

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ  
ÚSTAV MANAGEMENTU

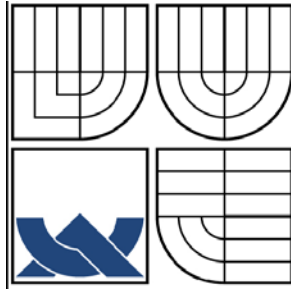
APLIKACE NÁSTROJŮ JAKOSTI DLE ČSN ISO 9000

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

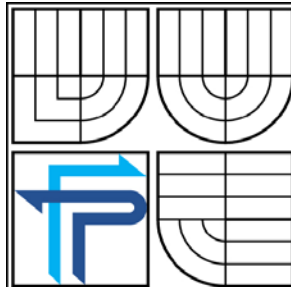
Bc. PETR GÁLIK

BRNO 200



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V  
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA PODNIKATELSKÁ  
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT  
INSTITUTE OF MANAGEMENT

## APLIKACE NÁSTROJŮ JAKOSTI DLE ČSN ISO 9000

APPLICATION OF QUALITY TOOLS ACCORDING TO CSN ISO 9000 STANDARDS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETR GÁLIK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. ZDEŇKA VIDECKÁ, Ph.D.

BRNO 2008

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Petr Gálik

Bytem: Vigantice 136, 75661, Vigantice

Narozen/a (datum a místo): 7.9.1982, Valašské Meziříčí

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta podnikatelská

se sídlem Kolejní 2906/4, 612 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

PhDr. Iveta Šimberová, Ph.D

(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1

### Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
  - diplomová práce
  - bakalářská práce
  - jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Aplikace nástrojů jakosti dle ČSN ISO 9000

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

Ústav: Ústav managementu

Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v\*:

- tištěné formě – počet exemplářů ..... 1 .....

---

\* hodící se zaškrtněte

elektronické formě – počet exemplářů .....1.....

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

.....  
Nabyvatel

.....  
Autor

## **Anotace**

Předmětem řešení je návrh využití základních nástrojů jakosti při sledování kritických parametrů při výrobě monokrystalů křemíku.

## **Annotation**

Subject of the project is a concept of utilization of the basic quality devices during monitoring of critical parameters of silicon monocrystals' production.

## **Klíčová slova**

proces, tažení křemíku, nástroje jakosti, monokrystal křemíku,  
statistické metody

## **Keywords**

process, production of silicon, tools of quality, monocrystal of silicon,  
statistical methods

## **Bibliografická citace**

GÁLIK, Petr. *Aplikace nástrojů jakosti dle ČSN ISO 9000*. Brno, 2008. 89 s.  
Diplomová práce na Podnikatelské fakultě Vysokého Učení Technického na katedře  
managementu. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeňka Videcká, Ph.D.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci zpracoval samostatně na základě uvedené literatury a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 15. ledna 2008

.....

## Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucí diplomové práce Ing. Zdeňce Videcké, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky při vypracovávání této práce.

## Obsah

Úvod.....	10
Cíl práce.....	11
1 Analytická část.....	12
1.1 Presentace společnosti.....	12
1.2 Organizační struktura.....	13
1.2.1 Organizační schéma.....	13
1.3 Mapa procesů.....	14
1.3.1 Hlavní procesy.....	17
1.3.1.1 Poptávka.....	17
1.3.1.2 Nabídka.....	17
1.3.1.3 Objednávka.....	18
1.3.1.4 Řízení zakázky.....	19
1.3.1.4.1 Schvalování objednávky.....	19
1.3.1.4.2 Schvalování zakázky.....	19
1.3.1.4.3 Příprava výroby.....	19
1.3.1.4.4 Výroba.....	20
1.3.1.4.5 Expedice.....	20
1.3.2 Řídící procesy.....	21
1.3.2.1 Strategické plánování.....	21
1.3.2.2 Stanovení odpovědností a pravomocí.....	21
1.3.2.3 Lidské zdroje.....	22
1.3.2.4 Přezkoumáním systému managementu.....	23
1.3.2.5 Zlepšování.....	24
1.3.2.6 Řízení dokumentace.....	24
1.3.2.7 Vnitřní komunikace.....	24
1.3.2.8 Řízení neshodného výrobku.....	25
1.3.2.9 Interní audit.....	25
1.3.2.10 Opatření k nápravě a preventivní opatření.....	26
1.3.3 Podpůrné procesy.....	27
1.3.3.1 Přezkoumání požadavků zákazníka.....	27
1.3.3.2 Skladování a expedice.....	28
1.3.3.3 Zajištění a údržba infrastruktury.....	28
1.3.3.4 Monitorování a analýza údajů.....	28
1.3.3.5 Hodnocení spokojenosti zákazníka.....	30
1.4 Postup realizace výrobku.....	31
1.4.1 Příprava vsádky a legur.....	34
1.4.1.1 Příprava vsádky.....	34

1.4.1.2 Příprava legur.....	35
1.4.2 Tažení.....	36
1.4.2.1 Příprava zařízení .....	36
1.4.2.2 Roztavení vsádky.....	36
1.4.2.3 Legování .....	36
1.4.2.4 Proces tažení krystalu .....	37
1.4.2.5 Ukončení procesu tažení.....	38
1.4.3 Rozřezávání .....	39
1.4.4 Měření měrného elektrického odporu.....	40
1.4.4.1 Měření měrného odporu na krystalu.....	41
1.4.4.2 Měření měrného odporu na desce.....	41
1.4.5 Broušení.....	41
1.4.6 Fazetování.....	42
1.4.7 Výrobní kontrola.....	42
1.4.7.1 Vyhodnocování SI monokrystalu .....	42
1.4.7.2 Kontrola SI monokrystalu po řezání.....	42
1.4.7.3 Vratné zbytky.....	42
1.4.7.4 Kontrola výřezu SI monokrystalu.....	43
1.4.7.5 Technické požadavky .....	43
1.4.8 Výstupní kontrola .....	43
1.5 SWOT analýza.....	44
1.5.1 Výsledky analýzy.....	45
2 Teoretická část .....	46
2.1 Proces, procesní řízení .....	46
2.2 Sedm základních nástrojů řízení jakosti .....	46
2.2.1 Kontrolní tabulky.....	48
2.2.2 Vývojové diagramy.....	49
2.2.3 Histogramy.....	50
2.2.4 Diagram příčin a následku .....	50
2.2.5 Paretův diagram.....	52
2.2.6 Bodový diagram.....	52
2.2.7 Regulační diagramy .....	53
2.2.7.1 Typy regulačních diagramů .....	54
2.2.7.2 Činnosti před aplikací SPC.....	54
2.2.7.3 Zásady analýzy regulačních diagramů a možnosti řešení.....	55
2.2.7.4 Postup při aplikaci ( $\bar{x}$ , $R$ ) - diagramů a výpočetní vzorce.....	56
2.3 STRUKTURA A ÚČEL NOREM ISO ŘADY 9000.....	57
2.4 PRINCIPY MANAGEMENTU JAKOSTI .....	58
2.4.1 Orientace na zákazníka .....	58
2.4.2 Vedení a řízení zaměstnanců .....	59
2.4.3 Zapojení lidí.....	59
2.4.4 Procesní přístup.....	60
2.4.5 Systémový přístup k managementu .....	61
2.4.6 Neustálé zlepšování .....	61
2.4.7 Orientace na fakta při rozhodování.....	62
2.4.8 Vzájemná prospěšnost vztahů s dodavateli .....	62
3 Návrhová část .....	63
3.1 Zdroje statistických dat.....	63

3.2 Návrh využití statistických dat při řízení .....	68
3.2.1 Návrh pro přípravu výroby .....	68
3.2.1.1 Ověřování spolehlivosti měření měrného odporu.....	69
3.2.1.2 Návrh na zlepšení obsahu kyslíku .....	70
3.2.2 Návrh pro zlepšení výroby.....	77
3.2.2.1 Statistická regulace procesu broušení .....	78
Zhodnocení .....	81
Závěr .....	83
Seznam použité literatury .....	85
Seznam příloh .....	86

## Úvod

Efektivní systém managementu jakosti dle novelizovaného souboru ISO 9000:2000 dává svou strukturou předpoklad prohloubení obchodních kontraktů, zaručuje důvěryhodnost sledování nákladů spojených s jakostí, je díky němu možné lépe působit na spokojenost nejen zákazníků, ale i vlastních zaměstnanců a konečně i na trvalé zlepšování vlastního procesního řízení firmy.

Už sám historický vývoj ukazuje, že požadavky na jakost neustále rostou. Jestliže v polovině 20. století byly ještě přijatelné výrobní procesy, z nichž vycházelo kolem 5% produktů neshodných s požadavky (specifikací), v současnosti jsou nároky daleko vyšší.

Jak už bylo uvedeno, myšlenka jakosti má dlouhou historii. Nejde jen o historicky dokumentovanou péči o jakost, ale v podstatě o toto: Všechno, do čeho člověk kdy vložil své nápady, své úsilí, svou práci, mu mělo něco přinést, pokrýt nějakou jeho potřebu. A to, jak se mu to povedlo, je právě jakost.

Myšlenka jakosti se však v současné, vysoce specializované činnosti lidských společenství nešíří rovnoměrně, ani v souladu s potřebami a jejich naléhavostí. Je pochopitelné, že se rozšířila nejdříve v nejvyspělejších průmyslových odvětvích a oborech a že ostatní odvětví a obory ještě příliš nezaujala.

Problémy s jakostí a jejich řešení představují pestrou řadu činností a dílčích procesů. Stačí připomenout kontrolu jakosti produktů, neustálé zlepšování jakosti, povýrobní péči o spolehlivost produktů pro dlouhodobé užívání, vzdělávání pracovníků v jakosti, zavádění a certifikaci systémů jakosti, zavádění nových metod a nástrojů jakosti. Tak jako všechny činnosti a procesy v organizaci vyžadují i tyto činnosti a procesy v jakosti, aby byly řízeny. Vysoké nároky na řízení jakosti klade na jedné straně i rychlý růst požadavků na jakost a na druhé straně prudký rozvoj techniky, který otvírá stále nové možnosti splnit požadavky. Řízení jakosti či v poněkud širším pojetí management jakosti je na jedné straně specifická oblast, odlišná od ostatních, na druhé straně jedna z více podnikových oblastí (např. rozvoj, inovace, investice, financování, vzdělávání pracovníků, zásobování, odbyt), které musí být vzájemně bezrozporné a slučitelné do hodnototvorného procesu v organizaci. Všechny tyto oblasti se musí řídit – jak jednotlivě, tak ve vzájemných vazbách.

## Cíl práce

Neustálé zlepšování jakosti vede k eliminaci zbytečných ztrát a ke zbytečnému zvyšování nákladů. Vyžaduje si však také neustálé monitorování a vyhodnocování procesů ve výrobě i předvýrobních etapách. K tomu napomáhá celá řada nástrojů jakosti. Výroba monokrystalů ve firmě ARSIL Crystal je zakázková výroba. Potřebná měření nejsou vždy možná provádět ve firmě, tzn. že jsou prováděna až zákazníkem případně externí firmou.

Diplomová práce se zabývá využitím statistických nástrojů jakosti při přípravě vsádky a ve výrobě monokrystalů, jak parametrů, které je firma schopna na základě vlastního měření ovlivňovat, tak parametrů, které získá zpětnou vazbou od zákazníka. Analytická část se zabývá vytipováním parametrů v jednotlivých procesech realizace výroby monokrystalů.

Návrhová část detailně popisuje využití a postup nástrojů jakosti ve zvolených procesech přípravy vsádky a samotné výroby

# 1 Analytická část

## 1.1 Prezentace společnosti

Společnost Arsil Crystal byla založena dne 9.9.1997, jako společnost s ručením omezeným v Brně. Firma se v prvních dvou letech své činnosti zabývala zprostředkováním prodeje v oboru polykrystalů a monokrystalů křemíku. V roce 1998 získali společníci firmy úvěr na výstavbu továrny na výrobu monokrystalu křemíku. Výstavbu započali v Zašová, což je malá obec nedaleko Rožnova pod Radhoštěm. Do konce roku 1998 byla výstavba továrny (Obr. 1.1) dokončena.



Obr. 1.1 Budova firmy ARSIL Crystal, a.s.

V zimních měsících na přelomu let 1998/1999 byla instalována technologická zařízení a postaveny tři repasované tažící zařízení. První tavba byla realizována v únoru roku 1999. V tomto období měla firma 9 zaměstnanců. Jak už jméno firmy napovídá (ARsenic – doped SILicon single crystals), byla firma založena s tím, že jejím nosným výrobním programem bude tažení monokrystalů křemíku legovaných arzémem. V roce 2000 se firma transformovala na akciovou společnost.

V průběhu několika dalších let se firmě dařilo nejen splácet přijatý úvěr, ale také zakoupit dalších pět, byť opět pouze repasovaných, těžících zařízení. Strojový park firmy v současné době představuje osm těžících zařízení, která jsou schopna vyprodukovat cca 2 tuny monokrystalů křemíku silně legovaných arzenem měsíčně. Charakter výrobků společnosti předurčuje jeho téměř 100% export do států Evropy, Asie a Ameriky. Kde klientelu firmy tvoří především zákazníci z Japonska, Číny, Taiwanu či Malajsie, pro kterou je určeno 70 – 80% měsíční produkce firmy.

V současnosti firma nabízí křemíkové krystaly od průměrů 3“ (76mm) do průměrů 6,5“ (165mm). Vyráběný sortiment je dále členěn podle orientace jejich růstu na monokrystaly s orientací 1 – 1 – 1 nebo 1 – 0 – 0.

Cílem společnosti je dosažení vysokého kreditu v oblasti výroby a prodeje křemíkových krystalů a postavení spolehlivého dodavatele.

Firma v současné době zaměstnává 32 zaměstnanců.

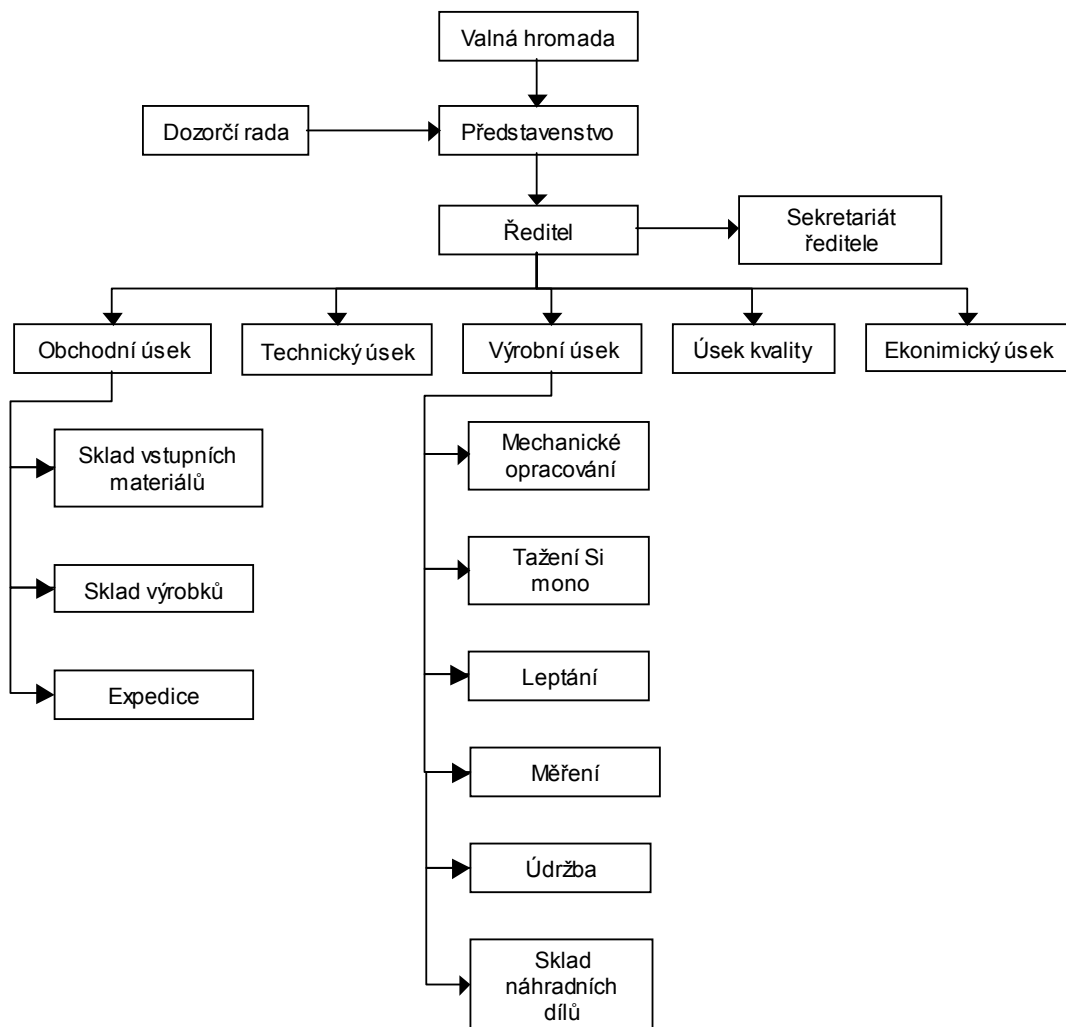
## **1.2 Organizační struktura**

Organizační struktura deklaruje vzájemné vztahy, kompetence, odpovědnosti a koordinaci organizačních jednotek do daného modelu.

Struktura společnosti je charakterizována delegováním pravomocí zhora dolů.

### **1.2.1 Organizační schéma**

Organizační schéma (obr.1.2) zobrazuje uspořádání jednotlivých organizačních jednotek společnosti, čímž vyjadřuje nadřízenost/podřízenost jednotlivých organizačních jednotek v rámci společnosti.



Obr.: 1.2: Organizační schéma

### 1.3 Mapa procesů

Nejlépeším způsobem, jak pokrýt požadavky norem řady ISO 9001:2000, je znázornit a popsat procesy organizace prostřednictvím tzv. procesního modelu (obr.1.3). Procesní mapy (grafické znázornění průběhu procesů) zobrazují, jak se lze posloupností kroků dostat z jednoho stavu procesu do druhého. Zobrazují též vzájemnou provázanost a závislosti jednotlivých procesů.

Jako hlavní procesy byly ve společnosti Arsil Crystal identifikovány:

- poptávka
- nabídka

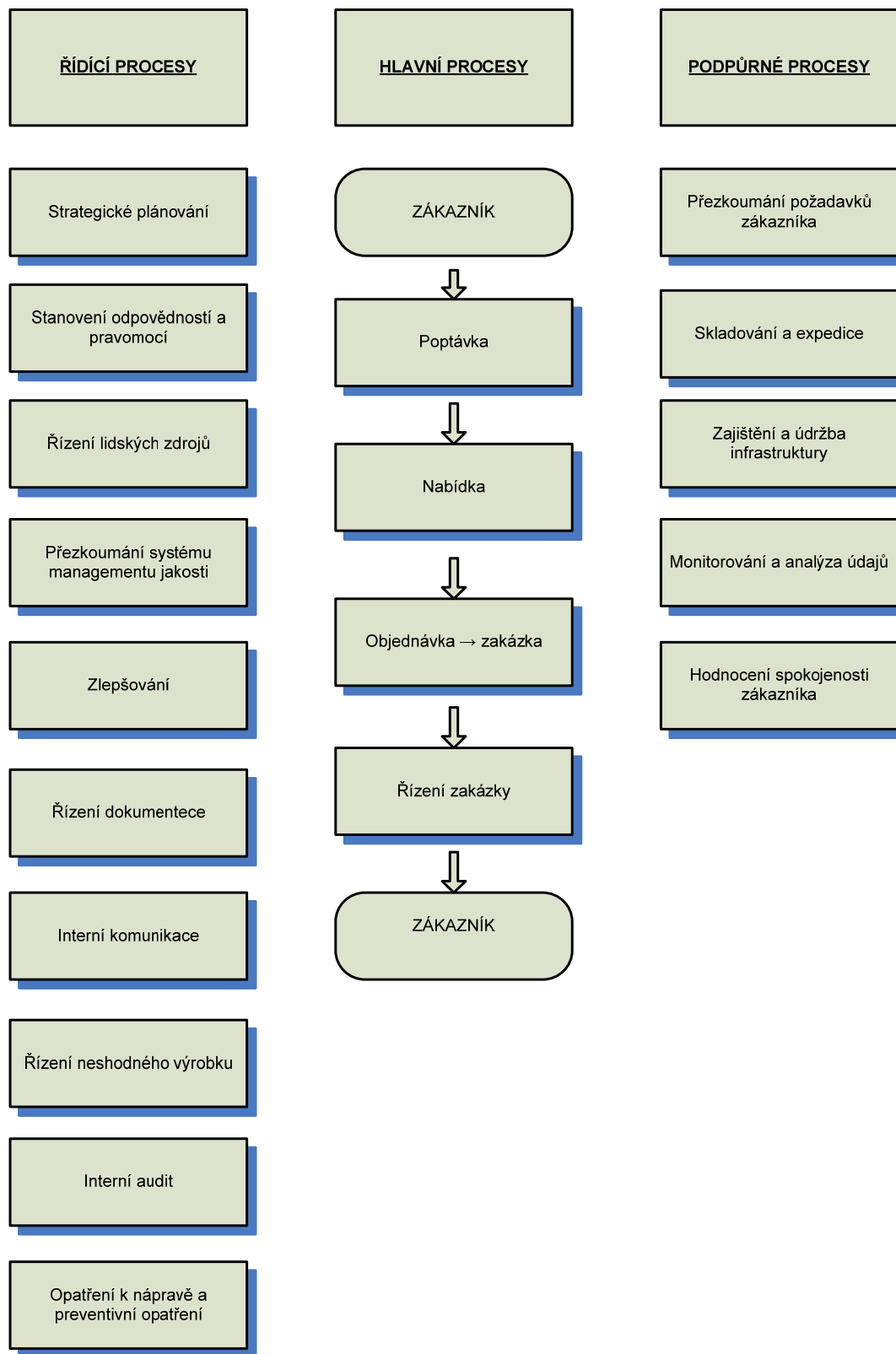
- objednávka → zakázka
- řízení zakázky

Jako podpůrné procesy byly ve společnosti Arsil Crystal identifikovány:

- přezkoumání požadavků zákazníka
- skladování a expedice
- zajištění a údržba infrastruktury
- monitorování a analýza údajů
- hodnocení spokojeností zákazníků.

