Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní Katedra výrobních systémů

Obor: 2301R030 Výrobní systémy
Zaměření: Výrobní systémy

KONTROLA PŘESNOSTI VAKUOVĚ ODLÉVANÝCH SOUČÁSTÍ Z RŮZNÝCH MATERIÁLŮ

THE ACCURACY CHECK OF VACUUM - CAST COMPONENTS FROM DIFFERENT MATERIALS

KVS - VS - 108

Jakub Motl

Vedoucí práce: Ing. Petr Keller, Ph.D.

Počet stran: 37
Počet příloh: 7
Počet obrázků: 14
Počet tabulek: 5

V Liberci 24. 5. 2011

Bakalářská práce KVS - VS - 108

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá vakuovým odléváním polyuretanů do silikonových forem a následnou analýzou změn rozměrů a geometrie jednotlivých odlitků. Je zde popsán postup výroby formy i odlévání, vlastnosti některých licích materiálů a podmínky při vakuování. Práce dále v úvodní části obsahuje přehled základních informací o technologiích Rapid Prototyping.

Klíčová slova

Vakuové odlévání, silikonová forma, Rapid Prototyping

ANNOTATION

The Bachelor thesis discuss about vacuum - polyurethans cast into a silicone mold, about the subsequent analysis of the geometry and dimension changes of particular casting too. There's description of mold - working process and casting some of the casting material properties and vacuum conditions. There's summary of basic informations about Rapid Prototyping Technology in the preamble of this thesis.

Key words

Vacuum casting, Silicone mold, Rapid Prototyping

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra výrobních systémů
Dokončeno: 2011
Archivní označení zprávy:

Počet stran: 37
Počet příloh: 7
Počet obrázků: 14
Počet tabulek: 5

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci, nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2011

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, jeho cenné rady a čas strávený při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu studií, bez které by tato práce nikdy nemohla vzniknout. Děkuji.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ ..... - 8 -
1 ÚVOD ..... - 10 -
1.1 Cíl práce ..... - 10 -
2 RAPID PROTOTYPING ..... - 11 -
2.1 Základní přehled ..... - 11 -
2.2 Preprocessing ..... - 12 -
2.3 Processing ..... - 12 -
2.4 Postprocessing ..... - 12 -
2.5 Technologie výroby modelu ..... - 12 -
2.5.1 Stereolitografie ..... - 12 -
2.5.2 Laser Sintering ..... - 14 -
2.5.3 Fused Deposition Modeling ..... - 15 -
2.5.4 Laminated Object Manufacturing ..... - 16 -
2.5.5 3D Printing ..... - 17 -
3 VAKUOVÉ ODLÉVÁNÍ ..... - 18 -
3.1 Princip tvorby modelu ..... - 18 -
3.2 Používané materiály ..... - 18 -
3.2.1 Silikony ..... - 18 -
3.2.2 Materiály pro odlévání ..... - 19 -
3.3 Vakuování ..... - 19 -
4 PRAKTICKÁ ČÁST ..... - 21 -
4.1 Master model ..... - 21 -
4.2 Silikonové formy ..... - 22 -
4.2.1 Konstrukce ..... - 22 -
4.2.2 Silikon ..... - 22 -

4.3 Odlitky ..... - 24 -
4.3.1 Polyuretanové pryskyřice ..... - 24 -
4.3.2 Odlévání ..... - 26 -
4.4 Měření ..... - 28 -
4.4.1 Rozměry ..... - 29 -
4.4.2 Geometrie ..... - 29 -
4.4.3 Vyhodnocení ..... - 30 -
5 ZÁVĚR ..... - 32 -
LITERATURA ..... - 33 -
SEZNAM OBRÁZKŮ ..... - 35 -
SEZNAM TABULEK ..... - 36 -
SEZNAM PŘÍLOH ..... - 37 -

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

2D	dvoudimenzionální
3D	třídimenzionální
3DP	Three Dimensional Printing
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
cit.	citováno
CO_2	oxid uhličitý
ČR	Česká republika
dpi	dots per inch
FDM	Fused Deposition Modeling
GmbH	společnost s ručením omezeným
hm. díly	hmotnostní díly
hod.	hodina
komp. A	komponenta A
komp. B	komponenta B
LOM	Laminated Object Manufacturing
LS	Laser Sintering
$m_{celková}$	celková hmotnost silikonu
$m_{MG\ 703\text{-}A}$	hmotnost komponenty A materiálu MG 703
$m_{MG\ 805\text{-}A}$	hmotnost komponenty A materiálu MG 805
$m_{MG\ 805\text{-}B}$	hmotnost komponenty B materiálu MG 805
$m_{vytvrz.}$	hmotnost vytvrzovacího činidla
m_{Z400}	hmotnost komponenty Z 400
$m_{základní}$	hmotnost základní složky
NC	Numerical Control
Obr.	obrázek
PC	polykarbonát

PE	polyethylen
PEEK	polyetereterketon
PMMA	polymetylmetakrylát
POM	polyoxymethylen
poškození f.	poškození formy
PP	polypropylen
RM	Rapid Manufacturing
RP	Rapid Prototyping
RT	Rapid Tooling
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
sklon f.	sklon formy
SL	Stereolitografie
sprac.	spracování
STL	Stereolitography file
Tab.	tabulka
T_G	teplota zeskelnění
URL	Uniform Resource Locator
ÚST	Ústav strojírenské technologie
UV	ultrafialové
v.o.s.	veřejná obchodní společnost
$V_{celkový}$	celkový objem silikonu
VUT	Vysoké učení technické
$\tilde{x}$	medián
$\overline{x}$	střední hodnota
$\rho_{silikonu}$	hustota silikonu
σ	směrodatná odchylka

1 ÚVOD

Rychlá odpověď na požadavky trhu s co nejnižšími náklady. Právě to znamená Rapid Prototyping pro dnešní průmysl. O úspěchu výrobku na trhu již nerozhoduje jen jeho funkčnost, ale také ergonomie a design. Všechny tyto kritéria lze nejsnáze a nejrychleji ověřit právě na funkčním prototypu.

Málokterý výrobek se dnes již obejde bez plastových dílů, jejichž výroba vstřikováním do forem, by při konstrukci prototypu byla časově i finančně neúnosná. Právě z tohoto důvodu vznikla další technologie Rapid Prototyping, a to vakuové odlévání polyuretanových pryskyřic do silikonových forem. Jím se dají rychle a poměrně levně vyrobit díly srovnatelné kvality a vlastností, jako u plastové součásti zhotovené konvenčními technologiemi.

1.1 Cíl práce

Cílem práce je zjištění rozměrové a geometrické přesnosti prototypových dílů vyráběných vakuovým odléváním polyuretanových pryskyřic do silikonových forem.

2 RAPID PROTOTYPING

2.1 Základní přehled

Rapid Prototyping (RP) je moderní technologie, zabývající se rychlou výrobou prototypů. Historie RP se datuje od osmdesátých let a od té doby dochází k jejímu stálému rozvoji a nacházení nových výrobních metod. Výroba modelu součásti pomocí RP je založena na postupném vrstvení materiálu, a právě způsobem zhotovování těchto vrstev se jednotlivé RP technologie odlišují. Díky postupnému vrstvení není RP nijak svazován geometrickou složitostí součásti. Třískové obrábění je pak tedy opak RP, kdy se vrstvy materiálu odebírají. Vývoj RP odstartovala v roce 1987 americká firma 3D Systems, Inc svým strojem SLA-1, založeným na principu Stereolitografie (SL). Od tohoto okamžiku začal neustálý vývoj v RP, postupně začaly vznikat nové metody pro výrobu prototypových součástí a RP se začal propojovat s 3D CAD technologiemi a reverzním inženýrstvím. Díky tomuto mohly vzniknout i obory Rapid Tooling (RT) a Rapid Manufacturing (RM), které byly postaveny na principu RP. U Rapid Manufacturing, se oproti Rapid Prototyping používá vyrobená součást už jako funkční díl, nikoliv pouze jako model či prototyp. RT pro výrobu využívá upravené metody Laser Sintering (LS) a Fused Deposition Modeling (FDM), převzaté z RP. V dnešní době se tyto tři obory sdružují pod komplexním názvem Additive Fabrication.

