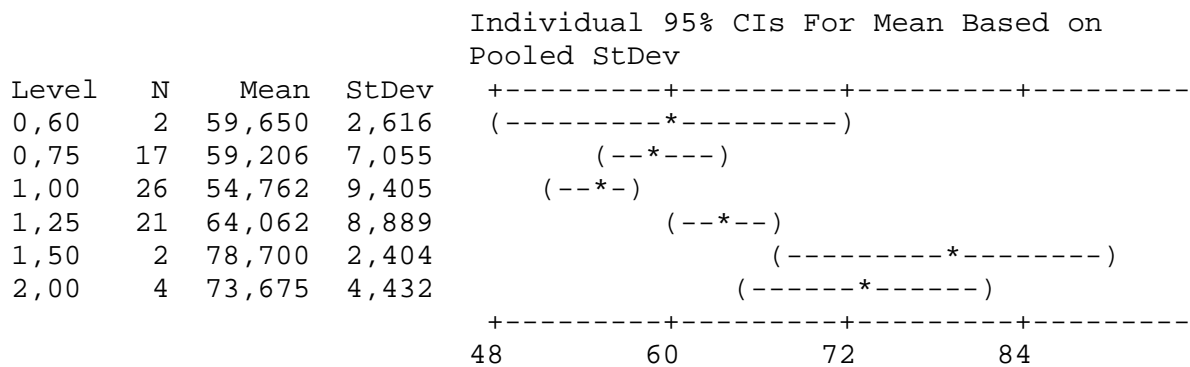
F>Fkrit

P<0,05

Z výsledků vyplývá, že rychlost těrky má významný vliv na výsledné hodnoty.

One-way ANOVA: ALL versus odtrh síta

Source	DF	SS	MS	F	P	Fkrit
C5	5	2508,2	501,6	7,11	0,000	2,354
Error	66	4659,3	70,6			
Total	71	7167,5				



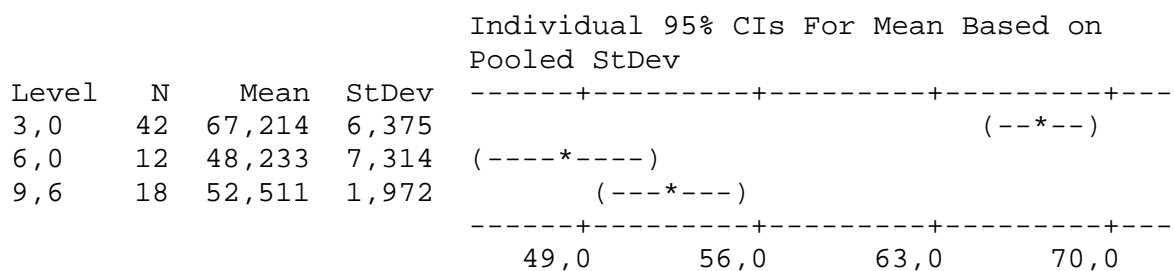
F>Fkrit

P<0,05

Z výsledků vyplývá, že odtrh síta má významný vliv na výsledné hodnoty.

One-way ANOVA: ALL versus tloušťka kapilárního filmu

Source	DF	SS	MS	F	P	Fkrit
C7	2	4846,8	2423,4	72,05	0,000	3,130
Error	69	2320,7	33,6			
Total	71	7167,5				



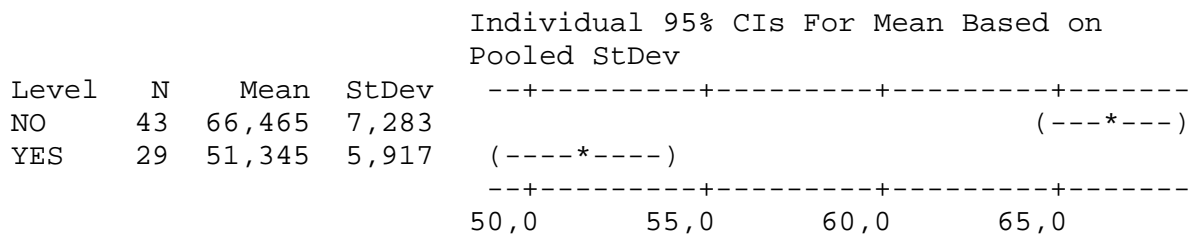
F>Fkrit

P<0,05

Z výsledků vyplývá, že tloušťka kapilárního filmu má významný vliv na výsledné hodnoty.

One-way ANOVA: ALL versus zaplavení síta

Source	DF	SS	MS	F	P	Fkrit
C9	1	3959,6	3959,6	86,41	0,000	3,978
Error	70	3207,8	45,8			
Total	71	7167,5				



F>Fkrit

P<0,05

Z výsledků vyplývá, že zaplavení síta má významný vliv na výsledné hodnoty.