Jako řídicí procesy byly ve společnosti Arsil Crystal identifikovány:

- strategické plánování
- stanovení odpovědností a pravomocí
- řízení lidských zdrojů
- interní komunikace
- přezkoumání systému managementu jakosti
- řízení dokumentace
- řízení neshodného produktu
- interní audit
- opatření k nápravě a preventivní opatření
- zlepšování.



Obr.: 1.3: Procesní mapa společnosti Arsil Crystal

### **1.3.1 Hlavní procesy**

#### **1.3.1.1 Poptávka**

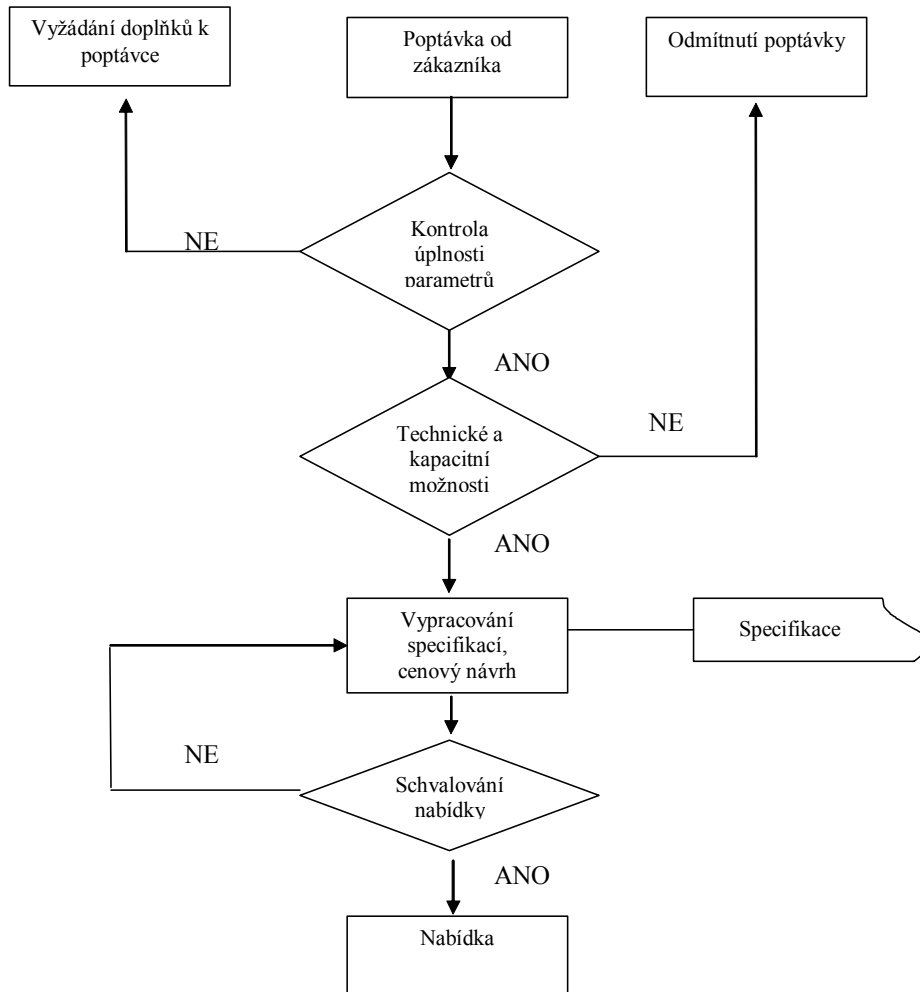
Poptávka od zákazníka může být přijata písemně, elektronickou poštou nebo ústně.

Po obdržení písemné poptávky ji vedoucí obchodního úseku zaeviduje do databáze. Parametry požadované zákazníkem projedná s vedoucím výroby a vedoucím technického úseku. Po odsouhlasení ji potvrzenou zašle zpět zákazníkovi.

#### **1.3.1.2 Nabídka**

Na základě posouzení požadavků na výrobek, nákladů na jeho výrobu vedoucím technického úseku a požadovaného množství vypracuje vedoucí obchodního úseku návrh nabídky pro zákazníka.

## Nabídka a poptávka



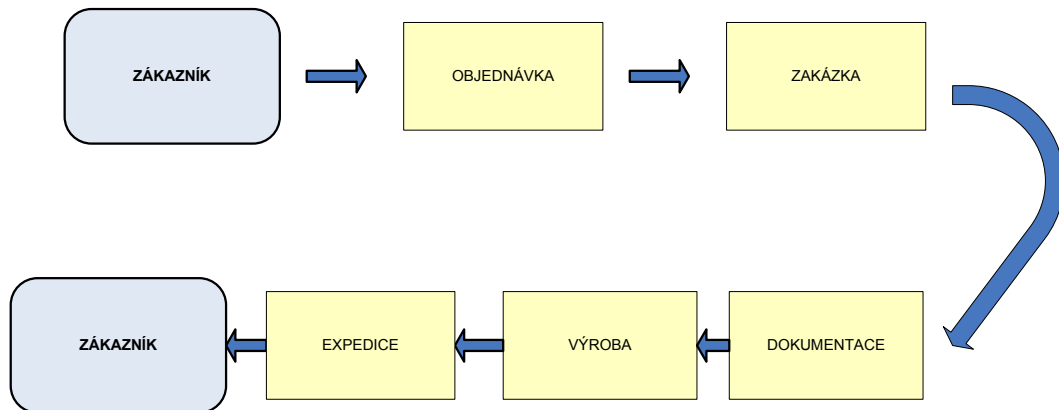
Obr.: 1.4 Schéma nabídky a poptávky

### 1.3.1.3 Objednávka

Jakmile firma obdrží písemnou objednávku- specifikaci (Příloha1) vedoucí obchodního úseku ji zaeviduje do databáze. Zákazníkem požadované parametry jsou prokonzultovány se zainteresovanými pracovníky, tj. vedoucí výroby, vedoucí technického úseku a objednávka je zařazena do výroby. Souhlas s přijetím objednávky potvrdí vedoucí obchodního úseku zákazníkovi.

### 1.3.1.4 Řízení zakázky

Následující schéma (obr. 1.5) přehledně zobrazuje, jak je pojata řízení zakázky ve firmě Arsil Crystal.



Obr.: 1.5 Schéma řízení zakázky

#### 1.3.1.4.1 Schvalování objednávky

Objednávku schvaluje ředitel společnosti.

#### 1.3.1.4.2 Schvalování zakázky

Parametry, které požaduje zákazník (Příloha1), prodiskutuje vedoucí výroby a vedoucí technického úseku a zakázka je zařazena do výroby. Následně je zákazníkovi potvrzeno přijetí objednávky.

#### 1.3.1.4.3 Příprava výroby

Dispečer výroby vystaví protokol pro konkrétní tavbu nazvaný Protokol tažení (Příloha2).

K dispozici má objednávku a specifikaci výrobku (Příloha1). V této specifikaci jsou vypsány požadované parametry vyráběného monokrystalu. K protokolu o tažení je souběžně vydán protokol o měření (Příloha3), ve kterém jsou uvedeny požadované parametry výrobku a do něhož budou zapisovány naměřené (resp. zjištěné) hodnoty.

Oba protokoly doprovázejí vytažený monokrystal na dalších výrobních operacích a jednotlivé úkony jsou operátory zapisovány do protokolu o měření. Po

ukončení všech výrobních operací je výrobek předán na výstupní kontrolu a expedici a protokol o měření je doplněn o údaje výstupní kontroly a o expedici případnému zákazníkovi. Vyplněné protokoly o výrobku přebírá opět dispečer výroby a údaje z protokolu zanesou do databáze.

#### 1.3.1.4.4 Výroba

Termín první operace tažení monokrystalu křemíku určí vedoucí výroby. Dále pak dispečer výroby vystaví protokol o tažení a protokol o měření k jednotlivým krystalům a sleduje průběh plnění zakázky. Touto problematikou se podrobněji zabývá kapitola 1.4.

#### 1.3.1.4.5 Expedice

Monokrystaly křemíku, které splňují požadavky zákazníka jsou postupně pracovníkem měření kontrolovány na expedici, kde se kompletují do jednotlivých zásilek. Před zabalením se provede kontrola úplnosti dodávky, zda je v souladu s požadavky zákazníka (Příloha 1).



Obr. 1.6 Krystaly na expedici

Jednotlivé zkompletované objednávky jsou předávány odběratelům přímo na expedici, nebo se odesílají přes zásilkové služby. Manipulace s monokrystaly křemíku,

manipulace s obalovými materiály musí být prováděna tak, aby nedošlo k jakémukoliv poškození.

### **1.3.2 Řídící procesy**

Analyzovat řídicí procesy nebylo cílem diplomové práce, ale z hlediska řešení je nutné se s nimi seznámit. Detailní popis je uveden v dokumentu systému řízení jakosti(9). Nejdůležitější procesy jsou uvedeny v následujícím textu.

#### **1.3.2.1 Strategické plánování**

Vedení společnosti stanovuje pro příslušné procesy cíle. Cíle obsahují závazek k neustálému zlepšování v oblastech:

1. Dosažení spokojenosti zákazníků
2. Získání nových zákazníků v oboru a pravidla pro získání lepšího postavení na trhu
3. Důsledného sledování ekonomických ukazatelů
4. Pro zdokonalování spolupráce s vybranými subdodavateli k oboustranné prospěšnosti
5. Dosažení spokojenosti zaměstnanců
6. Neustálého zlepšování koordinace a vazeb mezi procesy.

Plánování zajišťuje, že změna je provedena řízeným způsobem a zároveň integrita systému řízení je při této změně zachována.

#### **1.3.2.2 Stanovení odpovědností a pravomocí**

Vedení firmy :

- sděluje uvnitř organizace, že je důležité plnit požadavky zákazníků (jak interních, tak externích), stejně jako všechny zákonné požadavky a požadavky předpisů,
- stanovuje politiku jakosti a politiku ochrany životního prostředí a zajišťuje jejich plnění na všech úrovních organizační struktury,
- zajišťuje, že jsou stanoveny firemní cíle jakosti a ochrany životního prostředí a že jsou rozpracovány na všechny stupně řízení,
- provádí přezkoumávání vedením,
- zajišťuje dostupnost potřebných zdrojů.

#### **Pravomoci:**

**Ředitel firmy** - je zodpovědný za fungování systému preventivních opatření tj. aby se zabránilo a hlavně předešlo výskytu potenciálních problémů.

**Vedoucí jednotlivých úseků** (nebo jimi pověřeni pracovníci) - vypracovávají taková opatření, která jsou účinná a jsou přiměřená důsledkům potenciálních neshod.

**Představitel vedení pro jakost** -za přezkoumání přijatých opatření a za jejich hodnocení.

**Technici, ostatní vedoucí zaměstnanci firmy** – organizují činnost podle této směrnice na svém úseku, spolupracují iniciativně s dalšími spolupracovníky. Dávají návrhy na zlepšování systému

**Technický úsek** – Je zodpovědný za řešení složitějších problémů. Je zodpovědný za uplatnění preventivních opatření, za ověření účinnosti tohoto opatření a za provedení dokumentace řešení. Předkládá navržená opatření vedení společnosti k posouzení.

#### **1.3.2.3 Lidské zdroje**

Společnost

- Identifikuje potřeby týkající se způsobilosti pracovníků.
- Zajišťuje výcvik zaměstnanců.
- Zajišťuje, aby si pracovníci společnosti byli vědomi závažnosti a důležitosti svých činností a toho, jak přispívají k dosažení cílů společnosti.

- Zajišťuje udržování odpovídajících záznamů o vzdělání, praktickém výcviku a kvalifikaci.

#### **1.3.2.4 Přezkoumáním systému managementu**

Vedení společnosti přezkoumává systém jakosti minimálně jednou za rok tak, aby byla zajištěna jeho stálá aktuálnost, vhodnost a účinnost při uspokojování každého z požadavků ČSN EN ISO 9001:2000, vyhlášené politiky jakosti i stanovených cílů jakosti.

Cílem přezkoumání systému jakosti je průběžné zlepšování jeho celkové funkčnosti a účinnosti zdokonalováním realizace všech vnitřních činností společnosti.

O všech přezkoumáních společnosti a účinnosti systému jakosti vrcholovým vedením společnosti jsou udržovány záznamy.

#### **Vstup pro přezkoumání**

Jako podklad pro hodnocení účinnosti systému managementu jakosti slouží:

- výsledky prověrek jakosti
- reference/reklamace zákazníků
- zápisy z porad
- výsledky předchozích přezkoumání
- doporučení pro zlepšování

#### **Výstup z přezkoumání**

Zpráva z přezkoumání vedením obsahuje zejména opatření vztahující se k:

- zlepšování systému řízení a jeho procesů
- zlepšování služeb ve vztahu k požadavkům zákazníka
- potřebám zdrojů

### **1.3.2.5 Zlepšování**

Společnost plánuje a řídí procesy nezbytné pro neustálé zlepšování systému řízení. Společnost také vytváří podmínky pro neustálé zlepšování systému řízení a to využitím politiky společnosti, cílů, výsledků interních auditů, analýzy údajů, nápravných a preventivních opatření a přezkoumání vedením.

### **1.3.2.6 Řízení dokumentace**

#### **Vedení dat a záznamů:**

Za vedení dokumentace zodpovídá pověřený pracovník, tzv. správce dokumentace“.

Správce dokumentace zodpovídá za systém vedení dat záznamů. Za archivaci daného formuláře s vyplněnými daty zodpovídá ten, kdo tento formulář poslední vyplňuje, případně ten, komu se tento formulář předává ke zpracování. Za archivaci formulářů použitých postupně ve více jednotkách (odděleních) zodpovídá poslední uživatel. Termíny archivace stanovuje vedoucí pracoviště, kde se data a záznamy pořizují.

#### **Tvorba dokumentace:**

Návrh na zpracování nového dokumentu nebo na změnu stávajícího může vzejít od kteréhokoliv zaměstnance společnosti.

### **1.3.2.7 Vnitřní komunikace**

Společnost zajišťuje komunikaci mezi pracovníky, jednotlivými pracovišti i okolím společnosti formou:

- pracovních porad na všech úrovních
- procesu zpětné vazby
- pohovorů s pracovníky

### 1.3.2.8 Řízení neshodného výrobku

Společnost zajišťuje, že produkt, který není ve shodě s požadavky, je identifikován a řízen, a je zabráněno nezamýšlenému využití nebo dodání zákazníkovi.

Cílem je vyloučení možnosti nechtěného užívání, instalace nebo uvedení do provozu u výrobku, který není ve shodě se specifikovanými požadavky.

V rámci definovaných postupů musí být při výskytu neshody vždy zajištěna:

1. Identifikace neshodného výrobku tak, aby bylo zajištěno, že výrobek nebude dále využíván.
2. Oznámení neshody odpovědnému pracovníkovi, eventuálně vedení společnosti, resp. zákazníkovi v případě ohrožení smluvně důležitých parametrů a termínů.
3. Analýza neshody, tj. přezkoumání neshodného výrobku.
4. Opatření, tj. vypořádání neshodného výrobku se realizuje např.:
  - opatřením přímo na vadném výrobku (revize dokumentů)
  - opatřením u zdroje, je-li nebezpečí, že se závada může opakovat
5. Kontrola účinnosti nápravného opatření

### 1.3.2.9 Interní audit

V společnosti ARSIL Crystal, a.s. jsou definovány zásady a závazné postupy pro plánování, přípravu, provádění a dokumentaci interních prověrek jakosti.

Podklady pro zpracování návrhu ročního plánu interních prověrek jakosti jsou zejména:

- Výsledky předchozích prověrek jakosti
- Hlášení o neshodách a nápravných opatřeních
- Organizační změny
- Změny v systému jakosti

Při zpracování ročního plánu interních prověrek jakosti je dodržována zásada prověření každého procesu systému jakosti, v každém útvaru, ve kterém je uplatňován, minimálně jednou za rok.

Kritéria auditu – plnění požadavků normy ISO 9001 : 2000.

Auditor může shledat:

- Shodu
- Neshodu:
  1. závažné nedodržení normy ISO 9001:2000
  2. závažné nedodržení požadavků interních postupů systému měření jakosti
  3. závažné nedodržení legislativy
  4. závažné nedodržení požadavků smlouvy
  5. opakující se odchylky
- Odchylku: ojedinělé nedodržení výše uvedeného bez dopadu na systém nebo zákazníka
- Doporučení: navazují na možnou odchylku nebo se týkají zlepšení

Z průběhu interních prověrek jakosti se provádí zápis, který obsahuje podstatné informace o prověřce, zejména pak o neshodách, navržených nápravných opatřeních a jejich účinnosti.

Při následné prověřce jakosti se musí zaznamenat a ověřit, jak byla uplatněna přijatá opatření k nápravě.

Vedení společnosti k nedostatkům zjištěným v průběhu auditu přijímá včasné nápravné opatření. K tomu slouží zejména porady vedení společnosti.

### **1.3.2.10 Opatření k nápravě a preventivní opatření**

K zabránění opakovaného výsledku neshody společnost přijímá nápravná opatření. Smyslem nápravného opatření je odstranění příčiny. Nápravná opatření jsou úměrná důsledkům zjištěných problémů.

#### **Preventivní opatření**

Společnost k zabránění opakovaného výskytu problému, který by mohl způsobit neshodu stanovuje preventivní opatření.

Zdrojem informací jsou:

- Výsledky kontrolních kroků v rámci zpracování zakázek
- Porady na všech úrovních společnosti
- Reklamace/reference
- Výsledky prověrek jakosti
- Výsledky přezkoumání vedením
- Jakékoliv externí či interní impulsy

Cílem preventivních opatření je vyloučit příčiny možných neshod. Přijatá preventivní opatření jsou úměrná důsledku možných problémů.

Postupy pro preventivní opatření jsou dokumentovány a řešeny podle druhu zápisu tj.zápisy z porad, zprávy z interních prověrek jakosti, zprávy z přezkoumání vedením atp. a definují požadavky na:

- Přesné určení možných neshod a jejich příčin
- Stanovení a zajištění uplatnění potřebného preventivního opatření
- Přesné určení a uplatňování potřebného opatření
- Přezkoumání a ověření účinnosti přijatého preventivního opatření.

### ***1.3.3 Podpůrné procesy***

Stejně jako u řídicích procesů, tak ani analýza podpůrných procesů nebyla cílem této práce. Detailní popis lze opět nalézt v systému řízení jakosti a v následujícím textu jsou uvedeny pouze procesy nezbytné pro řešení této práce.

#### **1.3.3.1 Přezkoumání požadavků zákazníka**

Parametry požadované zákazníkem (Příloha1) projedná vedoucí výroby s vedoucím technického úseku. Po odsouhlasení ji zaeviduje do databáze a potvrzenou zašle zpět zákazníkovi.

### **1.3.3.2 Skladování a expedice**

Křemíkové monokrystaly, které splňují požadavky zákazníka jsou postupně pracovníkem měření kontrolovány. Následně se kompletují do jednotlivých zásilek. Ještě před zabalením se provede kontrola úplnosti dodávky, zda je v souladu s průvodní technickou dokumentací a v souladu s požadavkem zákazníka (Příloha1). Jednotlivé zkompletované objednávky jsou předávány odběratelům přímo na expedici, nebo se odesílají přes zásilkové služby. Manipulace s Si monokrystaly, manipulace s obalovými materiály musí být prováděna tak, aby nedošlo k jakémukoliv poškození.

### **1.3.3.3 Zajištění a údržba infrastruktury**

Vedení společnosti průběžně zajišťuje potřebné materiální zdroje pro žádoucí fungování systému jakosti, např.:

- Odpovídající pracovní prostory.
- Kvalitní pracovní podmínky.
- Vybavení pracovišť měřicí, servisní a výpočetní technikou.
- Komunikačním a přepravním vybavením.

Společnost zajišťuje údržbu a opravy, je prováděna preventivní údržba

### **1.3.3.4 Monitorování a analýza údajů**

#### **Monitorování**

Společnost měří a monitoruje vlastnosti produktu, aby se ověřilo, zda požadavky na produkt jsou splněny.

Jsou stanoveny zásady, pravidla, postupy a odpovědnosti pro:

- Nakupování materiálů a jejich kontrola (atesty)
- Provádění všech předepsaných měření
- Vedení záznamů o kontrolách

Cílem je nezávislé ověření shody parametrů zakázky se stanovenými dokumenty, vyloučení neshodných výstupů ze zpracování a zabránění expedici neshodných produktů zákazníkovi.

V průběhu realizace „komplexní zakázky“ zákazníkovi, jsou standardně plánovány mezioperační, respektive výstupní kontrolní kroky.

- Ověření dokumentace pro výroby
- Mezioperační kontroly
- Výstupní kontroly

Je dokumentován důkaz o shodě s požadavky zákazníka. V záznamech jsou uvedeny uvedeny podpisy pracovníků odpovědných za uvolnění produktu. Uvolnění a dodání produktu nepokračuje, pokud nejsou uspokojivě vyřešeny specifikované činnosti, pokud to zákazník neschválil jinak.

## **Analýza**

Společnost shromažďuje a analyzuje údaje s cílem stanovit vhodnost a efektivnost systému řízení a identifikuje zlepšení, která lze učinit. Jedná se následující údaje:

- Spokojenost a/nebo nespokojenost zákazníka – shody s požadavky zákazníka (průzkum spokojenosti zákazníka)
- Parametry procesů a produktů
- Hodnocení dodavatelů

Analýza údajů slouží:

- jako podklad pro vyhodnocování celkové výkonnosti organizace
- k identifikaci základních příčin současných a potenciálních problémů
- k rozhodnutí o opatřeních k nápravě a preventivních opatřeních potřebných pro neustálé zlepšování

Výsledky analýzy jsou předkládány vedení společnosti operativně na pravidelných poradách.

