

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301R016 Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vazba mezi geometrickou specifikací produktu (GPS)
a
zajišťováním kvality

Autor: **Ondřej Vočadlo**

Vedoucí práce: **Ing. Ivana Mazínová**

Akademický rok 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej VOČADLO**
Osobní číslo: **S09B0542P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Vazba mezi geometrickou specifikací produktu (GPS) a zajišťováním kvality**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Popište pravidla GPS, která pomáhají při zajišťování sériové výroby. Popište vazby mezi konstrukcí, technologií a zajišťováním kvality. Proveďte aplikaci na konkrétním příkladu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. rešerše GPS
2. rešerše zajišťování kvality v předvýrobní fázi
3. ukázka konkrétního příkladu
4. hodnocení, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

PEŠIČKA, L., SKOPAL, J. *Geometrické specifikace produktů GPS.* Praha: Český normalizační institut, 2008

NENADÁL, J. A KOLEKTIV *Moderní systémy řízení jakosti.* Praha: Management Press, 2007


CHALOUPKA, J. *Jednoduše kvalita.* Praha: Pre-press,

SVOBODA, P., BRANDEJS, J., DVOŘÁČEK, J., PROKEŠ, F. *Základy konstruování.* Brno: Cerm, 2008

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová**
Katedra konstruování strojů
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ivana Mazínová**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **25. května 2012**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2011

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Ivaně Mazínové, vedoucí bakalářské práce, která mi byla po celou dobu vypracovávání bakalářské práce nápomocna, za její ochotu, trpělivost, užitečné rady a připomínky.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Vočadlo	Jméno Ondřej	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 - „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Mazínová	Jméno Ivana	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vazba mezi geometrickou specifikací produktu (GPS) a zajišťováním kvality		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	45	TEXTOVÁ ČÁST	35	GRAFICKÁ ČÁST	10
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	V práci je popsán postup plánování kvality dle APQP a VDA 4.3. Zkoumá se vliv metod QFD, 2D analýza vad, DOE, FMEA, MSA a SPC a výkresovou dokumentací. Dále jsou uvedeny možnosti jak ovlivnit velikosti tolerančních polí užitím geometrických tolerancí, rozměrových obvodů, metody obalové plochy, metody posunutého tolerančního pole a podmínek maxima a minima materiálu.
KLÍČOVÁ SLOVA	plánování kvality, APQP, VDA 4.3, QFD, 2D analýza vad, FMEA, DOE, MSA, SPC, tolerování, rozměrové obvody, geometrické tolerance, maximum materiálu, minimum materiálu, posunutá toleranční pole

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Vočadlo	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	2301R016 - "Transport and handling machinery"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Mazínová	Name Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Relation between geometrical product specifications (GPS) and quality assurance		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	45	TEXT PART	35	GRAPHICAL PART	10
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	In thesis there is described procedure of quality planning by methods APQP and VDA 4.3. Relations between methods as QFD, 2D Analysis of Failures DOE, FMEA, MSA, SPC and drawings are considered. In next part of thesis there are methods, which can influence tolerances, as use of geometrical tolerances, dimensions circuits, method of envelope, method of shifted tolerance and method of minimum and maximum of material.
KEY WORDS	quality planing, APQP, VDA 4.3, 2D Analysis of Failures, DOE, FMEA, MSA, SPC, tolerance, geometrical tolerances, dimensions circuits, maximum of material, minimum of material, shifted tolerance

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	2
1 Úvod.....	3
2 Plánování kvality	4
2.1.1 QFD.....	6
2.1.2 2D ANALÝZA VAD.....	7
2.1.3 FMEA.....	8
2.1.4 DOE.....	9
2.1.5 MSA	10
2.1.6 SPC.....	12
3 Metody umožňující navýšení velikosti tolerance.....	15
3.1 Funkční a technologické kótování.....	16
3.1.1 Funkční kótování.....	16
3.1.2 Technologické kótování	17
3.1.3 Konstrukční a technologické základny	17
3.2 Rozměrové obvody.....	18
3.3 Tolerance geometrické přesnosti	20
3.3.1 Přehled geometrických tolerancí a doplňkových značek	22
3.4 Základní pravidla GPS pro tolerování - Pravidlo vzájemné nezávislosti.....	23
3.5 Základní pravidla GPS pro tolerování - Požadavky vzájemné závislosti.....	24
3.5.1 Podmínka obalové plochy	24
3.5.2 Podmínka posunutého tolerančního pole	25
3.5.3 Požadavek maxima materiálu.....	27
3.5.4 Požadavek minima materiálu	28
3.5.5 Požadavek reciprocity	29
3.5.6 Požadavek reciprocity u maxima materiálu	29
3.5.7 Požadavek reciprocity u minima materiálu	31
4 Závěr	32
Seznam použité literatury.....	33
Seznam obrázků	35

Přehled použitých zkratk a symbolů

PDCA	Plan – Do- Check-Act
APQP	Advanced Product Quality Planing
VDA	Verband der Automobilindustrie
QFD	Quality Function Deployment
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
DOE	Design of Experiments
MSA	Measurement System Analysis
R&R	Repeatability and Reproducibility
GRR	Gauge Repeatability and Reproducibility
SPC	Statistical process control
GPS	Geometrical Product Specification

Pozn.: V seznamu nejsou uvedeny symboly a zkratky všeobecně známé nebo používané jen ojediněle s vysvětlením v textu.

1 Úvod

V dnešní době, kdy je zákazník zavalován výrobky všeho druhu, je velmi těžké obstát ve značné konkurenci výrobců. Ke každému produktu existuje velké množství stejných, obdobných či substitučních výrobků. Bariéry vstupu nových výrobních firem na trh spolu s rozvojem techniky a informačních kanálů postupně mizí. Na výrobce je tedy vyvíjen obrovský konkurenční tlak, je ze všech stran nucen se co nejvíce zaměřit na samotného zákazníka, dosáhnout jeho spokojenosti v maximální možné míře a předčít tak svou konkurenci.

Spokojený zákazník je ten, který obdrží výrobek kvalitní, levný a včas. O včasnost dodání výrobku se stará logistika, jde o sledování toku materiálů a hotových výrobků. Cena výrobku je pak otázkou produktivity, výrobce se snaží vytěžit z výrobku maximum za co nejméně peněz. Posledním parametrem je kvalita výrobku. Pojem kvalita bývá chápán značně subjektivně, každý zákazník totiž očekává něco jiného. Obecně však může být kvalita definována jako stupeň splnění požadavků zákazníka. Aby byl výrobce na trhu úspěšný, musí se všem třem parametrům náležitě věnovat a udržovat je v optimálních mezích. [1]

V této bakalářské práci je řešeno splnění spokojenosti zákazníka, tedy kvality, především z pohledu konstruktéra. Z celého životního cyklu je tedy sledován pouze krátký úsek, ale úsek velmi důležitý a významnou měrou ovlivňující další etapy životního cyklu výrobku. Také náklady na odstranění chyby v rané fázi výroby jsou podstatně nižší než náklady na odstranění stejné chyby v pozdější etapě. V práci jsou uvedeny metody, které pracovníkovi konstrukce umožňují splnit požadavky zákazníka, přitom dosáhnout zkrácení doby přípravy výrobní dokumentace a získat z daného výrobku maximální efekt. Dále jsou v textu popsány metody, které při zachování kvality a času výroby umožňují další snížení nákladů pouhou úpravou výkresové dokumentace.

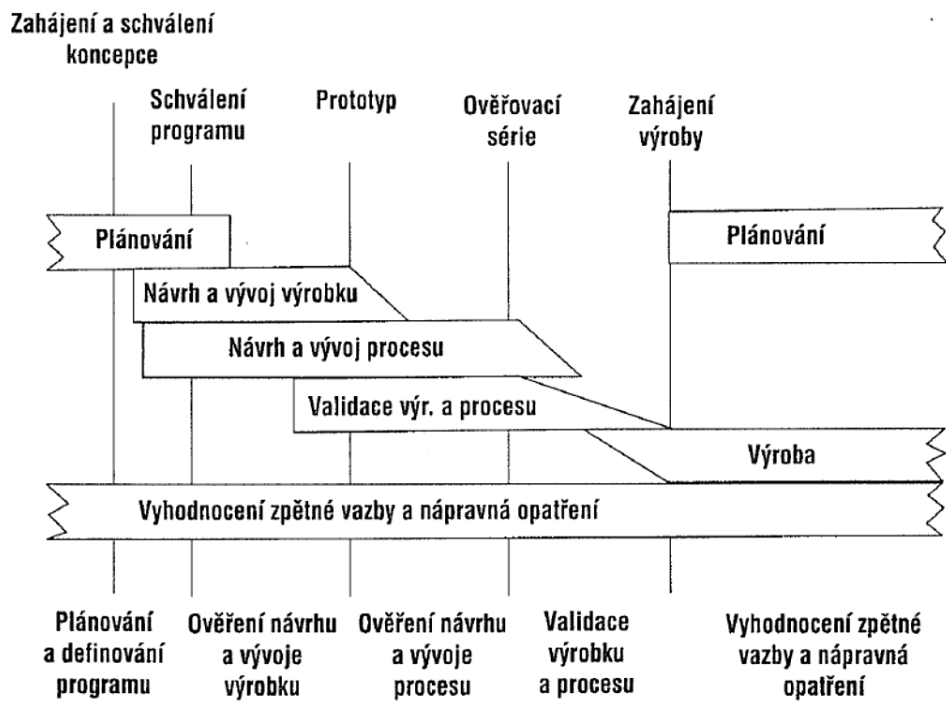
2 Plánování kvality

Hlavním úkolem dodavatele automobilového průmyslu je obstát ve značném konkurenčním boji. Výrobce tedy musí vyrábět kvalitní produkty v krátkém čase a s co nejmenšími náklady. Právě z tohoto důvodu bylo zavedeno plánování kvality. Plánování kvality je podstatnou částí managementu kvality, je součástí Juranovy trilogie jakosti i Demingova cyklu PDCA. [2]

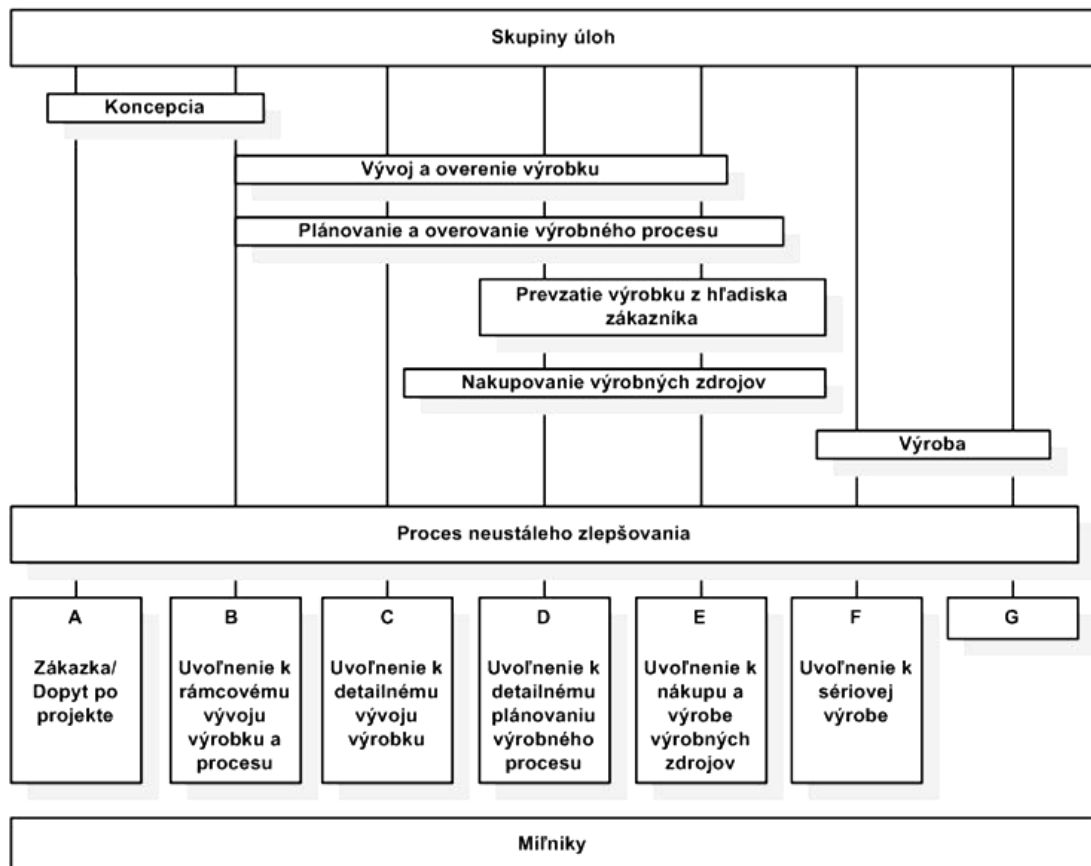
V praxi bylo zjištěno, že výsledná kvalita produktu je z 80% ovlivňována již v předvýrobní etapě a odpovědnost tedy spočívá na manažerech a technicích. Zároveň však bylo zjištěno, že 80% chyb vzniká právě v činnostech v předvýrobních fázích, ale k jejich odhalení dochází z 80% až během výroby. [3] Odhalení vady v pozdějších fázích značně navyšuje výrobní náklady výrobků. Projevuje se zde tzv. pravidlo deseti, které říká, že náklady na odstranění chyby výrobku se v každé další fázi desetinásobně navyšují. Chyba způsobená v konstrukci a odhalená v konečné fázi výroby nebo při nejhorším až u samotného zákazníka může tedy narůst až do milionových nákladů. Dále se projevuje pravidlo navyšování chyb s navyšováním počtu operací. Pokud by bylo potřeba k dohotovení výrobku provést 100 operací a každá operace byla provedena na 99 %, v konečném důsledku by to znamenalo, že by bylo vyrobeno pouze 37 % ($= 0,99^{100}$) výrobků v požadované kvalitě. Opět dochází ke značnému navýšení nákladů opravami, náhradami zmetků či pozdějšími reklamacemi od zákazníků. [4]

Zaměření na předvýrobní etapy je tedy velmi důležité, jelikož je s ní svázána značná část konečných nákladů a výsledné kvality výrobku. Z těchto důvodů je velmi důležité připravit co nejs sofistickovanější výrobní dokumentaci a zamezit tak vzniku chyb.

Problematika plánování kvality je popsána dvěma základními postupy. Obě metodiky však vychází ze základního obecného postupu plánování kvality, který byl vytvořen J. M. Juranem [5]. Postup je založen na posloupnosti činností, které je nutné splnit, aby byla zajištěna požadovaná kvalita konečného výrobku. Prvním postupem je APQP, který je odvozen z americké příručky normy QS 9000 [6]. Plánování APQP je rozděleno do pěti základních kroků, které je nutné splnit, aby byl výrobek vyroben v uspokojivé jakosti pro zákazníka (obr. 1) [7]. Obdobný postup je definován i v plánování kvality výrobku dle metodiky VDA 4.3, která byla vytvořena německými automobilkami. Tato metodika je na rozdíl od metodiky APQP rozdělena do sedmi základních kroků (obr. 2) [5]. V jednotlivých krocích obou metodik se používá značné množství nástrojů kvality, které svou funkcí umožňují jejich splnění, z těchto nástrojů byly vybrány ty nejvýznačnější a jsou podrobněji popsány níže.



Obr.: 1 Postup plánování kvality dle APQP [7]



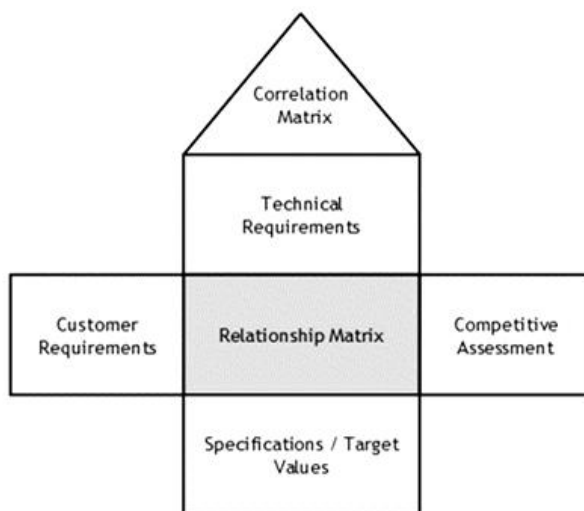
Obr.: 2 Postup plánování kvality dle VDA 4.3 [8]

2.1.1 QFD

Metoda QFD, do češtiny překládána jako rozpracování požadavků zákazníka, je jednou z nejpoužívanějších metod plánování kvality v předvýrobní fázi výroby a její podstata spočívá v převodu požadavků zákazníka na technické parametry výrobku. Použitím této metody dochází ke snížení počtu změn konstrukčních a technologických, zkracuje se doba vývoje, klesá počet problémů při rozběhu výroby, snižují se náklady na výrobu nových výrobků a především dochází k zaměření na zákazníka. [2]

K přehlednému rozpracování požadavků zákazníka slouží tzv. dům kvality, který je vlastně komplexní maticí (obr. 3). Pro jeho vytvoření je potřeba získat veškeré požadavky zákazníka a znaky kvality výrobku, tedy měřitelné parametry. Požadavky jsou poté hodnoceny dle důležitosti a tím je jim přiřazena číselná váha (např. 1-5). Do střechy domu kvality je zaznamenán vzájemný vztah měřitelných parametrů výrobku. Po těchto úkonech je možné přistoupit k hodnocení relací mezi požadavky zákazníka a měřitelnými parametry pomocí předem dané stupnice (např. 1-5). Po vyplnění tabulky mohou být odhaleny požadavky zákazníka, které jsou pomocí měřitelných parametrů sledovány slabě anebo vůbec. Na tyto požadavky je nutné se zaměřit a vyhledat měřitelný parametr, který by požadavek dostatečně popisoval. Dále se mohou vyskytnout měřitelné parametry bez vazby k požadavkům zákazníka. U takových parametrů se doporučuje zvážení jejich sledování. Nakonec se vyplňuje pravá a dolní část diagramu. V pravé části diagramu jsou zapisovány sumy jednotlivých řádků, tyto hodnoty vyjadřují, jak je požadavek zákazníka sledován a dále slouží k porovnávání s konkurencí. K obdobnému výpočtu dochází i ve spodní části diagramu, zde jsou však jednotlivé hodnoty závislostí navíc vynásobeny odpovídající hodnotou významu požadavku. Takto získaná suma vypovídá o důležitosti měřitelného parametru vzhledem k požadavkům zákazníka a dále může také sloužit k porovnání s konkurencí. [2]

Z hlediska konstrukce je metoda vhodná k určení tzv. kritických znaků, tedy měřitelných parametrů, které významně ovlivňují konečný stav výrobku [1]. Na tyto znaky se musí konstruktér zaměřit a udržet je v požadovaných mezích volbou správného tolerování, materiálu, tepelného zpracování apod. Příklad na QFD je uveden v příloze.