Základní fáze vzniku fyzického modelu pomocí RP jsou:

- Preprocessing
- Processing
- Postprocessing

Tvorba prototypových dílů je v dnešní době důležitou a poměrně nákladnou součástí vývoje automobilů, letadel, lékařských strojů apod. Prototypy jsou dnes již nedílnou součástí ověřování správné funkce navržených dílů v době, kdy součásti, ať už kvůli ceně nebo potřebnému času, není možné vyrábět sériovým nářadím. Čas potřebný k výrobě takového nářadí se pohybuje v řádech měsíců. A právě to je období vývoje, kdy dochází k nejčastějším změnám a úpravám. I přes cenu prototypových dílů, která činí až několik desítek tisíc Korun za kus, se jejich výroba stále mnohonásobně vyplatí. Případné odstranění chyby, zjištěné až ve fázi sériové výroby, je totiž již nesmírně nákladné a může mít za následek i posun plánovaného zahájení výroby. [1; 2; 12]

2.2 Preprocessing

Jedná se o souhrn všech přípravných prací před zahájením samotné výroby. Model je nutné převést do formátu STL (Stereolithography file). Tento převod je možný ve většině dnes používaných CAD modelářů. Každá firma zabývající se prodejem RP zařízení, obvykle dodává i software, kterým je možno připravit virtuální STL model pro výrobu. To obnáší určení výrobního materiálu, umístění podpor generování řezů a NC drah [3; 12]

2.3 Processing

Processingem se rozumí vlastní tvorba modelu po jednotlivých vrstvách. Existuje pět základních metod [4; 12]:

- SL – Sterelolitografie
- LS – Laser Sintering
- FDM – Fused Deposition Modeling
- LOM – Laminated Object Manufacturing
- 3DP – Three Dimensional Printing

2.4 Postprocessing

Postrocessing se zabývá dokončovacími operacemi prováděnými na modelech vyrobených pomocí RP. Všechny modely RP lze obrábět, tmelit, brousit, leštit, napouštět speciálními infiltráty, barvit atd. To vše se provádí za účelem vyšší přesnosti, lepšího povrchu, snadnější smontovatelnosti, vizualizace a případně lepší ostrosti barev. [5; 12]

2.5 Technologie výroby modelu

2.5.1 Stereolitografie

Stereolitografie (SL) je metoda RP používající materiály na bázi fotopolymerů (plastické hmoty citlivé na světlo) nebo pryskyřic a vyžaduje stavbu podpor. Zhotovení SL modelu je založeno na postupném vytvrzování jednotlivých 2D vrstev, které jsou získány z obslužného softwaru v rámci Prepocessingu. Vrstvy jsou silné 0,05 až 0,15mm a o tuto hodnotu je po každém vytvrzení snížena nosná deska. Po vytvrzení jedné vrstvy stírací čepel (lišta) zarovná nanesenou pryskyřici na odpovídající tloušťku a celý proces se opakuje až do vzniku kompletního modelu. Po ukončení procesu se

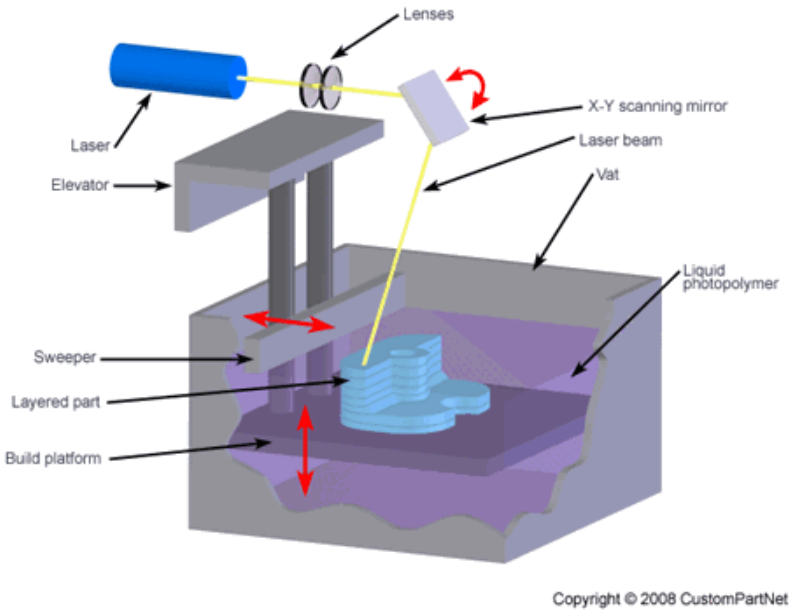
vyrobená součást vyjme z podpor. Následuje úprava povrchu včetně opracování v UV komoře, kde se součásti dodá požadovaná integrita povrchu, barva atp. Tato metoda je používaná převážně v automobilovém průmyslu při výrobě modelů, na kterých se zkouší různé technologické přípravky, nástroje atd. Je možná také výroba forem pro lití a vstřikování, výroba modelů s malými otvory a přesnými detaily. [5; 6; 7; 12]

Výhody:

- Vysoká přesnost
- Vysoká jakost povrchu
- Široký výběr materiálů
- Možnost zhotovení objemnějších modelů
- Plynulý průběh procesu
- Při procesu není třeba obsluhy

Nevýhody:

- Nutná následná úprava povrchu a čištění
- Menší tepelná a mechanická odolnost modelu
- Nutná stavba podpor a jejich následné odstranění



Obr. 1 princip SL [7]

2.5.2 Laser Sintering

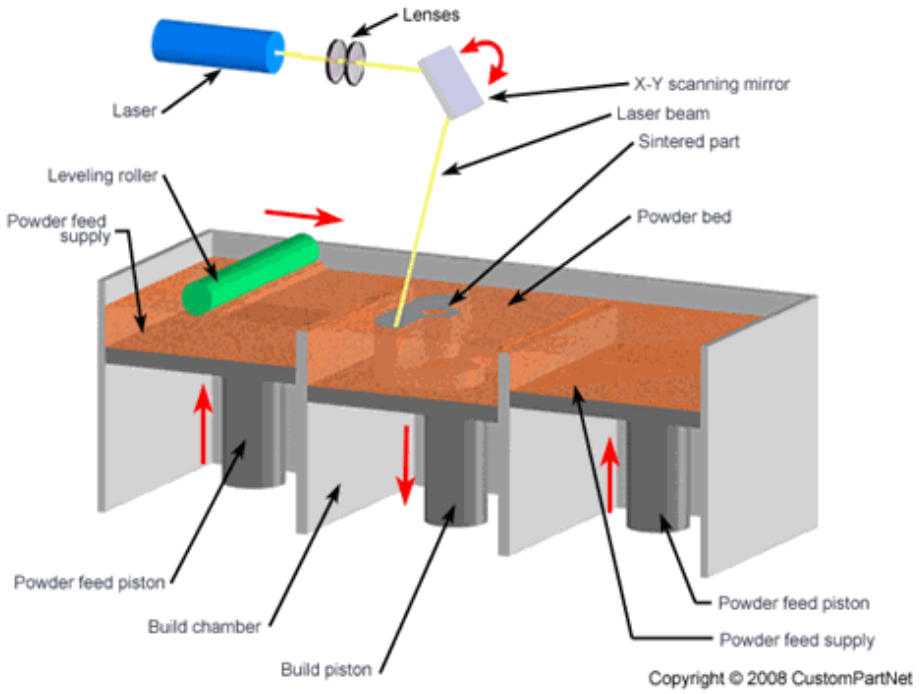
Laser Sintering (LS) zhotovuje model pomocí prášku kovu, plastu, pryže, keramiky nebo speciálního písku. Prášek je působením CO_2 laseru nataven tak, že k jeho spékání dochází pouze v požadovaném místě. Okolní materiál zůstává nespečen a slouží jako podpora. Tímto způsoben je dokončena jedna vrstva, nosná deska je posunuta o její tloušťku dolů a další vrstva prášku je nanesena speciálním válečkovým mechanismem. Celý proces se opakuje až do zhotovení kompletního prototypu. [5; 8; 12]

Výhody:

- Vysoká pevnost
- Velké množství použitelných materiálů
- Není nutné stavět podpory
- Lze měnit parametry i během výroby

Nevýhody:

- Prostorově a energeticky náročné zařízení
- Nízká kvalita povrchu
- Čištění hotového modelu od prášku



Obr. 2 Princip LS [8]

2.5.3 Fused Deposition Modeling

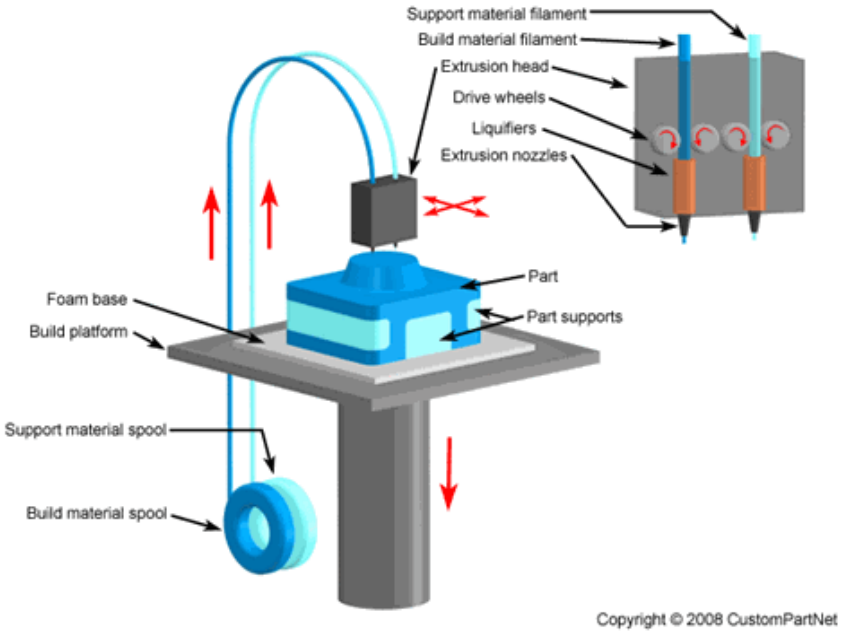
Fused Depositin Modeling (FDM) spočívá v natavování termoplastického materiálu navinutého ve formě drátu na cívce, ze které je vtlačován do výhřevné trysky, která vlákno nahřeje na teplotu jen o 1°C vyšší než je teplota tání materiálu a následně ho po vrstvách nanáší. Materiál ve styku s již hotovou vrstvou rychle tuhne a dochází k pevnému spojení. Součásti lze vyrábět z ABS plastu, polykarbonátu, elastomeru, vosku atd. Vyrobené součásti se používají při testování funkčnosti a designu nových, případně inovovaných výrobků. [5; 9; 12]