### **1.3.3.5 Hodnocení spokojenosti zákazníka**

Tato kapitola popisuje proces, který umožňuje provádět hodnocení spokojenosti zákazníka, což je pro firmu velice důležitý ukazatel. Pro tuto práci je však postačující okrajové seznámení s touto problematikou, která je podrobně popsána ve směrnici systému řízení jakosti (9).

Spokojenost zákazníka se hodnotí podle 11 níže uvedených kritérií.

1. Rychlost reakce na poptávku - Hodnotí se jak rychle organizace předloží nabídku na poptávku.
2. Kvalita doprovodné dokumentace - Hodnotí se, zda doprovodná dokumentace splňuje požadavky legislativních předpisů a požadavky zákazníka na dokumentaci.
3. Úroveň komunikace se zákazníkem - Hodnotí se, jak je zákazník spokojen s rychlostí reakce na jeho požadavky a dotazy.
4. Kvalita dodávaného materiálu - Hodnotí se, jak jsou zákazníci spokojeni s kvalitou dodávaného materiálu z hlediska :
  - elektrofyzikálních parametrů
  - geometrických parametrů
5. Kvalita dodávaných služeb - Hodnotí se profesionální úroveň expertů , jejich vystupování a ochota spolupracovat.

6. Včasnost dodávek/ poskytovaných služeb - Posuzuje se spokojenost zákazníka s dodržováním sjednaných termínů.
7. Cena materiálu / služeb - Posouzení ceny pro zákazníka ve vztahu ke kvalitě a rychlosti provedení.
8. Kvalita balení dodávaných dílů - Hodnotí se jak je oceňována vhodnost balení dodávaných dílů.
9. Jak zákazník vnímá úroveň organizace - Jak zákazník kulturu, vyspělost a způsob řízení organizace.
10. Jak zákazník vnímá kulturu pracoviště - Jak zákazník vnímá technickou a profesní vyspělost pracoviště.
11. Spokojenost se způsobem dopravy - Hodnotí se, jak je zákazník spokojen s poskytovanou dopravou a dopravními firmami, jež jsou dodavateli organizace.

## **1.4 Postup realizace výrobku**

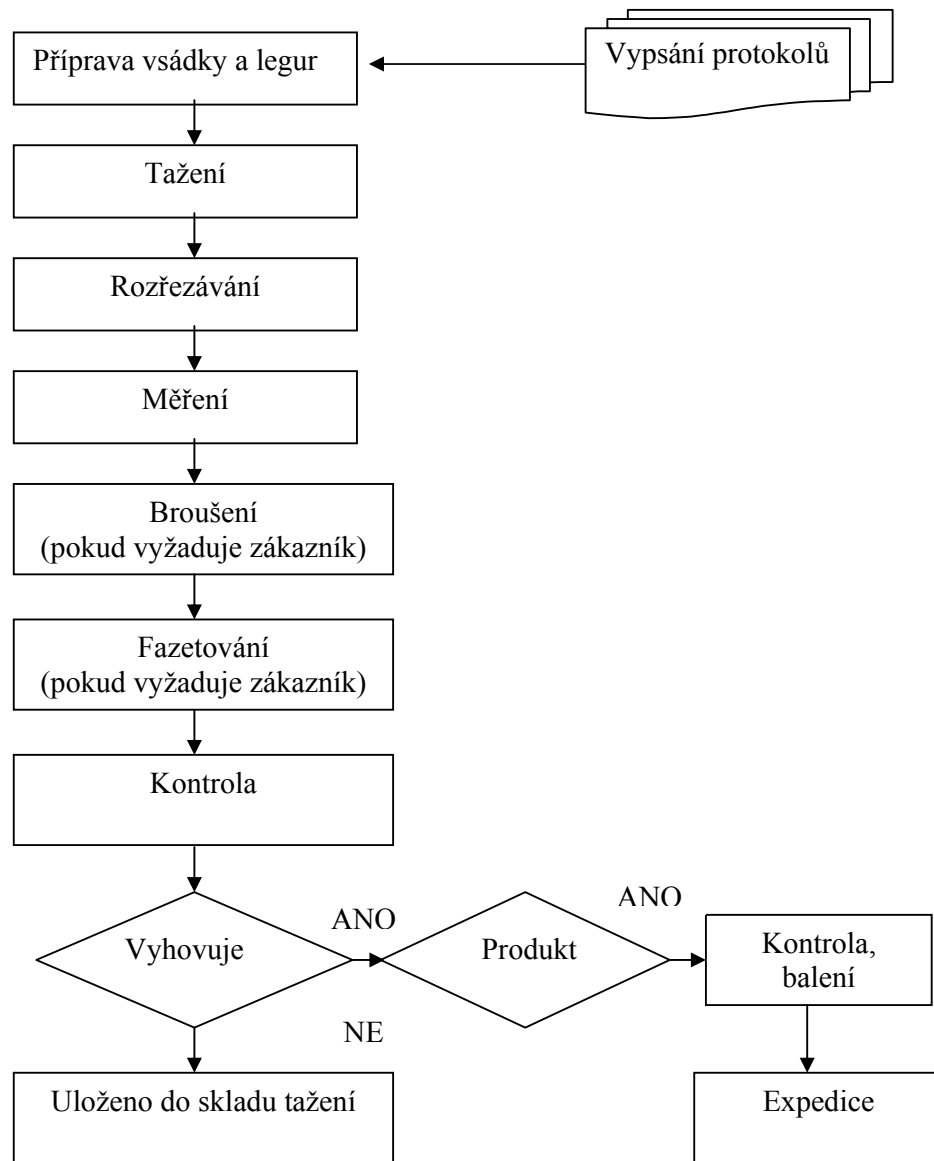
Vedoucí výroby určí termín první operace. Poté dispečer výroby vystaví protokol o tažení (Příloha2) a protokol o měření (Příloha3) k jednotlivým krystalům a sleduje průběh plnění zakázky.

Důležité je, aby termín splnění dodávky byl vždy dodržen.

Dispečer výroby má k dispozici plán výroby pro daný měsíc, který byl sestaven v součinnosti obchodního a výrobního úseku s ohledem na objednávky zákazníků, na zásoby skladu neshodných výrobků a stav nedokončené výroby a na kapacitní možnosti výroby jako celku. Dispečer výroby určí termín první operace, vystaví protokol o tažení(Příloha2) a protokol o měření (Příloha3) k jednotlivým krystalům a koordinuje jednotlivé kroky pro zajištění splnění zakázky. Důležité je, aby termín splnění dodávky byl vždy dodržen.

## Schéma výrobního toku

Schéma výrobního toku (Obr. 1.7) přehledně zobrazuje postupné kroky od přípravy vsádky až po finální krok, kterým je expedice monokrystalu křemíku.



Obr.: 1.7 Schéma výrobního toku

Dispečer výroby vystaví protokol pro konkrétní tavbu nazvaný Protokol tažení (Příloha2).

K dispozici má objednávku a specifikaci výrobku (Příloha1). V této specifikaci jsou vypsány požadované parametry vyrobeného monokrystalu, které jsou určující pro volbu technologie ve které bude monokrystal tažen:

**a) Geometrické parametry** – Nejdůležitějším geometrickým parametrem je průměr monokrystalu. Průměr se udává v milimetrech nebo v palcích. Arsil Crystal produkuje krystaly o průměrech 4“, 5“ a 6“. Požadovaný průměr je sledován při tažení monokrystalu, tento průměr je větší než jsou požadavky zákazníka, protože po vytažení krystalu následuje jeho broušení. Krystaly se již brousí na požadovaný průměr, který je udáván v mezích tolerance obvykle 1,5 mm.

**b) Krystalografická orientace** – Řada fyzikálních a optických vlastností monokrystalických látek závisí na směru měření - takové krystaly nazýváme anizotropní na rozdíl od izotropních, které mají vlastnosti ve všech směrech stejné. Příkladem směrově závislých vlastností jsou pružnost, tepelná a elektrická vodivost a zejména optické vlastnosti. U legovaného křemíku se projevuje anizotropie, což znamená, že vlastnosti vytaženého monokrystalu bude určovat směr ve kterém krystal poroste. Tento směr bude při tažení určen typem zárodka, který bude použit.

**c) Typ vodivosti** - Rozlišujeme dva typy vodivosti:

- elektronovou vodivost (typu N),
- děrovou vodivost (typu P).

**d) Měrná rezistivita** – Konečného měrného elektrického odporu v monokrystalu resp. jeho požadované hodnoty se dosahuje legováním. I nepatrné množství legující příměsi má významný vliv na hodnotu měrné rezistivity. Přidáním legury do vsádky můžeme ovlivnit hodnotu měrné rezistivity v širokém rozsahu. Škála měrné rezistivity, které jsme schopni přidáním příměsi dosáhnout, se pohybuje od hodnoty  $2,3 \cdot 10^5 \Omega\text{cm}$ , což je hodnota měrného odporu čistého křemíku, až po  $10^{-4} \Omega\text{cm}$ . V tisícinách  $\Omega\text{cm}$  se pohybují právě silně legované arsenové monokrystaly.

**e) Homogenita měrné rezistivity** – Každý zákazník požaduje hodnotu elektrického měrného odporu v určitém intervalu. Pro polovodičové účely je však důležité, aby docílena hodnota měrné rezistivity byla víceméně neměnná. Proto patří k požadavkům na kvalitu monokrystalů také homogenita měrné rezistivity.

**f) Doba života** – Při osvětlení křemíku jsou prostřednictvím interakce světla generovány páry elektron – díra. Současně probíhá v látce i opačný pochod – rekombinace. Ve stacionárním případě si jsou rychlosti obou pochodů rovny.

Mezi požadavky na kvalitu monokrystalu patří kromě základních parametrů také omezení výskytu nežádoucích poruch ve struktuře monokrystalu, geometrické parametry, přítomnost nežádoucích prvků apod.

### **1.4.1 Příprava vsádky a legur**

Polykrystal Si členěný dodavatelem na menší kousky se vkládá do křemenných kelímků. Lze též pro některé typy výrobků použít jako výchozí materiál tzv. vratný křemík z výroby – remelt, popřípadě lze oba druhy materiálu mísit podle předem stanovených pravidel. Vsádka bývá navážena s přesností  $\pm 0,5\%$  a je skládána do křemenného kelímku do homole tak, aby se kousky křemíku pokud možno nedotýkaly stěn kelímku. Kelímek se vsádkou se pak v tažičce vkládá do grafitového kelímku a při zapnutých otáčkách se kontroluje horizontální usazení křemenného kelímku. Pokud je to nutné, provede se jeho vyrovnání.

#### **1.4.1.1 Příprava vsádky**

##### **Z čistého polykrystalického křemíku:**

Hmotnost vsádky se naváží s přesností  $\pm 0.5\%$ . Při vážení se křemík pokládá na PE folii. Vsádka je skládána do křemenného kelímku do homole tak, aby se kousky křemíku pokud možno nedotýkaly stěn kelímku.

##### **Z různých druhů křemíku:**

Nevyhovující části dříve připravených krystalů je nutno třídít a skladovat podle druhu použité legury. Všechny nevyhovující části krystalů musí mít vyznačenou hodnotu měrného odporu i druh legury.

Není-li použití nevyhovujících částí krystalů předem vyloučeno, může být pro přípravu vsádky a krystalů pro solární články použito nevyhovujících částí krystalů se stejným dopantem.

Pro tažení krystalů, legovaných As je možné použít nevyhovujících částí krystalů legovaných fosforem s odporem nad 10 Wcm.

Není-li použití nevyhovujících částí krystalů předem vyloučeno, může být vsádka pro tažení krystalů N typu (leg.P) sestavena až z 50 % nevyhovujících částí. Části vsádek, připravené z nevyhovujících částí krystalů, se leptají podle příslušného výrobního předpisu.

Připravené vsádky, pokud se ihned nepoužívají k tažení, se skladují v PE sáčcích ve skříni, k tomu určené.

#### **1.4.1.2 Příprava legur**

##### Legování krystalickým bórem:

Legování čistým bórem se provádí jen tehdy, je-li potřebné množství bóru do vsádky větší než 20 mg.

##### Legování arzenem:

Kovový arzen je dodáván v zatavených skleněných ampulích nebo ve skleněných láhvích v ochranné atmosféře netečného plynu. V uzavřeném boxu s odsáváním se rozčleněné kousky, resp. granule arzenu po navážení vkládají do skleněných láhví a jejich obsah je před uzavřením láhve proplachován ochranným plynem – argonem.

##### Vložení arzenu do legovacího přípravku a zařízení

Navážené množství arzenu se v boxu s odsáváním vloží pomocí pinzety do legovacího přípravku PR 364. Legovací přípravek se plní As bezprostředně před jeho vložení do komory zařízení. Upevní se do manipulátoru tak, že jeho baňka je zasunuta do krytu.

## **1.4.2 Tažení**

### **1.4.2.1 Příprava zařízení**

Hlavní komponenty teplotního uzlu jsou: grafitový kelímek s miskou a stopkou, topné těleso s přívody, soustava stínění (horní a spodní kryt, válec s tepelnou izolací a grafitovou plstí), ochranné dno s tepelnou izolací a s vystýlkou z grafitové plsti. V jednotlivých zařízeních pro přípravu monokrystalů jsou teplotní uzly přizpůsobeny velikosti používaného křemenného kelímku a používané technologie. Před tažením se provádí vždy čištění zařízení. Z komory a horní části teplotního uzlu se vysavačem odstraní napařená vrstva oxidů křemíku. Čištění celého teplotního uzlu se provádí po 5 – 10 tažících cyklech.

### **1.4.2.2 Roztavení vsádky**

Před samotným roztavením vsádky je potřeba po určitou dobu vsádku žíhat. To se provádí při zapnutých otáčkách kelímku a jeho sjíždění směrem dolů. Příkon má s postupným zahříváním topidla tendenci klesat, proto je potřeba ho udržovat na požadované hodnotě. Je vhodné hladinu taveniny udržovat podle okolností na nebo pod nejteplejším místem topidla. Při dotavování křemíku se změnami otáček kelímku zabráňuje tomu, aby se křemík plovoucí na hladině přilepil na stěnu kelímku. Po dotavení se nastaví předepsaný provozní tlak a otáčky kelímku a zapne se stabilizace teploty. Od této chvíle je teplota automaticky udržována. V průběhu stabilizace dochází k urovnání teplotních poměrů na topném uzlu i v roztavené vsádce. Stabilizace trvá minimálně jednu hodinu.

### **1.4.2.3 Legování**

Při legování arsenem se legovací ampulí, která je upevněna v držáku pro zárodek, rychloposuvem sjede nad hladinu taveniny, kde se upraví otáčky kelímku i legovací ampule podle požadavků technologie. Následně se částečně ponoří ampule do taveniny. Legování trvá podle množství legury a vyžaduje zvýšenou pozornost operátora. Arzen v ampulí sublimuje a jeho páry se vpravují do taveniny.

Po dolegování se s ampulí vyjíždí do horní komory nad oddělovací klapku (ta odděluje horní a spodní komoru). Pustí se průtok argonu spodní komorou, zavře se oddělovací klapka. Horní komora se pomalu plní argonem. Až se tlak v komoře vyrovná s venkovním, dveře se otevřou. Potom se zavře přívod argonu do horní komory. Zastaví se posuv a otáčky ampule a v ochranných rukavicích se vyndá dosud velmi teplý držák s ampulí.

Do uvolněného držáku je upevněn křemíkový zárodek. Dveře horní komory jsou uzavřeny a je zapnuta pomocná rotační vývěva. Rotační vývěva vyčerpá horní komoru, poté je pootevřen ventil rychlého napouštění argonu. Po vyrovnání tlaků v horní a spodní komoře je otevřena oddělovací klapka. Je zastaven přívod argonu do spodní komory, ventil pomocné rotační vývěvy je uzavřen a pomocná rotační vývěva je vypnuta. Se zárodkem se sjíždí nad taveninu.

#### 1.4.2.4 Proces tažení krystalu

Tažení monokrystalu začíná tzv. najížděním semínka. Rychloposuvem se najede zárodkem dolů těsně nad taveninu a nechá se prohřát. Po chvíli se zárodek ponoří do taveniny, sníží se přitom otáčky kelímku. Zárodek by se měl během 1 až 2 minut protavit, tzn. že na hladině v místě kontaktu s taveninou se kolem průměru zárodku vytvoří dva souběžné, zlatě svítící kroužky a tavenina od zárodku neukápne. Po vytažení semínka je snížen posuv a tím se začne semínko rozšiřovat do tzv. hlavy krystalu. Teplotu je potřeba v průběhu rozšiřování hlavy snižovat. Průběžně se měří průměr narůstající hlavy krystalu.



Obr.: 1.8 proces tažení

Regulací zdvihu krystalu, otáček kelímku a snižováním teploty dochází k rozšíření narůstající hlavy krystalu na požadovaný průměr. Po dosažení požadovaného průměru je zapnuto tzv. Ratio (spřažení posuvu rostoucího krystalu a kelímku s taveninou), resp. nastaví se a zapne automatická regulace průměru krystalu.

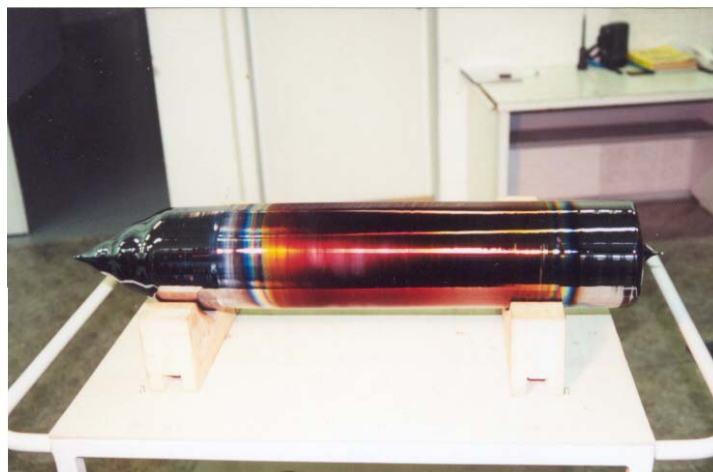
V průběhu zarovnávání hlavy se ubírá postupně tolik teploty, aby po zarovnání (podle průměru) rostl krystal zdvihem 1,2 – 1,6 mm.min<sup>-1</sup>. Jsou-li sníženy otáčky a stabilizovány teplotní poměry, tzn., že krystal roste bez velkých výkyvů průměru a zdvihu, lze tažičku zapnout do automatického režimu.

Zjistí-li se při růstu kuželové nebo počáteční válcové části vznik dislokací nebo vrůstů, vytažená část krystalu se roztaví a tažení se opakuje. Vyhovuje-li délka vytažené bezdislokační části krystalu specifikacím, lze vyrostlou část utrhnout od taveniny a vyjmout z komory. Při vytahování utrženého krystalu se postupuje stejně jako při výměně legovací ampule za zárodek. Jakmile se tavenina začne přibližovat k zaoblené části kelímku, je nutno postupně snižovat rychlost tažení za současného zvyšování teploty. Současně je žádoucí zvyšovat zdvih kelímku, poněvadž krystal má tendenci se v této fázi tažení zužovat.

#### **1.4.2.5 Ukončení procesu tažení**

Až se průměr zbytku taveniny zmenší na 65 – 70% vnitřního průměru křemenného kelímku, je nutné zakončit krystal kuželovým koncem. Krystal se ukončí vytvořením kuželového tvaru, tzn. postupným zužováním průměru a zakončením do špice. Délka konusu by měla být přibližně stejná jako průměr vytaženého krystalu. Po vytvoření špice krystalu je možné jej teprve odtrhnout od taveniny. Vypne se stabilizace příkonu a příkon se sníží stejně jako otáčky kelímku. Po pokrytí povrchu taveniny tzv. námrazou je snížen příkon až na nulu a topení vypnuto. Zařízení se chladí 4 resp. 5 hodin. Krystal se vyjme ze zařízení ručně. Po vyjmutí se nechá vychladnout na pokojovou teplotu, označí se číslem a předá se i s protokolem tažení na vyhodnocení.

Operátor na tažení zapíše do protokolu (Příloha2) vše o provedených operacích, podepíše a napíše datum.



Obr.: 1.9 vytažený monokrystal

### **1.4.3 Rozřezávání**

Na povrchu Si monokrystalu jsou před řezáním vyznačeny místa řezů. Si monokrystal se uloží na stůl řezačky a mechanicky se upne. Řezná část pily se nasměruje na označené místo. Doporučuje se, aby řezání probíhalo od začátku (od konce) Si monokrystalu a postupovalo se jedním směrem. Zapne se odsávání a zapnou se otáčky pily. Odsávání běží po celou dobu práce na zařízení. Zapne se rychloposuv stolu a ovládáním se najede k místu řezu do vzdálenosti 5 mm až 10 mm od povrchu Si monokrystalu. Rychloposuv stolu se vypne. Ovládání je na hlavním panelu zařízení. Zapne se pracovní posuv stolu, rychlost se volí a platí pro všechny průměry Si monokrystalů. Provede se řez do poloviny  $\varnothing$  Si monokrystalu. Pracovní stůl se vrátí do výchozí polohy. Si monokrystal se otočí o  $180^\circ$  a zopakuje se řezání, odřezávaná část se oddělí. Po odřezání se zastaví chladicí voda a vyjme se odřezaná část z Si monokrystalu. Si monokrystal se posune a zopakuje se postup až do provedení všech řezů. Stejným způsobem se provede rozřezání všech Si monokrystalů.

Pracovník řezání zapíše do protokolu(Příloha3) vše o provedené operaci, podepíše a napíše datum.



Obr.: 1.10 nařezané monokrystaly

#### **1.4.4 Měření měrného elektrického odporu**

Krystal Si je tvaru válce s kolmými plochami na čelech válce o průměru 70 – 160mm a o délce 150 – 1500mm. Na čelech válce nesmí být nerovnosti větší než 1mm a oblasti měření na čelech válce nesmí mít mechanické poškození a praskliny.