Obr.: 3 Dům jakosti [9]

2.1.2 2D ANALÝZA VAD

Konečná kvalita výrobku není charakterizována pouze kritickými znaky, ale také kritickými vadami. Jedná se o vady, které by mohli nepříjemně překvapit zákazníka, a je tedy nutné jim věnovat náležitou pozornost. V některých případech může dojít až k ohrožení zdraví či majetku zákazníka.

K určení kritických vad výrobku byla vypracována 2D analýza vad (obr. 4). Pro přehlednost je analýza vad vpisována do přehledné tabulky. V tabulce představují jednotlivé sloupce výskyt vady a řádky závažnost vady. Po vyplnění celé matice se vyznačí kritická úhlopříčka, nad touto úhlopříčkou se nachází vady kritické. Jak je patrné z obrázku níže, mezi kritické vady nepatří pouze významné vady s velkým výskytem, ale i vady s malým významem a velkým výskytem či vady s velkým významem a malým výskytem. [1] Z těchto důvodů je vhodné využívat tzv. rizikové číslo, které hodnotí důležitost vady dle významu, výskytu a odhalitelnosti. Toto číslo se vypočte tak, že se všechny tři parametry ohodnotí na stupnici 1-10 a vzájemně se vynásobí. Vady s nejvyšším rizikovým číslem jsou pak považovány za kritické. [10]

Podobně jako kritické znaky výrobku pomáhají kritické vady výrobku konstruktérovi určit na co se na daném výrobku zaměřit. Pomocí rizikového čísla pak zjišťuje, jakému problému se musí v první řadě věnovat. Tyto vady, pokud se týkají konstrukce, pak opět odstraňuje pomocí metod tolerování, výběrem materiálu apod.

9 – 10 ohrožení bezpečnosti		koróze	prasklina pod hlavou		
7 – 8 nefunkčnost		prasklina v hlavě	prasklina v závitě, nedoválcova ný závit, potrhaný		
5 – 6 zákaznické vady, obtěžuje		potlučená hlava, poškrábaná hlava	ostřina	potlučený závit	
3 – 4 zákazník zaregistruje, nevdá		špinavý		mastný	
1 – 2 zákazník nezaregistruje					otisky prstů
	1 – 2 nikdy	3 – 4 zřídka	5 – 6 přichází v úvahu	7 – 8 často	9 – 10 jistě

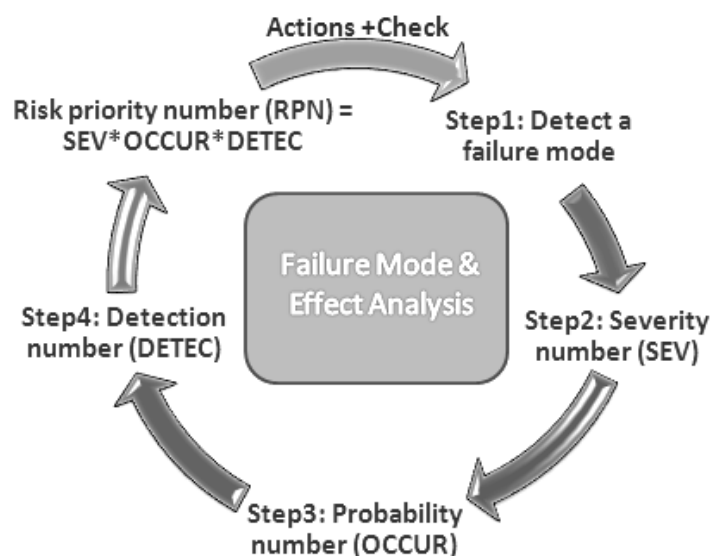
Obr.: 4 2D analýza vad [1]

2.1.3 FMEA

Jednou z dalších základních metod plánování kvality je FMEA (obr. 5). Název této metody bývá do češtiny překládán jako analýza možností vzniku vad a jejich následků. Metoda byla vyvinuta v USA v šedesátých letech a sloužila pro řešení složitých technických systémů v kosmickém výzkumu. [11]

Jedná se o týmovou analýzu zkoumající možné vzniky vad, hodnotící jejich rizika a zavádějící případná opatření. Touto metodou může být odhaleno 70 až 90 % možných chyb. Metoda je využívána v automobilovém průmyslu, kde ošetřením vad na počátku výroby ušetří značné finance během výroby a to převážně pro inovované nebo zcela nové výrobky. Podstatou této metody je prevence nekvality, dochází ke snížení ztrát, zkrácení doby řešení prací a snížení počtu změn ve fázi realizace. Použitím metody společnost získává velké know-how, jde o jakýsi seznam chyb, které mohou nastat, a návrhů jejich řešení. Takto připravený formulář je pak možné aplikovat na podobné výrobky. Metoda má také značný psychologický efekt spoluodpovědnosti na všechny členy týmu FMEA, jedná se o všechny pracovníky, kteří mají něco společného s výrobkem. Metoda je rozdělena do čtyř hlavních částí. První etapou je analýza současného stavu, kdy jsou zjišťovány vady, které se mohou na daném výrobku vyskytnout. V druhé etapě se tým zabývá hodnocením vady, kdy se posuzuje význam, výskyt a odhalitelnost. Vada je pak ze všech tří pohledů ohodnocena body od 1 do 10. Přičemž význam a výskyt spolu s množstvím bodů vzrůstá a odhalitelnost klesá. Násobkem počtů bodů u všech tří kritérií je získáno kritické číslo, které nám napomáhá určit kritické vady. Ve třetí etapě se pak tým věnuje prevenci těchto vad. Následuje poslední etapa a to hodnocení stavu po preventivních opatřeních. V této fázi se sledované vady hodnotí stejným způsobem jako ve fázi druhé. Tímto způsobem může být sledována změna získaná provedením opatření. Celý proces se zaznamenává do FMEA formuláře, který se neustále inovuje a je tedy tzv. živým dokumentem. [2]

Konstruktor využívá formuláře k úpravám výkresové dokumentace. Na základě hodnocení vad a navržených řešení upravuje výkres součásti tak, aby byla vada eliminována. Zaměřuje se na nejrizikovější vady, které pak opět ošetřuje pomocí metod tolerování, vhodného materiálu, povrchové úpravy apod. Příklad FMEA je uveden na konci práce v příloze.



Obr.: 5 Cyklus FMEA [11]

2.1.4 DOE

Na každém výrobku je možné najít různý počet parametrů, které se vzájemně ovlivňují, tyto parametry jsou nazývány faktory. Výsledný stav výrobku je určen vzájemným nastavením těchto parametrů. Metoda plánování experimentů se zabývá vyhledáváním kritických faktorů, jejich vzájemnými interakcemi a optimalizací jejich hodnot. [2]

Základním kamenem této metody je pokus, jde vlastně o odzkoušení výrobku při určitém nastavení faktorů. Jednotlivé pokusy jsou pak skládány dohromady, až vytvoří všechny dosažitelné kombinace, tato skupina pokusů je nazývána experimentem. Ve většině případů by však bylo provedení všech pokusů neproveditelné nebo velmi časově náročné. Z tohoto důvodu jsou používány Taguchiho přístupy zjednodušující experiment, zavádí ortogonální soustavy (viz tab. 1), které podstatně zmenšují počet nutných pokusů. [2]

Samotná metoda je rozdělena do čtyř základních částí a to na plánování experimentů, návrh experimentů, provedení experimentů a analýza experimentů. Cílem prvního kroku je určení pracovního týmu a naplánování experimentu. V této části se nejvíce uplatňuje metoda brainstormingu. Tým plánující experiment musí určit cíle experimentu, definovat charakteristiky popisující jakost a určit sledované faktory a jejich úrovně. Při návrhu experimentu jsou vytvářeny tabulky z faktorů zjištěných v prvním bodě. V této tabulce jsou zaznamenány podmínky, nastavení faktorů, pro všechny experimenty. Při provádění samotného experimentu se doporučuje provádět jednotlivé pokusy v náhodném pořadí, aby nedocházelo k ovlivňování výsledků. V této fázi také často dochází ke střetu zájmů výroby a experimentátorů, proto bývají experimenty prováděny mimo pracovní dobu nebo o zvláštních směnách. Cílem posledního kroku, tedy analýzy experimentů, je nalézt optimální nastavení faktorů pro výrobek a posoudit i jejich vzájemné interakce. [12]

Na základě této metody si pracovník konstrukce musí především uvědomit, že změny určitého faktoru mohou mít za následek změnu jiného faktoru. V některých případech se může vyskytnout i tzv. synergický efekt, tedy výsledný efekt může být vyšší než pouhý součet dílčích efektů. Konstruktor může metody využít k optimalizaci navrhované součásti, přičemž bude experimenty provádět virtuálně pomocí PC.

Sloupec	1	2	3
Číslo pokusu	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

Tab.: 1 Nejmenší ortogonální soustava [13]

2.1.5 MSA

Metoda se zaměřuje na porozumění systému měření. MSA posuzuje, do jaké míry je možné naměřeným hodnotám věřit a zda je tedy možné je používat k dalšímu rozhodování. Čím více by totiž byly naměřené údaje zkreslené, tím větší by byla i chybovost v rozhodování na základě měřicího systému. Systém měření je složen nejen ze samotného měřidla, ale také se sem zařazuje hodnotitel, veškeré přípravky, pomůcky, metody apod. [14]

Systém měření může být sledován z hlediska polohy nebo rozptylu hodnot. Variabilita hodnot z hlediska polohy bývá způsobena systematickými chybami, tyto chyby a jejich příčiny je možno zcela odstranit. Variabilita z hlediska polohy je charakterizována stranností, linearitou a stabilitou. Strannost bere v potaz rozdíly mezi skutečnou naměřenou hodnotou a referenční hodnotou měřeného znaku. Linearita sleduje rozdíly mezi hodnotami strannosti v předpokládaném pracovním rozsahu měřidla. Stabilita posuzuje stálost naměřených hodnot v čase. Z hlediska rozptylu je variabilita způsobena chybami náhodnými, takové chyby nelze odstranit, ale mohou být redukovány. Sem jsou zařazovány zejména dvě charakteristiky a to opakovatelnost a reprodukovatelnost. Opakovatelností se rozumí variabilita získaná při měření jednoho znaku dílu, jedním operátorem za použití jednoho měřidla. Reprodukovatelnost je pak variabilita získaná při měření jednoho znaku téhož dílu několika operátory za použití jednoho měřidla. Právě poslední dvě charakteristiky jsou k posouzení měřicího systému používány nejčastěji. Pro posouzení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti (R&R, GRR) a dalších ukazatelů je používána metoda rozpětí, metoda průměru a rozpětí a metoda ANOVA. Metoda rozpětí vypočítává pouze hodnoty ukazatelů R&R, metoda průměru a rozpětí započítává i ukazatele polohy, ale bez vzájemné interakce mezi ukazateli a metoda ANOVA vypočítává všechny ukazatele i interakci. Pro svou jednoduchost je nejpoužívanější metoda rozpětí, k jejímu použití nejsou totiž potřebné hlubší znalosti statistiky. Výstupem této metody je hodnota GRR, či R&R, která umožňuje posouzení vhodnosti systému měření. U vhodného systému měření je tato hodnota menší nebo rovna 10%, nepoužitelný systém měření se vyznačuje hodnotou větší nebo rovno 30%. Pokud vyjde hodnota GRR mezi těmito mezními stavy, systém měření může vyhovovat, ale záleží na konkrétní situaci a aplikaci. [12]

Metoda rozpětí bude dále popsána na konkrétním příkladě [14]. Byl měřen průměr hřídelí v milimetrech. Hřídele měřili 2 hodnotitelé, každý měřil stejným způsobem všech 5 hřídelí (tab. 2). Požadavky zákazníka na toleranční pole byly $18 \pm 0,15$ mm.

Výrobek	Hodnotitelé		Rozpětí R (= A - B)
	A	B	
1	18,209	18,200	0,009
2	18,206	18,203	0,003
3	18,203	18,208	0,005
4	18,206	18,210	0,004
5	18,208	18,203	0,005

Tab.: 2 Naměřené hodnoty a výpočet rozpětí

Po naměření hodnot se přistupuje k výpočtu rozpětí, to může být definováno jako rozdíl mezi měřeními jednotlivých výrobků (tab. 2). Ze získaných rozpětí je pak vypočítán průměr dle rovnice (1).

$$\bar{R} = \frac{0,009 + 0,003 + \dots + 0,005}{5} = 0,0052 \quad (1)$$

Pro určení samotného R&R je pak použito vztahu (2). Konstanta ve jmenovateli je určována za Duncanových tabulek. [12]

$$R\&R = \frac{5,15 * \bar{R}}{d_2^*} \quad (2) \quad R\&R = \frac{5,15 * 0,0052}{1,19} = 0,023$$

Pro konečné zhodnocení je třeba zjistit, kolik tolerance spotřebuje systém měření. Zjistíme to tak, že dáme do poměru hodnotu R&R a velikost předepsaného tolerančního pole (3).

$$R\&R (tolerance) = \frac{0,023}{0,3} * 100 = 7,7\% \quad (3)$$

Systém měření tedy zpracovává téměř 8 % tolerančního pole. Systém je tedy způsobilý, ale se zmenšením tolerančního pole je třeba i tak počítat.

Dále je možné systém měření hodnotit za pomoci indexů způsobilosti. Jedná se o hodnocení systému měření z hlediska strannosti a opakovatelnosti. Systém je popisován za pomoci indexů C_g a C_{gk} . Index C_g popisuje systém měření z hlediska opakovatelnosti a index C_{gk} z hlediska opakovatelnosti a strannosti. Vyhodnocování měření se provádí za pomoci konstant závislých na požadavcích zákazníka. Minimální reprezentativní vzorek je 30 měření na etalonu prováděných jedním pracovníkem za použití jednoho měřidla a postupu v krátkém časovém intervalu. [15]

$$c_g = \frac{0,2 * T}{6 * s_g} \quad (4)$$

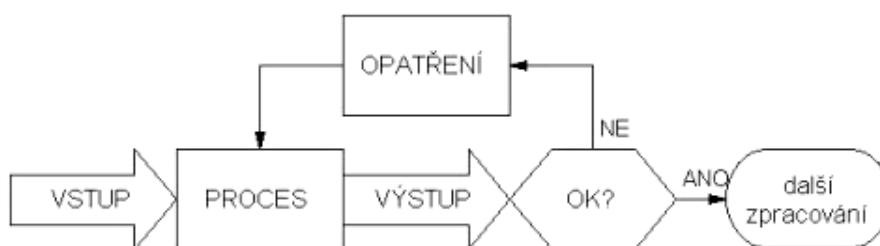
$$c_{gk} = \frac{0,1 * T - |\bar{x}_g - x_m|}{3 * s_g} \quad (5)$$

Kde T je toleranční pole, s_g je směrodatná odchylka, \bar{x}_g je výběrový průměr, x_m je referenční hodnota

Konstruktor při své práci musí počítat se zmenšením tolerančního pole působením nejistot měření. Znalost této metody je tedy velmi důležitá, protože dává konstruktérovi představu o tom, o kolik se jím navržené toleranční pole zmenší. S tímto zmenšením musí počítat při navrhování vlastních tolerancí. Je tedy vhodné navrhovat tolerance co největší, ale tak aby byla stále plněna požadovaná funkce součásti.