Výhody:

- Dobré mechanické vlastnosti blížící se plastům
- Minimální odpad, pouze materiál podpor
- Možnost použití více materiálů na jednom modelu

Nevýhody:

- Nutná stavba podpor
- Horší kvalita povrchu než u laserových technologií
- Omezená přesnost daná tvarem materiálu a průměrem vstupní trysky



Obr. 3 Princip FDM [9]

2.5.4 Laminated Object Manufacturing

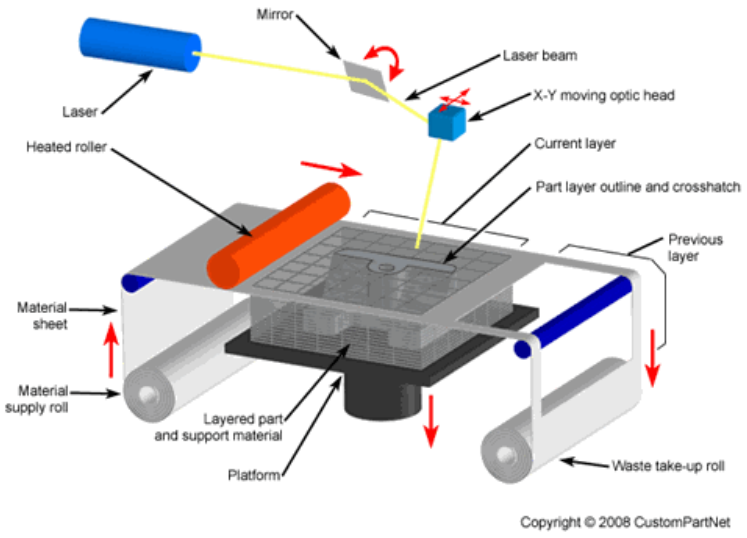
Laminated Object Manufacturing (LOM) je metoda RP založená na vrstvení fólie opatřené na jedné straně přilnavým nátěrem, kterým je přitlačena vyhřívanými válci na předchozí vrstvu a tím slepena. Po dokončení vrstvy podložka sjede o jednu tloušťku této vrstvy a proces se opakuje. Přebytečný materiál je rozřezán na kvádry, které jsou na závěr celého procesu odstraněny. Materiálem modelů jsou fólie tvořené papírem, plasty (nylon, polyester) nebo keramikou. Součásti lze dokončovat standardními metodami, jako je vrtání, frézování a soustružení. Povrch součásti je nutné pokrýt silikonovým, uretanovým nebo epoxidovým nástřikem, aby nedošlo ke zvětšení rozměrů vlivem nasáknutí vlhkosti. Výrobky vzniklé pomocí LOM se používají pro účely vizualizace, marketingu a prezentaci nových výrobků. Dále je lze využít jako formy pro nejrůznější odlévací a vstřikovací technologie. [5; 10; 12]

Výhody:

- Velká škála materiálů ve formě fólie (nejpoužívanější je papír)
- Rychlost výroby
- Vhodnost i pro výrobu větších modelů

Nevýhody:

- Hodně odpadu
- Nevhodné pro tenkostěnné modely
- Horší kvalita povrchu



Obr. 4 Princip LOM [10]

2.5.5 3D Printing

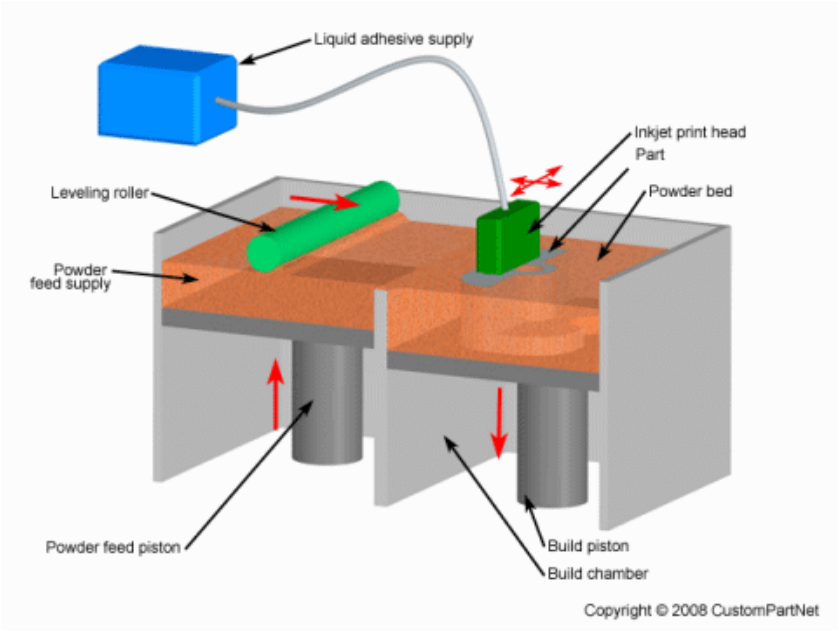
3D Printing (3DP) je metoda RP, kde je výrobní proces podobný jako u LS, ale na místo použití laseru je zde nanášecí hlava s tryskou s kapalným pojivem, které váže materiál. Automatický odprašovací a vibrační systém odstraní až 80% přebytečného prášku a recykluje ho pro další použití. Pro zlepšení mechanických vlastností se model následně ošetřuje speciálními infiltráty a to ponořením, nebo nanášením pomocí štětce. Použití dílů vyrobených pomocí 3DP je převážně pro účely prezentací, vizualizací a designu, ale omezené funkční testování je možné. Dále se dají využít i jako formy pro odlévací nebo vstřikovací technologie. [5; 11; 12]

Výhody:

- Vysoká rychlost (2 až 4 vrstvy za minutu)
- Jedná se o 24-bitovou barevnou technologii, což zajišťuje velmi realistický převod CAD dat na skutečný model
- Vysoká kvalita povrchu, rozlišení až 600x540 dpi
- Široký výběr materiálů
- Nízké výrobní náklady modelu

Nevýhody:

- Nutný postprocessing pro zlepšení mechanických vlastností



Obr. 5 Princip 3DP [11]

3 VAKUOVÉ ODLÉVÁNÍ

3.1 Princip tvorby modelu

Vakuové odlévání polyuretanových pryskyřic do silikonových forem je rovněž součástí technologie RP. Je vhodné pro malé série do 100 kusů. Forma se vyrobí zalitím již hotového modelu, nazývaného též master model, do silikonu. Jako master model slouží již existující součást, nebo součást vyrobená pomocí některé technologie RP. Master model se musí před zalitím řádně upravit. Doporučuje se například zalepit díry pro šrouby, které lze po odlití vyvrtat, apod. K master modelu je potřeba přilepit vtokový kanál a vhodně ho umístit do formovací nádoby. Něž se master model zalije silikonem, je nutné silikon zavakuovat, aby se zbavil vzduchových bublinek. Poté se model tímto silikonem zalije a doporučuje se ho znovu zavakuovat. Když je silikon ztuhlý, forma se rozřízne a vytvoří se tak dělící rovina, která může být i předem naznačena. Poté už stačí jen vyjmout master model a silikonová forma je hotova. Při samotném odlévání se forma obvykle zahřeje na teplotu kolem 60°C pro zlepšení zatékavosti. Odlitek se doporučuje vytvrdit (temperovat), aby se zvýšila jeho odolnost proti mechanickému poškození. Druhem použitého polyuretanu se dá poměrně přesně dosáhnout požadovaných vlastností sériového dílu (tvrdost, barva, pružnost, čirost, atd.). Odlitky lze dále opracovávat a použít je jako plně funkční součásti. Vakuové odlévání do silikonových forem se uplatňuje například v automobilovém průmyslu, ale i dále, např. u telefonů, elektrospotřebičů, počítačů, nebo prototypů elektrického nářadí. [12]

3.2 Používané materiály

3.2.1 Silikony

Materiálem pro výrobu forem pro vakuové odlévání jsou silikonové kaučuky, které se snadno zpracovávají i vytvrzují. Nejdůležitější vlastností silikonových kaučuků je pružnost, díky níž lze z forem lehce vyjmout i tvarově složitou součást, dokonce i s negativním úkosem. Další vlastnosti silikonu jsou rozměrová stabilita, houževnatost, nízké smrštění a transparentní vzhled, který umožňuje rozříznout formu přesně podle naznačené dělící roviny. Silikony jsou dvousložkové materiály složené ze základní složky a vytvrzovacího činidla. Vytvrzování probíhá buď za pokojové teploty, nebo ho lze urychlit temperováním či urychlovači. Trh nabízí velkou škálu silikonů, které se

odlišují svými materiálovými vlastnostmi (pevnost v tahu, tvrdost, viskozita apod.) a jejich vhodnost pro výrobu formy se liší podle budoucího odlévaného materiálu. Často se také používají zpomalovače reakce, které prodlouží dobu tuhnutí silikonu a tím i jeho lepší zatečení okolo master modelu. Použití těchto zpomalovačů se doporučuje hlavně u tvarově složitých součástí. [12; 13]