Kontrolní Si deska připravená pro měření měrného odporu a RRV má kruhovitý tvar o tloušťce 0,5 – 6,5mm a průměru 50 – 175mm. Úkosovitost nesmí překročit hodnotu 5%. Na povrchu měřené desky nesmí být nerovnosti větší než 0,5mm.



Obr.: 1.11 monokrystal na měření odporu

#### **1.4.4.1 Měření měrného odporu na krystalu**

Připravit úchytný systém měřicího zařízení dle průměru měřeného krystalu a vložit měřený krystal do tohoto přípravku.

Zadat příslušné údaje: číslo krystalu, údaj měřeno na délce, průměr krystalu, typ vodivosti, teplota měření (odečet teploty s čidla, které snímá teplotu z čela krystalu), rozsah proudu měření, variantu výpočtu RRV a po té spustit vlastní proces měření.

Po ukončení měření zapsat výsledky měření do protokolu o měření (Příloha3).

#### **1.4.4.2 Měření měrného odporu na desce**

Změřit tisícinovým indikátorem tloušťku a průhledným pravítkem průměr kontrolní Si desky.

Po ukončení měření zapsat výsledky měření do protokolu o měření.

#### **1.4.5 Broušení**

Před broušením se změří průměr u výřezu Si monokrystalu na více místech, min. ve třech. Hledá se největší a nejmenší průměr. Naměřené hodnoty se vyhodnotí a použijí se pro další postup broušení. Výřez Si monokrystalu se upne mezi upínací přípravky a co nejlépe se vycentruje v ose otáčení. Nastaví se otáčky převodovky pro otáčení Si monokrystalu. Spustí se otáčky brusného kotouče, spustí se otáčky Si monokrystalu. Ručním posuvem se najede brusným kotoučem na změřené místo o největším průměru až do místa, kde začne brusný kotouč brousit. Obroušený výřez Si monokrystalu se opláchne v teplé tekoucí vodě a osuší se tlakovým vzduchem. Na obroušeném a osušeném Si monokrystalu se opět změří průměr na obou koncích ve vzdálenosti 10 – 20mm od okraje a uprostřed. Na obou koncích se změří drsnost povrchu. Všechny naměřené hodnoty se zaznamenají do průvodního protokolu o měření (Příloha3). Průměr krystalu je kritický parametr produktu, proto je třeba věnovat mu velkou pozornost.

### **1.4.6 Fazetování**

Fazeta je vybroušená plocha na povrchu Si monokrystalu. Fazetování stanovuje způsob orientace a broušení základních (hlavních, primárních), a pomocných (sekundárních) fazet na Si monokrystalech a broušení čel Si monokrystalů

Při broušení délky fazety se provádí kontrola, zda délka fazety na obou koncích Si monokrystalu má stejný rozměr (rozměr musí být v toleranci dle specifikace).

### **1.4.7 Výrobní kontrola**

#### **1.4.7.1 Vyhodnocování SI monokrystalu**

Provede se kontrola souladu čísla Si monokrystalu s číslem Si monokrystalu na protokolu tažení a na protokolu o měření (Příloha3). Provede se změření průměru Si monokrystalu. Pokud je uvedeno ve specifikaci, například maximální délky výřezů, respektive požadavky na specifický odpor, jiná tloušťka, nebo větší počet kontrolních Si desek, místa řezů na Si monokrystalu se označí dle této specifikace.

Teprve takto označený Si monokrystal se může začít rozřezávat na pracovišti řezání dle označených míst a požadavků.

#### **1.4.7.2 Kontrola SI monokrystalu po řezání**

Po rozřezání se provede kontrola počtu a označení Si desek.

Výřezy Si monokrystalů, které vyhovují všem požadavkům specifikace, se zváží a změří se jejich délka. Údaje se centrofixem zapíše na čelo výřezu a zapíše se do průvodního protokolu o měření. Si výřezy monokrystalů se obrousí na průměr a výsledné hodnoty musí odpovídat hodnotám a tolerancím specifikace. Po obroušení se provede sražení hran výřezů monokrystalu.

#### **1.4.7.3 Vratné zbytky**

Výchozí surovinou pro tažení Si monokrystalu je čistý polykrystalický křemík od ověřeného zdroje. Jen se souhlasem zákazníka lze jako vstupní surovinu použít

zbytky křemíku z předchozích taveb, tzv. remelt. Zbývající části z Si monokrystalu (hlava, dislokační části, špice) se zváží a zaevidují se do protokolu (příloha3) pod názvem zbytky. Pokud se zbytky nedají využít jako vratné zbytky, zařadí se jako hutní materiál a uloží na vyhrazené místo.

#### **1.4.7.4 Kontrola výřezu Si monokrystalu**

Změří se drsnost broušené plochy, šířka fazet a odklon vedlejší fazety od hlavní fazety. Naměřené hodnoty se zapíše do protokolu (Příloha3). Dále se změní průměr a délka broušeného výřezu Si monokrystalu a zváží se. Takto připravený výřez Si monokrystalu je připraven k expedici k zákazníkovi.

#### **1.4.7.5 Technické požadavky**

Výřezy Si monokrystalů odevzdané na expedici musí vyhovovat požadavkům specifikace. Všechny výřezy Si monokrystalu a zbytky musí být zváženy a zaevidovány do protokolu (Příloha3). Vratné (použitelné) Si zbytky se třídí a ukládají na vyhrazené místo.

#### **1.4.8 Výstupní kontrola**

Tento pracovní postup definuje postup výstupní kontroly Si monokrystalů za účelem splnění požadavků zákazníka a jeho specifikace.

Nejprve se proměří všechny Si monokrystalu určené k odeslání, poté se provede kontrola, zda údaje na štítku odpovídají údajům v protokolu o měření. Provede se kontrola všech parametrů uvedených ve specifikaci (Příloha1), kontrola úplnosti všech Si monokrystalů. Následuje kompletace všech požadovaných dokumentů, tyto se vkládají do poslední kartónové krabice zásilky. Provede se kontrola úplnosti celé zásilky, zabalení celé zásilky a označení zásilky evidenčním číslem.

## 1.5 SWOT analýza

Analýza SWOT slouží k poznání prostředí a vnitřních možností podniku. Vychází se z předpokladu, že firma dosáhne úspěchu maximalizací předností a příležitostí a minimalizací nedostatků a hrozeb.

### **Silné stránky (Strengths)**

- špičkové parametry produktu
- know – how tažení monokrystalu křemíku
- vysoká tržní cena výrobků
- spokojenost zaměstnanců s vyššími platy
- dobré jméno firmy
- certifikovaná firma dle ISO 9001:2000

### **Slabé stránky (Weaknesses)**

- zastarávající strojový park
- obtížná nahraditelnost specializovaných pracovníků
- omezená výrobní kapacita, omezené výrobní prostory
- nedostatečné vybavení měřící technikou

### **Příležitosti (Opportunities)**

- získávání zákazníků zlepšováním parametrů výrobků
- další zvyšování výtěžností
- zlepšení komunikace se stávajícími zákazníky k upevnění vztahů

## Hrozby (Threats)

nízký počet odběratelů

nízké investice do inovací

omezená možnost rozšíření výroby

zvýšení nákladů na materiál

neustálé zvyšování cen vstupních materiálů

### 1.5.1 Výsledky analýzy

Ve výsledku analýzy se zaměříme především na identifikované slabé stránky. Z analýzy je patné, že firma ARSIL má hned několik slabých stránek a pokud chce být firma úspěšná musí tyto slabé stránky minimalizovat nebo ještě lépe, úplně je eliminovat. Jedním z problémů jsou zařízení potřebná k tažení monokrystalů. Tyto zařízení jsou starší, nicméně jsou stále funkční a finanční náročnost nových strojů je tak velká, že firma, v nejbližší době neuvažuje o investici do nových zařízení. To také souvisí s výrobní kapacitou a výrobními prostory. Jak již bylo zmíněno, firma nemá v plánu v nejbližší době investovat do nových těžících zařízení, jak z důvodu finanční náročnosti, tak z důvodu kapacitního.

Dalším problémem je obtížná nahraditelnost specializovanými pracovníky. Znalosti v tomto oboru výroby se získávají studiem dané problematiky, ale především praxí a jelikož firem s podobným výrobním programem mnoho není, je také pravděpodobnost získání specializovaného pracovníka dosti malá. Proto se firma musí pokusit udržet stávající zaměstnance vytvořením vhodného pracovního prostředí. A také investovat do vzdělání nových pracovníků.

Dalším problémem je nedostatečné vybavení měřicí technikou pro měření některých důležitých hodnot, protože speciální zařízení k tomu určená jsou finančně velice náročná a není v možnostech firmy, aby je zakoupila. Tyto důležitá data jsou přitom nezbytná k návrhu zlepšení procesu, kterým se zabývám v kapitole 3.

## **2 Teoretická část**

### **2.1 Proces, procesní řízení**

#### **Proces**

Procesem je myšlena úplná kombinace dodavatelů, výrobců, lidí, zařízení, vstupního materiálu, metod a prostředí, tedy všech prvků, které se podílejí dohromady na výstupu procesu, a dále zákazníků, kteří tento výstup užívají. Celkový výkon procesu závisí na komunikaci mezi dodavatelem a zákazníkem, na způsobu, jakým je proces navržen a implementován a dále na tom, jak funguje a jak je řízen. Systém regulace procesu je užitečný pouze tehdy, jestliže přispívá k udržení dokonalé úrovně procesu a nebo ke zlepšení celkové výkonnosti procesu (2).

#### **Procesní řízení**

Procesní řízení je způsob chápání role pracovníků, pracovních týmů, organizačních jednotek ve společnosti a jejich podíl na výsledných hodnotách vytvořených jednotlivými procesy. Transformace od funkčního k procesnímu řízení neznamena změnu organizační struktury nebo pouhé snižování pracovníků (většinou s cílem snížení provozních nákladů). Je to zejména změna myšlení každého pracovníka v organizaci. Z toho důvodů je tato transformace většinou jen částečně úspěšná.

Samořejmě každá změna by měla sledovat zlepšení ekonomických výsledků. Procesní řízení je ovšem pouze jeden krok v řadě změn. Praxe potvrzuje, že bez existence jasné strategie a definice cílů (ekonomických, jasně kvantifikovaných) je jakákoliv změna předem odsouzena na neúspěch. Většina společností neví, co mohou od procesního řízení očekávat, jaké konkrétní přínosy tato změna může přinést. To je důvod, proč váhají s její realizací a naopak, mnoho firem se do ní bezhlavě pustí bez jasného plánu a konkrétních (ovšem realizovatelných) cílů.

### **2.2 Sedm základních nástrojů řízení jakosti**

Se sedmi základními nástroji pro řízení a zlepšování jakosti byla česká odborná veřejnost seznámena prvně K. Ishikawou v roce 1973 při jeho návštěvě Prahy. Jejich původní název byl „Seven Tools“ a jejich obsah byl formován v průběhu padesátých a šedesátých let minulého století v Japonsku právě K. Ishikawou a E. Demingem, který v té době v Japonsku dlouhodobě působil. Společným rysem těchto nástrojů je požadavek na trvalou týmovou práci, tedy požadavek, který přežil všechny vývojové fáze řízení jakosti až po současný přístup (1). Základní struktura sedmi nástrojů, jejichž vnitřní náplň má tvar:

- a) kontrolní tabulky
- b) vývojové
- c) histogramy
- d) diagram příčin a následku
- e) Paretův diagram
- f) bodové diagramy
- g) regulační diagramy

Kromě výše zmíněného rysu – trvalé týmové práce – představuje většina uvažovaných nástrojů v podstatě kvantitativní metody, které při řízení procesu přispívají:

- k jeho monitorování a lepšímu zvládnutí řízení,
- k hlubšímu pochopení procesu a realizaci procesního přístupu,
- k problémům identifikace,
- k řešení problémů souvisejících s diagnostikou a vzniklých dílčích konkrétních problémů,
- k lepšímu fungování celého systému
- k racionalizaci a objektivizaci realizovaných rozhodnutí.

K řešení takových otázek vždy potřebujeme data, a ta můžeme získat buď experimentem, nebo – za určitých podmínek - k jejich získání můžeme využít existujících informačních zdrojů. Následně tato data musíme analyzovat z pohledu řešeného problému z oblasti aplikované statistiky, ale i z oblasti bezporuchovosti a

spolehlivosti. Druhá z norem je rovněž návodem k aplikaci systému SPC, když se musí prokazovat nebo zlepšovat způsobilost dodavatele snižovat kolísání procesu.

### **2.2.1 Kontrolní tabulky**

Kontrolní tabulky slouží k ručnímu sběru prvotních dat o procesu spolehlivým, organizovaným způsobem. Nejčastější oblasti použití kontrolních tabulek při zajišťování jakosti jsou tyto:

- vstupní, operační, výstupní kontrola jakosti polotovarů, součástek, hotových dílů, surovin;
- analýza strojů a zařízení;
- analýza technologického procesu;
- analýza neshodných jednotek (vadných výrobků);
- záznam vstupních údajů a výpočet základních charakteristik pro regulační diagramy.

Uspořádaný způsob záznamu dat umožňuje zjednodušení a standardizaci záznamu dat a jejich vizuální interpretaci. To přináší minimalizaci chyb při vlastním sběru, záznamu, přepisování, interpretaci a ukládání dat (3).

Zjednodušení je charakterizováno použitím čárek nebo značek a symbolů místo čísel nebo textových charakteristik. Umožňuje mj. záznam velkého počtu dat do jedné tabulky.

Uspořádaný způsob záznamu dat umožňuje zjednodušení a standardizaci záznamu dat a jejich vizuální interpretaci. To přináší minimalizaci chyb při vlastním sběru, záznamu, přepisování, interpretaci a ukládání dat.

Zjednodušení je charakterizováno použitím čárek nebo značek a symbolů místo čísel nebo textových charakteristik. Umožňuje mj. záznam velkého počtu dat do jedné tabulky.

Kontrolní tabulky mají tři hlavní oblasti aplikace:

1. jsou nástrojem pro záznamy výsledků jednoduchého čtení různých položek (např. vad);
2. jsou nástrojem zobrazení rozdělení souboru měření;
3. jsou nástrojem zobrazení místa výskytu určitých jevů, např. vad na výrobku.

V prvním případě je tabulka výchozím podkladem pro zpracování např. Paretovy analýzy. V druhém případě může tabulka sloužit jako výchozí podklad pro sestrojení histogramu. V třetím případě tabulky podávají jednak informaci o četnosti výskytu různých druhů vad, jednak graficky zobrazují místa výskytu jednotlivých druhů vad a jejich koncentraci v těchto místech na zkoumaném výrobku.

### **2.2.2 Vývojové diagramy**

Tyto diagramy jsou základním nástrojem zdokonalování procesu, neboť pomáhají odhalit, jak určité činnosti postupují tam, kde je možno identifikovat proces, a pochopit, jak proces funguje. Snadněji lze identifikovat zlepšení, zdokonalit úroveň komunikace mezi útvary a pracovními skupinami v organizaci. Vývojové diagramy jsou univerzálním nástrojem popisu jakéhokoli procesu. Jsou důležitou pomůckou při budování systému zabezpečování jakosti (jako součást příručky jakosti).

Velmi užitečným nástrojem jsou vývojové diagramy při řešení těchto situací:

- vysvětlení procesu zákazníkům nebo uživatelům při prokazování jakosti,
- objasnění vazeb mezi činnostmi procesu novým pracovníkům;
- odkrytí a objasnění vazeb mezi útvary participujícími na určitém procesu;
- odhalení nedostatků v procesu (nevhodné, zbytečné činnosti, chybějící činnosti, zdvojování úsilí, zpoždování) a navržení zlepšení;
- srovnání skutečného a ideálního průběhu procesu.

V podstatě je vývojový diagram grafem s jedním začátkem a jedním koncem. Struktura a sekvence aktivit tvořících popisovaný proces je v grafu vyjádřena operačními bloky zobrazujícími činnosti a rozhodovací bloky.

Základním posláním využívání těchto diagramů je, aby lidé zúčastnění v daném procesu komunikovali jednotnou terminologií a ve zcela jasných vztazích. Lidé pak lépe chápou své místo v procesu ve vztahu k činnostem předcházejícím (3).

Při sestavování vývojového diagramu je potřeba udržet popis jednoduchý a stručný, udržovat stejný popis činností v rámci popisovaného procesu. Vývojové diagramy lze rozdělit na tři základní typy: vývojový diagram vstup – výstup, lineární vývojový diagram a integrovaný diagram, který je ze všech tří nejkompexnější.

### **2.2.3 Histogramy**

Histogram představuje grafické znázornění intervalového rozdělení četností (v oblasti řízení jakosti jde např. o rozdělení četnosti hodnot znaku jakosti - rozměrů výrobku, chemického složení výrobku, pevnosti, napětí, výkonu apod. nebo hodnot výrobních činitelů ovlivňujících jakost výrobků - řezných rychlosti, tlaků, teploty apod.). Díky přehlednosti a jednoduchému sestavení patří histogramy k nejznámějším a v praxi nejpoužívanějším jednoduchým statistickým nástrojům. Aplikují se při průběžné kontrole ve výrobním procesu, při studiu způsobilosti procesu, při analýze přesnosti a stability výkonu strojů, při výuce seřizovačů, operátorů i kontrolorů. Často se jich využívá při zpracování výkazů o výsledcích kontroly jakosti, při periodické plánované prověrce způsobilosti zařízení.

Z histogramu lze vyčíst následující informace:

- odhad polohy a rozptýlenosti hodnot sledovaného znaku jakosti či parametru procesu;
- odhad tvaru rozdělení sledovaného znaku jakosti či parametru procesu;
- identifikace změn procesu -
  - a) srovnáním histogramů mezi sebou a porovnáním odhadů polohy a rozptýlenosti,
  - b) analýzou tvaru histogramu;
- prvotní informaci o způsobilosti procesu.

### **2.2.4 Diagram příčin a následku**

Tento nástroj je základním jednoduchým nástrojem shromažďování informací o procesech, výsledcích, výkonnosti procesu za účelem zdokonalování procesů.

Diagram příčin a následku (Obr. 2.1) ukazuje grafickou formou vztah mezi následkem a příčinami, obecněji řečeno mezi sledovaným znakem jakosti (následkem) a možnými zdroji kolísání tohoto znaku jakosti (příčinami). Pro svůj tvar bývá tento diagram také nazýván „diagram rybí kosti“ nebo podle svého autora „Ishikawův diagram“.

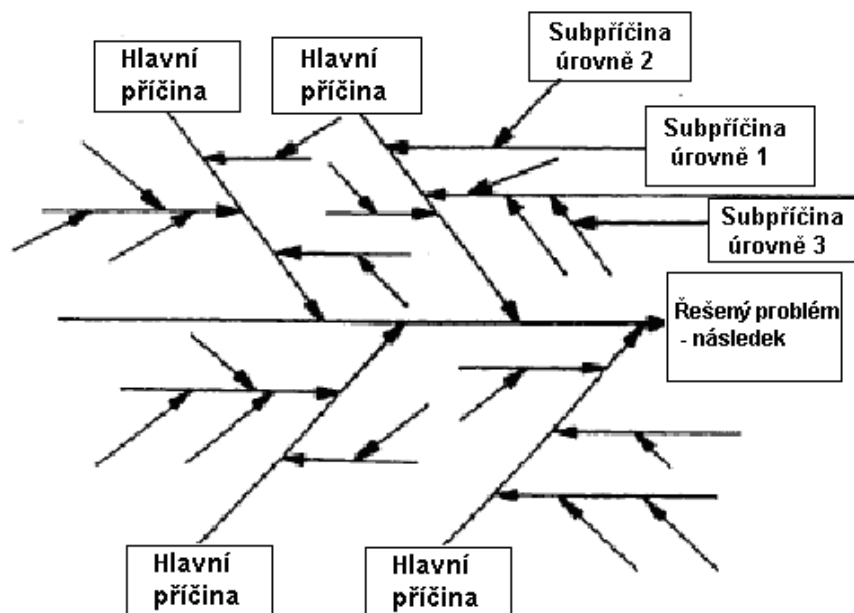
Základní obecný tvar diagramu je znázorněn na obrázku ... Následek, který je obvykle lokalizován v pravé části diagramu, obsahuje vždy stručnou specifikaci problému, který se má řešit; tato část diagramu bývá nazývána také „rybí hlava“.

Nalevo od ní se zobrazují jednotlivé hlavní příčiny a odvozené dílčí příčiny neboli subpříčiny. Každá ze subpříčin je uváděna do relace v pořadí, které odpovídá úrovni ovlivnění hlavní příčiny (3). Je pravda, že diagram příčin a následku může být konstruován jediným pracovníkem, ale mnohem výhodnější je využít mozkového potenciálu týmu pracovníků, kteří se s řešeným problémem často setkávají. Každý ze zúčastněných může tak svými zkušenostmi přispět k obohacení výčtu příčin a subpříčin, a tak se minimalizuje možnost opomenutí některé z nich v celkových úvahách směřujících v prvním kroku k určení všech příčin, které mohou objasnit, proč je chování procesu právě takové, jaké je nyní. Pochopitelně použití diagramu příčin a následku se neomezuje jen na výrobní sféru a řešení otázek útvaru managementu jakosti, ale lze jej aplikovat při řešení všech problémů, které se objevují v administrativě, v zásobování, přepravě, marketingu, laboratořích apod.

V praxi se používají tři skupiny diagramů příčin a následků, a to diagramy

1. pro analýzu variability procesu;
2. pro klasifikaci procesu;
3. pro vyšetřování příčin.

Typ diagramu uvedený pod bodem 1. je v praxi používán nejčastěji.



Obr.: 2.1 Základní schéma diagramu příčin a následku

### **2.2.5 Paretův diagram**

V oblasti řízení jakosti je Paretův princip jedním z nejefektivnějších běžně dostupných a snadno aplikovatelných rozhodovacích nástrojů. Umožňuje oddělit podstatné faktory (například příčiny určitého problému s úrovní jakosti) od méně podstatných a ukázat, kam zaměřit úsilí při odstraňování nedostatků v procesu zabezpečování jakosti. Pro oblast řízení jakosti použil poprvé aplikaci známého Paretova principu americký odborník na jakost J. M. Juran. Juran zformuloval závěr, že 80-95 % problémů s jakostí je způsobeno malým počtem příčin (5 až 20 %). Tyto příčiny nazval „životně důležitou menšinou“. Na příčiny tvořící tuto menšinu je v další analýze procesu třeba přednostně zaměřit pozornost, analyzovat je do hloubky a odstranit či minimalizovat jejich působení. Ostatní příčiny (80-95 %) nazval zprvu „triviální většinou“, později „užitečnou většinou“(3).