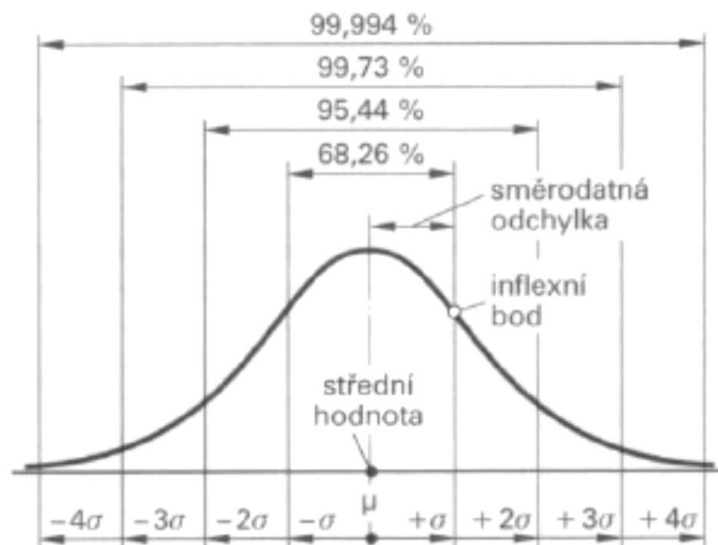
2.1.6 SPC

SPC (statistická regulace procesu) se zabývá sledováním procesu a v případě potřeby tento proces udržuje v určitých předem stanovených mezích, proto nebývá do češtiny překládán jako statistická kontrola procesu, ale jako statistická regulace procesu, jelikož je proces aktivně ovlivňován (obr. 6). Jestliže je tato metoda prováděna správným způsobem, nejsou nalézány žádné zmetky. To je způsobeno tím, že pokud dojde při měření výrobků k posunu hodnot v tolerančním poli, provede se zásah do procesu a tím dojde k ustavení procesu v požadovaném místě tolerančního pole (nejlépe na střed). [12]



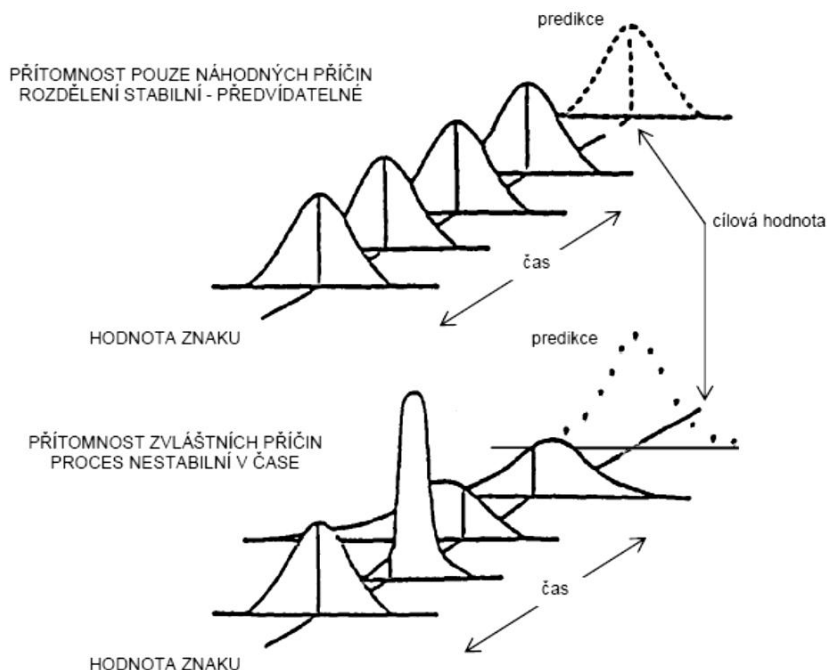
Obr.: 6 Statistická regulace procesu [1]

S touto metodou je úzce spojen jeden z největších nástrojů kvality a tím je histogram. Jedná se o sloupcový diagram, jehož horizontální osa popisuje sledovanou veličinu a její umístění v tolerančním poli, vertikální osa pak zobrazuje četnosti jednotlivých naměřených hodnot. Toto zobrazení má na rozdíl od nepřehledné tabulky hodnot značnou vypovídající hodnotu, může být sledován počet výskytů určité hodnoty a zároveň umístění hodnot v tolerančním poli, vliv procesů na rozměry součástí, změny ve výrobě nebo zásahy kontrolorů do naměřených hodnot. V ideálním případě má diagram tzv. normální tvar, který odpovídá rozložení Gaussovi křivky, to znamená, že největší výskyt hodnot se nachází uprostřed a ke krajům výskyt postupně klesá (obr. 7). [1]



Obr.: 7 Gaussova křivka [4]

SPC může být prováděna pouze na stabilních a způsobilých procesech, proto je použití histogramů velmi důležité, jelikož z nich vycházíme při určování stability a způsobilosti. Stabilita procesu se určuje z tvaru diagramu. Na proces můžou působit jednak systematické vlivy, ty lze odstranit, a vlivy náhodné, ty lze omezit. Stabilní proces se vyznačuje tím, že na něj působí pouze náhodné vlivy a může tedy být předpokládán jeho další vývoj v čase (obr.8). [1]



Obr.: 8 Stabilita procesu [16]

Dalším požadavkem na proces je jeho způsobilost. Ta je hodnocena pomocí indexů způsobilosti procesu. Nutnou podmínkou pro výpočet těchto indexů je stabilita procesu. Určují se dva indexy způsobilosti. Prvním indexem je index C_p , ten zkoumá proměnlivost procesu (6). Samotný index C_p by však neměl žádnou vypovídající hodnotu. Jelikož jeho výpočet nebere ohled na umístění hodnot v tolerančním poli, mohli by hodnoty ležet mimo toleranční pole a přitom by index splňoval dané podmínky. Z tohoto důvodu je zaváděn index způsobilosti C_{pk} , ten zohledňuje jednak variabilitu procesu a zároveň umístění hodnot v tolerančním poli (9). Výpočet obou indexů je uveden v rovnicích níže. [12]

$$c_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (6)$$

$$c_{pu} = \frac{USL - \mu}{3\sigma} \quad (7)$$

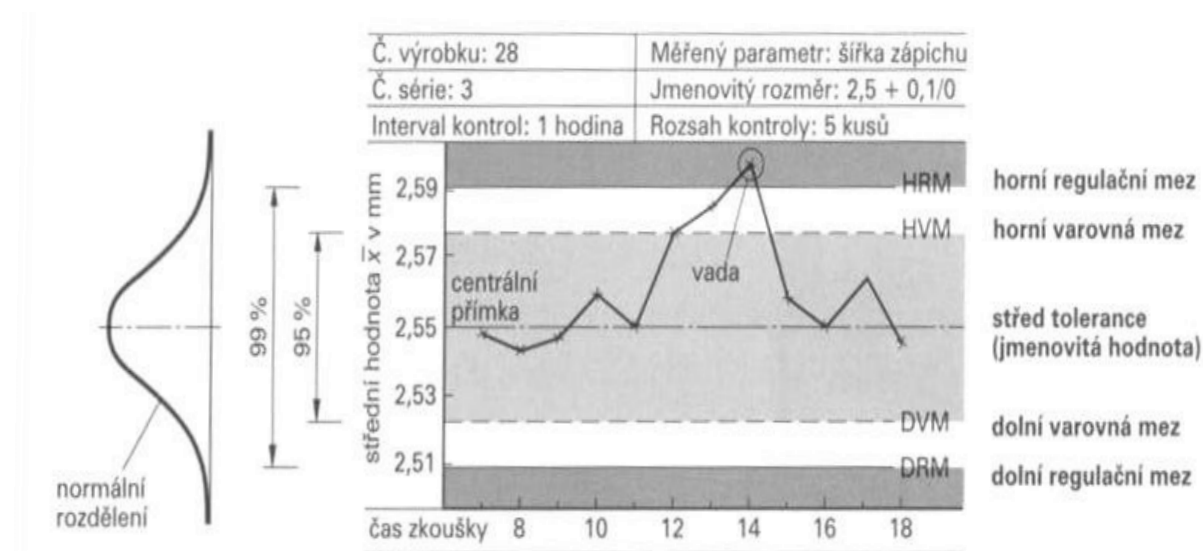
$$c_{pl} = \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \quad (8)$$

$$c_{pk} = \min(c_{pu}, c_{pl}) \quad (9)$$

Kde USL je horní toleranční mez, LSL je dolní toleranční mez, σ je směrodatná odchylka a μ je střední hodnota měřeného prvku.

Aby byl proces považován za způsobilý, musí dosahovat určitých hodnot. Tyto hodnoty se odvíjejí od konkrétních požadavků zákazníka. Jelikož je tato metoda používána zejména v sériové výrobě, je jedním z hlavních zákazníků automobilový průmysl. Právě odtud vzešel nejpoužívanější požadavek na indexy, který říká, že indexy musí být větší nebo rovny hodnotě **1,67** (doporučení Německé společnosti pro jakost a Svazu německého automobilového průmyslu). [4] Toto doporučení také říká, že výkresová tolerance musí být o 2/3 větší než výrobní. [17]

Pokud tedy proces splňuje výše zmíněné předpoklady, může se přistoupit k samotné statické regulaci procesu. K regulování procesu je využíván regulační diagram, kde vertikální osa zobrazuje sledovanou veličinu a na horizontální osu je vynesena čas (obr. 9). Diagram pak zobrazuje proměnlivost určité veličiny v čase. Získáme jej tak, že se namátkově vybere určitý předem daný počet výrobků z dávky. Z této reprezentativní skupiny je pak naměřena, či z měřených hodnot vypočtena, sledovaná veličina, která je poté zaznamenána do diagramu, takto se zaznamenávají všechna měření. Pokud sledovaná veličina dosáhne mezních hodnot, musí dojít k 100% kontrole dávky a zavedení opravujících opatření. Regulační diagram tedy sleduje časový průběh sledované veličiny a vzniku vad. [4]



Obr.: 9 Regulační diagram [4]

Z hlediska konstrukce je znalost této metody opět velmi důležitá. Podobně jako u systémů měření dochází k pohlcení určité části tolerančního pole, při požadavku na způsobilost 1,67 až o 2/3. O tom jak velkou část tolerance výroba pohltí, rozhoduje především nastavení vlastního výrobního procesu. Konstruktor tedy musí brát tyto skutečnosti v potaz. Z těchto důvodů by neměl klást zbytečně velké nároky na toleranční pole, jelikož se může stát, že by výrobek nebyl vyrobitelný v požadované kvalitě anebo vůbec. Tolerance by tedy měly být co největší možné, ale musí být zajištěna funkce dané součásti.

3 Metody umožňující navýšení velikosti tolerance

V sériové výrobě je velmi důležité se zaměřit na jakékoliv úspory v životním cyklu výrobku. Seběmenší ušetřená částka na jednotlivém výrobku přináší vysoké úspory v celkovém objemu výroby. Tyto úspory mohou být následně využity například jako investice do rozvoje podniku a pomáhají tak obstát v dravém konkurenčním boji. V předchozí části této práce byly probrány metody používané pracovníky kvality k zajištění výrobku odpovídajícího požadavkům zákazníka, výrobek kvalitní, a zároveň je brán zřetel na včasné dodání s co nejmenšími náklady výroby. Využití těchto metod však vyžaduje spolupráci relativně velkých týmů, jejichž členové se podílejí na utváření konečného stavu výrobku.

Existují však i metody, kterými může ke snížení nákladů přispět i samotný konstruktér, přičemž je zachována rychlost i kvalita výroby. Jedná se o progresivní metody tolerování strojních součástí. Tyto metody dovolují navýšení velikosti tolerance a přinášejí tedy i značnou úsporu výrobních nákladů součásti, protože výroba součásti s širokým tolerančním polem je vždy levnější než výroba vysoce přesné součásti. V některých případech dokonce umožňují použití dílů, které by byly v jiných případech považovány za zmetky.

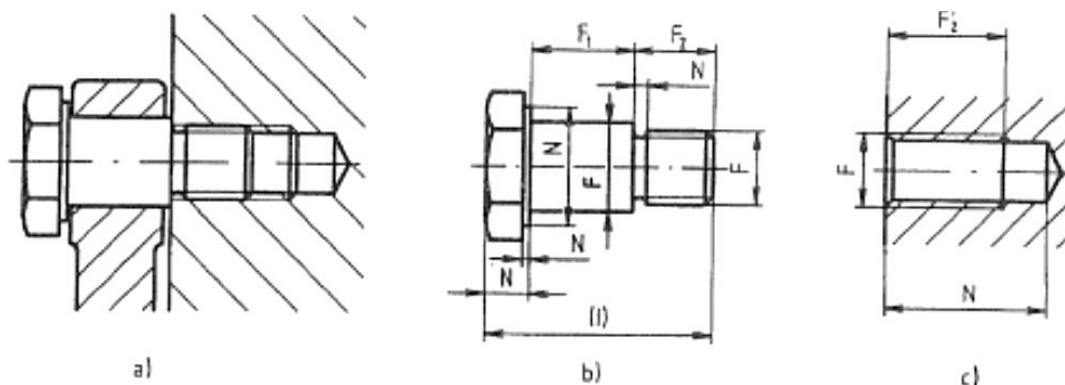
Při používání těchto metod se konstruktér musí spolehnout především na svůj selský rozum nebo na léty získané zkušenosti. Na základě těchto skutečností a důkladném seznámení se s konkrétní součástí a její funkcí pak mohou být vybrány nejvhodnější metody pro daný případ. Dále jsou tyto metody ovlivňující velikost tolerančního pole podrobněji popsány. Jde o funkční a technologické kótování, rozměrové obvody, geometrické tolerance a využití pravidel vzájemné závislosti.

3.1 Funkční a technologické kótování

Velikost tolerančního pole může být ovlivněna pouhým způsobem kótování. Dle toho jak bude součást zakótována, se odvíjí i velikosti jednotlivých tolerancí. Je tedy důležité kótování věnovat náležitou pozornost, protože od výkresu se odvíjí tvorba celé výrobní dokumentace. Při nevhodném zakótování může dojít k nepříznivému ovlivnění přesnosti či zaměnitelnosti a navýšení výrobních nákladů. V textu dále bude probráno funkční a technologické kótování. [18]

3.1.1 Funkční kótování

Dle funkce mohou být rozměry rozděleny na rozměry funkční, nefunkční a informativní (obr. 10). Funkční rozměry se významnou měrou podílejí na funkci součásti, proto jsou většinou tolerovány. Jedná se o rozměry ploch součásti s vazbou na plochy sousední součásti, tyto rozměry se přímo podílejí na funkčnosti, zaměnitelnosti a životnosti součástí. V případě použití geometrických tolerancí se za funkční rozměry považují teoreticky přesné rozměry. Dalším typem jsou rozměry nefunkční související s plochami nepřímo se podílejícími na funkci součásti, tyto rozměry slouží k zajištění pevnosti či vzhledu. Jelikož tyto rozměry nejsou náročné na přesnost, nebývají tolerované a jsou označovány jako netolerované nebo volné. Tyto rozměry podléhají všeobecným tolerancím. Posledním typem jsou rozměry informativní. Tyto rozměry slouží pouze k ulehčení práce při výrobě, kontrole či manipulaci s materiálem. Jsou zapisovány do kulaté závorky a nejsou tolerovány žádným způsobem. [18]

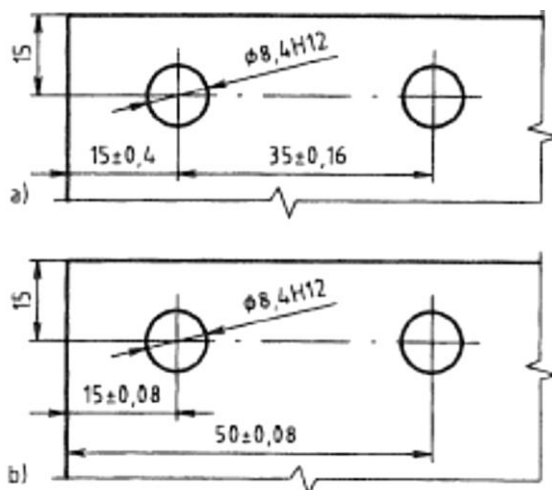


Obr.: 10 Příklad jednoduché montážní skupiny, zobrazující funkční (F), nefunkční (N) a informativní (I) rozměry [18]

Funkční kótování může být dále rozděleno na přímé a nepřímé. Pro přímé kótování se používá soubor kót, na nichž přímo, bez přepočítávání rozměrů a mezních úchylek, záleží správná funkce, smontovatelnost a zaměnitelnost. Každé funkční kótě se předepisují největší možné mezní úchytky. Nepřímými kótami jsou kótovány rozměry nepřímo se podílející na funkci, ale jejich tolerance se odvíjí od funkčních kót. Nepřímé kótování vede ke zpřísnění tolerancí, někdy až na neúnosnou mez. [18]

3.1.2 Technologické kótování

Pokud přímé či nepřímé funkční kótování odpovídá výrobnímu postupu nebo způsobu kontrolování rozměrů, bývá toto kótování označeno jako technologické [18]. Technologické kótování využívá kóty přímo odpovídající danému výrobnímu postupu. Navrhované mezní úchytky funkčních kót tedy musí být přepočítávány, aby byla stále plněna požadovaná funkce. Při přechodu mezi způsobem kótování se mohou toleranční pole výrazně měnit a může tak kvůli zvýšeným požadavkům na přesnost docházet ke značnému prodražování výroby.