3.2.2 Materiály pro odlévání

Nejčastější materiál pro vakuové odlévání do silikonových forem jsou polyuretanové pryskyřice, ale odlévat se dají i voskové modely pro vytavitelné lití, nízkotavitelné slitiny, sádra, keramika, apod. Materiálové vlastnosti polyuretanových pryskyřic se velice blíží plastům, které se odvíjí od typu a poměru použité směsi pryskyřice a vytvrzovacího činidla. Od toho se odvíjí i barva, kterou lze však upravovat pomocí barvících pigmentů dodávaných výrobci těchto polyuretanů. V praxi je snaha se vždy blížit vlastnostem plastu, nebo kombinaci plastů, ze kterého by součást měla být sériově vyráběna. Obvykle jsou to tyto plasty a jejich kombinace [12]:

- PE (polyethylen)
- ABS (akrylonitrilbutadienstyren)
- PP (polypropylen)
- PS (polystyren)
- PMMA (polymetylmetakrylát)
- PC (polykarbonát)
- POM (polyoxymethylen)
- PEEK (polyetereterketon)

Informace o vlastnostech a přípravě různých polyuretanových pryskyřic, jako je poměr míchání základní složky s vytvrzovacím činidlem, době zpracovatelnosti, tvrdosti, viskozitě, modulu pružnosti, hustotě atd., jsou obvykle dostupné na webu daného výrobce.

3.3 Vakuování

Vakuování silikonu formy a licího materiálu se provádí v tzv. vakuových komorách. Dva nejdůležitější parametry vakuových komor jsou hodnota dosaženého vakua a výkon čerpání vzduchu z komory. Potřebná hodnota podtlaku by měla být za běžného atmosférického tlaku, tj. 101,325 kPa, alespoň -96 kPa, v absolutním tlaku tedy

cca 5 kPa. Výkon odčerpávání vzduchu z komory se u jednotlivých zařízení pohybuje okolo 25 až 40 m^3/hod. Oba tyto výrobní parametry nejsou podloženy žádným výpočtem, ale zakládají se na praxi a zkušenostech výrobců a platí pro libovolné materiály. Ve vakuové komoře se při odčerpávání vzduchu snižuje tlak jak v samotném prostoru komory, tak i tlak uvnitř materiálu (silikon nebo licí materiál), z kterého se vakuováním odstraňují vzduchové bublinky. Poklesem tlaku uvnitř materiálu se zvětší objem vzduchových bublin a podle Archimédova zákona i vztlak, který na tyto bubliny působí a vytlačuje je vzhůru z materiálu. [12]

Obr. 6 Ukázka vakuové komory [13]

4 PRAKTICKÁ ČÁST

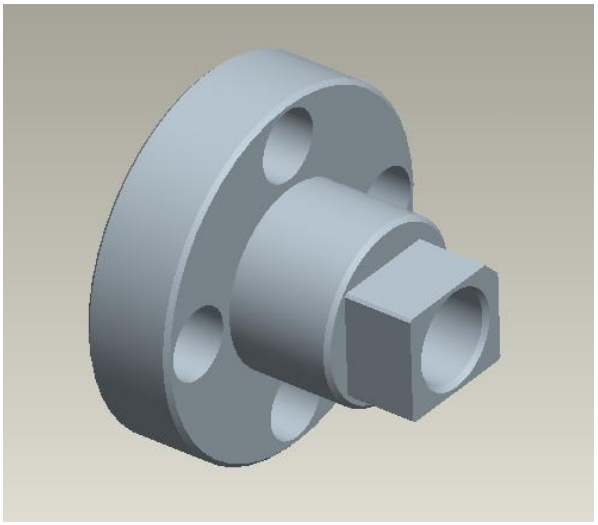
Praktická část této bakalářské práce se zabývá, jak už bylo řečeno v úvodu, vakuovým odléváním polyuretanových pryskyřic do silikonových forem a následným měřením a analyzováním rozměrů vyrobených odlitků. Celá tato část práce se dá shrnout do několika málo bodů:

- Tvorba master modelu
- Výroba silikonové formy
- Odléván polyuretanu
- Měření odlitků

Na následujících stranách jsou tyto body jednotlivě popsány a je vysvětlen celý postup.

4.1 Master model

Master model slouží jak k vymezení dutiny v silikonové formě, tak i jako jistý etalon pro následné porovnávání přesnosti odlitých dílů. V tomto případě nebyla pro master model předlohou žádná funkční součást, ale byl navržen po dohodě s vedoucím práce tak, aby nebylo spotřebováno příliš polyuretanové pryskyřice pro jeho odlévání a aby disponoval dostatkem rozměrů pro měření. Master modely byly vyrobeny dva, oba z duralu na obráběcím centru MAZAK Integrex 100-IV. Dva byly vyrobeny z důvodu možnosti zhotovení dvou nezávislých silikonových forem, pro odlévání dvou různých polyuretanových pryskyřic.

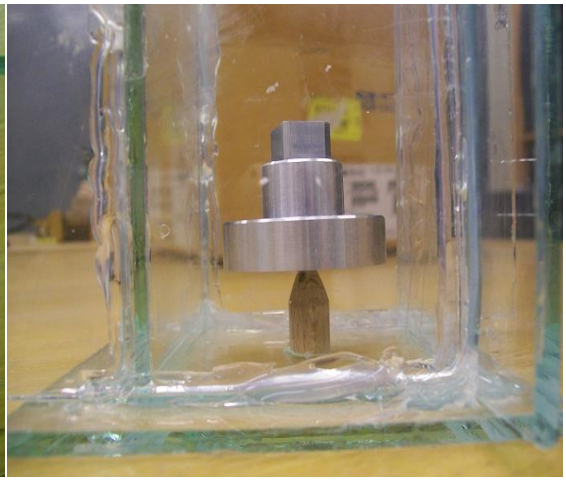


Obr. 7 Master model

4.2 Silikonové formy

4.2.1 Konstrukce

Při výrobě formy bylo nejdříve nutno zvolit orientaci master modelu a vtokového kanálu s ohledem na budoucí správné plnění formy polyuretanovou pryskyřicí. Jako nejlepší možnost se zdálo přilepit vtokový kanál (v tomto případě kousek dřevěné zašpičatělé tyčky) na čelo master modelu s největším průměrem. Jako rám formy sloužilo pět k sobě slepených skleněných destiček. Aby se master model nemusel nijak připevňovat do prostoru rámu, byl přilepen přes vtokový kanál k jeho dnu. Pro úplnost je nutno doplnit, že veškeré lepení musí být vodotěsné, jinak hrozí po nalití silikonu jeho vytečení z rámu. Zde byla použita tavná pistole s tavným lepidlem.



Obr. 8 a **Obr. 9** Master model před zalitím do silikonu

4.2.2 Silikon

Na formu byl použit silikon SILASTIC T-4, který je k dostání u Ebalta GmbH, distributor pro ČR je KTK Blansko s.r.o. Jeho základní vlastnosti jsou shrnuty v Tab. 1.

Silastic T-4			
Vlastnosti	**Základní složka**	**Vytvrzovací činidlo**	**Směs**
Mísící poměr (hm. díly)	100	10	
Barva	čirá tekutina	čirá tekutina	čirá
Viskozita při 25°C [mPa·s]	70 000	300	35 000
Hustota při 25°C [g/cm^3]			1,1
Doba sprac. při 25°C			1 hodina 30 minut
Doba odformování při 25°C			12 hodin
Lineární smrštění [%]			< 0,1
Tvrdost [Shore A]			40

Tab. 1 Vlastnosti SILASTIC T-4 [15]

V první řadě bylo třeba určit množství silikonu, které je zapotřebí k dostatečnému zalití obou master modelů. Tento objem není nutné určovat zcela přesně, je to spíše orientační hodnota. Délky stěn rámu a potřebná výška k zalití byly změřeny:

- První rám: 6,5×6×6 [cm]
- Druhý rám: 6×6×5.5 [cm]

$$V_{celkový} = 6{,}5cm \cdot 6cm \cdot 6cm + 6cm \cdot 6cm \cdot 5{,}5cm \cong 432\ cm^3$$

$$m_{celková} = V_{celkový} \cdot \rho_{silikonu} = 432cm^3 \cdot 1{,}1g \cdot cm^{-3} \cong 480g$$

Jelikož se základní složka míchá s vytvrzovacím činidlem v poměru 100:10, lze lehce vypočítat jejich příslušné hmotnosti:

$$m_{základní} = \frac{m_{celková} \cdot 100}{100 + 10} = \frac{480g \cdot 100}{110} \cong 436g$$

$$m_{vytvrz.} = \frac{m_{celková} \cdot 10}{100 + 10} = \frac{480g \cdot 10}{110} \cong 43{,}6g$$