Využití Paretova diagramu je mnohostranné. V oblasti zajišťování jakosti může jít o následující oblasti: analýzu počtu neshodných výrobků a jejich druhů, analýzu ztrát s nimi spojených, analýzu časových a finančních ztrát spojených s vypořádáním neshodných výrobků, analýzu reklamací z hlediska finančních ztrát či důvodů reklamací, analýzu příčin výroby neshodných výrobků, příčin prostojů strojů, analýzu poruch a havárií zařízení, opotřebování náradí... Každý problém lze hodnotit ze tří základních pohledů: z hlediska prosté četnosti sledovaného ukazatele, z hlediska nákladového nebo z hlediska významnosti sledovaných jevů z pohledu bezpečnosti či funkčnosti výrobku. Volba hlediska a sledovaného ukazatele závisí na cílech a prioritách řešení problému.

Paretovy analýzy lze úspěšně využít jak při vyhledávání a definování nejpodstatnějších problémů (následků), které jsou např. nejčetnější nebo nejnákladnější, tak při stanovení „životně důležité menšiny“ příčin, které způsobují předem definovaný, již odhalený problém. V tomto případě se Paretova analýza nejčastěji provádí po sestavení diagramu příčin a následku vybraným týmem odborníků.

### **2.2.6 Bodový diagram**

Při řízení procesu zdokonalování jakosti se často dostaneme do situace, kdy regulovat proces podle námi vybraného (či častěji zákazníkem nebo normou stanoveného) znaku jakosti je tak náročné (ekonomicky nebo časově), že by regulační

zásahy byly neefektivní, nebo není přístupná potřebně přesná měřící technika. Je ale relativně jednoduché zjistit jiný znak jakosti, který s požadovaným znakem koreluje. Pak je třeba najít vhodnou regresní funkci a pomocí ní a hodnot znaku jakosti, které jsme schopni a levně zjistit, stanovit potřebné hodnoty požadovaného znaku jakosti (3).

### **2.2.7 Regulační diagramy**

Předmětem statistického řízení výrobního procesu (Statistical process control – SPC) je napomáhat k dosažení a udržení výrobního procesu na přípustné a stabilní úrovni tak, aby byla zajištěna shoda produktů a služeb se specifikovanými požadavky. Základním statistickým nástrojem SPC jsou regulační diagramy. Regulační diagram umožňuje odlišit odchylky vzniklé působením vymezených příčin od náhodných odchylek (8).

Statistické řízení procesu představuje zpětnovazební systémové ovládní procesu na základě průběžné informace o výkonu procesu v průběhu vlastní regulace. Proces ovlivňovaný pouze systémem náhodných příčin (chance causes) má charakter statisticky zvládnutého procesu a takový proces má tu vlastnost, že je predikovatelný. Naproti tomu přítomnost zvláštních příčin (nazývaných také vymezené příčiny – assignable causes) vyvolává v procesu nepředvídatelné změny. Tyto typy příčin je nutné identifikovat. Právě detekce přítomnosti zvláštních příčin je úlohou regulačních diagramů (1).

Cíle SPC jsou definovány takto:

- prohloubit znalosti o procesu;
- řídit proces tak, aby se choval požadovaným způsobem;
- snižovat kolísání parametrů konečného produktu nebo zlepšovat dosaženou úroveň procesu jinými způsoby.

V praxi vyžaduje SPC opakovaně realizovat ekonomicky fundované rozhodnutí o opatřeních ovlivňujících proces. To znamená uvádět v rovnováhu důsledky uskutečněných opatření, když zásah do procesu není nutný (tzv. zbytečný zásah) proti důsledkům neuskutečněných opatření, když zásah je nutný (tzv. chybějící zásah).

Nutno zdůraznit, že regulační meze (UCL – horní regulační mez a LCL – dolní regulační mez) nejsou totožné s mezními hodnotami (USL – horní mezní hodnota a LSL – dolní mezní hodnota) předepsanými specifikací. Meze UCL a LCL jsou hranice vymezující oblast pro přirozenou variabilitu použité výběrové charakteristiky.

### 2.2.7.1 Typy regulačních diagramů

Základní typy tzv. Shewhartových regulačních diagramů pro základní druhy kontrol:

- pro kontrolu měřením nabízí regulační diagramy:  $(\bar{x}, R)$ ,  $(\bar{x}, s)$ ,  
 $(Me, R)$ ,  $(x, MR)$
- pro kontrolu srovnáváním nabízí regulační diagramy:  $(p)$ ,  $(np)$ ,  
 $(c)$ ,  $(u)$

U regulačních diagramů při kontrole měřením se sleduje vždy jediný znak jakosti a pracuje se vždy se dvěma diagramy (jeden pro sledování polohy procesu a druhý pro sledování variability procesu), kdežto při kontrole srovnáváním se pracuje vždy jen s jedním regulačním diagramem, ale současně může být sledováno i několik znaků jakosti. Nutno připomenout, že SPC založená na kontrole měřením vyžaduje podstatně nižší rozsahy podskupin než SPC založená na kontrole srovnáváním, neboť kvantitativní data poskytují bohatší informaci než kvalitativní data.

### 2.2.7.2 Činnosti před aplikací SPC

Před aplikací SPC se musí:

- vedení postarat o vytvoření podmínek pro zavádění statistického řízení procesů, neboť splnění jeho cílů se musí stát záležitostí všech počínaje top managementem;
- zvolit proces, který má být regulován, a sledovaná veličina;

- zajistit podmínky pro regulaci, tj. v možném rozsahu zabezpečit neměnnost všech známých vlivů;
- definovat systém měření, zajistit potřebné vybavení pracovišť a realizovat školení pracovníků;
- zvolit výběrové charakteristiky, kterými se proces bude sledovat (tím se vymezí typ regulačního diagramu), tím současně zjistit potřeba ověření, zda jsou splněny určité předpoklady, na kterých jsou založeny jednotlivé typy regulačních diagramů
- určit počet podskupin pro pokusné období (obvykle nejméně 25, ale spíše více);
- ze zkušeností vytipovat možné vymezitelné příčiny a další přidávat, jak jsou poznávány a zaznamenávány do regulačního diagramu;
- stanovit formy zásahů na odstranění zjištěných vymezitelných příčin, vymezit příslušné odpovědnosti a návazné povinnosti jednotlivých pracovníků (1).

### **2.2.7.3 Zásady analýzy regulačních diagramů a možnosti řešení vzniklých problémů**

Při analýze regulačních diagramů se soustředíme především na:

- identifikaci jakéhokoli důkazu, že průměr procesu nebo variabilita procesu nevykazují konstantní úroveň;
- skutečnost, že jeden nebo oba parametry procesu nejsou statisticky zvládnuty (1).

Nutno zdůraznit, že:

- analýza regulačních diagramů při kontrole měřením začíná vždy analýzou variability procesu
- při analýze lze vylučovat jen takové podskupiny, u kterých byla přítomnost zvláštní (vymezitelné) příčiny nejen evidována, ale také fyzikálně vysvětlena, její působení odstraněno a vytvořena bariéra proti tomu aby opět nastala; pokud nedojde k vysvětlení vlastní příčiny a k jejímu odstranění, nutno takovou podskupinu zachovat ve výpočtech regulačních mezí pro další období, neboť v takovém případě nelze u takové příčiny vyloučit, že nastane znovu;

- ukazatele způsobilosti  $C_p$  a  $C_{pk}$  pro sledovaný proces je povoleno počítat vždy jen po prokázání, že tento proces je ve statisticky zvládnutém stavu. V opačném případě jsou vypočtené hodnoty všech ukazatelů způsobilosti zcela neobjektivní.

#### 2.2.7.4 Postup při aplikaci ( $\bar{x}$ , $R$ ) - diagramů a výpočetní vzorce

- pro každou z  $k$  podskupin vypočteme výběrový průměr  $\bar{x}_i$  a výběrové rozpětí  $R_i$ , pro  $i = 1, 2, \dots, k$ ;
- na regulačním diagramu zakreslíme stupnice pro  $\bar{x}_i$  a  $R_i$ ; doporučuje se, aby v obou případech byl uvažován alespoň dvojnásobek rozdílu mezi největší pozorovanou hodnotou  $\bar{x}_i$ , resp.  $R_i$  v podskupině;
- dvojice bodů (  $\bar{x}_i, R_i$  ) se zakreslí do příslušných diagramů.

výpočet průměru procesu a průměrného rozpětí:

- z hodnot  $\bar{x}_i$  a  $R_i$  zjištěných v  $k$  podskupinách stejného rozsahu  $n$  se vypočtou: průměr procesu se vypočítá takto:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i$$

průměrné rozpětí se vypočítá takto:

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i$$

Výpočet ukazatelů způsobilosti z dat v (  $\bar{x}$ ,  $R$  ) :

- ukazatel způsobilosti  $C_p$ , který vyjadřuje „čeho je proces schopen“
- ukazatel způsobilosti  $C_{pk}$ , který vyjadřuje „čeho jsme skutečně dosáhli“, ukazatele se vypočítají podle vzorců:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

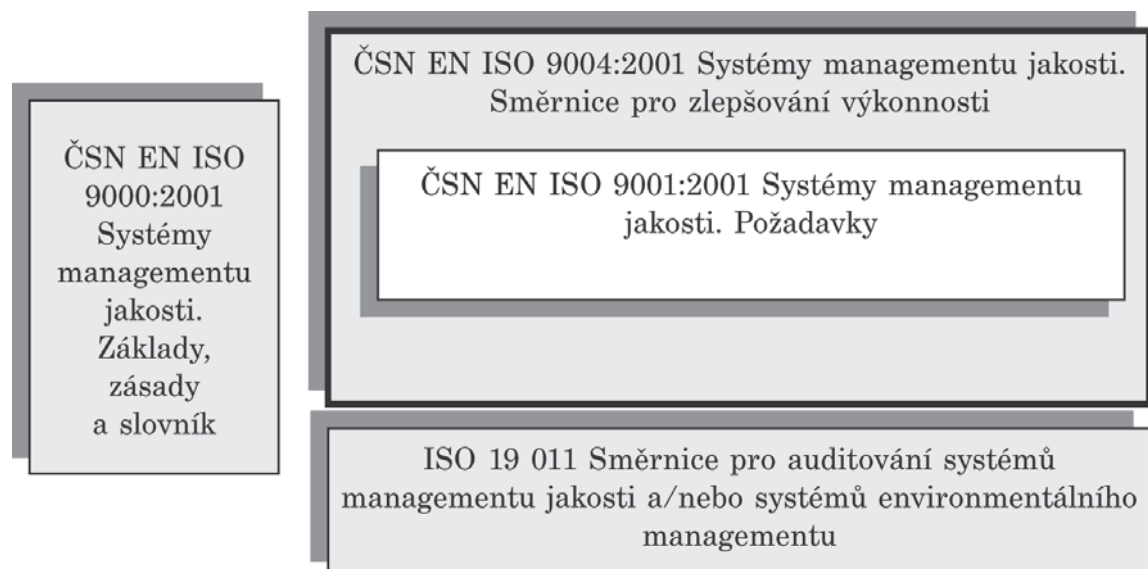
$$C_{pk} = \frac{\min\{USL - AVE, AVE - LSL\}}{3\sigma}$$

Kde LSL a USL je dolní respektive horní mez a  $\sigma$  je směrodatná odchylka a vypočítá se podle vzorce:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \min(x_i - \bar{x})^2}$$

Zkratka „min“ před složenou závorkou značí, že se ze dvou výrazů uvnitř závorky za Cpk považuje ten, jehož číselná hodnota je menší.

## 2.3 STRUKTURA A ÚČEL NOREM ISO ŘADY 9000



Obr.: 2.2 Struktura souboru norem ČSN EN ISO 9000:2001

Výchozí struktura těchto norem zahrnuje pouze čtyři standardy v souladu s obr. 2.2.

Norma ČSN EN ISO 9000:2000 uvádí rozsáhlý výklad a definice pojmů souvisejících s jakostí, managementem, organizací, procesem, výrobkem, znaky jakosti, shodou, dokumentací, zkoušením, auditu, procesy měření apod. Tato norma pak definuje i obecné principy managementu jakosti.

Norma ČSN EN ISO 9001 je souborem základních požadavků, které musí všechny organizace (včetně malých) plnit, aby byla prokázána jejich schopnost zabezpečovat

požadovanou úroveň svých produktů a služeb. Není určena k interní aplikaci, ale především pro účely externího posuzování shody (např. při certifikačních auditech).

Norma ČSN EN ISO 9004 je návodem na to, co všechno by měl efektivní systém managementu jakosti obsahovat. Právě tato norma je určena k interní aplikaci v rámci jednotlivých organizací. Její respektování zvýší celkovou výkonnost organizací.

Poslední z norem - ČSN EN ISO 19011 je obecně vypracovanou směrnicí pro realizaci tzv. auditů, tedy procesů posuzování stavu systému managementu jakosti s cílem identifikovat příležitosti k jeho dalšímu zlepšování.

Zvládnutí požadavků normy ČSN EN ISO 9001 ještě negarantuje plnění v další části uvedených funkcí systémů managementu jakosti, je však nesporně prvním účinným krokem ke zvýšení kvality řízení (4).

## **2.4 PRINCIPY MANAGEMENTU JAKOSTI – PRAKTICKÝ PŘÍSTUP K JEJICH APLIKACI**

Norma ČSN EN ISO 9000 definuje osm základních principů managementu jakosti. V další části jsou popsány hlavní činnosti, které vedou k jejich praktickému naplnění i v prostředí malých organizací.

### **2.4.1 Orientace na zákazníka**

Pojmem „zákazník“ je v ČSN EN ISO 9000 definován: „organizace nebo osoba, která přijímá produkt.“

Budoucnost každé organizace je přitom bytostně závislá na chování jednotlivých skupin zákazníků a maximalizace míry jejich spokojenosti a loajality tak musí být jednou z principiálních funkcí systému managementu jakosti. Praktická aplikace tohoto principu pak vyžaduje zejména:

- systematické zkoumání požadavků jednotlivých skupin zákazníků,

- jejich rychlé a efektivní naplňování,
- provázanost strategických i operativních cílů organizace s potřebami a očekáváními zákazníků,
- systematické měření spokojenosti zákazníků.

## **2.4.2 Vedení a řízení zaměstnanců**

Řídící pracovníci mají být opravdovými vůdci. Mají v organizaci vytvořit takové prostředí, ve kterém všechny skupiny zaměstnanců budou podávat maximální výkony v zájmu naplňování cílů organizace. Realizace tohoto principu od manažerů malých firem vyžaduje:

- deklarování mise, vize, politiky a cílů v souladu s požadavky zákazníků a dalších zainteresovaných stran,
- vytváření prostředí vzájemné důvěry mezi jednotlivými skupinami zaměstnanců,
- poskytování příležitostí zaměstnancům k vlastní práci, včetně přerozdělování odpovědností a pravomocí,
- motivaci všech zaměstnanců k týmové práci a k procesům zlepšování,
- stát se pozitivním vzorem ostatním apod.

## **2.4.3 Zapojení lidí**

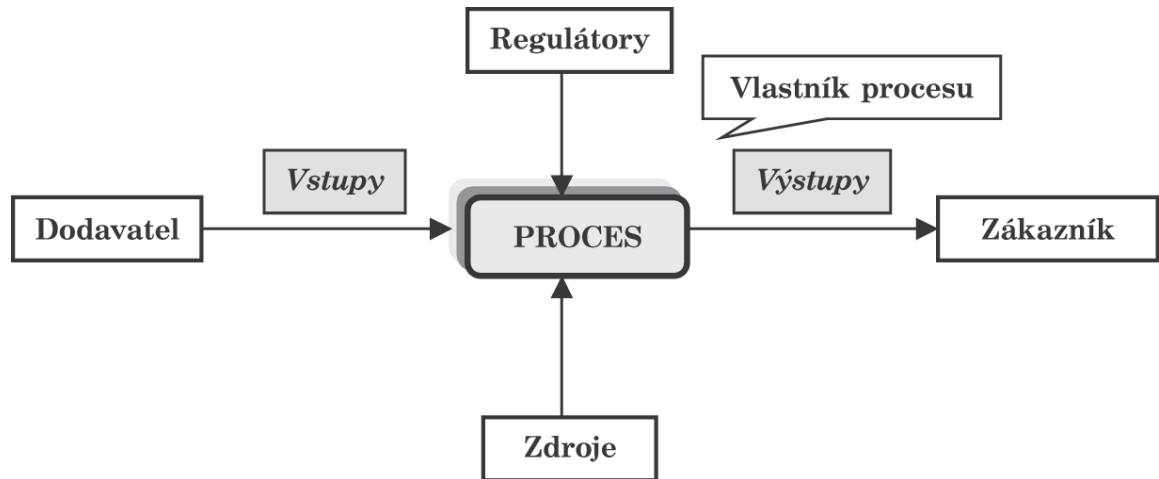
Aktivita a moudrost zaměstnanců jsou největším bohatstvím každé organizace. Pro dosažení tohoto stavu musí vedení malých organizací:

- vysvětlovat důležitost všech činností zaměstnanců pro výsledky organizace,
- vést zaměstnance k odhalování slabých míst v jejich výkonnosti,
- trvale vzdělávat zaměstnance na všech úrovních řízení,
- hodnotit naplňování osobních cílů zaměstnanců a při jejich plnění pomáhat,
- odměňovat úsilí zaměstnanců ke zvyšování výkonnosti apod.

Tento princip se úzce dotýká personálního managementu a preferuje kvalitu lidí.

## 2.4.4 Procesní přístup

Organizace pracují mnohem efektivněji, pokud to co dělají chápou a řídí jako procesy. Před upřednostňováním jakosti produktů (výstupů) je preferována jakost procesů.



Obr. 2.2: Základní model procesu

Potom za proces (Obr. 2.2) možno chápat soubor dílčích činností, měnících vstupy na výstupy za spotřeby určitých zdrojů v regulovaných podmínkách. Vstupy dodávané interními nebo externími dodavateli jsou v daném procesu spotřebovány na výstupy, které mají charakter

zpracovaného materiálu nebo informací. Zdroje se v průběhu daného procesu úplně nespotřebují, pouze jsou podmínkou k jeho vykonání (např. lidé, technika apod.). Regulátory jsou všechny faktory, které určitým způsobem limitují průběh procesu, jde např. o zákony, normy, předpisy, ale i nejrůznější podmínky (např. počet technologicky nezaměnitelných strojů a pod). V systémech managementu jakosti musí mít každý proces svého vlastníka, tj. osobu, která je odpovědná za jakost výstupů a za efektivní průběh vlastního procesu.

K naplnění tohoto principu je nutné

- systematicky definovat ty procesy v organizaci, jež jsou nutné pro dosažení plánovaných výsledků,

- jednoznačné definování vlastníků, jejich odpovědností a pravomocí u všech těchto procesů, systematicky měřit výkonnost procesů a analyzovat výsledky těchto měření pro účely objektivního rozhodování,
- systematicky se zaměřovat na klíčové faktory procesů, tj. adekvátní zdroje, metody a materiály.

### **2.4.5 Systémový přístup k managementu**

Systém managementu je chápán jako soubor na sebe navazujících procesů, což má organizaci přinést zvýšenou efektivnost a účinnost při dosahování cílů.

K aplikaci tohoto principu malé organizace musí:

- definovat svou strukturu procesů v systémech managementu jakosti,
- poznat návaznost těchto procesů a tuto propojenost i deklarovat (např. procesními mapami v příručce jakosti),
- poznat na druhé straně i nezávislost (ne však odtrženost) některých procesů,
- jednotlivé procesy popsat v takové míře podrobností, jaká je nutná pro jejich efektivní vykonávání, atd.

### **2.4.6 Neustálé zlepšování**

Každá organizace má vždy dostatek příležitostí k dalšímu zlepšování. Neustálé zlepšování výkonnosti musí být chápáno za základní cíl v jakékoliv organizaci. Aplikací tohoto principu má být zabezpečeno dosahování nové úrovně v takových oblastech, jako je razantní snižování rozsahu neshod, nabídka nových produktů a v neposlední řadě i redukce vnitřních neefektivností organizace. Je však nutné, aby v každé malé firmě:

- bylo soustavně rozvíjeno prostředí k tvořivé aktivitě zaměstnanců (ve vazbě na princip vůdcovství),
- byla výsledkem přezkoumání vedením rozhodnutí o směrech zlepšování a ne pouze o nápravných opatřeních,

- byly auditory, posuzovateli a všemi řídicími pracovníky identifikovány příležitosti ke zlepšování,
- byly uvolňovány potřebné zdroje pro kontinuální zlepšování a hodnocena jejich efektivnost.

### ***2.4.7 Orientace na fakta při rozhodování***

Jeho podstatou je tvrzení, že objektivní a účinná rozhodnutí mohou být učiněna pouze na základě využití vhodně analyzovaných dat a informací, tj. na základě procesů měření výsledků. Co je podmínkou úspěšné aplikace tohoto principu? Zejména:

- sběr dostatečně přesných a spolehlivých dat z jednotlivých procesů v organizaci,
- využívání vhodných statistických nástrojů k analýzám a vyhodnocování dat,
- výcvik lidí k využití metod sběru a analýzy dat,
- ochota řídicích pracovníků analyzovaná data využívat v procesech řízení,
- co nejširší zpřístupnění výsledků analýzy dat zaměstnancům.