Obr.: 11 kótování funkční (a) a technologické (b) [18]

Rozdíl mezi funkčním a technologickým kótováním je patrný na příkladě (obr. 11). Při změně způsobu kótování z funkčního kótování na kótování technologické, tak aby byly zachovány požadované meze, dochází ke zmenšení tolerancí, tak jak je vidět na obrázku. I přes zvýšenou náročnost na přesnost může být takové zakótování výhodné při výrobě na číslicově řízených strojích. [18]

3.1.3 Konstrukční a technologické základny

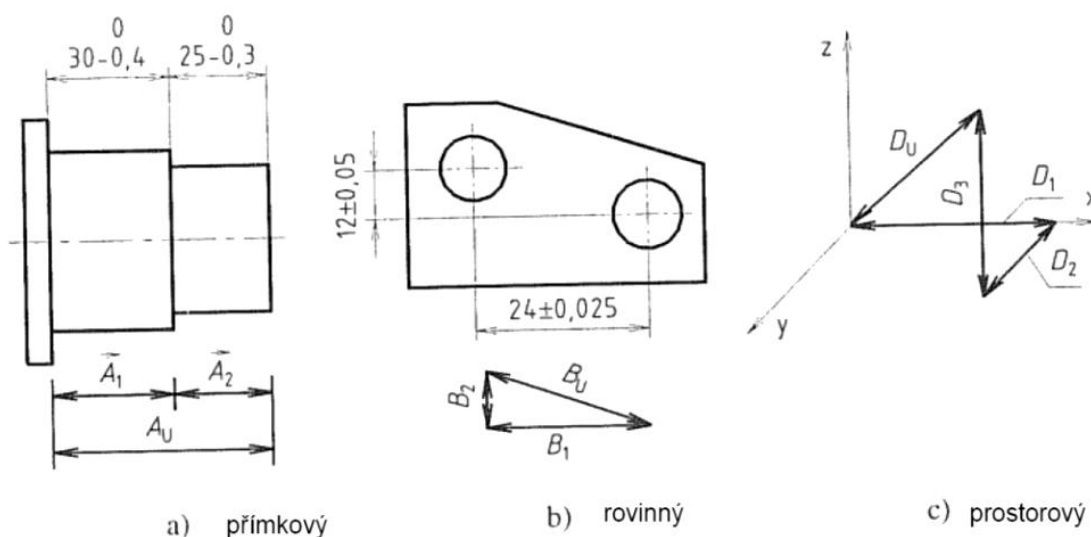
Kóty je však třeba vztahovat k určitým významným prvkům, tyto prvky jsou označovány jako konstrukční nebo technologické základny. Jako konstrukční základny se volí důležité plochy, roviny nebo osy souměrnosti. Technologické základny jsou plochy sloužící k upínání a měření vyráběných součástí, jsou východiskem pro předpokládaný postup výroby. Na volbě základen závisí hospodárnost výroby, stejné přesnosti může totiž být dosaženo za vyšších či nižších nákladů při pouhé závislosti na změně základny. [18]

3.2 Rozměrové obvody

Tyto obvody jsou tvořeny na sebe navazujícími rozměry, které vznikají na montážních jednotkách či na jednotlivých součástech. Aby plnily svou funkci, musí být jednotlivé části součásti či jednotky montážního celku správně zatolerovány. Právě k určení optimálních tolerancí může být použita problematika rozměrových obvodů. Pokud by byly součástky vyráběny se zbytečně vysokou přesností, docházelo by k neúnosnému zdražování výroby, přitom nemusí být dosaženo požadované kvality. [18]

Jednotlivé členy obvodu mohou být rozděleny dle své funkce v obvodu na členy dílčí a člen uzavírací. Jako dílčí členy jsou označovány rozměry spolu se svými tolerancemi, které jsou na výkrese přímo zakótovány nebo vyplývají z předchozích operací. Uzavírací člen je v obvodu pouze jeden, jedná se o výsledný rozměr vzniklý výrobou či montáží. Velikost jeho tolerance je závisle proměnná na tolerancích členů dílčích. V obvodu se takový člen označuje zdvojenou kótou a indexem 0. Dle své funkce v rozměrovém obvodu může být dílčí člen dále rozdělen na člen zvětšující, zmenšující či kompenzační. Při změně zvětšujícího dílčího členu dochází ke změně uzavíracího členu ve stejném smyslu, při zvětšení dílčího členu dochází ke zvětšení uzavíracího členu. Změna zmenšujícího dílčího členu způsobuje změnu uzavíracího členu v opačném smyslu, při zmenšení dochází ke zvětšení a naopak. Kompenzační člen je se používá k dosažení požadované přesnosti členu uzavíracího. [18]

Rozměrové obvody mohou být dále děleny z hlediska prostorového uspořádání na obvody přímkové, rovinné a prostorové (obr. 12). [18]



Obr.: 12 Dělení rozměrových obvodů [18]

Během řešení rozměrového obvodu mohou nastat dvě situace. V prvním případě se stanovují mezní úchytky dílčích členů z mezních úchytek uzavíracího členu, tato úloha je označována jako přímá. Tato úloha je řešena při navrhování funkčních a montážních skupin a při přechodu ze základny konstrukční na základnu technologickou. Druhý případ se zabývá stanovením mezních úchytek uzavíracího členu z mezních úchytek členů dílčích. Řeší se k ověření správnosti řešení konstrukční úlohy. [18]

Pro výpočet rozměrových obvodů může být použita metoda maximum- minimum. Tato metoda spočívá v požadavku na dodržení mezních úchylek uzavíracího členu při jakékoli kombinaci rozměrů členů dílčích. Je tak zaručena úplná zaměnitelnost součásti bez nutnosti jejího dalšího přizpůsobení. Z tolerance uzavíracího členu se tedy odvozují tolerance členů dílčích, proto je tato metoda vhodná pouze pro obvody s malým počtem členů nebo v případech, kdy není požadována vysoká přesnost výsledného rozměru. [18]

Další metodou určenou k řešení rozměrových obvodů je kompenzační metoda. Tato metoda je využívána především v kusové či malosériové výrobě. Metoda spočívá v úpravě výsledného rozměru pomocí kompenzačního členu, tímto členem může být distanční podložka či upravená součást montážní jednotky. Rozměry kompenzačního členu se upravují až při montáži v závislosti na členech dílčích. Velice výhodné je zde používání stavitelných součástí (např. stavěcí šrouby). [18]

Třetí metodou je metoda statistická. Statistická metoda vyplývá z předpokladu, že většina vyrobených součástí vyskytuje ve středu tolerančního pole a pouze minimum na jeho krajích. [18]

Poslední metodou řešení rozměrových obvodů je metoda úplné zaměnitelnosti. Tato metoda je používána ve velkosériové a hromadné výrobě přesných výrobků, jedná se například o valivá ložiska. U výrobku není požadovaná zaměnitelnost jednotlivých částí, jelikož se tento výrobek montuje jako celek. Tolerance uzavíracího členu je rozdělena na několik stejných dílů, jejichž velikost odpovídá požadované funkční přesnosti. Jedná se například o třídění kuliček valivých ložisek do různých tříd přesnosti. Metoda je výhodná hlavně při automatizovaném třídění. [18]

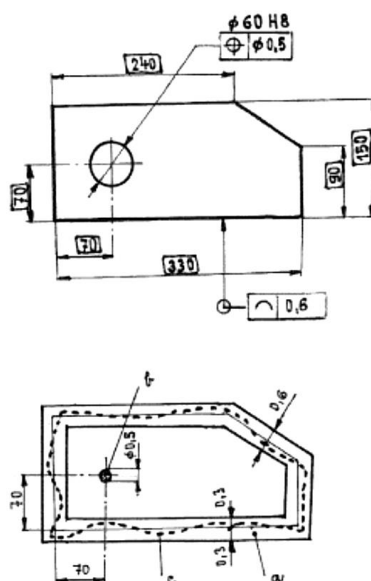
Rozměrové obvody je tedy nutné navrhovat co nejjednodušší s minimálním počtem členů a tak, aby toleranční pole členů bylo co největší, ale zároveň umožňovalo plnění funkce součásti. Jedna součást může být zakótována mnoha způsoby a může tedy vzniknout značné množství rozměrových obvodů s různými parametry. Při kótování a navrhování rozměrového obvodu je tedy opět nutné vycházet ze selského rozumu či nabytých zkušeností.

3.3 Tolerance geometrické přesnosti

Potřeba předepisování geometrických tolerancí tvaru, směru, házení a polohy byla způsobena dalším zhromadňováním výroby, rozšiřováním výrobní kooperace a zvláště zvyšováním požadavků na přesnost výrobků.

Úchytky od tolerovaných prvků mohou nepříznivě ovlivnit funkci jak jednotlivých součástí, tak celých strojů. Velmi nepříznivě mohou působit například úchytky kruhovitosti elementů valivých ložisek, tyto úchytky zvyšují opotřebení a hlučnost chodu, házení rotujících kotoučů a hřídelů způsobuje chvění strojů. U obráběcích strojů je zase velmi důležité dodržet tolerance přímosti, rovnoběžnosti nebo kolmosti vodících a upínacích ploch, jelikož na těchto parametrech velmi závisí přesnost stroje. Aby byly součásti plně zaměnitelné, je nutné udržet úchytky rozměrů, struktury povrchů a geometrické úchytky funkčních ploch v určitých mezích, tzn. vyrábět součásti v daných tolerancích. [18]

Stanovení zásad označování a předepisování tolerancí tvaru, směru, umístění a házení na technických výkresech strojírenských součástí je uvedeno v ČSN EN ISO 1101:2006 „Geometrické specifikace výrobků (GPS)- Geometrické tolerování- Tolerance tvaru, orientace, umístění a házení“. [19]

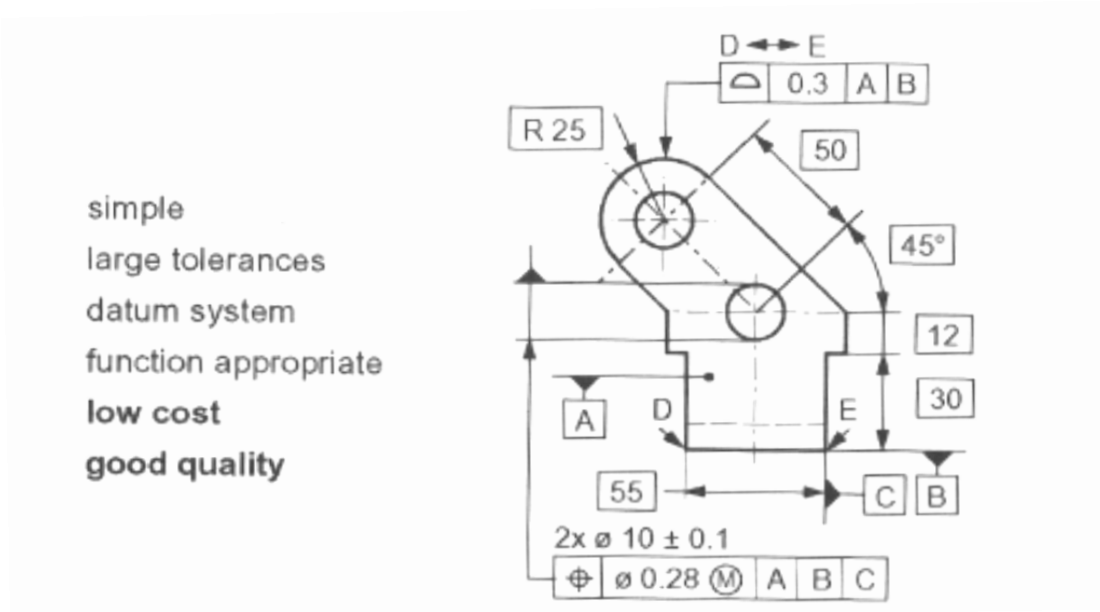


Legenda

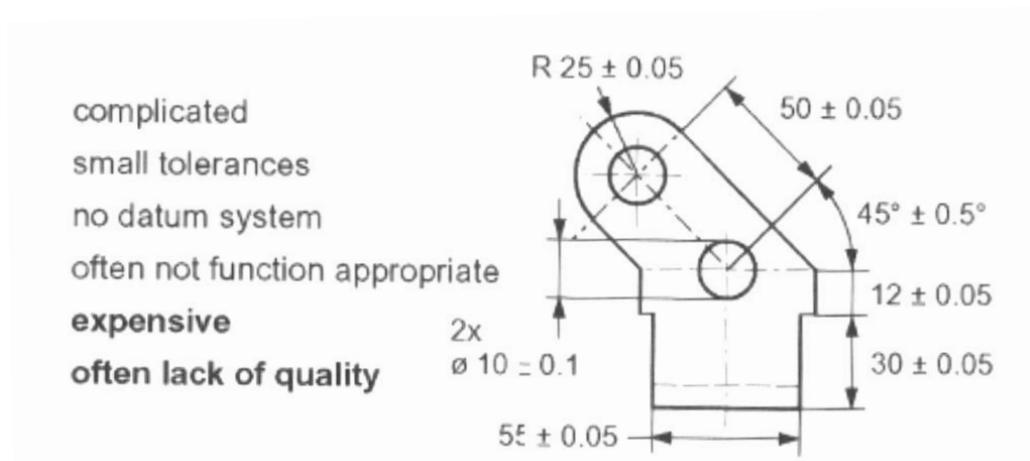
- a – toleranční pole obrysu součásti
- b – toleranční pole středu díry
- c – obrys skutečné součásti (vyznačen tečkovanou čarou)

Obr.: 13 Toleranční pole geometrické tolerance [19]

Co se vlastně geometrickou tolerancí předepisuje, je zobrazeno na obrázku výše (obr. 13). Rozměry součásti jsou předepsány pomocí teoreticky přesných rozměrů a toleranční pole jsou předepsána geometrickými tolerancemi. Z obrázku je patrný charakter předepsaných geometrických tolerancí. Z obrázku je také vidět jednoduchost a přehlednost výkresu při použití geometrických tolerancí (tolerance profilu a umístění), při použití rozměrových tolerancí by musely být všechny rozměry tolerovány zvlášť.



Obr.: 14 Geometrické tolerance [20]



Obr.: 15 Rozměrové tolerance [20]

Na horním obrázku je zobrazena součást s předepsáním geometrických tolerancí, přičemž rozměry jsou uvedeny pomocí teoreticky přesných rozměrů (obr. 14). Dolní obrázek pak zobrazuje zatolerování stejné součásti pomocí rozměrových tolerancí (obr. 15). Obrázky zobrazují hlavní rozdíly mezi oběma typy tolerování. Z popisu obrázků jasně vyplývá, že geometrické tolerance předčí rozměrové tolerance v mnoha ohledech. Z obrázků je patrné, že pomocí geometrických tolerancí lze dosáhnout vyšší kvality výrobku, nižší ceny a větších tolerančních polí než při použití běžného tolerování rozměrů. V některých případech dochází i ke zlepšení přehlednosti výkresové dokumentace. Využívání těchto metod je tedy velmi užitečné a konstruktér by s tímto způsobem tolerování měl být dobře obeznámen a aktivně jej využívat.

Pro základní představu jsou dále uvedeny typy geometrických tolerancí rozdělené dle směru, házení, tvaru a umístění (obr. 16, 17, 18, 19).

3.3.1 Přehled geometrických tolerancí a doplňkových značek

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
směru	rovnoběžnost		ano
	kolmost		ano
	sklon		ano
	(obrysová) čára profilu		ano
	povrch (plocha) profilu		ano

Obr.: 16 Tolerance směru [19]

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
házení	kruhové házení		ano
	celkové házení		ano

Obr.: 17 Tolerance házení [19]

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
tvaru	přímost		ne
	rovinnost		ne
	kruhovitost		ne
	válcovitost		ne
	(obrysová) čára profilu		ne
	povrch (plocha) profilu		ne

Obr.: 18 Tolerance tvaru [19]

Tolerance	Charakteristika	Značka	Potřebnost základny
umístění	poloha		ano nebo ne
	soustřednost		ano
	souosost		ano
	souměrnost		ano
	(obrysová) čára profilu		ano
	povrch (plocha) profilu		ano

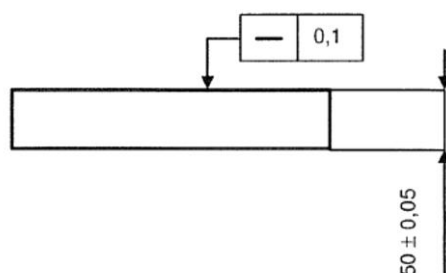
Obr.: 19 Tolerance umístění [19]

3.4 Základní pravidla GPS pro tolerování - Pravidlo vzájemné nezávislosti

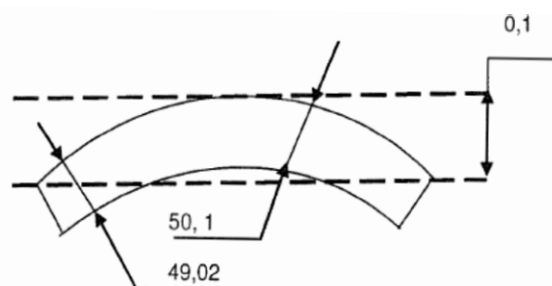
Toto základní pravidlo spočívá v nezávislosti tvaru a rozměru vyráběných součástí. Na výkresech je předepisováno odkazem na normu ISO 8015. [21]

V případě rozměrových tolerancí jsou brány v potaz pouze rozměry výrobku bez ohledu na jeho tvar, tedy geometrickou toleranci. Obdobně pravidlo platí i v případě geometrických tolerancí, zde se bere v úvahu pouze dodržení tvaru bez ohledu na rozměry, rozměrovou toleranci. [21]

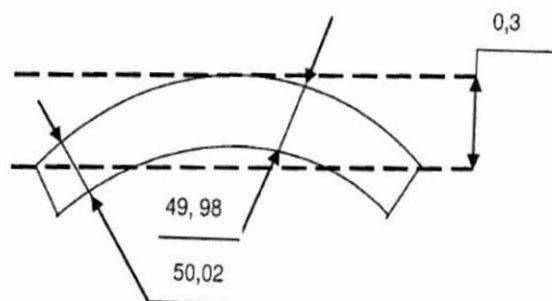
Pokud je tedy na výkrese předepsána například geometrická tolerance přímosti a rozměrová tolerance výšky (obr. 20), pravidlo vzájemné nezávislosti říká, že jsou tyto tolerance posuzovány nezávisle na sobě. Výsledný výrobek se tak může nacházet ve třech stavech. V prvním případě může být splněna podmínka geometrické tolerance, ale tolerance rozměru bude nesplněna (obr. 21). V dalším případě je splněna tolerance rozměru, výrobek však nevyhovuje z hlediska tvaru (obr. 22). Poslední případ zobrazuje splnění obou předepsaných podmínek, avšak za předpokladu jejich vzájemné nezávislosti (obr. 23). [21]