Toto množství bez problémů stačí, jelikož nebyl započítán objem master modelu. Nyní se jednotlivé složky silikonu navážily, slily do nádoby (kbelík) a pomocí vrtačky s mísícím nástavcem smíchaly dohromady. Nádoba, ve které se silikon mísí a vakuuje, by měla mít alespoň 10 krát větší objem než samotný silikon, jelikož ten při vakuaci značně spění a hrozil by jeho únik do prostoru komory. Nyní tedy přišlo na řadu samotné vakuování, které se provádí z důvodu odstranění vzduchových bublin ze silikonu. To v komoře funguje na principu Archimédova zákona, kdy se snižováním tlaku (až na přibližně 5kPa absolutního tlaku) vzduchové bublinky v silikonu rozpínají a jsou tak vytlačovány pryč. Rozbíjení bublin na povrchu jde případně pomoci krátkým uvolněním tlakového ventilu (asi 0,5 sekundy), čímž se v komoře skokově zvýší tlak a bubliny prasknou. Po skončení vakuování se silikon opatrně, tak aby nedošlo k uvolnění master modelu, nalil do připravených formovacích rámů a v nich znovu zavakuoval, pro co nejdokonalejší odstranění všeho vzduchu v něm obsažených. Po skončení i této druhé vakuace se ještě zahnutým drátkem obkroužila spodní část master modelu pro odstranění bublin, které nemohly při vakuaci uniknout. Následně se silikon nechal ve formě, dle pokynů výrobce, 12 hodin při pokojové teplotě na odformování. Po uplynutí tohoto času bylo možno rozebrat formovací skleněný rám a oříznout přečnívající silikon z okrajů vzniklé silikonové formy. K dokončení formy

zbývalo už jen skalpelem vytvořit dělící rovinu, vyjmout master model a vytvořit výfuky. Dělící rovina se po okrajích formy řezala vlnovitě, aby do sebe obě části po oddělení znovu dobře zapadly a při následném lití polyuretanu nemohlo dojít k vyhnutí jedné z nich. Master model šlo vyjmout díky elasticitě silikonu snadno. Na samotný závěr výroby formy, se ještě vytvořily pomocí jehly výfuky v horní části formy, aby při lití mohl odcházet přebytečný materiál a zamezilo se vzniku bublin v odlitku. Obě formy, stejně jako oba master modely byly opatřeny označením, aby v budoucnu nemohlo dojít k jejich záměně.

Obr. 10 Napěněný silikon ve vakuové komoře; **Obr. 11** Forma před vytvořením dělící roviny

4.3 Odlitky

4.3.1 Polyuretanové pryskyřice

K odlévání byly použity, jak již bylo řečeno, dvě různé polyuretanové pryskyřice. Obě vyrábí německá firma Ebalta GmbH. První pryskyřice nese obchodní název MG 703 a její základní složka se vytvrzuje tužidlem s označením Z 400. Vlastnosti této pryskyřice se blíží kombinaci plastů PP a PE. Její charakteristiky jsou v Tab. 2. Druhá polyuretanová pryskyřice, která byla použita k odlévání je MG 805. Její jednotlivé složky jsou označeny jako komponenta A a komponenta B. Tato pryskyřice se vlastnostmi podobá plastu ABS. Vlastnosti této pryskyřice jsou opět shrnuty níže, a to v Tab. 3.

MG 703			
Vlastnosti	**Pryskyřice**	**Tužidlo**	**Směs**
	MG 703 komp.A	Z 400	MG 703
Barva	bezbarvá	bílá	bílá
Poměr míchání [hmotnostní díly]	100	31	
Viskozita při 25°C [mPa·s]	600 ±100	1200 ±300	
Hustota při 20°C [g/cm^3]	1,12 ±0,02	1,1 ±0,02	1,12 ±0,02
Čas zprac. při 20°C [minuty]			8 - 12
Čas odformování při 50°C [minuty]			40 - 45
Temperace			12 hodin / 100°C.
Lineární smrštění [%]			< 0,1
Pevnost v ohybu [MPa]			52 ± 5
E-Modul (v ohybu) [MPa]			1340 ± 150
Ohyb (prohnutí) [%]			
Pevnost v tahu [MPa]			40 ± 5
Tažnost při přetržení (v tahu) [%]			25 ± 2
Pevnost v tlaku [MPa]			
Rázová houževnatost (Charpy) [kJ/m^2]			77 ± 20
Vrubová houževnatost [J/m]			968 ± 78 při 20°C
Tepelná odolnost tvaru dle Martens [°C]			81 ± 3
Teplota zeskelnatění T_G [°C]			105
Tvrdost Shore D			77 ± 2 při 20°C

Tab. 2 Vlastnosti MG 703 [16]

MG 805			
Vlastnosti	**Pryskyřice**	**Tužidlo**	**Směs**
	MG 805 komp.A	MG 805 komp.B	MG 805
Barva	bezbarvá	černá	černá
Poměr míchání [hmotnostní díly]	100	70	
Viskozita při 25°C [mPa·s]	700 ± 100	700 ± 100	
Hustota při 20°C [g/cm^3]	1,14 ± 0,02	1,16 ± 0,02	1,16 ±0,02
Čas zprac. při 20°C [minuty]			5 - 7
Čas odformování při 75°C [minuty]			90 - 120
Temperace			3 hodiny / 110°C
Lineární smrštění [%]			< 0,1
Pevnost v ohybu [MPa]			100 ± 5
E-Modul (v ohybu) [MPa]			1930 ± 100
Ohyb (prohnutí) [%]			9 ± 2
Pevnost v tahu [MPa]			67 ± 5
Tažnost při přetržení (v tahu) [%]			10,5 ± 2
Pevnost v tlaku [MPa]			
Rázová houževnatost (Charpy) [kJ/m^2]			77 ± 20
Vrubová houževnatost [J/m]			
Tepelná odolnost tvaru dle Martens [°C]			120 ± 3
Teplota zeskelnatění T_G [°C]			135
Tvrdost Shore D			80 ± 3 při 20°C

Tab. 3 Vlastnosti MG 805 [17]

4.3.2 Odlévání

Počet odlévání byl zvolen na 10 pro MG 703 i pro MG 805, aby byl dostatečný počet vzorků pro následné porovnávání rozměrů. Ještě před navážením jednotlivých složek polyuretanové pryskyřice je třeba určit její potřebné množství pro odlití, spojit oba díly formy dohromady, do vtokového kanálu umístit trychtýř a formu předehřát v temperovací peci. Potřebné množství pryskyřice je opět pouze orientační hodnota, kdy je stále třeba uvažovat s přídavkem materiálu, který zůstane ve vtokovém kanálu a v trychtýři. Hmotnost samotného odlitého dílu lze určit z hmotnosti formy a z její teoretické hmotnosti, kdyby její dutina byla plná silikonu. Hustota silikonu je při tom přibližně stejná jako hustota obou polyuretanových pryskyřic, takže stačilo pouze zvážit např. formu k odlévání MG 805, spočítat celkový objem z již naměřených hodnot (6×6×5,5 [cm]) v kapitole 3.2.2, vynásobit hustotou (přibližně 1,1g/cm^3) a obě hmotnosti odečíst. Výsledkem je tedy přibližná hmotnost odlitého dílu, kdy potřebné množství na odlití bude větší o vtokovou soustavu a případný uniklý materiál výfuky ve formě. Na první odlití se po zvážení všech kritérií zvolilo 40g polyuretanu pro obě pryskyřice s možností případného snížení této hmotnosti. Na spojení obou dílů forem byly použity obyčejné kancelářské sešívací sponky a předehřívaly se na 60°C. Poté se navážily obě složky polyuretanové pryskyřice, a to v poměru závislém na jejím typu. MG 703 se míchá v poměru dle tabulky 2, pro 40g celkového množství je to tedy:

$$m_{MG\ 703-A} = \frac{100}{100+31} \cdot 40g \cong 30.5g$$

$$m_{Z\ 400} = \frac{31}{100+31} \cdot 40g \cong 9{,}5g$$

MG 805 se míchá dle tabulky 3, hmotnosti jednotlivých složek jsou potom pro 40g:

$$m_{MG\ 805-A} = \frac{100}{100+70} \cdot 40g \cong 23{,}5g$$

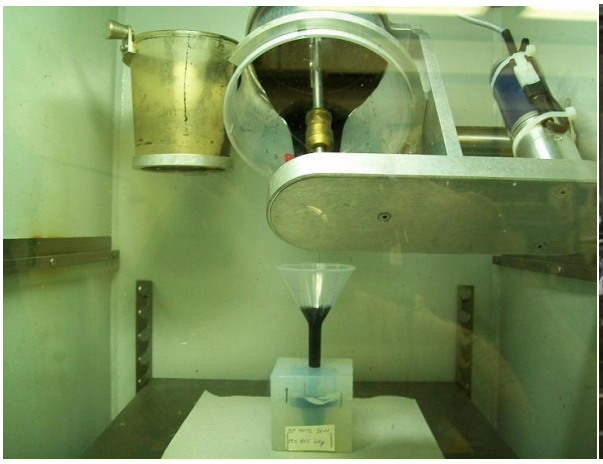
$$m_{MG\ 805-B} = \frac{70}{100+70} \cdot 40g \cong 16{,}5g$$