### ***2.4.8 Vzájemná prospěšnost vztahů s dodavateli***

Protože i malé organizace a jejich dodavatelé se vždy vyznačují určitou vzájemnou závislostí, je nutné mezi nimi dosáhnout stavu vzájemně vyvážených a prospěšných vztahů, postavených na důvěře obou partnerů. Klíčovými aktivitami pro naplnění tohoto principu jsou:

- výběr klíčových, resp. strategicky významných dodavatelů,
- pravidelné hodnocení jejich okamžité výkonnosti,
- poskytování nejrůznější pomoci dodavatelům,
- sdílení a komunikování nejlepších praktik,
- účinná komunikace v průběhu celé doby trvání obchodních vztahů,
- motivace dodavatelů ke zlepšování apod.

## 3 Návrhová část

V následující kapitole se zaměřím na problém, který vyplynul ze SWOT analýzy a to je nedostatečné vybavení měřicí technikou. Firma ARSIL Crystal je schopna na monokrystalech křemíku měřit průměr a měrný odpor. Už však není schopna sama naměřit obsah kyslíku, což je důležitý zákazníkem požadovaný parametr. Firmě se však podařilo vyjednat se svým největším zákazníkem (firmou STC) to, že zákazník bude měřit obsah kyslíku na monokrystalech dodaných firmou ARSIL Crystal a následně je bude posílat zpět do firmy ARSIL Crystal. Tyto data společně s již zmíněným měrným odporem a průměrem krystalu budou důležité v další části této práce, kde se zaměřím na návrh zlepšení těchto důležitých parametrů za pomoci jednoduchých nástrojů jakosti.

### 3.1 Zdroje statistických dat

Dispečer výroby, technici a ostatní vedoucí pracovníci společnosti se společně zasazují o další zlepšování jednotlivých procesů. Ke své činnosti využívají data z tzv. „centrální databáze procesů“. Tato databáze v sobě zahrnuje data ze všech realizovaných taveb v průběhu roku a je doplňována průběžně dispečerem výroby tak jak jsou postupně do výrobního procesu zadávány jednotlivé tavby. Měsíčně je to přibližně 115 taveb, za celý kalendářní rok pak cca 1300 taveb. Databáze je zpracovávána pro každý kalendářní rok zvlášť, avšak databáze jednotlivých let se dají libovolně spojovat, takže s nimi lze pracovat jako s jedním celkem. Pomocí filtrů pak lze jednoduše zpracovávat potřebné výstupy.

Dispečer výroby vydá protokol tažení (Příloha2) pro každý cyklus tažení monokrystalu (tavbu) a tomuto protokolu přiřadí pořadové číslo, které se pak stává identifikačním číslem vytaženého monokrystalu a doprovází takový monokrystal celým výrobním procesem. Dispečer určí v Protokolu tažení druh a šarži vstupního polykrystalu, druh a množství použité legury, jiné materiály a určí doporučené parametry pro tažení. Tyto údaje zaeviduje jako první krok v „Centrální databázi“ (Tab.3.1).

Centrální databáze procesů																
datum	tažička	kód	číslo	vsádka	materiál	poly	šarže	rem	kat	legura	g	kelímek	kel	or.	φ kryst.	odpor
1.9.07	KAY4	5334	7573	28000	MW+REM	25000	79983	3000	A2	As6	180	QC530	340	111	128-134	< 0.0045
1.9.07	KAY8	6334	7575	40000	WACK1	40000	600707			As6	200	QC161 E	405	111	154-158	< 0.004
1.9.07	EKZ3	5361	7576	22000	MW+REM	20000	79983	2000	A2	As6	140	QC510	305	100	128-134	< 0.004
1.9.07	KAY5	6334	7577	32000	WACK1+REM	20000	600707	12000	A1	As6	150	QC530	340	111	154-158	< 0.004
1.9.07	EKZ2	5334	7578	28000	MW+REM	25000	79983	3000	A2	As6	180	QC530	340	111	128-134	< 0.0045
2.9.07	EKZ2	5334	7579	28000	MW+REM	25000	79983	3000	A2	As6	180	QC530	340	111	128-134	< 0.0045
2.9.07	EKZ3	5361	7580	22000	MW+REM	20000	79983	2000	A2	As6	140	QC510	305	100	128-134	< 0.004
4.9.07	EKZ3	5361	7581	22000	MW+REM	20000	79983	2000	A2	As6	140	QC510	305	100	128-134	< 0.004
1.9.07	EKZ6	5334	7582	28000	MW+REM	25000	79983	3000	A2	As6	180	QC530	340	111	128-134	< 0.0045
3.9.07	EKZ6	5334	7583	28000	MW+REM	25000	79983	3000	A2	As6	180	QC530	340	111	128-134	< 0.0045
2.9.07	KAY4	5334	7584	28000	MW+REM	25000	79983	3000	A2	As6	180	QC530	340	111	128-134	< 0.0045
4.9.07	KAY4	5334	7585	28000	MW+REM	25000	79983	3000	A2	As6	180	QC530	340	111	128-134	< 0.0045
2.9.07	KAY5	6334	7586	32000	WACK1+REM	20000	600707	12000	A1	As6	150	QC530	340	111	154-158	< 0.004
5.9.07	KAY5	6334	7587	32000	WACK1+REM	20000	600707	12000	A1	As6	150	QC530	340	111	154-158	< 0.004
1.9.07	KAY7	6334	7588	32000	WACK1+REM	20000	600707	12000	B2	As6	140	QC530	340	111	154-158	< 0.004
3.9.07	KAY7	6334	7589	32000	WACK1+REM	20000	600707	12000	B2	As6	140	QC530	340	111	154-158	< 0.004
2.9.07	KAY8	6334	7590	40000	WACK1+REM	25000	600707	15000	A2	As6	180	QC161 E	405	111	154-158	< 0.004

Tab.3.1: Centrální databáze

**Tažička** – číslo zařízení

**Kód** – čtyřmístný kód výrobku, 1. číslo znamená průměr v palcích, 2. číslo určuje typ použité legury (1=Bor, 2=Fosfor, 3=Arzén), poslední dvojčíslí specifikuje výrobek

**Číslo** – pořadové číslo tažení od počátku existence firmy

**Vsádka** – používají se různé vsádky, většinou však 22kg 28 kg a 32kg ( podle instalovaných topných uzlů)

**Materiál** – firma využívá tří dodavatelů polykrystalu

**Poly** – množství použitého polykrystalu ve vsádce

**Čísl. šarže** – číslo výrobní šarže polykrystalu, udávané dodavatelem

**Remelt** – množství vratných zbytků použitých ve vsádce

**Kat.** – kategorie remeltu (a1=vyrostlé hlavy monokrystalu, a2=vyrostlé konce monokrystalu, b2=nevyrostlé konce monokrystalu)

**Legura** – druh použité legury (Fosfor, Bór, Arzén)

**Leg.** – množství použité legury

**Kelímek** – typ použitého kelímku

**øKel.** – průměr použitého kelímku

**Or.** – krystalografická orientace (100, 111)

**Prům. kr.** – požadovaný průměr taženého monokrystalu

**Požad. odpor** – požadovaná odporová tolerance taženého monokrystalu

K Protokolu tažení vydá dispečer výroby i protokol o měření (Příloha3). Zde jsou zaznamenávány veškeré zvážené a změřené parametry výrobku. Po ukončení

předepsaných měření zpracuje dispečer oba protokoly tím, že důležité údaje o tavbě resp. výsledky vážení a měření zaeviduje opět do Centrální databáze (Tab.3.2).

čas	nát.	vyt.hmot	vyrostl	vr.zb.	poznámka	odp-z	RRV-z	odp-k	RRV-k	délka	kom	top	kel	stín	filtr	čistil	leg	nátav	z.hl.	konec
32,50	3	24 600	640	7 050	dislokace 640	3,187	16,3	2,194	15,9	510	1	29	8	146	1	bar	bar	hru	hru	bar
32,50	2	36 400	680	9 700	dislokace 680	3,631	13,5	2,451	19,4	545	1	11	7	11	1	pit	bar	hru	hru	bar
30,00	3	19 800	575	3 350	vyrostl celý, dislok. v kon.	3,999	4,2	1,973	4,1	510	1	9	9	140	1	šmí	šmí	kys	kys	cáb
25,50	1	29 500	545	4 250	vyrostl celý	3,294	14,7	1,659	19,0	520	3	50	3	205	3	hru	bar	bar	bar	běl
26,50	1	25 900	485	15 200	dislokace 485	2,893	12,5	2,401	20,6	310	2	44	6	44	2	kys	cáb	cáb	cáb	ekl
41,50	5	25 000	705	5 250	vyrostl celý, dislok. v kon.	3,770	6,5	2,082	16,6	595	3	45	7	45	3	kys	šmí	ekl	ekl	fol
31,50	3	20 350	552	4 650	dislokace 552	3,938	3,0	2,038	4,7	478	2	10	10	141	2	ekl	kys	kys	šmí	šmí
33,50	3	19 800	431	7 600	dislokace 431	4,384	2,9	2,893	6,1	380	3	11	11	142	3	ekl	fol	šmí	šmí	kys
28,50	1	25 000	725	2 500	vyrostl celý	2,676	14,0	1,592	11,8	700	5	76	5	153	6	kys	cáb	cáb	cáb	ekl
30,00	1	25 800	770	2 900	vyrostl celý	2,714	21,0	1,469	12,7	745	1	77	6	154	1	šmí	ekl	ekl	ekl	fol
33,50	2	25 050	700	5 450	dislokace 700	3,053	16,4	1,900	14,3	585	2	30	9	147	2	běl	šul	bar	bar	běl
40,50	3	24 700	590	9 900	dislokace 590	3,465	11,0	2,417	22,7	450	3	31	10	148	3	hru	hru	šul	šul	hru
38,00	4	29 000	515	6 150	vyrostl celý, dislok. v kon.	4,347	8,2	2,254	13,9	455	4	51	4	206	4	šul	bar	běl	běl	hru
35,00	3	28 700	510	10 200	dislokace 510, prasklina při řezání	3,948	16,1	2,506	22,7	363	5	52	5	207	1	šul	šul	hru	běl	běl
33,50	2	28 600	400	15 100	dislokace 400	3,905	17,8	2,989	25,4	270	2	107	2	39	2	bar	bar	běl	šul	šul
26,00	1	29 150	520	4 150	vyrostl celý	3,355	13,9	1,612	22,1	520	3	108	3	40	3	bar	běl	běl	běl	hru
26,00	1	35 350	685	8 550	vyrostl celý, dislok. v kon.	3,342	20,1	2,286	15,4	550	2	12	8	12	2	běl	šul	šul	šul	bar

Tab.3.2: Centrální databáze

**Čas** – délka trvání tavby

**Nát.** – množství nátavů potřebných pro úspěšné najetí monokrystalu, ovlivňuje především měrný odpor monokrystalu

**Vytaženo** – udává hrubou hmotnost monokrystalu vč. hlavy a ukončení

**Vyrostlo** – udává délku monokrystalu rostlého bezdislokačně

**Vr. zb.** – součet odřezaných částí monokrystalu (hlava, ukončení, nevyrostlá část)

**Poznámka** – stručná charakteristika úspěšnosti tavby

**Odp. z** – udává odpor na začátku monokrystalu, po odřezání hlavy

**RRV-z** – radiální nehomogenita odporu na začátku monokrystalu, po odřezání hlavy

**Odp. k** – odpor monokrystalu na konci

**RRV-k** – radiální nehomogenita odporu na konci monokrystalu

**Délka** – délka bezdislokačně rostlého monokrystalu

**Kom** – udává počet taveb od posledního čištění komory

**Top** – počet taveb na grafitovém topném tělese (důležité pro posouzení opotřebení)

**Kel** – udává počet taveb na grafitovém kelímku

**Filtr** – počet taveb na filtru předřazeném rotační vývěvě

**Čistil, leg, nátav, z hl** – jména pracovníků provádějící jednotlivé operace

Z výše uvedeného je zřejmé, že veškeré záznamy do databáze je oprávněn provádět pouze dispečer výroby a jiní pracovníci toto oprávnění nemají. Ostatní

pracovníci pouze mohou data z databáze čerpat a dále s nimi pracovat, případně si vyžádat, aby databáze byla doplňována o další, pro ně potřebné údaje.

prodej	sklad	vyrostlo	čistá	plán	výtěž.	nátavy - historie tavby				Σ ztrát	tlak	nat	technická poznámka	
13 770		17 550	15 291	14560	54,61	720	70	10		2399	3,0	4,0		
22 580		26 700	23 347	21600	58,37	695	50			2142	6,1	7,4		
14 335		16 450	15 291	11440	69,50	575	10	10		600	4,0	4,9		
21 585		25 250	22 276	17280	69,61	540						15,6	16,9	
8 420		10 700	9 295	14560	33,19	740						9,2	10,0	
	5 397	19 750	17 840	14560	63,71	705	15	10	10	19	1619	8,1	9,2	
13 025		15 700	14 332	11440	65,14	585	15	10			750	4,7	5,6	
		12 200	11 393	11440	51,79	590	10	80			2698	4,0	5,0	
19 110		22 500	20 988	14560	74,96	730						4,1	5,1	
19 895		22 900	22 337	14560	79,77	750						4,2	5,2	
15 840		19 600	17 540	14560	62,64	760	175				5247	2,2	3,1	
12 695		14 800	13 492	14560	48,19	785	50	250			8995	2,8	3,7	
11 695		22 850	19 491	17280	60,91	520	20	60	100		7711	15,3	16,7	
14 790		18 500	15 550	17280	48,59	520	50	90			5997	14,8	15,4	
11 195		13 500	11 566	17280	36,14	565	250				10710	4,7	5,1	nečistoty na krystalu
21 060		25 000	22 276	17280	69,61	540						4,5	4,7	
22 475		26 800	23 561	21600	58,90	685						4,1	5,2	

Tab.3.3:

**Prodej** – váha monokrystalu, resp. jeho výřezu, expedovaného zákazníkovi

**Sklad** – váha monokrystalu, resp. jeho výřezu, který byl nepoužitelný pro daného zákazníka (neshodný výrobek)

**Vyrostlo** – hmotnost monokrystalu po ořezání hlavy a konce, resp. nerostlé části

**Čistá váha** – čistá délka vynásobena hmotností monokrystalu na 1mm, při použité jednotné hodnotě průměru

**Plán** – plánovaná čistá váha monokrystalu, při kalkulované výtěžnosti

**Výtěž.** – skutečně dosažená výtěžnost tavby

**Historie tavby** – délka vytaženého krystalu, případně opakované nátavy

**Σ ztrát** – ztráty v přepočtu na kg vzniklé opětovným roztavením vytažené části krystalu (kritérium úspěšnosti)

**Tlak** – velikost tlaku v tažičce po vyčerpání před tavbou

**Natékavost** – nárůst tlaku v tažičce po vypnutí rotační vývěvy (charakterizuje těsnost komory)

**Poznámka** – doplňující údaj o případných odchylkách oproti normálnímu průběhu tavby

			Měření v ARSIL Crystal							Měření u zákazníka							
zákazník	objednávka	expedice	odpor-a	RRV-a	odpor-b	RRV-b	osa	φ-a	φ-b	odpor-a	RRV-a	odpor-b	RRV-b	Oi-a	ROG-a	Oi-b	ROG-b
STC	ING-AS-070731-5	16.10.07	2,892	16,20	2,198	15,40	14	125,89	125,90	2,874	15,10	2,183	15,20	16,00	8,70	12,20	3,60
CEMAT	CS/07/0392/MZ	26.10.07	3,625	14,20	2,460	19,30	26	125,89	125,91								
WING ON	6144	22.10.07	3,942	3,60	1,968	4,00	42	125,93	126,00								
CEMAT	CS/07/0392/MZ	26.10.07	3,288	14,80	1,662	18,80	10	125,97	126,02								
STC	ING-AS-070731-5	16.10.07	2,699	12,80	2,443	18,90	18	125,93	125,96	2,695	12,40	2,400	19,60	16,90	11,00	13,80	3,80
WING ON	6144	22.10.07	3,911	3,40	2,111	4,50	5	125,97	126,06								
STC	ING-AS-070731-5	16.10.07	2,493	12,40	1,655	11,60	30	125,94	125,98	2,488	12,10	1,681	11,20	15,50	10,50	7,60	9,40
STC	ING-AS-070731-5	16.10.07	2,578	18,80	1,533	12,50	12	125,87	125,94	2,586	17,90	1,542	12,10	14,00	10,70	5,20	0,90
STC	ING-AS-070731-5	16.10.07	2,881	15,30	1,922	14,10	15	125,90	125,92	2,897	14,40	1,901	14,60	15,70	9,70	11,80	2,10
STC	ING-AS-070731-5	16.10.07	3,267	10,20	2,420	21,30	22	125,89	125,90	3,255	12,00	2,411	20,70	17,00	10,60	10,90	1,90
CEMAT	CS/07/0392/MZ	26.10.07	3,928	9,60	2,247	15,10	30	150,58	150,61								
CEMAT	CS/07/0392/MZ	26.10.07	3,847	16,00	2,568	21,30	11	150,59	150,64								
CEMAT	CS/07/0392/MZ	26.10.07	3,925	17,50	2,993	24,20	8	150,55	150,58								
CEMAT	CS/07/0392/MZ	26.10.07	3,304	14,40	1,704	21,70	10	150,51	150,50								
CEMAT	CS/07/0392/MZ	26.10.07	3,351	20,80	2,295	16,60	26	150,62	150,59								

Tab.3.4: Centrální databáze

**Zákazník**– název firmy, které byl konkrétní monokrystal expedován

**Objednávka**– číslo objednávky, v rámci které byl monokrystal expedován

**Expedice**– datum expedice

**Odpor-a**– odpor naměřený na čele finálního výrobku u dodavatele

**RRV-a**– radiální nehomogenita odporu naměřená na čele finálního výrobku u dodavatele

**Odpor-b**– odpor naměřený na konci finálního výrobku u dodavatele

**RRV-b**– radiální nehomogenita odporu naměřená na konci finálního výrobku u dodavatele

**Osa**– odchylka osy monokrystalu (°)

**-a**– průměr broušeného finálního výrobku naměřený na jeho začátku

**-b**– průměr broušeného finálního výrobku naměřený na jeho konci

**Odpor-a**– odpor naměřený na čele dodaného výrobku u zákazníka

**RRV-a**– radiální nehomogenita odporu naměřená na čele dodaného výrobku u zákazníka

**Odpor-b**– odpor naměřený na konci dodaného výrobku u zákazníka

**RRV-b**– radiální nehomogenita odporu naměřená na konci dodaného výrobku u zákazníka

Takto vytvářená databáze nabízí široké spektrum informací a umožňuje vytvářet výstupy pro většinu procesů. S jejím využitím lze vyhodnocovat např. materiálovou náročnost výroby, dosahované výtěžnosti celkově i na jednotlivých tažičkách či na

jednotlivých typech monokrystalů. Lze vyhodnocovat dopady případných úprav technologie na výsledky výroby, lze srovnávat použité druhy materiálů podle dosahovaných výtěžností, vlivy změn na cílové parametry výrobků a v neposlední řadě i kvalitu práce jednotlivých operátorů.

Přestože se ve firmě ARSIL Crystal nejedná o produkci velkých sérií výrobků, lze výstupy z Centrální databáze procesů využívat i k uplatňování statistických metod v systému řízení jakosti.

## 3.2 Návrh využití statistických dat při řízení

Současná databáze není plně využita. Z některých údajů, které databáze nabízí, lze pomocí nástrojů jakosti využít pro řízení procesů. A to buď :

- při výrobě
- pro přípravu výroby

### 3.2.1 Návrh pro přípravu výroby

Využívání statistických metod budu dokumentovat při přípravě výroby dodávek pro nejvýznamnějšího současného zákazníka firmy ARSIL Crystal. Japonská firma STC nakupuje významné množství 5“ monokrystalů v orientaci 1.1.1., legovaných arzenem. Ze specifikace výrobku (Příloha1) vyplývají jeho požadované rozhodující parametry:

Diameter	mm	$125,9 \pm 0,2$
Orientation	-/deg	$(111) \pm 1$
Resistivity	$\square$ cm	0,001 – 0,0035
Radial res. variation	%	< 25
Oxygen content	at/cm <sup>3</sup>	< 18*E17
ORG	%	< 30

První čtyři parametry, které definují průměr, orientaci, měrný odpor a nehomogenitu měrného odporu v průřezu krystalu jsou v rámci firmy ARSIL Crystal měřitelné. Jistý problém však vyvstává v případě posledních dvou parametrů, které definují obsah intersticiálního kyslíku (O<sub>i</sub>) a jeho rozložení v průřezu krystalu. Většina odběratelů se totiž spokojí s tím, že použitá technologie a především vstupní materiály

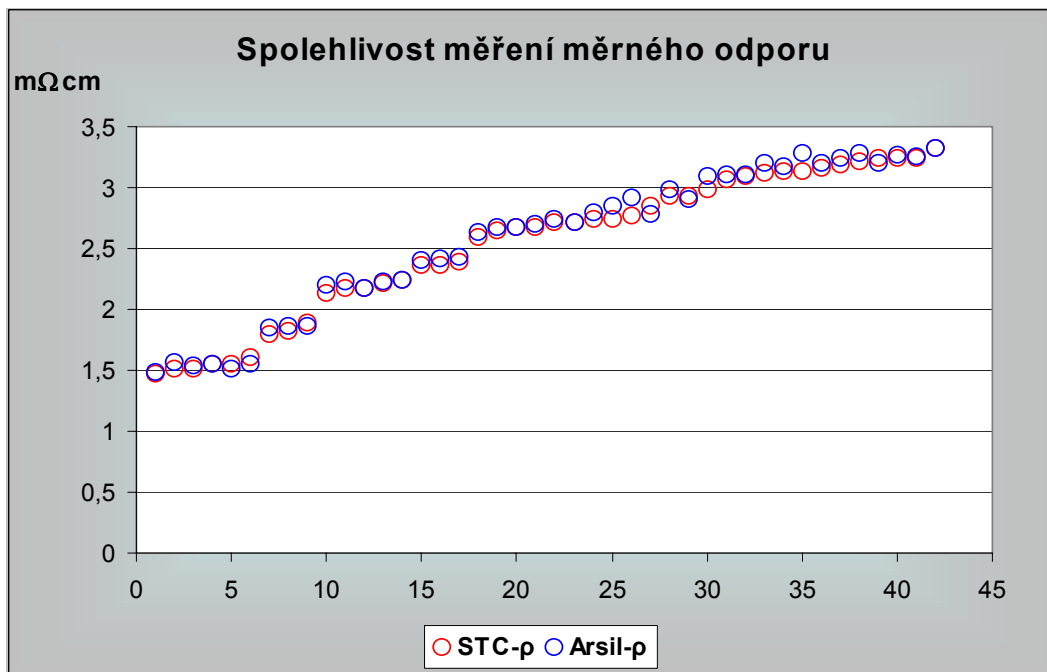
garantují obsah kyslíku v krystalech nižší než  $30 \cdot 10^{-17} \text{ at/cm}^3$ . Není totiž v možnostech firmy měřit obsah kyslíku u takto vysoce legovaných monokrystalů. Tato měření vyžadují nákladné přístrojové vybavení a investice do takového vybavení se vyplatí pouze firmám, které vyrábějí i křemíkové desky ve velkých sériích. Zákazník (STC) se zavázal k tzv. zpětné vazbě, tzn. že bude dodavateli zasílat výsledky svých měření na krystalech, aby ten mohl provádět případné korekce v technologii pro další zlepšování tohoto parametru.