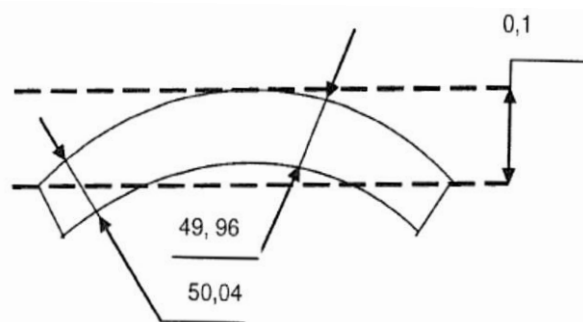
Obr.: 20 Předepsání tolerancí na výkresu [21]



Obr.: 21 Výrobek dodržuje podmínku přímosti, avšak nesplňuje rozměrové tolerance [21]



Obr.: 22 Výrobek dodržuje rozměrové tolerance, ale nesplňuje tolerance geometrické [21]



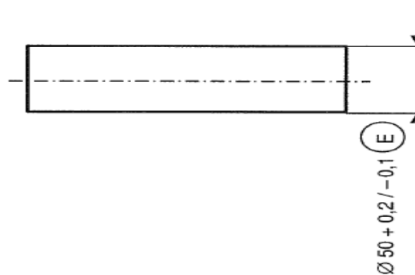
Obr.: 23 Výrobek splňuje geometrickou toleranci nezávisle na toleranci rozměrové [21]

3.5 Základní pravidla GPS pro tolerování - Požadavky vzájemné závislosti

Pokud je požadováno splnění podmínky geometrické a rozměrové tolerance ve vzájemné závislosti je nutné tuto podmínku na výkrese předeepsat. Mezi podmínky vzájemné závislosti je zařazována zejména podmínka obalové plochy, podmínky maxima a minima materiálu, podmínka reciprocity a podmínka posunutého tolerančního pole. [21]

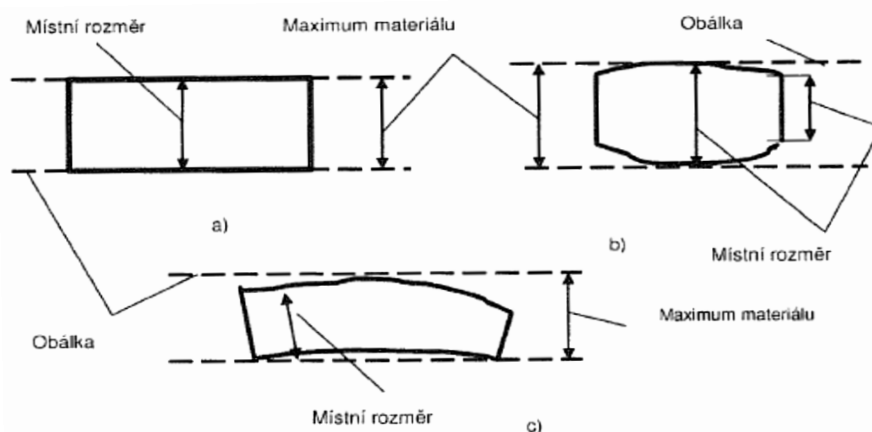
3.5.1 Podmínka obalové plochy

Tato podmínka se označuje na výkrese písmenem E v kroužku a říká, že vyráběná součást typu hřídel musí splňovat podmínku rozměrové tolerance a zároveň se musí celým svým objemem nalézat ve virtuálním válci o rozměru maxima materiálu. Podmínka se používá při definování uložení. Předpis na výkrese je zobrazen na obrázku níže (obr. 24). [21]



Obr.: 24 Předpis obalové plochy [21]

Pokud hřídel bude vyrobena v celé své délce na mezi maxima materiálu, bude to muset být ideální válec a bude tedy odpovídat obalové ploše (obr. 25 a). Pokud bude hřídel vyrobena jako soudek, musí její rozměry odpovídat rozměrové toleranci, musí se tedy pohybovat mezi dolní a horní mezí tolerance a nesmí překročit obalovou plochu (obr. 25 b). Na posledním obrázku (obr. 25 c) je zobrazena hřídel, jenž byla vyrobena jako prohnutá, i zde musí být splněna podmínka rozměrové tolerance a vyrobený kus musí ležet v obalové ploše. [21]

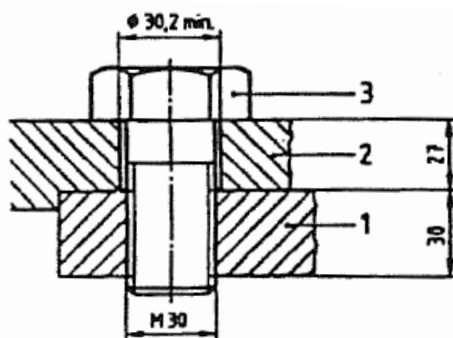


Obr.: 25 Stavy vyrobených hřídelí [21]

Obdobně tato podmínka platí i pro otvory. V takovém případě se však pracuje s dolní mezí, tedy s maximem materiálu. Obalová plocha odpovídá ideálnímu válci o rozměru dolní meze rozměrové tolerance. Vyrobený otvor tedy nesmí zasahovat do takto vytvořeného válce. [21]

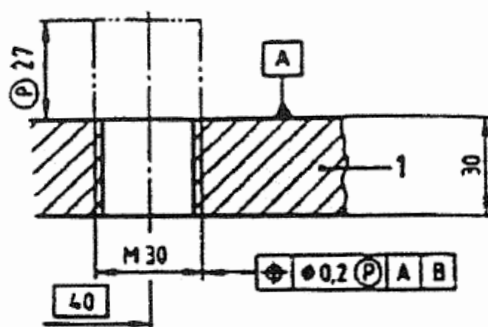
3.5.2 Podmínka posunutého tolerančního pole

Pomocí této podmínky je virtuálně připojována související součást či spojovací prvek, zajišťuje se tak jejich vzájemná smontovatelnost. Toleranční pole je prodlouženo nad tolerovaný prvek do úrovně, odpovídající nejmenší potřebné délce související součásti či spojovacího prvku. Podmínka posunutého tolerančního pole bude vysvětlena na spoji dvou součástí pomocí šroubu (obr. 26), kde je tolerovaná součást (1) spojena se související součástí (2) za pomoci spojovacího prvku (3). [21]



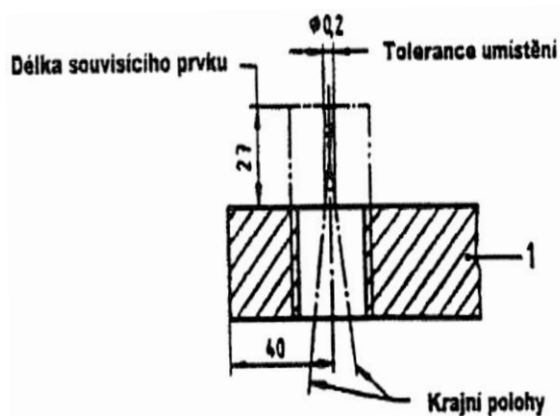
Obr.: 26 Výkres sestavy spoje [21]

Při tolerování za použití posunutého tolerančního pole je toto pole vyznačeno čerchovanou čarou se dvěma tečkami, okótováno a před kótou je uvedena značka P v kroužku. Stejná značka se uvádí i v rámečku geometrické tolerance, posunuté toleranční pole je tak jasně definováno. Příklad takového označení na výkrese je uveden na obrázku (obr. 27). [21]

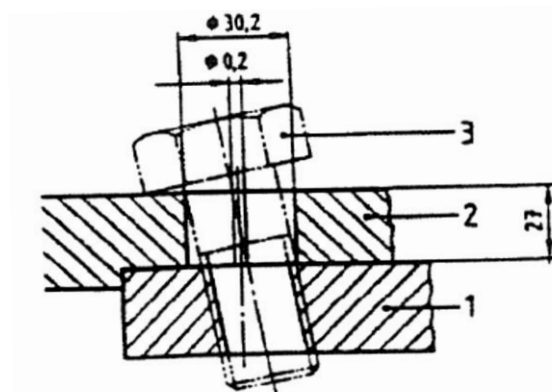


Obr.: 27 Značení posunutého tolerančního pole na výkrese [21]

Důsledek takového způsobu tolerování je zobrazen na obrázku níže (obr. 28). Poloha osy otvoru se odvíjí od tolerance umístění v posunutém tolerančním poli, je tak zaručena smontovatelnost tolerované a související součásti (obr. 29). [21]

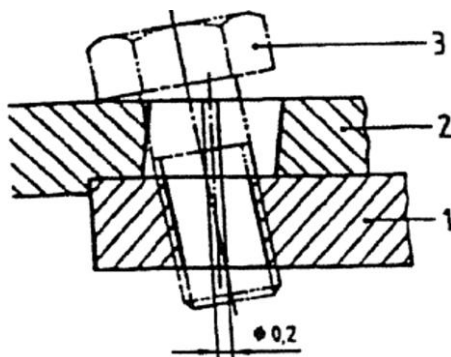


Obr.: 28 Důsledek posunutého tolerančního pole [21]



Obr.: 29 Sestava součástí za použití posunutého tolerančního pole [21]

Součást by mohla být tolerována i běžným způsobem, tedy bez použití posunutého tolerančního pole (obr. 30). V takovém případě by však mohla nastat situace, kdy by spojovací prvek zasahoval do související součásti a sestavu by tedy nebylo možné smontovat. K takovýmto případům může dojít zejména při použití dlouhých spojovacích prvků. [21]

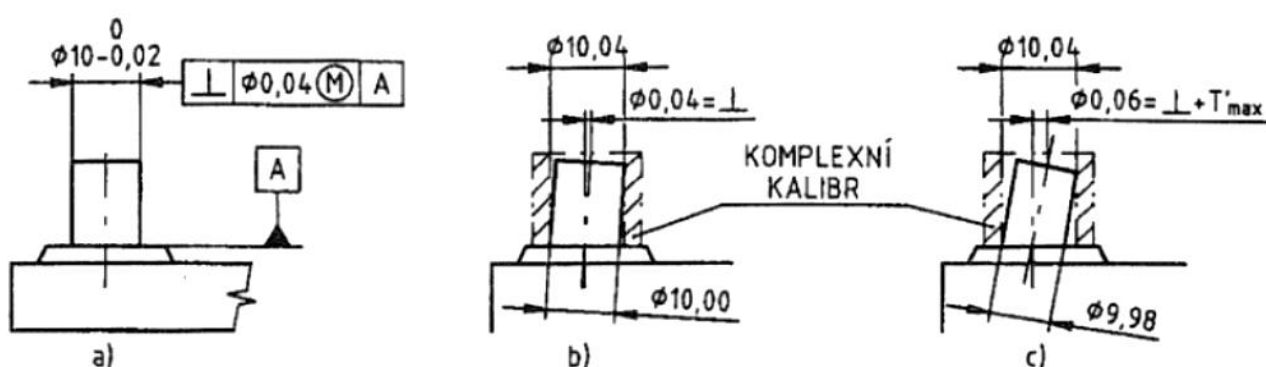


Obr.: 30 Součást tolerována běžným způsobem [21]

3.5.3 Požadavek maxima materiálu

Jedním z dalších způsobů vazby geometrie a rozměrů je podmínka maxima materiálu. Tato podmínka dovoluje za určitých okolností zvětšit geometrickou toleranci na úkor tolerance rozměrové, aniž by byla ohrožena smontovatelnost takto tolerované součásti. Na výkrese je označována písmenem M v kroužku a předepisuje se do tolerančního rámečku (obr. 31 a). [22]

Tento požadavek říká, že pokud vyráběná součást nedosahuje maxima materiálu, prvek typu díra nedosahuje svého dolního mezního rozměru či prvek typu hřídel nedosahuje svého horního mezního rozměru, je možno geometrickou toleranci zvětšit o rozdíl mezi skutečným rozměrem a mezi maxima materiálu. [22]



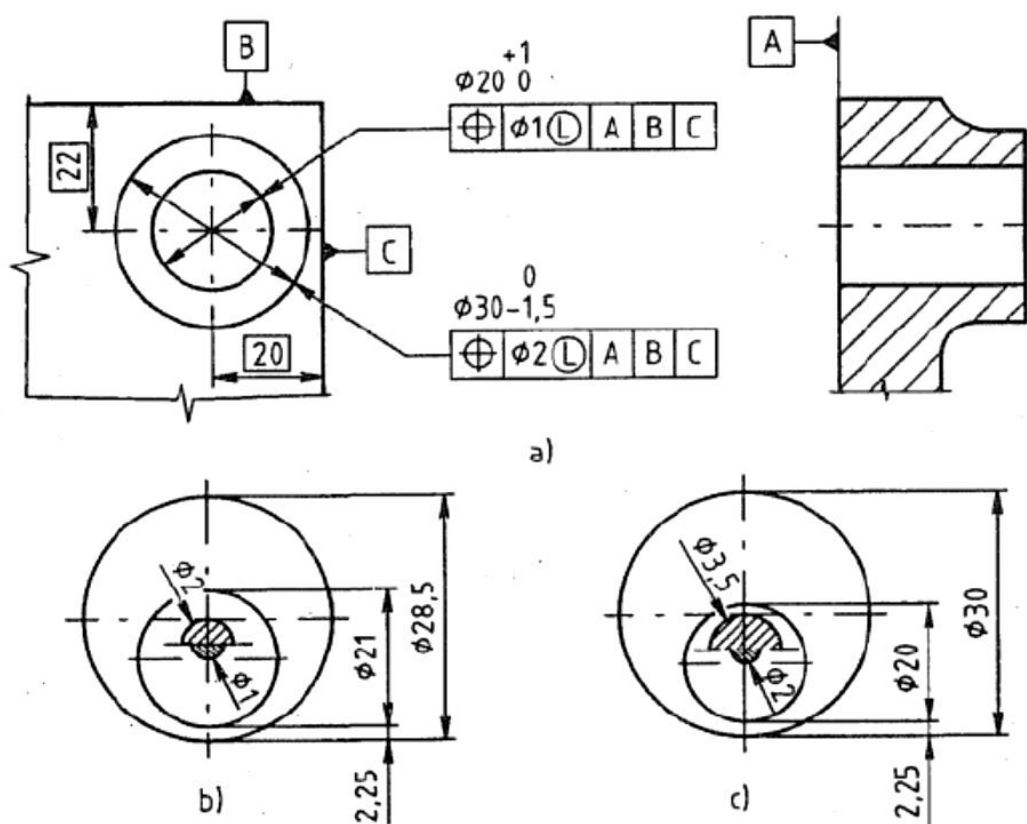
Obr.: 31 Znázornění podmínky maxima materiálu [22]

Závislost mezi geometrickou a rozměrovou tolerancí je dobře patrna na obrázku výše. V prvním případě dosahuje čep meze maxima materiálu (obr. 31 b) geometrická tolerance tedy nemůže být zvětšena. V případě druhém je čep na mezi minima materiálu (obr. 31 c) geometrická tolerance tedy může být zvětšena o rozdíl mezi skutečným rozměrem a mezi maxima a plně tak využít podmínku maxima materiálu. Geometrická tolerance kolmosti tedy byla zvětšena, přičemž nebyla ohrožena smontovatelnost součásti. Podmínka maxima materiálu tedy využívá rezervy, která by vznikla mezi kalibrem a čepem. [22]

3.5.4 Požadavek minima materiálu

Podobně jako podmínka maxima materiálu dovoluje i podmínka minima materiálu zvětšit geometrickou toleranci na úkor tolerance rozměrové. V tomto případě je však podmínka používána především k zajištění minimální tloušťky stěny. Podobně jako podmínka maxima se předepisuje do tolerančního rámečku geometrické tolerance, avšak v tomto případě se předepisuje značkou L v kroužku (obr. 32 a). [22]

Velmi blízká je i definice tohoto požadavku. Tento požadavek je možno aplikovat, pokud skutečný rozměr sledovaného prvku nedosahuje meze minima materiálu, u prvku typu díra rozměr nedosahuje horního mezního rozměru a u prvku typu hřídel rozměr nedosahuje dolního mezního rozměru. Pokud dojde ke splnění této podmínky je možno geometrickou toleranci zvětšit o rozdíl mezi skutečným rozměrem a mezí minima materiálu. [22]



Obr.: 32 Aplikace podmínky minima materiálu [22]

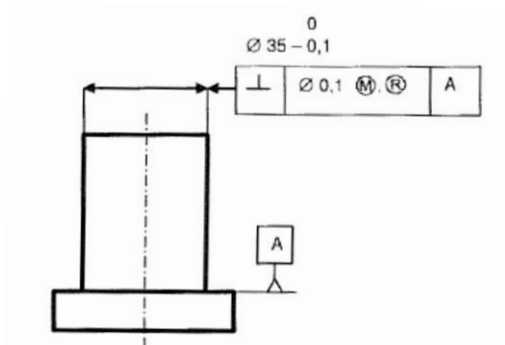
Využití podmínky minima materiálu pro zaručení nejmenší tloušťky stěny je zobrazeno na obrázku výše. V prvním případě jsou náliček a díra vyrobeny na mezi minima materiálu (obr. 32 b), v tomto případě tedy nelze použít podmínku minima materiálu a zároveň se jedná o nejnepříznivější situaci, která může nastat. V druhém případě jsou však náliček i díra vyrobeny na mezi maxima materiálu, podmínka minima materiálu tedy může být plně využita, geometrické tolerance se zvětšují o rozdíly mezi skutečnými rozměry a mezemi minima materiálu, přičemž je tloušťka stěny stále zachována (obr. 32 c). [22]

3.5.5 Požadavek reciprocity

Požadavek reciprocity může být chápán jako inverzní funkce k požadavku maxima či minima materiálu. Dovoluje totiž změnu tolerance rozměrové v závislosti na toleranci geometrické. Součást tedy může přesahovat horní či dolní rozměrovou mez za předpokladu, že využití podmínky maxima či minima materiálu není plně využito. Tento požadavek je označován písmenem R v kroužku a vписuje se za požadavek maxima či minima materiálu do tolerančního rámečku. [22]