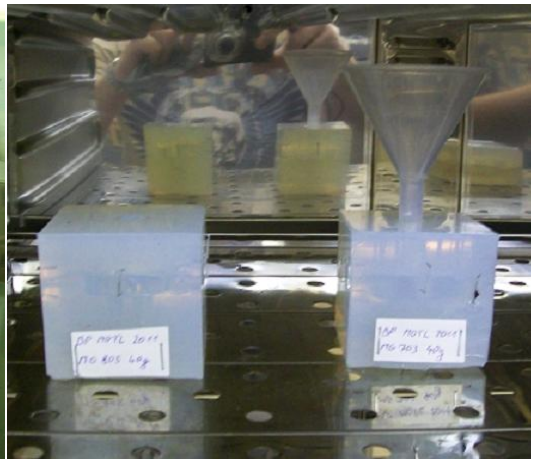
Hlavní složka pryskyřice se vždy vážila v hlavním kelímku náležejícímu k vakuové komoře, v kterém je míchadlo, a tužidlo v druhém, menším kelímku. Oba kelímky se připevnily do komory, míchadlo se připojilo k vřetenu a předehřátá forma s trychtýřem se umístila do vakuové komory. Tím bylo vše připraveno pro započetí vakuování.

Při vakuaci, kolem absolutního tlaku 5kPa, probíhá vylučování vzduchu z jednotlivých složek pryskyřice formou bublin. Jejich rozbíjení můžeme pomáhat, stejně jako u silikonu v kapitole 3.2.2, prudkými změnami tlaku v komoře pomocí krátkého uvolnění tlakového ventilu. Po odstranění téměř veškerého vzduchu z licích složek přichází čas na jejich slití a rozmíchání v hlavním kelímku. Samotné slévání by mělo probíhat pouze po dobu 10 sekund a následné mísení složek okolo jedné minuty. Při míchání se může znovu objevit pěnění, ale před nalitím směsi do formy by se měly zvýšením tlaku v komoře (opět pomocí tlakového ventilu) bubliny odstranit. Když je vše hotovo, nezbývá než do komory napustit vzduch, vyčistit kelímek s míchadlem a formu i s trychtýřem vložit do temperovací pece na dobu uvedenou v tabulkách 2 a 3. Temperovací pec, jelikož oba materiály mají rozdílné teploty na odformování (tabulka 2 a 3) a k dispozici byla pouze jedna, byla nastavena na kompromis 60°C. Trychtýř s nálitkem se z formy odstraňoval přibližně po deseti minutách od nalití do formy a to krouživým pohybem, aby nedošlo k vytržení materiálu z odlitku. Po odformování se forma vyndala z pece, odstranily se z ní spojovací sponky, materiál vyteklý ven z formy a vyňal se odlitek, z kterého se ořízl nálitek a výfuky. Odlitek se ještě označil pořadovým číslem a tím je jeho výroba, až na temperaci, která se prováděla až hromadně po odlití všech kusů za podmínek uvedených v Tab. 2 a 3, hotova. Pro další odlévání je formu nutno očistit, zkontrolovat průchodnost výfuků, spojit oba díly, opět jí opatřit trychtýřem a předehřát v temperovací peci. Tímto způsobem se odlévaly všechny kusy, a to z obou materiálů. Po odlití prvních dílů z obou pryskyřic se měnilo jejich množství k dalšímu lití, což sebou neslo přepočet hmotnostních dílů jednotlivých složek na 30 či 35g jejich celkové hmotnosti. Výpočet je zcela analogický jako u výše uvedeného výpočtu pro 40g pryskyřice a je zřejmě zbytečné ho zde uvádět. V několika případech se vyskytly v odlitcích větší bubliny a to pravděpodobně změnou vlhkosti vzduchu (polyuretan je materiál citlivý na vlhko), nebo nedokonalým vyhřátím formy či nedostačujícími výfuky. Pro odstranění výskytu těchto bublin se výfuky na formě upravovaly a měnil se i sklon formy při lití ve vakuové komoře, pomocí několika sponek umístěných na její spodní části. Po odlití deseti dílů z MG 703, čímž původně mělo být odlévání tohoto materiálu skončeno, jsme se ještě společně s vedoucím práce rozhodli poškodit formu pro tento materiál ponořením do separátoru a zanecháním v temperovací peci při teplotě 100°C po dobu 12 hodin a provést do ní ještě jedno, jedenácté odlití. Změny množství licího materiálu, výskyt větších bublin a úpravy formy jsou zpracovány v Tab. 4.

Číslo odlití	MG 703			MG 805		
	Hmotnost materiálu [g]	Větší bublina	Úpravy	Hmotnost materiálu [g]	Větší bublina	Úpravy
1	40	ne		40	ne	
2	30	ne		30	ne	
3	30	ano		30	ne	
4	35	ano	výfuky	30	ne	
5	35	ano	výfuky, sklon f.	30	ne	sklon f.
6	35	ne		30	ne	
7	30	ne		30	ne	
8	30	ne		30	ne	
9	30	ne		30	ne	
10	30	ne		30	ne	
11	30	ne	poškození f.	x	x	

Tab. 4 Množství odlévaného materiálu, výskyt bublin a úprava formy





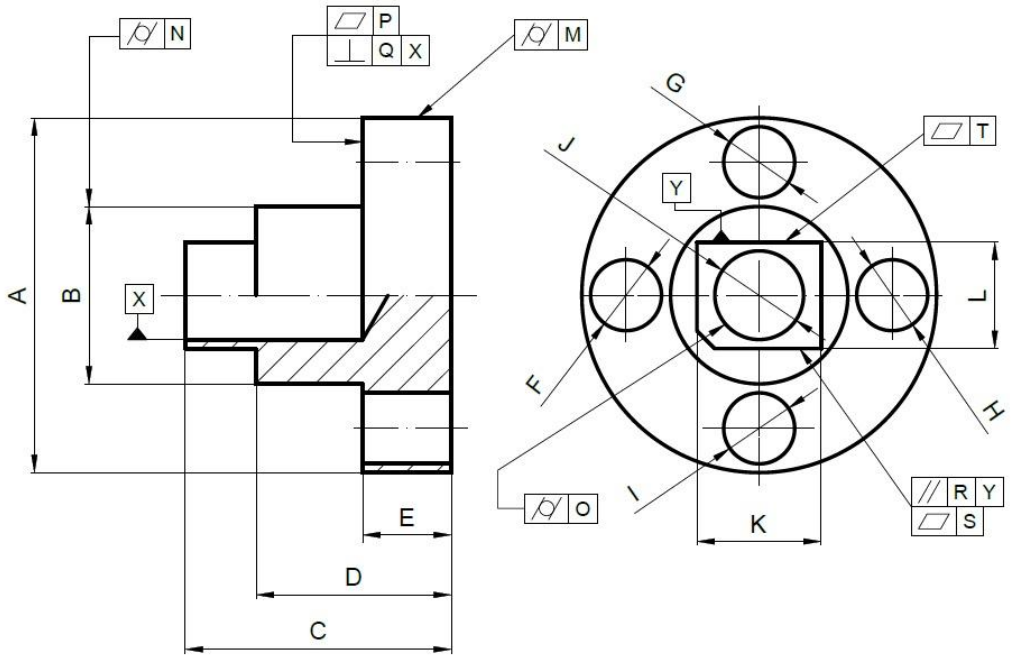
Obr. 12 Odlévání MG 805; **Obr. 13** Odformovávání MG 805 a výhřev formy pro MG 703

4.4 Měření

Měření jednotlivých dílů, včetně master modelů, lze rozdělit do těchto bodů:

- Měření rozměrů
- Měření geometrické přesnosti
- Vyhodnocení výsledků

Jednotlivým rozměrům a úchylkám byla na součásti přidělena označení velkými písmeny abecedy, pro snazší orientaci, viz Obr. 14, nebo příloha 7.



Obr. 14 Součást s rozměry a úchylkami označenými písmeny

4.4.1 Rozměry

Rozměry dílů se měřily pomocí ručních digitálních mikrometrů od společnosti MITUTOYO Česko s.r.o. Při započetí měření byly mikrometry vždy kalibrovány pomocí etalonů, dodávaných společně s mikrometry. Každý rozměr byl měřen ve zhruba stejném místě, pro co nejlepší výpovědní hodnotu výstupů, a to 4 krát. Více měření nebylo provedeno z důvodu časové náročnosti. Veškeré změřené rozměry, včetně jejich znázornění v grafech pomocí střední hodnoty, jsou v přílohách 1, 2 a 3. Základní údaje o mikrometrech jsou zpracovány v Tab. 5.