### **3.2.1.1 Ověřování spolehlivosti měření měrného odporu**

ARSIL Crystal dohodnul se zákazníkem (STC) tzv. zpětnou vazbu. To do budoucna umožňuje ověřování spolehlivosti měření srovnáváním hodnot naměřených ve firmě ARSIL Crystal s hodnotami naměřenými u zákazníka.

Vzhledem k názornosti a přehlednosti, bude využit bodový diagram, kde vstupními hodnotami výsledného grafu (3.1) jsou:

- pořadové číslo měření (osa X)
- měrný odpor naměřený firmou ARSIL (osa Y)
- měrný odpor naměřený zákazníkem (osa Y)



Graf 3.1: Spolehlivost měření odporu

Bodový diagram srovnává hodnoty měrného odporu, naměřené na monokrystalech ve firmě ARSIL Crystal, s hodnotami, které na těch samých monokrystalech naměří vstupní kontrola u zákazníka a v rámci „zpětné vazby“ zasílá dodavateli.

V ideálním případě se body překrývají. Naopak větší rozptýl bodů signalizuje nespolehlivost měření a ARSIL Crystal musí hledat možné příčiny nesouladu. Důvodem k reklamaci by však bylo až nedodržení povolené tolerance měrného odporu, tzn., že zákazník naměří měrný odpor větší než 3,5 nebo menší než 1,0 mΩcm.

### 3.2.1.2 Návrh na zlepšení obsahu kyslíku

Jak již bylo zmíněno dříve, nejvýznamnějším současným zákazníkem firmy ARSIL Crystal je Japonská firma STC s kterou má firma uzavřenou dohodu, která říká, že zákazník(STC) bude měřit obsah kyslíku dodaných monokrystalů a následně je posílat zpět firmě ARSIL Crystal.

Jakmile ARSIL Crystal obdrží naměřené hodnoty kyslíku, vyhledá si podle čísla krystalu, na kterém tažícím zařízením byl konkrétní monokrystal vytažen. Dispečer zapíše do centrální databáze (Tab.3.1) hodnotu obsahu kyslíku k příslušné tavně.

Dalším krokem bude sestrojení grafu, do kterého se tyto hodnoty vynesou. Tento postup se bude opakovat po každé realizované dodávce a po obdržení naměřených hodnot od zákazníka. Toto zpětné vyhodnocení každé dodávky bude pomáhat při hledání účinných opatření ke zlepšování sledovaného parametru.

Pro hodnocení naměřených hodnot  $O_i$  na monokrystalech je nejvhodnější sestrojiti bodový diagram a diagram četnosti jednotlivých naměřených kategorií obsahu  $O_i$  pro konkrétní velikost vsádky (teplotního uzlu).

Vstupy pro sestrojení bodového diagramu jsou:

- délka krystalu (pozice), na níž je konkrétní hodnota  $O_i$  naměřena (osa X)
- naměřené hodnoty  $O_i$  barevně odlišené pro každou tažičku zvlášť (osa Y)

Diagram je doplněn o trend poklesu obsahu  $O_i$  v délce monokrystalu u vybrané tažičky, který ilustruje průměrnou hodnotu  $O_i$  na čele monokrystalu a trend snižování této hodnoty úměrně s délkou krystalu.

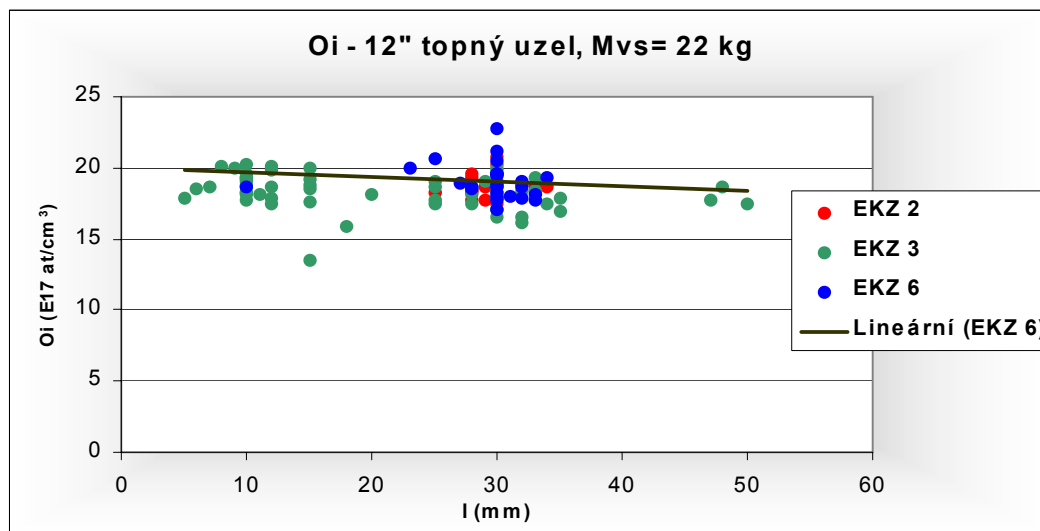
Vstupy pro sestrojení diagramu četnosti jsou:

- Kategorie hodnot od 10,0 do 23,0, ve kterých se pohybují výsledky měření  $O_i$  (osa X)
- Četnost výskytu naměřených hodnot v jednotlivých kategoriích (osa Y)

Červeným rámečkem je vyznačena tolerance, v níž jsou naměřené hodnoty  $O_i$  podle specifikace přípustné

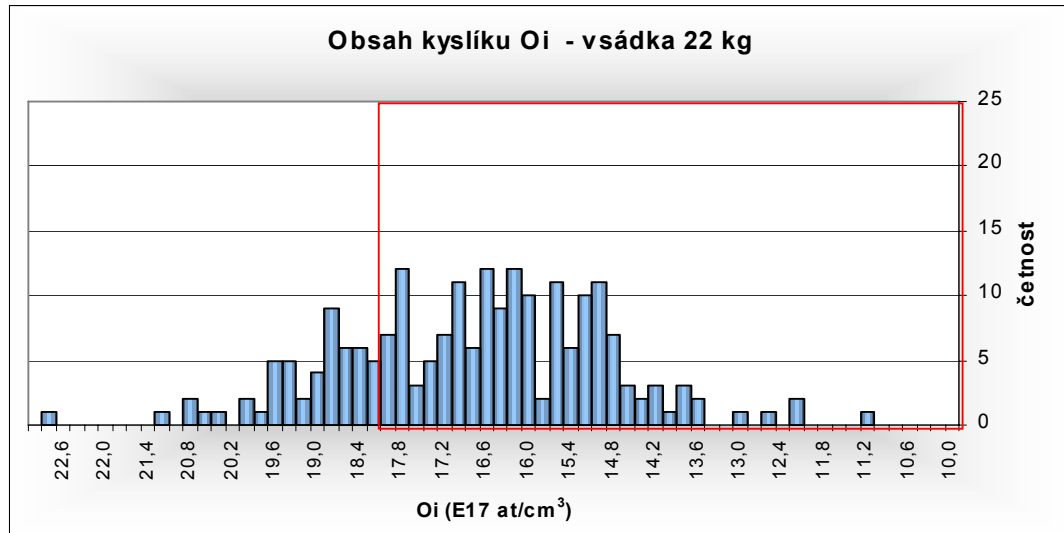
## **1. etapa – odřezávání začátků krystalů**

První dodávky budou sestaveny z monokrystalů tažených v tažičkách s 12“ topnými uzly ze vsádek 22 kg. Bude využito skutečnosti, že firma ARSIL Crystal získala zákazníka pro stejný typ monokrystalů, aniž by tento zákazník přísně definoval povolený obsah kyslíku. Pro tohoto zákazníka budou z tažených monokrystalů odřezávány začátky krystalů o délce 180 mm. Tím bude pro STC jednoznačně zaručen obsah kyslíku na počátku dodaných krystalů  $< 18 \cdot E17$ .



Graf 3.2: Obsah kyslíku (topný uzel 12“, vsádka 22kg)

Graf(3.2) názorně vyjadřuje obsah kyslíku naměřený na vytažených monokrystalech na jednotlivých tažících zařízeních, při jednotné vsádce 22kg. Barevně jsou označeny jednotlivé tažící zařízení (EKZ2, EKZ3, EKZ6). Z grafu je patrné, že hodnoty Oi se na začátku krystalu pohybují kolem  $20 \cdot E17$  at/cm<sup>3</sup> a ani na délce 50 mm neklesají spolehlivě pod maximální povolenou hodnotu  $18 \cdot E17$  at/cm<sup>3</sup>. To koneckonců názorně ukazuje trend poklesu, který je pouze pozvolný.

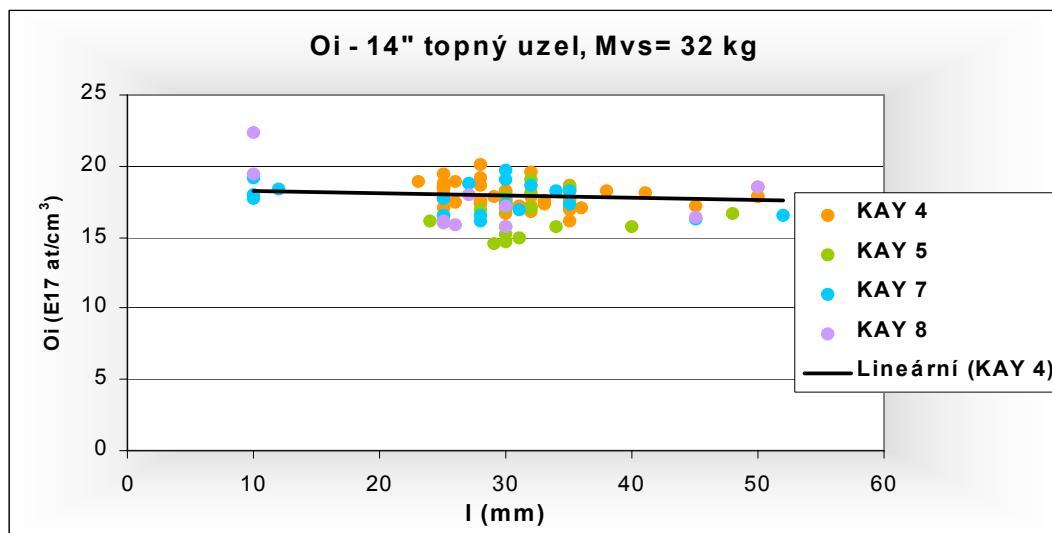


Graf 3.3: Četnost (22kg)

Graf(3.3) znázorňuje četnosti jednotlivých obsahů kyslíku naměřených na vytažených monokrystalech křemíku, při vsádce 22kg. Každý sloupec vyjadřuje počet krystalů, u kterých byly naměřeny stejné hodnoty obsahu kyslíku. V červeném obdélníku jsou obsahy kyslíku a jejich četnosti, které jsou vyhovující. Z grafu vyplývá, že takto navržené řešení by nebylo nejlepší, protože podstatná část krystalů se nachází mimo stanovenou oblast (povolenou toleranci).

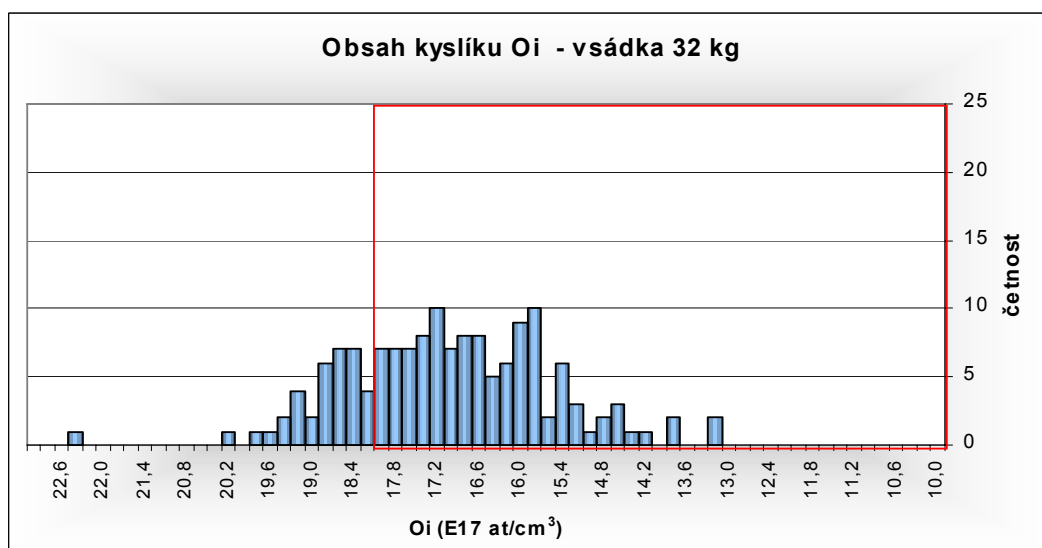
## 2. etapa – změna topného uzlu

Nižší prodejní cena a skutečnost, že tento zákazník nakupuje pouze omezené množství, vyvolává nutnost hledat další řešení. Pro výrobu tohoto typu výrobku budou vyčleněny tažičky se 14“ topným uzlem a vsádkou 32 kg. U takto tažených monokrystalů bude obsah kyslíku na začátku nižší než v předchozím případě, pro zaručené dosažení obsahu kyslíku < 18\*E17 je však nutno odřezávat začátek o délce minimálně 40 mm. Taková délka je už samozřejmě neprodejná.



Graf 3.4: Obsah kyslíku (topný uzel 14<sup>o</sup>, vsádka 32kg)

Graf(3.4) znázorňuje naměřené obsahy kyslíku na monokrystalech, vytažených na jednotlivých tažících zařízeních s jednotným topným uzlem 14<sup>o</sup> a také jednotnou vsádkou, která činí 32kg. I tentokrát představují barevné body tavby na jednotlivých tažících zařízeních. Z grafu je patrné, že naměřené hodnoty  $O_i$  jsou opět nepříznivě vysoké na začátcích krystalů a až po délku 30 mm klesají jen pozvolna. To ukazuje i trend poklesu, který je minimální. Nicméně od délky 40 mm je vcelku možné s jistotou předpokládat, že úroveň  $O_i$  se nachází pod povoleným maximem  $18 \cdot E17 \text{ at/cm}^3$ .

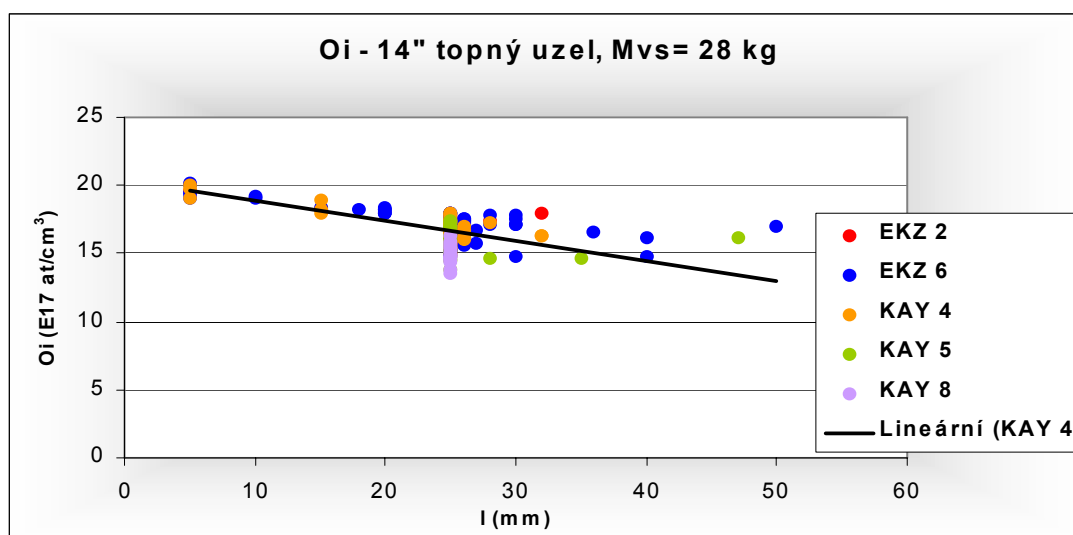


Graf 3.5: Četnost (32kg)

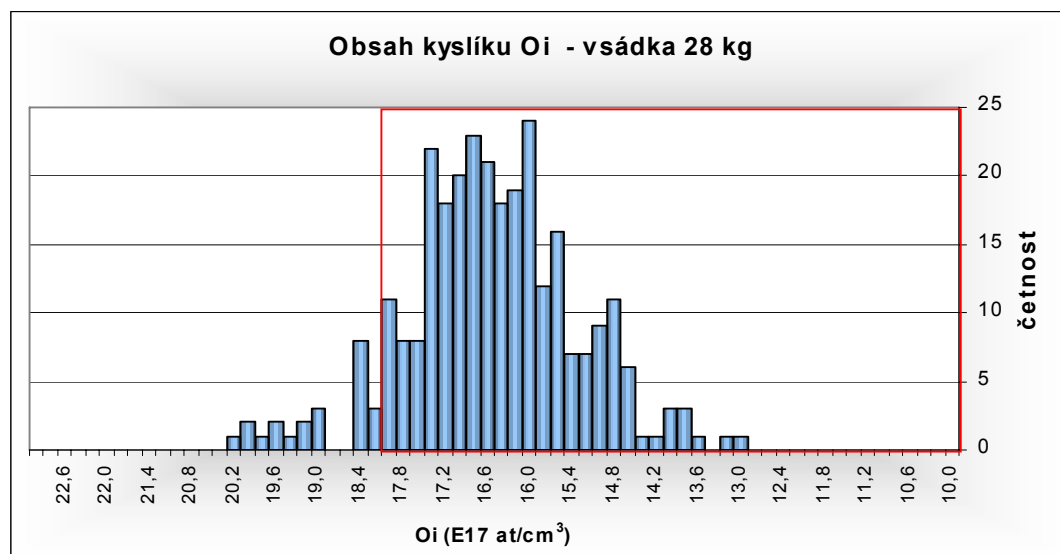
Graf(3.5) znázorňuje četnosti jednotlivých obsahů kyslíku naměřených na vytažených monokrystalech křemíku, při jednotné vsádce 32kg. V červeném obdélníku jsou opět obsahy kyslíku a jejich četnosti, které jsou vyhovující. Jak je z grafu patrné, četností v červené oblasti bude více než v předchozím případě, tím pádem dojde k vylepšení( snížení) obsahu kyslíku. I přes vylepšení zůstává stále velké množství krystalů mimo oblast požadovanou zákazníkem a tak je nezbytné další zlepšování.

### 3. etapa – změna vsádky u stávajícího topného uzlu

Pro další zlepšení parametru obsahu kyslíku na počátku krystalu na hodnotu  $< 18 \cdot 10^{17} \text{ at/cm}^3$  budou nadále používány tažičky s topnými uzly 14“, vsádka však bude snížena na 28 kg. Hodnota kyslíku by se měla snížit úměrně se snížením sloupce taveniny. Nadále budou odřezávány začátky krystalů, tentokrát o délku minimálně 30 mm.



razantní, že už na délce 30 mm lze oprávněně očekávat hodnotu  $O_i$  spolehlivě nižší než  $< 18 \cdot 10^{17} \text{ at/cm}^3$ .



Graf 3.7: Četnost (28kg)

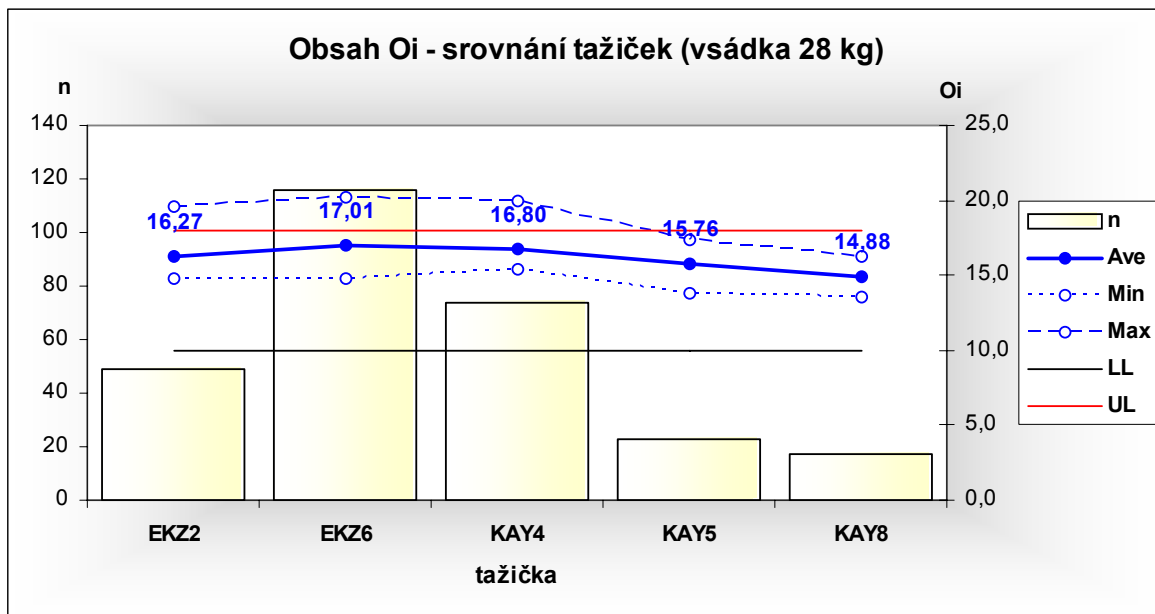
Graf (3.7) stejně jako v předchozím případě znázorňuje obsah kyslíku naměřený na vytažených monokrystalech na jednotlivých ťažicích zařízeních. Tentokrát při jednotné vsádce 28kg. Z grafu lze vyčíst, že naměřených hodnot, které jsou vyšší než povolená tolerance, je výrazně méně než v předchozích případech. Bude to další zlepšení sledovaného parametru obsahu kyslíku.