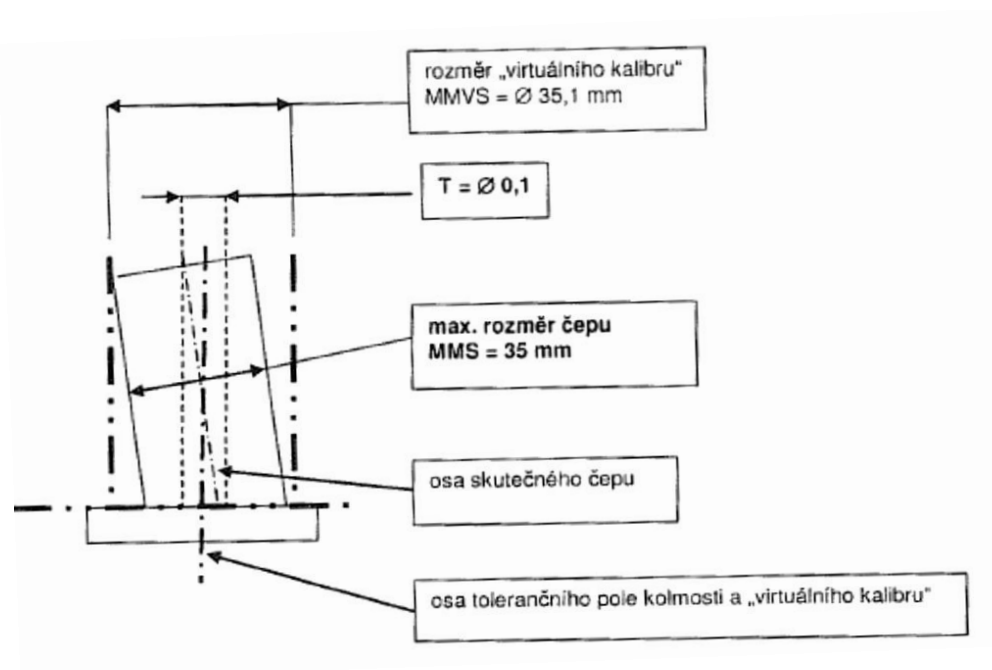
3.5.6 Požadavek reciprocity u maxima materiálu

Požadavek dovoluje zvětšení rozměrové tolerance, jestliže geometrická úchylka plně nevyužívá výhodu podmínky maxima materiálu. Značení je na obrázku níže(obr. 33). [22]



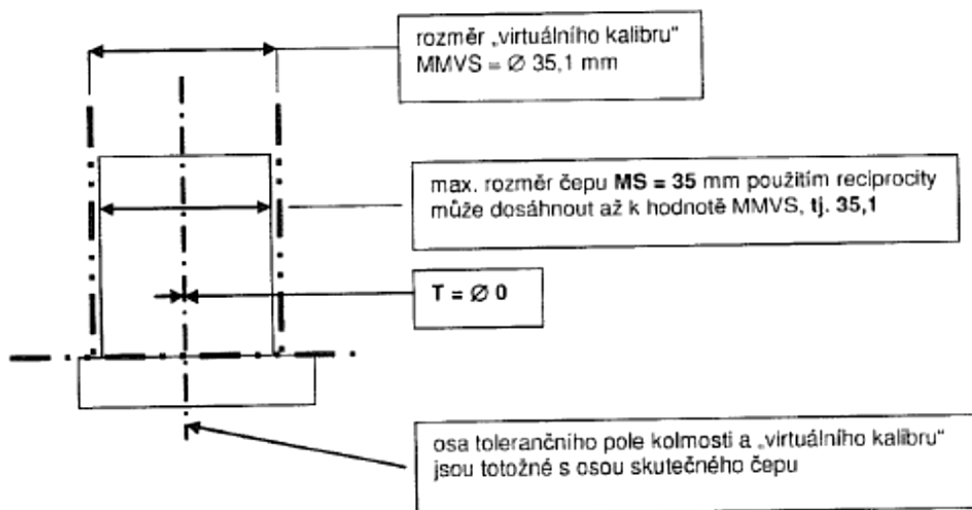
Obr.: 33 Příklad tolerovaného čepu [22]

Pro vysvětlení aplikace reciprocity bude využit virtuální kalibr. Kalibr je odvozen od rozměru čepu na maximum materiálu a maximálnímu využití geometrické tolerance (obr. 34).



Obr.: 34 Plné využití geometrické tolerance a čep na mezi maxima [22]

Pokud bude osa kalibru a tolerančního pole shodná s osou vyrobeného čepu, může rozměr tohoto čepu dosáhnout rozměru virtuálního kalibru. Dojde tak ke zvětšení rozměrové tolerance (obr. 35). [22]



Obr.: 35 Plně využitá reciprocita u podmínky maxima materiálu [22]

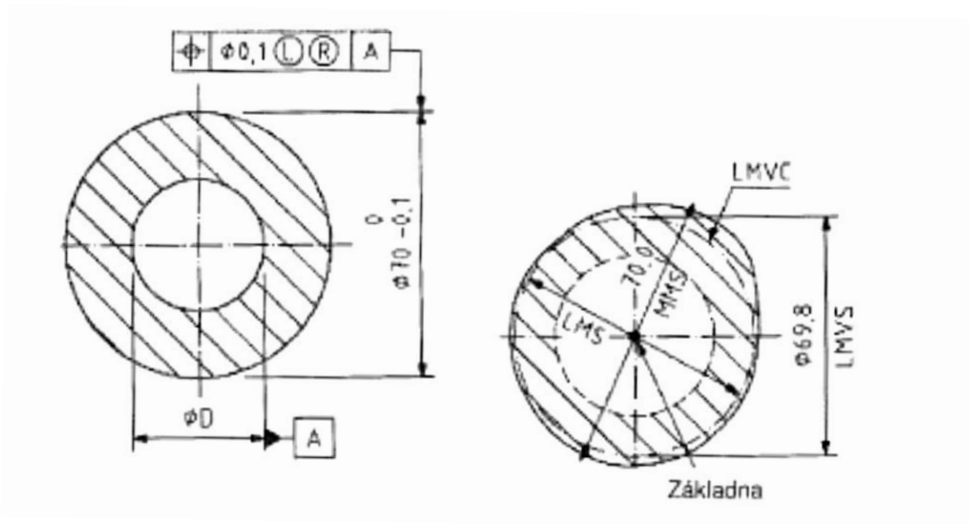
Vztah mezi využitím podmínky maxima materiálu a rozměrové tolerance zobrazuje následující tabulka (tab. 3). V tabulce je sledována závislost mezi velikostí tolerančního pole geometrické tolerance a rozměrem sledovaného čepu. Pokud bude součást vyrobena na teoretickém rozměru, může být její rozměr zvětšen až o velikost tolerančního pole geometrické tolerance. V tomto případě tedy může být čep vyroben až o 0,1 mm větší než je předepsáno rozměrovou tolerancí, ovšem pouze za předpokladu, že čep bude vyroben naprosto kolmo k základně A. Z tabulky vyplývá, že maximální rozměr čepu se odvíjí od rozdílu virtuálního kalibru a aktuálního „nevyužití“ geometrické tolerance.

MMVS Virtuální kalibr [mm]	Geometrická tolerance T [mm]	Místní rozměry čepu [mm]
35,1	0,1	35
	0,05	35,05
	0	35,1

Tab.: 3 Závislost mezi geometrickou a rozměrovou tolerancí [22]

3.5.7 Požadavek reciprocity u minima materiálu

Podmínka dovoluje zvětšení rozměrové tolerance, jestliže geometrická úchylka plně nevyužívá výhodu podmínky minima materiálu. [22]



Obr.: 36 Interpretace požadavku reciprocity u minima materiálu [22]

Obdobně jako při použití reciprocity u maxima materiálu ke zvětšení rozměrové tolerance, lze využít reciprocity u minima materiálu k dalšímu snížení tolerance rozměrové. I v tomto případě může být rozměrová tolerance zvětšena až o 0,1mm a to v případě, že tolerance geometrická nebude využívat toleranční pole, průměr tolerančního pole tedy bude roven nule (obr. 36). [22]

4 Závěr

Bakalářská práce se zabývala zajišťováním kvality výrobku z pohledu konstruktéra. V práci byly probrány metody plánování kvality APQP a VDA 4.3 z nichž vycházejí nástroje umožňující přípravu sofistikované výkresové dokumentace. Jedná se především o QFD, 2D analýzu vad, FMEA, DOE, MSA a SPC. Při použití těchto nástrojů je podchyceno značné množství nedostatků už v raných fázích životního cyklu výrobku, příprava výroby se zrychluje a náklady se snižují. K převedení požadavků zákazníka na měřitelné parametry výrobku slouží QFD, k odhalení kritických vad výrobku může být použita 2D analýza vad. Řešením případných vad se pak zabývá FMEA. DOE slouží především k nastavení všech parametrů výrobku na optimální úroveň a ke zkoumání vzájemných interakcí mezi parametry. Představu o tom, jak bude velikost tolerančního pole zmenšena nejistotou měření a variabilitou výrobního procesu, získává konstruktér z nástrojů MSA a SPC. Z práce také vyplývá, že pro úspěšnou aplikaci nástrojů a metod je nutné sestavit tým odborníků, kteří jsou obeznámeni s celým životním cyklem výrobku. Pouze s takovým týmem je možné vytvořit výrobní dokumentaci bez chyb, které by se objevily až v dalších etapách výroby.

V druhé části bakalářské práce byly probírány metody umožňující ovlivnění velikosti tolerančního pole. Z rešerše vyplývá, že se velikost tolerančního pole dá ovlivnit samotným způsobem tolerování (technologické a funkční tolerování). Vhodnost způsobu tolerování je nutné posoudit dle konkrétních výrobků a výrobních technologií. Dále se problematikou tolerancí zabývá řešení rozměrových obvodů. Na způsobu zakótování a zatolerování rozměrového obvodu závisí konečná funkčnost výrobku. Při řešení rozměrových obvodů je nutné se spolehnout především na selský rozum nebo zkušenosti a navrhnout obvod tak, aby počet členů v obvodu byl co nejmenší, součást plnila svou funkci a zároveň bylo umožněno dosažení co největších tolerančních polí. Toleranční pole lze výraznou měrou zvětšit použitím geometrických tolerancí místo tolerancí rozměrových. Posledními metodami zmíněnými v této bakalářské práci jsou pravidla vzájemné závislosti mezi geometrickými a rozměrovými tolerancemi, především pak pravidlo posunutého tolerančního pole, pravidlo maxima materiálu a pravidlo minima materiálu. Pravidlo posunutého tolerančního pole se používá k zajištění smontovatelnosti dílů pomocí dlouhých spojovacích prvků. Pravidla maxima a minima materiálu dovolují při vhodných podmínkách zvětšit geometrickou toleranci na úkor tolerance rozměrové, zvětšováním rozměrových tolerancí na úkor geometrických se zabývají pravidla reciprocity. Při použití pravidel vzájemné závislosti geometrických a rozměrových tolerancí mohou být použity i součásti, které by byly při běžném způsobu tolerování považovány za zmetky.

V bakalářské práci byl uveden výčet pouze nejpoužívanějších nástrojů kvality a metod ovlivňujících toleranční pole výrobků. Pro běžné aplikace by však tento výčet měl být plně vyhovující. Poznatky získané při přípravě dokumentace dle těchto nástrojů a metod lze aplikovat na výrobky podobné a ušetřit tak značné množství nákladů a času. Velmi důležitá je vazba mezi zajišťováním kvality a GPS. Tato témata jsou ve většině literatury řešena odděleně a tak nepřinášejí pro konstruktéra kýžený efekt, proto by tato práce mohla být v dané oblasti určitým přínosem.

Seznam použité literatury

- [1] **CHALOUPKA, J.** *Jednoduše kvalita*. Praha : Pre-Press, 2008. ISBN 978-80-254-1346-3.
- [2] **NENADÁL, J.** *Moderní systémy řízení jakosti*. Praha : Management Press, 2007.
- [3] **VYKYDAL, D.** Plánování jakosti a jeho význam pro dodavatele automobilového průmyslu. *Katedra kontroly a řízení jakosti*. [Online] Prosinec 2000. [Citace:15. březen 2012] <http://katedry.fmmi.vsb.cz/639/qmag/mj15-cz.htm>.
- [4] **DILLINGER, J. a kolektiv.** *Moderní strojírenství pro školu a praxi*. Praha : Europa - Sobotáles cz. s.r.o., 2007. ISBN 80-86706-19-2 .
- [5] **NETOLICKÝ, P. a MAZÍNOVÁ, I.** *Plánování kvality výrobku v předvýrobních etapách*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2011. ISBN: 978-80-7043-934-0.
- [6] APQP - Advanced Product Quality Planning. *PROCESS QUALITY MANAGEMENT*. [Online] 2012. [Citace: 25. duben 2012] http://www.pqm.cz/NVCSS/met_PDF/APQP_webcss.pdf.
- [7] **NETOLICKÝ, P. a I., MAZÍNOVÁ.** Plánování kvality v předvýrobních etapách a vzdělávání. *MM- Průmyslové spektrum*. [Online] 9. Červen 2011. [Citace: 10. duben 2012] <http://www.mmspektrum.com/clanek/planovani-kvality-v-predvyrobnich-etapach-a-vzdelavani.html>.
- [8] **ČILO, V.** Softvérová podpora metod a nástrojov plánovania kvality. *Kiwiki - informácie nakope*. [Online] 2011. [Citace: 25. duben 2012] http://www.kiwiki.info/mediawiki/index.php/Softvérová_podpora_metód_a_nástrojov_plánovania_kvality.
- [9] QFD (Quality Function Deployment). *Quality Management Tools*. [Online] 2008. [Citace: 18. květen 2012] http://quality-management-tools.com/Quality_Function_Deployment.htm.
- [10] **LEVAY, R.** ikvalita.cz - Portál pro kvalitáře. *FMEA a risk management*. [Online] 2011. [Citace: 12. březen 2012] <http://www.ikvalita.cz/tools.php?ID=101>.
- [11] FMEA. *Wikipedia*. [Online] 29. 12 2011. [Citace: 12. březen 2012] <http://cs.wikipedia.org/wiki/FMEA>.
- [12] Vzdělávací moduly NC. *Střední škola technická Most*. [Online] 2007. [Citace: 16. únor 2012] http://www.sstmst.cz/doc/pdf/akt3_metodika_NCtech.pdf.
- [13] DOE - Design of Experiments/Taguchi. *PROCESS QUALITY MANAGEMENT*. [Online] 2012. [Citace: 23. duben 2012] http://www.pqm.cz/NVCSS/met_PDF/DOE_webcss.pdf.
- [14] MSA - Measurement System Analysis. *PROCESS QUALITY MANAGEMENT*. [Online] 2012. [Citace: 10. březen 2012] http://www.pqm.cz/NVCSS/met_PDF/MSA_webcss.pdf.
- [15] **PERNÍKÁŘ, J.** Hodnocení způsobilosti kontrolních prostředků. *Kvalita a geometrické specifikace produktů*. [Online] [Citace: 15. Duben 2012] http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/31_Pernikar_VUTBR.pdf.

- [16] **HORÁLEK, V., KŘEPELA, J. a MICHÁLEK, J.** Statistická regulace procesu. *Fakulta strojí ČVUT*. [Online][Citace:10.duben2012]
[http://student.fsid.cvut.cz/~vyvadjak/skola/RJ/download/Statistické metody řízení jakosti/Publikace-20pdf/Část E1, E2-Statistická regulace procesu.pdf](http://student.fsid.cvut.cz/~vyvadjak/skola/RJ/download/Statistické%20metody%20řízení%20jakosti/Publikace-20pdf/Část%20E1,%20E2-Statistická%20regulace%20procesu.pdf).
- [17] **NETOLICKÝ, P. a MAZÍNOVÁ, I.** *Vazba mezi tolerancemi na výrobním výkrese a zajištěním kvality*. Ostravice : 52. konference kateder částí a mechanismů strojů s mezinárodní účastí, 2011. ISBN 978-80-248-2450-5.
- [18] **SVOBODA, P., a další.** *Základy konstruování*. Brno : Cermý, 2008. ISBN: 978-80-7204-584- 6.
- [19] **PEŠIČKA, J. a SKOPAL, L.** *Geometrická specifikace produktů (GPS) - Geometrické tolerance v technické dokumentaci podle mezinárodních norem*. Praha : Český normalizační institut, 2008.
- [20] **HENZOLD, G.** *Geometrical dimensioning and tolerancing for design, manufacturing and inspection*. Oxford : Elsevier, 2006. ISBN-10:0-7506-6738-9.
- [21] **PEŠIČKA, J. a SKOPAL, L.** *Technická dokumentace a geometrická specifikace produktů (GPS) - Rozměrové a geometrické požadavky na výrobky podle mezinárodních norem*. Praha : Český normalizační institut, 2008.
- [22] **PEŠIČKA, J. a SKOPAL, L.** *Geometrická specifikace produktů (GPS)-Geometrické tolerování-Požadavek maxima materiálu (MMR), požadavek minima materiálu (LMR), požadavek reciprocity (RPR)*. Praha : Český normalizační institut, 2008.