Mikrometry			
Název	**Model**	**Rozsah [mm]**	**Přesnost [mm]**
Digimatic Micrometer	MDE-25 PJ	0-25	0,001
Digimatic Micrometer	MDE-50 PJ	25-50	0,001
Digimatic Holtest	HTD-10 R	8-10	0,001

Tab. 5 Použité mikrometry

4.4.2 Geometrie

Velikosti geometrických úchylek byly měřeny na souřadnicovém měřícím stroji SOMET-BEROX XYZ 464B. Tento manuální měřící stroj má osovou odchylku 5,8µm a prostorovou odchylku 7,3µm. Použitá snímací doteková sonda byla od firmy

RENISHAW s.r.o. a software Tango!3D dodávaný firmou TOPMES, měřící stroje, v.o.s. Sonda se před měřením zkalibrovala, v softwaru se nadefinovaly jednotlivé úchylky a jako upínání součásti k podložce posloužila obyčejná modelovací hmota. Ta součásti dostatečně zafixovala na místě a zároveň je bylo možno při měření rychle střídat. Hodnoty všech naměřených geometrických úchylek, společně s jejich znázorněním v grafech, byly zpracovány v přílohách 4, 5 a 6.

4.4.3 Vyhodnocení

Rozměry:

Z grafů přílohy 3 je patrno, že materiál MG 805 má při tuhnutí vyšší lineární smrštění než MG 703, což v důsledku vede k větším rozměrovým nepřesnostem. I přes tuto chybu u MG 805, je ale také vidět na většině těchto grafů jistá rozměrová stabilita tohoto materiálu, kdy se rozměry obvykle během jednoho až dvou odlití prudce změní, než se ustálí na poměrně stabilní hodnotě. Výjimkou z tohoto pravidla může být snad jen rozměr s označením A, což je největší průměr součásti, kdy se postupným litím přesnost rozměru vůči master modelu měnila téměř parabolicky. To bylo pravděpodobně způsobeno degradací formy, nebo jejím špatným předehřátím či změnou vlhkosti vzduchu. Nejcitlivější rozměr k těmto změnám je pak právě tento největší. Jistá anomálie u MG 805 je vidět i z grafu rozměru B, kdy se hodnota u třetího odlití téměř ideálně přiblíží k rozměru master modelu a u dalšího lití se opět vrací do cca stejného stavu jako u odlitku číslo 2. Tento skok, dle mého názoru, pravděpodobně způsobila nějaká nečistota na odlitku nebo v čelistech mikrometru. Dále je možnost si všimnout, že grafy rozměrů F, G, H, I, což jsou průměry děr v čelní rovině, mají téměř identický průběh. Co se týče MG 703, tak tento materiál má, jak je patrno dle výsledků grafů, více kolísající rozměry než MG 805. To je patrně způsobeno jeho větší citlivostí na drobnou změnu licích podmínek, jako je už zmíněná vlhkost vzduchu, nebo nedokonalé prohřátí celé formy.

Geometrie:

Největší vzniklá geometrická úchylka patrná z grafů přílohy 6, je úchylka kolmosti k základně X označená jako Q. Hodnoty této úchylky pohybující se až okolo 0,3mm u MG 703, byly s největší pravděpodobností způsobeny už samotným tvarem součásti, kdy v silikonové formě vznikne v díře J volný a poměrně dlouhý válec silikonu o průměru kolem 10mm. Tento válec se při odlévání polyuretanu může

vyklonit a tím vznikne ona vyšší hodnota úchylky Q. Nesmíme však zapomenout na samotný master model pro MG 703, v kterém byla díra J vyvrtána šikmo s úchylkou Q cca 0,25mm, takže její amplituda u odlitků se pohybovala do velikosti 0,1mm. Dále vyšších hodnot nabývá úchylka válcovitosti M. Jedná se o úchylku na největším průměru, která přímo koresponduje s nestabilním průměrem A, a její příčina bude obdobná jako právě u tohoto průměru. Poslední úchylkou přesahující 0,1mm je úchylka válcovitosti O. Je zvláštní, že takto vysokých hodnot dosahuje pouze u materiálu MG 703, zatímco MG 805 si drží její hodnotu poměrně stabilně na velikostech kolem 0,05mm. Tento rozdíl byl dle mého názoru způsoben rozdílným sklonem obou forem, kdy u formy pro MG 703 docházelo k většímu pohybu silikonového válce zmíněného výše u úchylky Q.

5 ZÁVĚR

Byly splněny všechny body zadání, včetně zpracování výsledků měření a jejich zhodnocení.

Bohužel se při vakuovém odlévání nedala zaručit stále stejná vlhkost a tlak okolního vzduchu. To byla pravděpodobně jedna z příčin většího kolísání některých rozměrů a také vzniku větších bublin u několika odlitků z materiálu MG 703. Tyto bubliny by však neměly nijak ovlivňovat výsledky měření rozměrů a geometrických úchylek.

Z grafů v příloze 3 je patrna jistá závislost rozměrů na počtech odlití. Ta jde asi nejlépe pozorovat na dírách F, G, H, I v čelní rovině. Dále je možno si všimnout rozdílné rozměrové stability a lineárního smrštění u obou použitých polyuretanových pryskyřic. Pro větší průkaznost těchto zjištění by bylo vhodné provést větší počet odlití a více měření rozměrů. To však z časových důvodů nebylo provedeno.

Z výsledků měření rovněž vyplívá, že odlité díly mají lepší rozměrovou než geometrickou přesnost, u které se občas objevovaly úchylky v řádech až několika desetin milimetru. Jako nejproblematičtější se zdá být válcovitost a kolmost díry J. Ta je ve formě tvořena poměrně dlouhým silikonovým válcem, který je při odlévání pravděpodobně náchylný k vyhnutí do strany.

LITERATURA

Elektronické zdroje:

[1] 3D Systems Corporation [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.3dsystems.com/company/index.asp>

[2] Josef Pinkas, CAD/CAM technologie, Česká zemědělská univerzita v Praze, fakulta technická [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://vrecion.plarmy.org:8081/cad/galerie/2004/RapidPrototyping.pdf>

[3] Engineer Live [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.engineerlive.com/Design-Engineer/Computer_Systems_Software/Improving_pre-processing_for_rapid_prototyping/23152/>

[4] MM Průmyslové spektrum [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-rapid-prototypingu>

[5] VUT v Brně, ÚST [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://ime.fme.vutbr.cz/Files/Vyuka/BUM-FS/Aditivni%20technologie%20pro%20studenty.pdf>

[6] Kelyniam [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.kelyniam.com/stereolithography.asp>

[7] CUSTOMPART.NET [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.custompartnet.com/wu/stereolithography>

[8] CUSTOMPART.NET [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.custompartnet.com/wu/selective-laser-sintering>

[9] CUSTOMPART.NET [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.custompartnet.com/wu/fused-deposition-modeling>

[10] CUSTOMPART.NET [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.custompartnet.com/wu/laminated-object-manufacturing>

[11] CUSTOMPART.NET [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.custompartnet.com/wu/3d-printing>

[12] Jakub Roupec, Zřízení pro vakuové lití do silikonových forem, VUT v Brně, Ústav konstruování [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=363>

[13] MCAE Systems s.r.o. [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.mcae.cz/vakuove-liti>

[14] ACR Czech s.r.o. [online] [cit. 24.4.2011]; Dostupné na URL: <http://www.axson.cz/dokumenty/technicke-listy>

[15] ELCHEMCo s.r.o [online] [cit. 5.5.2011]; Dostupné na URL: <http://web.elchemco.cz/T4EX.php>

[16] Remoldes [online] [cit. 8.5.2011]; Dostupné na URL: <http://remoldes.com/LFB?n=MG703Z400.pdf>

[17] KTK Blansko s.r.o. [online] [cit. 8.5.2011]; Dostupné na URL: <http://www.ebalta.cz/cz/katalog-produktu/polyuretonove-lici-hmoty/mg-805-1>

[18] TOPMES, měřící stroje, v.o.s. [online] [cit. 20.5.2011]; dostupné na URL: <http://www.topmes.cz/CZ/Software/Tango!3D.aspx>

[19] Renishaw s.r.o. [online] [cit. 20.5.2011]; dostupné na URL: <http://www.renishaw.cz/cs/sondy-cmm-software-a-doplnky--6329>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1	Princip SL
Obr. 2	Princip LS
Obr. 3	Princip FDM
Obr. 4	Princip LOM
Obr. 5	Princip 3DP
Obr. 6	Ukázka vakuové komory
Obr. 7	Master model
Obr. 8	Master model před zalitím do silikonu
Obr. 9	Master model před zalitím do silikonu
Obr. 10	Napěněný silikon ve vakuové komoře
Obr. 11	Forma před vytvořením dělící roviny
Obr. 12	Odlévání MG 805
Obr. 13	Odformovávání MG 805 a výhřev formy pro MG 703
Obr. 14	Součást s rozměry a úchylkami označenými písmeny

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Vlastnosti SILASTIC T-4

Tab. 2 Vlastnosti MG 703

Tab. 3 Vlastnosti MG 805

Tab. 4 Množství odlévaného materiálu, výskyt bublin a úprava formy

Tab. 5 Použité mikrometry

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Rozměry MG 703 [mm]
Příloha 2	Rozměry MG 805 [mm]
Příloha 3	Grafy rozměrů MG 703 a MG 805
Příloha 4	Velikosti geometrických úchylek MG 703 [mm]
Příloha 5	Velikosti geometrických úchylek MG 805 [mm]
Příloha 6	Grafy geometrických úchylek MG 703 a MG 805
Příloha 7	Součást s rozměry a úchylkami označenými písmeny