V procesu se tedy docílí dalšího zlepšování, i když se stále ještě nedaří zcela minimalizovat ztráty, které budou nadále vznikat nutným odřezáváním začátků krystalů.

#### 4. etapa – sjednocení průtoku arzenu a provozního tlaku v ťažicích

Při dosavadním využívání nástrojů statistické regulace byly dosud srovnávány různé topné uzly, resp. různé vsádky. Využitím dat z centrální databáze (Tab. 3.1) lze při sledování parametru obsahu  $O_i$  srovnávat i jednotlivé ťažičky. V ťažičce KAY8 bylo doposud uskutečněno 17 taveb. Tyto tavby by měly odpovědět na otázku, jak dalece se na parametru obsahu kyslíku projeví zvýšení průtoku argonu v komoře. U KAY8 byl

oproti ostatním tažičkám zvýšen průtok arzenu ze 35 na 45 l/min. Tím by se mělo zvýšit vypařování kyslíku z volné taveniny.



Graf 3.8: Srovnání tažiček

Graf (3.8) znázorňuje úroveň hodnoty obsahu kyslíku v monokrystalech na délce 30 mm, tažených při jednotném topném uzlu (14“) a jednotné vsádce (28 kg) na různých tažičkách. Osa Y1 znázorňuje počet hodnocených taveb, osa Y2 průměrnou hodnotu obsahu kyslíku pro každou kategorii (osa X). Z tohoto srovnání vychází nejlépe tažička KAY8, tedy tavby s vyšším průtokem Ar při stejném topném uzlu i vsádce. Takto tažené monokrystaly by se už nemusely kvůli parametru Oi zkracovat. Potvrzení tohoto závěru však předpokládá mnohem větší sérii taveb.

### 3.2.2 Návrh pro zlepšení výroby

Následující část je zaměřena na proces broušení monokrystalů křemíku, což by mělo přinést jeho celkové zlepšení. K dosažení tohoto cíle bude využito statistické regulace procesu, která na základě včasného odhalování významných odchylek od stanovené úrovně vybraného znaku resp. znaků procesu umožňuje realizovat takové zásahy, které proces udržují dlouhodobě na požadované a stabilní úrovni.

### 3.2.2.1 Statistická regulace procesu broušení

Hlavním cílem statistické regulace procesu je dosažení a udržování procesu ve statisticky zvládnutém stavu. Tento cíl se realizuje ve fázích, které budou popsány v následujícím textu:

- Stanovíme si ty znaky jakosti nebo parametry procesu, které budou představovat regulovanou resp. regulované veličiny a zvolíme vhodnou metodu pro získávání jejich hodnot. V tomto případě bude jako regulovaná veličina vystupovat průměr na začátku a na konci broušeného monokrystalu a jako metoda pro získávání budou sloužit jednotlivé naměřené hodnoty průměru.
- Zvolíme vhodnou délku intervalu v němž se mají zjišťovat resp. měřit hodnoty požadované veličiny.
- Fáze analýzy a zabezpečení způsobilosti procesu. Zde zkoumáme, zda statisticky zvládnutý proces také vyhovuje požadavkům zákazníka. K tomu se používají koeficienty způsobilosti ( $C_p, C_{pk}$ ).
- Fáze vlastní statistické regulace procesu. V této fázi je proces udržován ve stavu, kdy je statisticky zvládnutý a způsobilý.

V následující části jsou uvedena data, která jsou pro statistickou regulaci nezbytná.

$n$  – počet měřených monokrystalů

AVE – aritmetický průměr z intervalu naměřených vzorků

Min. – minimální naměřená hodnota

Max. – maximální naměřená hodnota

$\sigma$  – směrodatná odchylka

LCL – dolní mez specifikace

UCL – horní mez specifikace

CL - střední hodnospecifikace

$C_p, C_{pk}$  – indexy způsobilosti

$\phi$  -TOP – průměr začátku krystalu

$\phi$  -TAIL – průměr konce krystalu

Jakmile zvolíme velikost intervalu, který budeme využívat, můžeme vypočítat aritmetický průměr a dále pak směrodatnou odchylku. K tomu účelu využijeme následujících vzorců :

$$AVE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2}$$

kde  $a_i$  je naměřená hodnota při broušení monokrystalu křemíku

Požadovaná horní a spodní mez je uvedena zákazníkem ve specifikaci (Příloha1). Střední příčka se nachází mezi spodní a dolní mezí.

Ve výrobě nás ovšem ještě zajímá, jak velký je vliv náhodných faktorů. Jinými slovy, zajímá nás, zda je proces schopen produkovat výrobky v souladu s požadavky specifikací (příloha1). Tuto schopnost nazýváme způsobilost procesu.

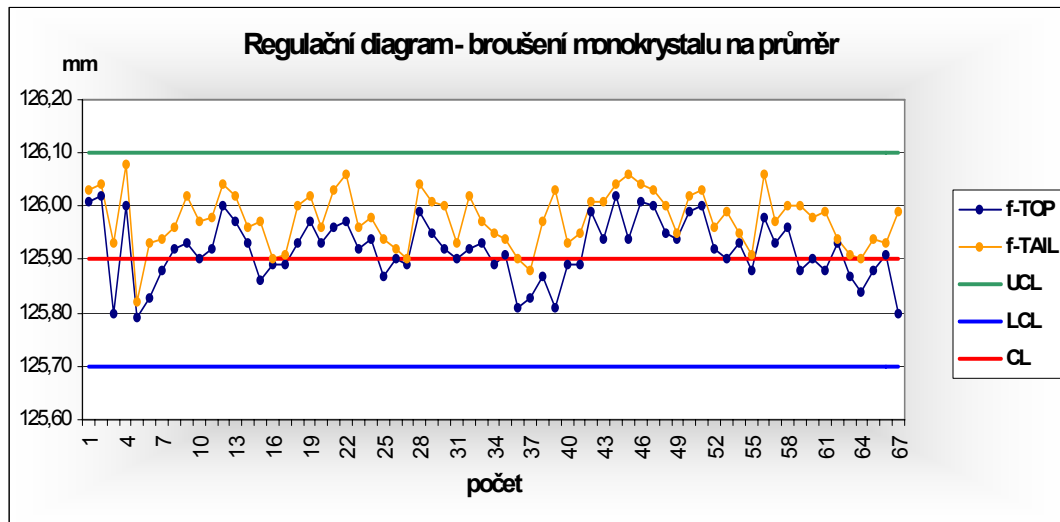
Způsobilost procesu vyjadřuje, s jakou rezervou leží regulační meze uvnitř pásma vymezeného specifikacemi (technickými mezemi). Způsobilost určujeme pomocí dvou indexů způsobilosti ( $C_p$ ,  $C_{pk}$ ), které lze vypočítat podle následujících vzorců:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \frac{\min\{USL - AVE, AVE - LSL\}}{3\sigma}$$

Kde USL je horní toleranční mez a LSL je dolní toleranční mez.

Centrální databáze obsahuje hodnoty změřeného průměru po broušení monokrystalů podle požadavků zákazníka (specifikace). Ucelenou řadu těchto dat lze z databáze přenést do regulačního diagramu a získat tak ucelený přehled o vývoji úrovně kvality broušení ve firmě.



Graf 3.9: broušení na průměr

Změřený průměr na začátku a na konci monokrystalu jsou znázorněny v jednom diagramu (Graf 3.9) (osa Y). Zákazník požaduje v tomto případě (podle specifikace) průměr broušeného monokrystalu v rozmezí 127,70 – 126,10 mm (UCL, LCL). Z grafu je patrné, že ani v jednom případě ze sledovaných 67 krystalů (osa X) nebyly tyto limity překročeny. V opačném případě by se monokrystal stal nezpůsobilým pro zákazníka. Z grafu je však taky zřetelné, že změřené hodnoty průměru jsou u jednotlivých krystalů

značně rozkolísané. O tom koneckonců svědčí i index způsobilosti procesu, který je v tomto případě velmi nízký. Platí-li, že proces je stabilní, dosahuje-li index  $C_p$  minimálně hodnoty 1,33, pak nezbyvá než označit tento proces za nestabilní. Je bezpodmínečně nutné vyvinout úsilí pro dosažení postupného zlepšování tohoto procesu.

	$\phi$ - T O P	$\phi$ - T A I L
n	6 7	6 7
A V E	1 2 5 , 9 2 0	1 2 5 , 9 7 6
M i n .	1 2 5 , 7 9 0	1 2 5 , 8 2 0
M a x .	1 2 6 , 0 2 0	1 2 6 , 0 8 0
$\sigma$	0 , 0 5 5	0 , 0 5 2
L C L	1 2 5 , 7 0	1 2 5 , 7 0
U C L	1 2 6 , 1 0	1 2 6 , 1 0
C L	1 2 5 , 9 0	1 2 5 , 9 0
C p	0 , 6 0 5	0 , 6 4 5
C p k	0 , 5 4 5	0 , 4 0 0

Tab. 3.5:

## Zhodnocení

Nově používané nástroje nutí v první řadě shromažďovat data. Shromažďovat data o všech aspektech výroby a ze všech zdrojů, kde je lze získat. Shromážděná data je pak třeba důsledně zavádět do příslušné databáze.

Ve firmě ARSIL Crystal je tvorba databáze už částečně zavedena s tím, že za ni odpovídá dispečer. Dále se tato databáze bude rozšiřovat a data v ní obsažena budou nadále zpracovávána pomocí jednoznačně určených nástrojů do jednotných výstupů.

Nezanedbatelnou předností uplatňování nástrojů statistické regulace je, že pro firmu jejich zavádění nepředstavuje prakticky žádné náklady. Jednotliví techničtí pracovníci jsou vybaveni počítači propojenými do sítě, strategická místa ve výrobě jsou počítačem vybavena rovněž.

Pro práci s novými nástroji regulace jsou možnosti široce využívaného Excelu dostačující, není tedy zapotřebí pořizovat speciálně zaměřený software.

Velkou změnu uplatňování nových nástrojů regulace přinese pracovníkům ve výrobě. Každý jejich úkon bude zaznamenán a jeho kvalita bude hodnocena. Budou na ně ve zvýšené míře vyvíjeny tlaky na další zvyšování kvality práce a podle přesně vyhodnocované úspěšnosti budou i odměňováni.

V procesu přípravy výroby lze očekávat především další snižování vynucených ztrát. Pohybuje-li se prodejní cena monokrystalů doposud dodaných největšímu obchodnímu partnerovi v úhrnné výši téměř 85 mil. Kč, potom ztráty vzniklé vynuceným odřezáváním částí krystalů (parametr obsahu kyslíku Oi) představují závratnou výši cca 4,25 mil. Kč. Z toho je patrné, jak velké úspory přináší každé další zlepšování procesu.

V procesu výroby má uplatňování nástrojů statistické regulace strategickou roli. Dnes, kdy je téměř ve všech oborech přetlak nabídky vůči poptávce, je šance udržet se na trhu jen díky dalšímu zvyšování kvality dodávaných výrobků.

Při stávajících cenách vstupních materiálů, které jsou v oboru vysoké a dále se dramaticky zvyšují, se každý vyprodukovaný zmetek stává velkou finanční ztrátou. Jeden prodávaný ingot mívá v případě 5“ monokrystalů váhu v průměru 9 kg. V případě, že se z jakéhokoliv důvodu stane z takového ingotu zmetek (průměr nevyhovující dané

toleranci, nevyhovující drsnost broušeného povrchu, špatná fazeta apod.), představuje to ztrátu na výrobních nákladech cca 55 tis. Kč.

Z výše uvedeného vyplývá, že do výrobního procesu vstupují ve firmě ARSIL Crystal velmi drahé materiály (polykrystalický křemík, kelímky z křemenného skla, díly topného uzlu z čištěného grafitu, elektrická energie), z kterých jsou vyráběny velmi drahé výrobky. Každé snížení ztrát dosažené důsledným uplatňováním nástrojů statistické regulace v procesu bude pro firmu významné.

## Závěr

Dnes, kdy je téměř ve všech oborech přetlak nabídky vůči poptávce, je šance udržet se na trhu podmíněna neustálým zvyšováním kvality dodávaných výrobků. K tomu je potřeba důsledně využívat všech dostupných nástrojů.

Předchozí kapitoly prokazují, že uplatňování nástrojů statistické regulace může přinést potřebný efekt. Přestože se ve firmě nejedná o velkosériovou výrobu, ale naopak výrobu víceméně zakázkovou, lze i v tomto prostředí úspěšně uplatnit vybrané nástroje statistické regulace. Shromažďování potřebných dat je zde však rozloženo do delšího časového úseku.

Prvním předpokladem pro úspěšné využívání nástrojů statistické regulace je vytvoření spolehlivého zdroje dat. První pokusy o sestavení databáze byly ve firmě ARSIL Crystal učiněny už dříve, s daty takto vytvořenými však doposud pracuje pouze dispečer výroby. Ostatní technici a technologové vypracovávají vlastní jednoúčelové databáze, vždy pro konkrétní případ.

Autor této práce se v prvním kroku zaměřil na rozšíření zmíněné databáze o další parametry realizovaných taveb. Jedná se o všechny dostupné výsledky měření na vyráběném produktu, získané z vnitřních nebo vnějších zdrojů. Dalšími kroky pak bylo postupné zavádění jednotných nástrojů statistické regulace do procesu přípravy výroby a samotné výroby monokrystalů křemíku.

V procesu přípravy výroby je pozornost zaměřena na řešení aktuálně problematického parametru výrobku pro strategického obchodního partnera. V této práci je postupné řešení této problematiky použitím nástrojů statistické regulace využito jako příklad. Specifikace výrobku, zde monokrystalu křemíku, obsahuje podstatně více parametrů, které je nutné sledovat a ovlivňovat jejich úroveň.

V procesu výroby byla pozornost zaměřena na finální úpravu prodáváných produktů. V tomto případě je to broušení monokrystalů na požadovaný průměr, ačkoliv zákazník má mnohdy další specifikované požadavky na finální produkt (definovaná drsnost broušeného povrchu, šířka a orientace vybroušené fazety, limitované délky dodaných krystalů apod.).

Přínos ze zavedení statistických nástrojů regulace ve firmě ARSIL Crystal vidí autor této práce především v možnosti důkladnější analýzy jednotlivých procesů. S použitím těchto nástrojů lze detailně zmapovat a následně řídit jednotlivé operace. Lze vyhodnocovat praktický dopad úprav v technologii, ovlivňovat parametry výrobků, vyvíjet tlak na další zvyšování kvality práce.

## Seznam použité literatury

1. HORÁLEK, Vratislav. *Jednoduché nástroje řízení jakosti I*. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2004. ISBN 80-02-01689-0.
2. MICHÁLEK, Jiří. *Statistická regulace procesu (SPC)*. 2. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2006. ISBN 80-02-01810-9.
3. NENADÁL, Jaroslav. *Měření v systémech managementu jakosti*. Praha: Management press, 2000. ISBN 80-7261-110-0.
4. NENADÁL, Jaroslav; LÁTALOVÁ, Kateřina; HERCÍK, Pavel; et all. *Systém řízení s využitím jednoduchých nástrojů pro malé organizace*. Praha: Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2005. ISBN 80-02-01767-6.
5. NENADÁL, Jaroslav; NOSKIEVIČOVÁ, Darja; PETŘÍKOVÁ, Růžena; et all. *Moderní systémy řízení jakosti*. Praha: Management press, 2004. ISBN 80-7261-071-6.
6. NISHI, Y., DOERING, R. *Handbook of semiconductor Manufacturing Technology*. Marcel Dekker Inc. 2000. 1157 s. ISBN 1-8247-8783-8.
7. POKORNÝ, Jan. *MS Excel a práce se vzorci*. 1. vyd. Brno: UNIS Publishing, s.r.o., 2001. 88 s. ISBN 80-86097-56-0.
8. VEBER, J. a kol. *Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce*. Praha: Management press, 2006. ISBN 80-7261-146-1.
9. Interní materiály firmy ARSIL Crystal.

## Seznam příloh

1. Specifikace výrobku
2. Protokol o tažení
3. Protokol o měření

# Příloha 1: Specifikace

	<h2 style="margin: 0;">CRYSTAL SPECIFICATION IS-5334</h2>
<b>Crystal, a.s.</b> Luhy 677 756 51 Zašová Czech Republic	email: arsil @ applet.cz TEL (420) 571 634 897 FAX (420) 571 634 878
<b>Rev. G</b>	

No.	Parameter Remark	Unit	Value
	Production method	-	CZ
	Diameter	mm	125.9+/-0.2      Caliper
	Orientation	-/deg	(111) ±1      ASTM F26
	Conductivity type	---	N      ASTM F42
	Dopant	---	Arsenic      Purity 6N
	Resistivity (centerpoint)	Ωcm	0.001-0.0035ASTM F43 0.001-0.0025min. 50% see Note 41
	Radial resistivity variation	%	<25      ASTM F81 Plan B(3)
	Oxygen content	at/cm <sup>3</sup>	≤18*E17
	ORG	%	<30
	Carbon content	at/cm <sup>3</sup>	NS      see Note 40
	Dislocation density	cm <sup>-2</sup>	None      ASTM F47
	OSF	cm <sup>-2</sup>	None      see Note 24
	Swirls	---	None      see Note 24
	Bulk microdefects	cm <sup>-2</sup>	20*10E5      see Note 24
	Flat	mm	None
	<b>Residual acceptor</b>		<b>at/cm<sup>3</sup> &lt;3*10 E14      SIMS</b>
	<b>Residual donor</b>		<b>at/cm<sup>3</sup> &lt;3*10 E14      SIMS</b>
	<b>Length limitation</b>	mm	<b>100-450</b>
20	<i>Crystallographic perfection: Free of grain boundaries, twin boundaries, slip lines and lineages.</i>		
21	<i>Mechanical damage: Free of visually observed cracks, scratches, blowholes, chips and contamination.</i>		
22	<i>Crystal ingot form: Ground, roughness Ra &lt;1.5 um . Edge of the front plane ground to max. distance 1 mm. Deflection of the front plane max. 0.5 mm.</i>		
23	<i>Polycrystalline: Virgin HEMLOCK or WACKER, top of crystals allowed.</i>		
24	<i>Procedure in accordance with your spec. 2112732.</i>		
25	<i>Front marking: "Y", "TOP" and "TAIL".</i>		
26	<i>Label: Manufacturer, Spec. no, Ingot no., Conductivity, Dopant, Orientation, Resistivity (spec.), Diameter (spec.), Length, Weight, Production date, Oxygen.</i>		
30	<i>Packaging: PE bags, transport case &lt;30 kg.</i>		
40	<i>Note: Residual impurities and Oxygen content guaranteed by technology and raw materials.</i>		
41	<i>Expected position of the resistivity 0.0025 Ohm.cm marked.</i>		
Your specification:		SUMCO TECHXIV CORP.	No. 2112732      Rev.
Your P.O.:		VOSS	No. 881/726
Date:2006.12.01			

.....  
Signature



### Příloha 3: Protokol o měření

## PROTOKOL O MĚŘENÍ

KRYSTAL ČÍSLO :			VSÁDKA kg :			TAŽIČKA EKZ :	
PARAMETR	JEDN	HODNOTA I	HODNOTA II	PARAMETR	JEDN	HODNOTA I	HODNOTA II
CODE/specifikace		<b>5334</b>	5318	RRV	%	<b>&lt; 25</b>	< 30
Typ vodivosti/leg.		<b>N / Arsen</b>	N / Arsen	Dislokace	cm <sup>-2</sup>	<b>&lt; 100</b>	< 100
Průměr	mm	<b>125.9 ±0,2</b>	127 - 129	Doba života	μsec		
Orientace	°	<b>(111) ±1,0</b>	(111) ±1,0	Limitovaná délka	mm	<b>100 - 450</b>	150 - 500
Měrný odpor	Ωcm	<b>0.001-0.0035</b>	< 0,0045	Max. obsah B	x10 <sup>13</sup>		7,0

Celková váha	g		Zbytky	g	
Délka mono	Σ mm		Váha mono	Σ g	

Skut. φ krystalu	mm											měřil
Počet nátavů												
Čas od 1.nátavu (min)												
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	cm	

Délka	mm		PODPIS	DATUM
Rozřezávačka				
Řezačka TS				
Kontrol. desky	tažený			
	broušený			
Osa	or °			

Měrný odpor	Ωcm			
RRV	%			
Dislokace	cm <sup>-2</sup>			
Doba života	μsec			
Obsah příměsí	B	x10 <sup>13</sup>		
	O	x10 <sup>18</sup>		
	C	x10 <sup>16</sup>		
VÝŘEZY tažený	délka	mm		
	váha	g		
	φ	mm		
Bruska	φ ( Ra )			
VÝŘEZY broušený	délka	mm		
	váha	g		
	φ	mm		
	Ra	μm		
Označ. orient. švů				
Fazetovačka				
Fazeta hlavní	délka	mm		
	or	°		
	Ra	μm		
Fazeta vedlejší	délka	mm		
	or	°		
	Ra	μm		
Z výroby				
Odvedeno	č. objedn.			
	zákazník			