Seznam obrázků

Obr.: 1 Postup plánování kvality dle APQP [7].....	5
Obr.: 2 Postup plánování kvality dle VDA 4.3 [8].....	5
Obr.: 3 Dům jakosti [9]	6
Obr.: 4 2D analýza vad [1]	7
Obr.: 5 Cyklus FMEA [11].....	8
Obr.: 6 Statistická regulace procesu [1].....	12
Obr.: 7 Gaussova křivka [4]	12
Obr.: 8 Stabilita procesu [16]	13
Obr.: 9 Regulační diagram [4].....	14
Obr.: 10 Příklad jednoduché montážní skupiny, zobrazující funkční (F), nefunkční (N) a informativní (I) rozměry [18]	16
Obr.: 11 kótování funkční (a) a technologické (b) [18]	17
Obr.: 12 Dělení rozměrových obvodů [18].....	18
Obr.: 13 Toleranční pole geometrické tolerance [19].....	20
Obr.: 14 Geometrické tolerance [20].....	21
Obr.: 15 Rozměrové tolerance [20]	21
Obr.: 16 Tolerance směru [19]	22
Obr.: 17 Tolerance házení [19].....	22
Obr.: 18 Tolerance tvaru [19].....	22
Obr.: 19 Tolerance umístění [19]	22
Obr.: 20 Předepsání tolerancí na výkresu [21]	23
Obr.: 21 Výrobek dodržuje podmínku přímosti, avšak nesplňuje rozměrové tolerance [21].....	23
Obr.: 22 Výrobek dodržuje rozměrové tolerance, ale nesplňuje tolerance geometrické [21]	23
Obr.: 23 Výrobek splňuje geometrickou toleranci nezávisle na toleranci rozměrové [21]	23
Obr.: 24 Předpis obalové plochy [21].....	24
Obr.: 25 Stav vyroběných hřídelí [21].....	24
Obr.: 26 Výkres sestavy spoje [21]	25
Obr.: 27 Značení posunutého tolerančního pole na výkrese [21]	25
Obr.: 28 Důsledek posunutého tolerančního pole [21]	26
Obr.: 29 Sestava součástí za použití posunutého tolerančního pole [21]	26
Obr.: 30 Součást tolerována běžným způsobem [21]	26
Obr.: 31 Znázornění podmínky maxima materiálu [22]	27
Obr.: 32 Aplikace podmínky minima materiálu [22].....	28
Obr.: 33 Příklad tolerovaného čepu [22]	29
Obr.: 34 Plné využití geometrické tolerance a čep na mezi maxima [22].....	29
Obr.: 35 Plně využitá reciprocita u podmínky maxima materiálu [22].....	30
Obr.: 36 Interpretace požadavku reciprocit u minima materiálu [22].....	31

PŘÍLOHA č. 1

Příklad QFD a FMEA

V tomto příkladě je řešen návrh výkresové dokumentace pevné kotoučové spojky.

QFD

V prvním kroku byl použit nástroj QFD (viz dále). Do tzv. „domu jakosti“ byly nejdříve doplněny požadavky zákazníka, k nimž byl přiřazen jejich význam (1-5). V praxi jsou tyto požadavky získávány přímo od zákazníků a z platných zákonů. Dále bylo přistoupeno k definování měřitelných parametrů. Na základním konceptu výrobku byly hledány všechny parametry, které je možné nějakým způsobem měřit a poté byly zaznamenány do tabulky. Do tzv. „střechy domu jakosti“ pak byly zaznamenány vztahy mezi parametry. V této fázi již bylo možné přistoupit k samotnému převodu požadavků zákazníka na měřitelné parametry. Převod spočívá v zaznamenávání vztahů mezi parametrem a požadavkem. Vzájemné závislosti jsou hodnoceny číslicemi (1- nějaká, 5- jistá). Po vyplnění tabulky jsou odhaleny parametry bez vztahu k požadavkům zákazníka či požadavky zákazníka, které nejsou nijak sledovány. V takovém případě je nutné zhodnotit důležitost parametru a případně jej vynechat, naopak pro nesledovaný požadavek je nutné nějaký parametr dohledat. V posledním kroku jsou počítány hodnoty sledovanosti požadavku zákazníka a důležitosti parametru. Parametry s největší důležitostí jsou pak označovány jako kritické znaky a je nutné jim věnovat náležitou pozornost při navrhování součásti, jelikož se jedná o parametry, které podstatně naplňují požadavky zákazníka. Obě tyto hodnoty, sledovanost požadavku zákazníka i důležitost měřitelného parametru, se používají k porovnání s konkurencí.

Závěr

Po provedení QFD je konstruktér obeznámen s tím, jaké měřitelné parametry naplňují požadavky zákazníka a do jaké míry jsou tyto požadavky sledovány. Nejvýznamnějšími parametry jsou kritické znaky, jde o parametry v tabulce ohodnocené největší důležitostí. Kritické znaky je třeba držet v požadovaných mezích, na výkrese tedy bývají tolerovány, protože významnou měrou ovlivňují výsledný stav výrobku a stupeň splnění požadavku zákazníka (kvality). Z QFD může být usouzeno, že nejdůležitějšími parametry je materiál užitý k výrobě jednotlivých dílů, rozměry související s uložením hřídele a rozměry související s perem. Dále jsou patrné vazby mezi měřitelnými parametry, pokud bude například změněn rozměr hřídel, je třeba změnit i rozměr otvoru v kotouči. Nejsledovanějšími požadavky je pak hmotnost, cena, snadná montáž a přenesení momentu. Všechny tyto parametry a požadavky se v praxi odvíjejí od konkrétního případu, i u stejného výrobku se mohou pro každého zákazníka značně lišit. Kritické znaky zjištěné metodou QFD mohou být dále využity i v dalších nástrojích kvality. Jedním z takových nástrojů je nástroj FMEA, který bude probíráno dále. Kritické znaky v tomto případě mohou být použity ke zkoumání faktorů nepříznivě ovlivňujících jejich stav (vznik vad). Další nástroj využívající výstupy z QFD je nástroj SPC, tedy statistická regulace procesu. Kritické znaky zjištěné pomocí QFD, jsou v procesech nejvíce kontrolovány, neboť značně ovlivňují výslednou kvalitu výrobku, jak již bylo dříve zmíněno. V některých případech nemůže být znak kontrolován na již hotovém výrobku a je možno jej kontrolovat jen při daném procesu. Hodnoty kritických znaků na vyráběných součástech, pak pomáhají proces nastavit tak, aby tyto hodnoty byly vyráběny v požadovaných mezích, to je právě úkolem nástroje SPC. QFD je tedy poměrně jednoduchým nástrojem, avšak velmi užitečným.

FMEA

Tento nástroj spočívá ve vyhledávání vad a jejich následků. Výchozím nástrojem usnadňujícím provedení FMEA může být QFD a 2D analýza vad. U každé součásti kotoučové spojky byly hledány vady, které by se mohly na součásti vyskytnout, a řešeny jejich následky. V praxi je každý díl hodnocen týmem FMEA, který se sestává z pracovníků obeznámených s celým životním cyklem výrobku. Následně byly tyto vady ohodnoceny dle jejich významu (1- bezvýznamný, 10 - významný), výskytu (1 - vůbec, 10 - vždy) a odhalitelnosti (1 - vždy, 10 - nikdy). Z těchto hodnot bylo vypočteno rizikové číslo MR/P. Vady s největším MR/P jsou označovány za kritické a řešeny v první řadě. Každá vada je eliminována opatřením. Po zavedení opatření jsou vady opět hodnoceny pomocí MR/P (viz dále) a případně je celý cyklus opakován, dokud není dosaženo žádaných limitů.

Závěr

Po provedení prvního kroku FMEA bylo definováno značné množství vad, které by se na konečném výrobku mohly vyskytnout. Po vypočtení rizikových čísel bylo přistoupeno k eliminaci vad od vady s největším rizikovým číslem k nejmenší. Ke každé vadě bylo navrženo opatření, které tuto vadu do značné míry omezuje nebo zcela vylučuje. Po provedení opatření byla opět hodnocena riziková čísla. Z tabulky je patrné, že se zmenšila riziková čísla a opatření tedy byla užitečná. Došlo ke značnému zmenšení výskytu a zlepšení odhalitelnosti vad. Tato opatření byla následně zanesena do výkresové dokumentace, jednalo se především o zanesení geometrických či rozměrových tolerancí. Na příkladu je velmi dobře patrný hlavní úkol tohoto nástroje a tím je zjistit, jaká vada se může vyskytnout a jakým způsobem je možné ji odstranit. Pro výrobce tedy jde o značně cenný dokument obsahující know-how společnosti.

Formulář FMEA byl získán z podkladů pro cvičení z předmětu KKS/ ZUV- Zvyšování tržní úspěšnosti výrobku, ZČU (2012)

Po zhodnocení návrhu pomocí QFD a FMEA bylo možné přistoupit k úpravě výkresové dokumentace. V tomto případě se jednalo především o zatolerování rozměrů podílejících se do značné míry na funkci součástí, tedy kritických znaků. Dále byly zaneseny geometrické tolerance pro zaručení požadované smontovatelnosti. Takto připravená výkresová dokumentace, by měla plnit požadavky zákazníka a nemělo by docházet k prodražování výroby vlivem chyb vznikajících ve fázi konstrukce.

Vytvoření výkresové dokumentace použité v tomto příkladě bylo spolufinancováno Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.2.00/07.0235 „Inovace výuky v oboru konstruování strojů včetně jeho teoretické, metodické a počítačové podpory“.

QFD

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	Význam / parametr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
	Průměr hřídele	x						x	x												
	Průměr kotouče		x							x											
	Ďíra pro hřídel			x																	
	Ďíra pro šroub				x																
	Počet šroubů					x															
	Utahovací moment						x							x							
	Rozměry pera																				
	Drážka v hřídeli																				
	Drážka v kotouči																				
	Osazení										x										
	Házivost																				
	Stavěcí šroub																				
	Drsnost styč. ploch																				
	Rádiusy																				
	Sražení hran																				
	Materiál																				
	Povrchová úprava																				
	Počet dílů																				
	Složitosť dílů																				
	Sledovanost požadavku																				
Požadavek		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Přenést Mk	5	4	4	3	2	5	5	5	5	5		3		5			5				51
Jednoduché	3					3			2	2									5	5	17
Souosost hřídeli	5	4		4							5										13
Smontovatelné	5	5		5	5	2		4	4	4	5								3		37
Poloha kotoučů	2							3	3	3			5								14
Bez vrubů	4														5		3			3	11
Nevibrovat	4	4		4	4	3			2	2	3	5					2				29
Odolat rázům	4			3	3		3	4	4	4				4			4				29
Levné	5	4	4	3	3	5		3	3	3	3		2		3	3	3		5	5	52
Design	3	3	3	3	3	3		2	2	2	3				5	5	4	5	2	3	48
Lehké	2	5	5	5	5	5		5	5	5	5		4		4	4	5	4	5	3	74
Snadná montáž	1	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4		3			4	4	3	5	3	60
Recyklovatelné	2																5	4	2		11
Ekologické	3																5	5			10
Bezpečné	5											3	4		4	5	4	4			24
Váha		124	62	126	101	104	40	102	116	116	100	50	31	41	78	67	147	69	80	70	
Důležitost parametru		8%	4%	8%	6%	6%	3%	6%	7%	7%	6%	3%	2%	3%	5%	4%	9%	4%	5%	4%	

FMEA návrhu

x **procesu**

název výrobku: Kotoučová spojka

číslo výkresu: S1-S01

index změny výkresu:

Strana 1/1

Vstupuje do výrobku: -

Datum schválení: 15.5.2011

Zákazník: Hřídele a.s.

Podpis: Vočadlo

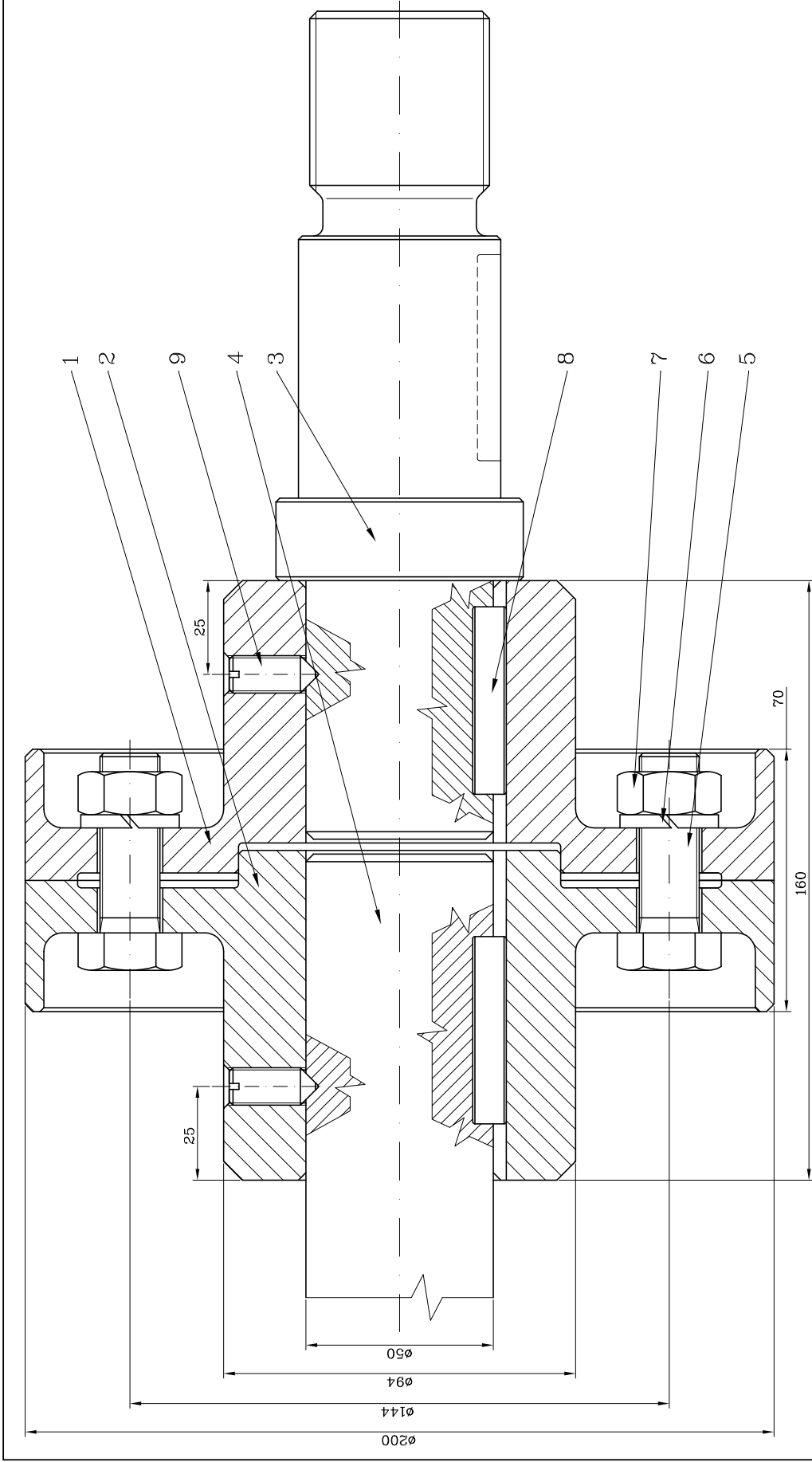
Číslo aplikace: 1/2012

Datum provedení FMEA: 15.5.2012


Vedoucí týmu: Ing. Ivana Mazinová

Členové týmu: Ing. Ivana Mazinová, Ondřej Vočadlo


/prvek /funkce /Operace	Neshoda (možná vada)	Důsledek (možné následky vady)	Příčina (možné/mechanismy příčiny vady)	význam zvážení znak	Sítavající způsob posazování návrhu	ohroženost	MR/P	Opatření	Odpovídá Termín	význam výskyt	ohroženost	MR/P	
													význam
kotouče	Nelajující díry šroubů	Nemožná montáž	10 Nelajování nebo tolerováno špatným způsobem	8	Kontrola při montáži	1	80	Tolerance geometrické	Novák 20.5.2012	10	2	1	20
	Vůle v uložení díra hřídele	Vibrace, rázy, poškození prvků	8 Špatný tvar či rozměr	6	Kontrola při montáži	3	144	Tolerance rozměru a geometrické	Novák 20.5.2012	8	2	2	32
	Nelajující osazení kotoučů	Nemožná montáž, poškození prvků	9 Špatný tvar či rozměr	6	Kontrola při montáži	2	108	Tolerance rozměru a geometrické	Novák 20.5.2012	9	2	1	18
	Prokluz třecích ploch	Neplnění moment, zničení šroubů, poškození prvků	10 Špatný materiál, malá působící síla, nevhodná dřsnost	8	Testovací zatížení, výpočet	1	80	Kontrola výpočtu	Novák 20.5.2012	10	2	1	20
	Vůle v drážce pro pero	Rázy, poškození prvků	8 Špatný rozměr či tvar	5	Kontrola při montáži	4	160	Tolerance rozměru	Novák 20.5.2012	8	2	2	32
	Vrubby	Koncentrace napětí, poškození prvků	8 Ostře vnitřní rohy	10	Testovací zatížení, napěťová analýza	1	80	Vnitřní radiusy	Novák 20.5.2012	8	2	1	16
	Ostré hrany	Poranění	10 Absence zkosení či radií	8	Kontrola při montáži	2	160	Zkosení vnějších hran	Novák 20.5.2012	10	1	1	10
	Náročné zavedení hřídele	Složité montáž	6 Absence zkosení	10	Kontrola při montáži	1	60	Zkosení vnitřních hran	Novák 20.5.2012	6	1	1	6
	Nesouosost spojovaných hřídel	Vibrace, nemožná montáž, poškození prvků	9 Špatný rozměr či tvar	6	Kontrola při montáži, testovací zatížení	2	108	Tolerance rozměru a geometrické	Novák 20.5.2012	9	2	2	36
Šrouby	povolující se matice	Prokluz spojky, poškození šroubů, nepřenaší žádaný moment	7 Nezažiténo proti povolení	10	Testovací zatížení	1	70	Zajistit proti povolení	Šebesta 22.5.2012	7	1	2	14
Stavěcí šroub	Nesedící šroub na hřídele	Posuv kotoučů po hřídelích, rozpojení, poškození prvků	8 Nevrtáno při montáži	5	Kontrola při montáži	1	40	Švrtat při montáži	Šebesta 22.5.2012	8	1	1	8
Hřídele	Vůle v drážce pro pero	Rázy, poškození prvků	8 Špatný rozměr či tvar	6	Kontrola při montáži	4	192	Tolerance rozměru	Mach 20.5.2012	8	2	2	32
	Náročné zavedení do kotouče	Složité montáž	6 Absence zkosení	10	Kontrola při montáži	1	60	Zkosení vnějších hran	Mach 20.5.2012	6	1	1	6
	Vůle v díře kotouče	Vibrace, rázy, poškození prvků	8 Špatný rozměr či tvar	6	Kontrola při montáži	3	144	Tolerance rozměru a geometrické	Mach 20.5.2012	8	2	2	32
Pero	Přestřihnout pera	Neplnění moment, poškození prvků	9 Nevhodný materiál či rozměr	10	Výpočet, testovací zatížení	1	90	Kontrola výpočtu	Gomola 20.5.2012	9	2	1	18

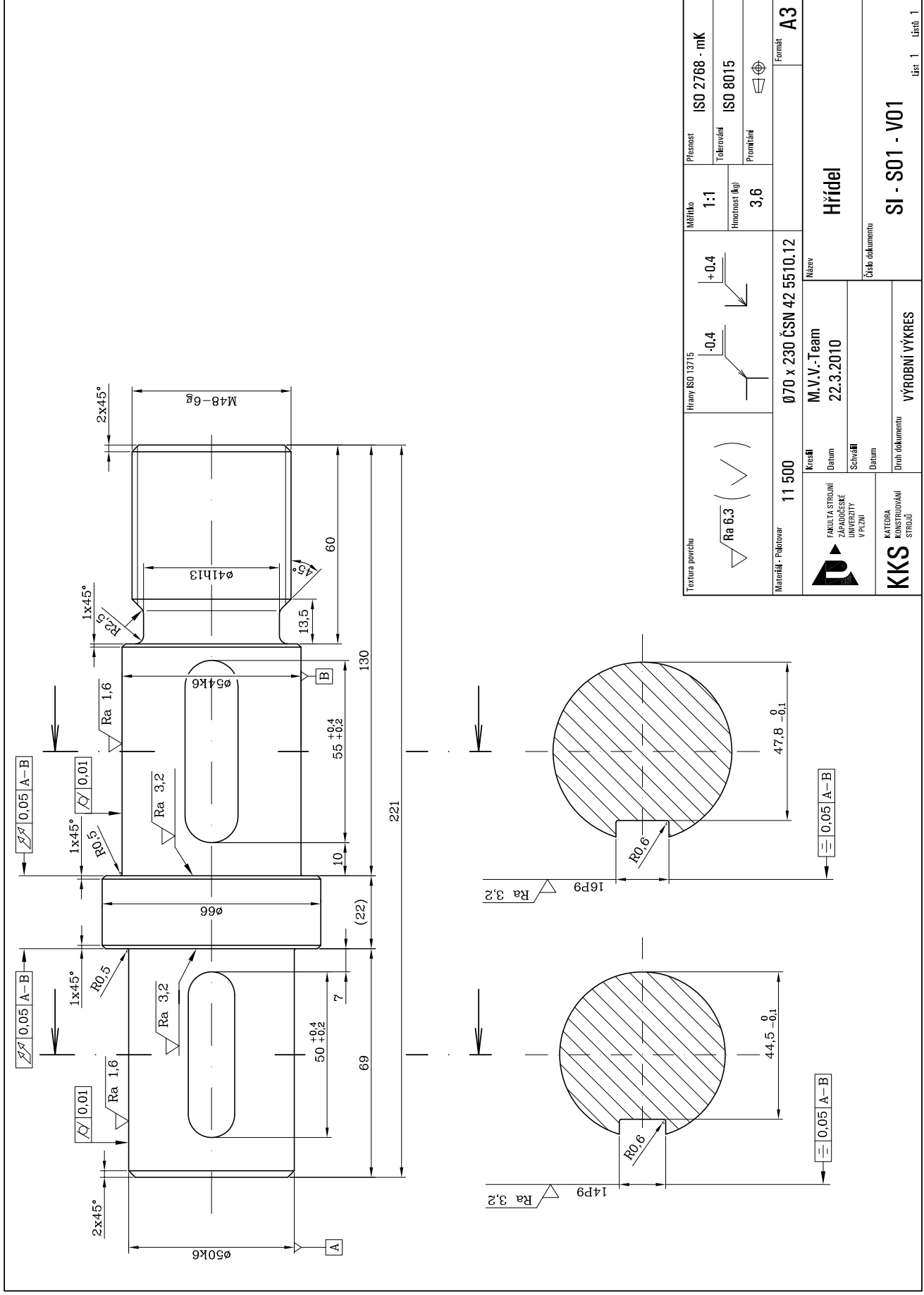


OTVORY PRO STAVĚCÍ ŠROUBY (poz. 9) VYTVOŘIT PŘI MONTÁŽI

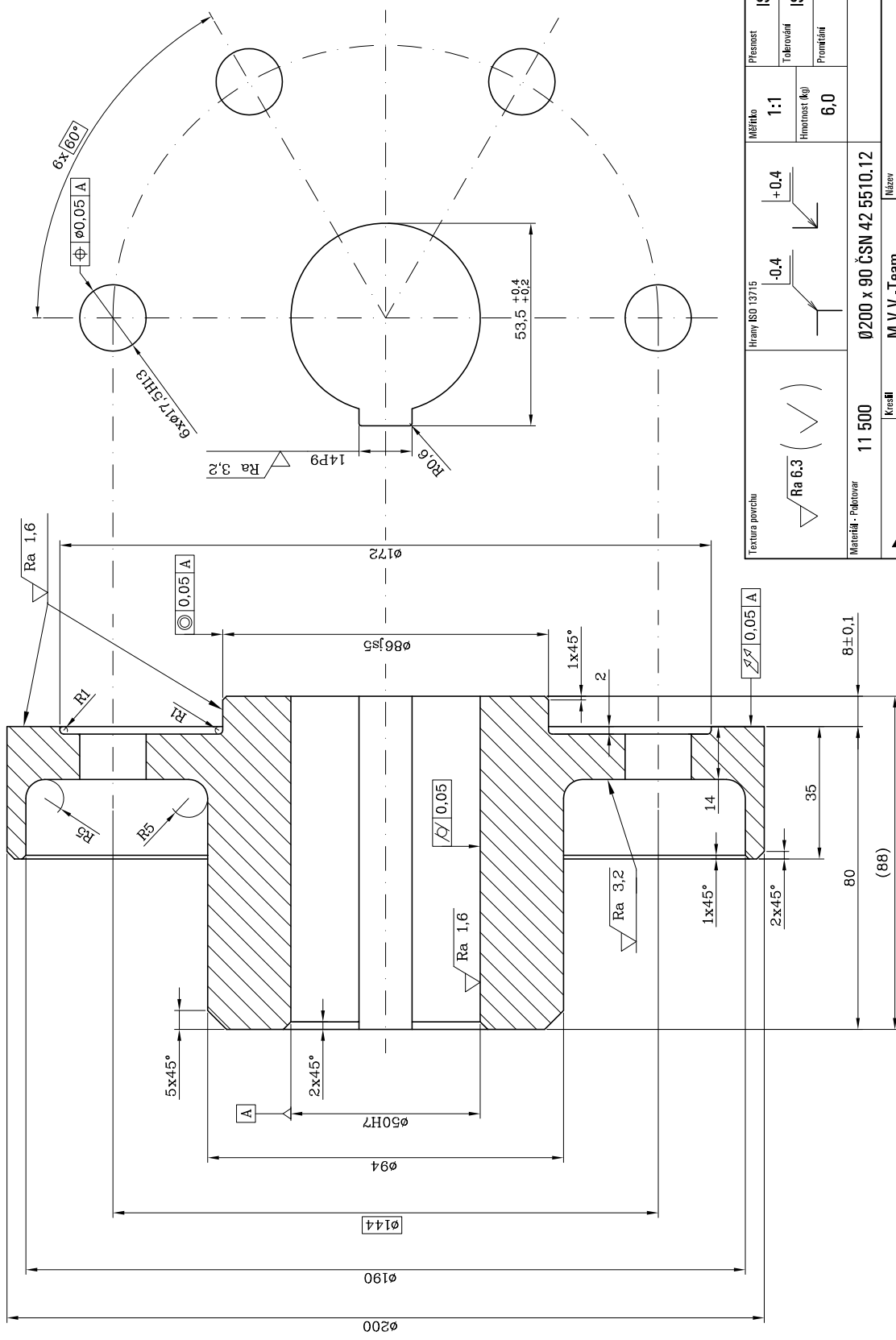
Měřítko	1:1	Hmotnost (kg)	16	Proměření		Formát	A3	
 FAKULTA STROJNÍ ZAPADŘEŠE UNIVERZITY V PLZNI	Kreslí	M.V.-Team	Název	Kotoučová spojka				
	Datum	14.2.2010	Schválí	Číslo dokumentu				
KKS KATEDRA KONSTRUKČNÍ STROJŮ	Datum		Číslo dokumentu					
	Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY						
							List 1	Listů 2

Číslo polož.	Název - označení	Polotovár	Hmotn. (kg)	J.	Množ.
	Číslo výkresu - označení normy	Materiál			
1	Pravý kotouč	Ø200 x 82 CSN 42 5510,12	3,6	ks	1
	SI - S01 - V03	11 500			
2	Levý kotouč	Ø200 x 90 CSN 42 5510,12	6,0	ks	1
	SI - S01 - V02	11 500			
3	Hřídel	Ø70 x 230 CSN 42 5510,12	3,6	ks	1
	SI - S01 - V01	11 500			
4	Hřídel 2	-	-	ks	1
	-	-			
5	Šroub M16 x 48	-	-	ks	6
	ISO 4017 - 8,8	-			
6	Podložka 16	-	-	ks	6
	CSN 02 1741.11	-			
7	Matice M16	-	-	ks	6
	ISO 4032 - 8,8	-			
8	Pero 14 x 9 x 50	-	-	ks	2
	CSN 02 2562	-			
9	Stavecí sroub M10 x 23 - 14H	-	-	ks	2
	ISO 7434	-			

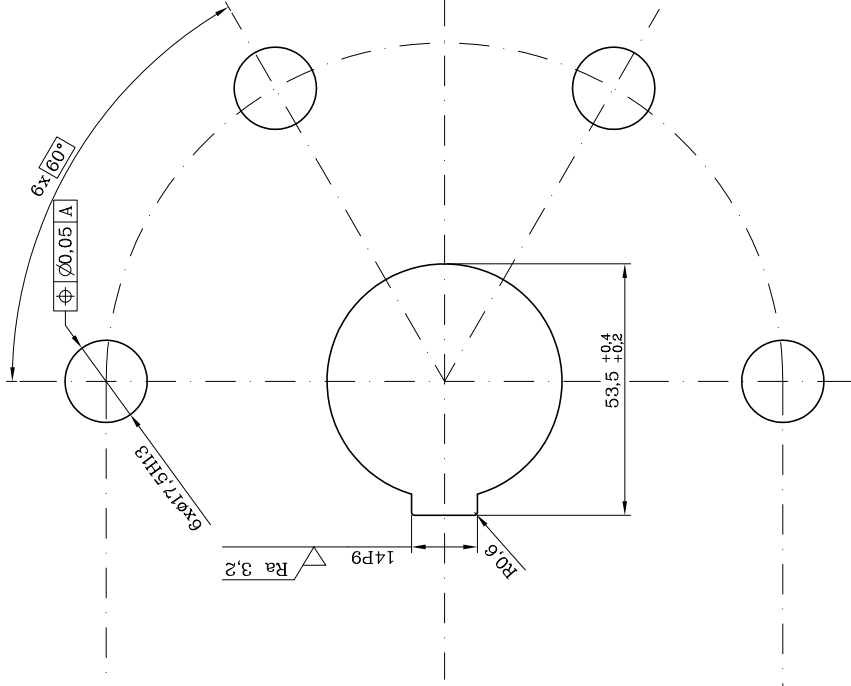
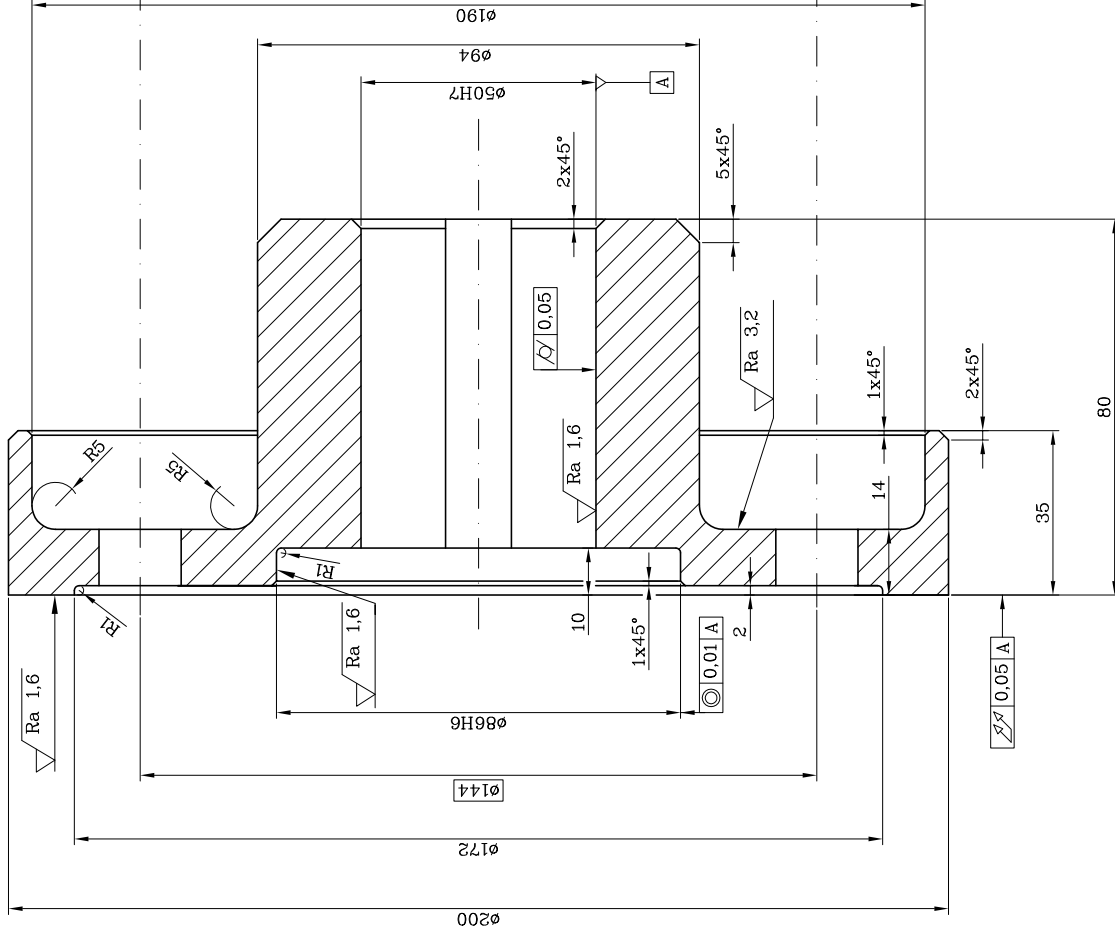
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	M.V.V.-Team	Název Kotoučová spojka
	Datum	14.2.2010	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil		Číslo dokumentu SI - S01
	Datum		
	Druh dokumentu	SEZNAM POLOŽEK	List 2 Listů 2



Texture povrchu	Hrany ISO 13715	Měřítko	Přesnost	ISO 2768 - mK
$\sqrt{Ra 6.3}$ (V)	-0.4 / $+0.4$	1:1	Toleranci	ISO 8015
		Hmotnost (kg)	Prostředí	\varnothing
		3,6		
Materiál - Pálčover	11 500	Materiál - Pálčover		Formát
		Ø70 x 230 ČSN 42 5510.12		A3
Kreslí	M.V.V.-Team	Název		
Datum	22.3.2010	Hřídel		
Schválí		Číslo dokumentu		
Datum		SI - S01 - V01		
Druh dokumentu	VÝROBNÍ VÝKRES			
KKS	KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ			
FAKULTA STROJINĚŘSKÁ UNIVERSITY V PLZNI				



Textura povrchu Ra 6.3 (✓)	Hrany ISO 13715 +0.4 -0.4	Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768 - mK	Tolerovněř ISO 8015	Promítání F	Formát A3
Materiál - Pálkovar 11 500	0200 x 90 ČSN 42 5510.12			Název Levý kotouč		
Kreslí M.V.V.-Team						
Datum 22.3.2010						
Schválí [Signature]						
Datum						
Drnh dokumentu KKS	KATEGORIE KONSTRUKČNÍ STRAŇ			Číslo dokumentu SI - S01 - V02		
VYROBNÍ VÝKRES						



Texture povrchu	ISO 13715	Mřížko	Přesnost	ISO 2768 - mK
$\sqrt{Ra 6.3}$ (V)	Hrany ISO 13715	1:1	Toleranci	ISO 8015
			Hmotnost (kg)	3,6
			Průměrit	
Materiál - Pálobover	11 500	0200 x 82 ČSN 42 5510.12		Formát
Kreslí	M.V.V.-Team	Název		A3
Datum	22.3.2010	Pravý kotouč		
Schválí		Číslo dokumentu		
Datum		Sl - S01 - V03		
Druh dokumentu	VÝROBNÍ VÝKRES			
KKS	KATEŘINA KONSTRUKČNÍ STRAUF			