Příloha 1 Rozměry MG 703 [mm]

MG 703	A	x̃	x̄	σ	B	x̃	x̄	σ
MASTER MODEL	39,472 39,475 39,474 39,472	39,473	39,47325	0,001299	19,979 19,979 19,978 19,978	19,9785	19,9785	0,0005
1	39,336 39,334 39,345 39,333	39,335	39,337	0,004743	19,830 19,834 19,831 19,832	19,8315	19,83175	0,001479
2	39,248 39,255 39,265 39,266	39,26	39,2585	0,007433	19,822 19,835 19,822 19,821	19,822	19,825	0,005788
3	39,431 39,414 39,418 39,403	39,416	39,4165	0,010012	19,895 19,896 19,895 19,895	19,895	19,89525	0,000433
4	39,369 39,406 39,361 39,363	39,366	39,37475	0,018281	19,848 19,859 19,854 19,855	19,8545	19,854	0,003937
5	39,409 39,339 39,393 39,381	39,387	39,3805	0,025937	19,861 19,852 19,853 19,855	19,854	19,85525	0,003491
6	39,418 39,443 39,410 39,396	39,414	39,41675	0,017079	19,863 19,917 19,862 19,866	19,8645	19,877	0,023141
7	39,266 39,265 39,299 39,293	39,2795	39,28075	0,015401	19,833 19,835 19,828 19,829	19,831	19,83125	0,002861
8	39,377 39,383 39,381 39,393	39,382	39,3835	0,005895	19,822 19,890 19,907 19,899	19,8945	19,8795	0,033738
9	39,392 39,471 39,399 39,388	39,3955	39,4125	0,034004	19,830 19,833 19,833 19,839	19,833	19,83375	0,003269
10	39,474 39,460 39,483 39,485	39,4785	39,4755	0,009862	19,862 19,851 19,848 19,846	19,8495	19,85175	0,00618
11	39,404 39,409 39,394 39,396	39,4	39,40075	0,006057	19,861 19,857 19,848 19,852	19,8545	19,8545	0,004924

MG 703	C	x̃	x̄	σ	D	x̃	x̄	σ
MASTER MODEL	30,007 30,009 30,009 30,007	30,008	30,008	0,001	21,990 21,991 21,990 21,992	21,9905	21,99075	0,000829
1	29,857 29,850 29,850 29,855	29,8525	29,853	0,003082	21,873 21,877 21,876 21,875	21,8755	21,87525	0,001479
2	29,893 29,880 29,873 29,889	29,8845	29,88375	0,00779	21,841 21,843 21,842 21,853	21,8425	21,84475	0,004815
3	29,973 29,982 29,978 29,979	29,9785	29,978	0,00324	21,863 21,862 21,870 21,863	21,863	21,8645	0,003202
4	29,981 29,903 29,918 29,910	29,914	29,928	0,031056	21,866 21,864 21,869 21,861	21,865	21,865	0,002915
5	29,868 29,860 29,855 29,856	29,858	29,85975	0,005117	21,870 21,869 21,872 21,870	21,87	21,87025	0,00109
6	29,959 29,941 29,948 29,946	29,947	29,9485	0,006576	21,893 21,894 21,891 21,896	21,8935	21,8935	0,001803
7	29,868 29,872 29,863 29,867	29,8675	29,8675	0,003202	21,827 21,829 21,832 21,822	21,828	21,8275	0,00364
8	29,919 29,919 29,918 29,926	29,919	29,9205	0,003202	21,912 21,908 21,911 21,905	21,9095	21,909	0,002739
9	29,964 29,973 29,964 29,948	29,964	29,96225	0,00901	21,866 21,885 21,890 21,887	21,886	21,882	0,009407
10	29,941 29,938 29,938 29,942	29,9395	29,93975	0,001785	21,915 21,917 21,909 21,910	21,9125	21,91275	0,003345
11	29,960 29,959 29,959 29,961	29,9595	29,95975	0,000829	21,875 21,877 21,874 21,876	21,8755	21,8755	0,001118

MG 703	E	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ	F	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ
MASTER MODEL	10,008 10,004 10,002 10,001	10,003	10,00375	0,002681	8,061 8,034 8,061 8,050	8,0555	8,0515	0,011057
1	9,834 9,833 9,838 9,840	9,836	9,83625	0,002861	8,170 8,162 8,166 8,164	8,165	8,1655	0,002958
2	9,845 9,855 9,853 9,851	9,852	9,851	0,003742	8,140 8,150 8,157 8,142	8,146	8,14725	0,006759
3	9,880 9,877 9,882 9,878	9,879	9,87925	0,00192	8,149 8,154 8,159 8,160	8,1565	8,1555	0,004387
4	9,852 9,848 9,840 9,849	9,8485	9,84725	0,004437	8,167 8,170 8,171 8,173	8,1705	8,17025	0,002165
5	9,846 9,838 9,833 9,826	9,8355	9,83575	0,007293	8,205 8,196 8,191 8,196	8,196	8,197	0,00505
6	9,877 9,875 9,880 9,861	9,876	9,87325	0,007293	8,189 8,194 8,161 8,194	8,1915	8,1845	0,01372
7	9,852 9,813 9,857 9,838	9,845	9,84	0,017073	8,220 8,215 8,215 8,216	8,2155	8,2165	0,002062
8	9,881 9,884 9,879 9,910	9,8825	9,8885	0,01254	8,202 8,202 8,201 8,202	8,202	8,20175	0,000433
9	9,843 9,842 9,833 9,834	9,838	9,838	0,004528	8,221 8,226 8,227 8,220	8,2235	8,2235	0,003041
10	9,924 9,916 9,919 9,936	9,9215	9,92375	0,007628	8,249 8,237 8,243 8,243	8,243	8,243	0,004243
11	9,789 9,814 9,810 9,783	9,7995	9,799	0,013248	8,289 8,284 8,291 8,289	8,289	8,28825	0,002586

MG 703	G	x̃	x̄	σ	H	x̃	x̄	σ
MASTER MODEL	8,034 8,034 8,032 8,029	8,033	8,03225	0,002046	8,028 8,030 8,028 8,026	8,028	8,028	0,001414
1	8,136 8,140 8,131 8,135	8,1355	8,1355	0,003202	8,140 8,142 8,141 8,138	8,1405	8,14025	0,001479
2	8,128 8,124 8,130 8,124	8,126	8,1265	0,002598	8,124 8,132 8,130 8,130	8,13	8,129	0,003
3	8,135 8,139 8,135 8,137	8,136	8,1365	0,001658	8,148 8,133 8,145 8,155	8,1465	8,14525	0,007949
4	8,156 8,152 8,150 8,156	8,154	8,1535	0,002598	8,153 8,159 8,150 8,166	8,156	8,157	0,006124
5	8,166 8,167 8,168 8,166	8,1665	8,16675	0,000829	8,160 8,169 8,163 8,167	8,165	8,16475	0,003491
6	8,162 8,165 8,167 8,164	8,1645	8,1645	0,001803	8,166 8,160 8,173 8,180	8,1695	8,16975	0,007496
7	8,184 8,185 8,186 8,176	8,1845	8,18275	0,003961	8,178 8,179 8,182 8,182	8,1805	8,18025	0,001785
8	8,166 8,165 8,166 8,168	8,166	8,16625	0,00109	8,162 8,157 8,158 8,164	8,16	8,16025	0,002861
9	8,228 8,196 8,194 8,197	8,1965	8,20375	0,014042	8,196 8,199 8,194 8,197	8,1965	8,1965	0,001803
10	8,191 8,195 8,193 8,198	8,194	8,19425	0,002586	8,206 8,207 8,208 8,212	8,2075	8,20825	0,002278
11	8,248 8,247 8,246 8,241	8,2465	8,2455	0,002693	8,250 8,250 8,263 8,259	8,2545	8,2555	0,005679

MG 703	I	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ	J	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ
MASTER MODEL	8,032 8,033 8,033 8,035	8,033	8,03325	0,00109	10,073 10,016 10,050 10,007	10,033	10,0365	0,026481
1	8,138 8,137 8,137 8,141	8,1375	8,13825	0,001639	10,062 10,067 10,071 10,097	10,069	10,07425	0,013516
2	8,129 8,124 8,126 8,123	8,125	8,1255	0,002291	10,100 10,123 10,118 10,134	10,1205	10,11875	0,012275
3	8,127 8,125 8,115 8,125	8,125	8,123	0,00469	10,079 10,065 10,062 10,119	10,072	10,08125	0,02272
4	8,152 8,150 8,150 8,145	8,15	8,14925	0,002586	10,121 10,102 10,097 10,078	10,0995	10,0995	0,015305
5	8,164 8,158 8,195 8,154	8,161	8,16775	0,01613	10,141 10,117 10,117 10,138	10,1275	10,12825	0,0113
6	8,159 8,155 8,159 8,159	8,159	8,158	0,001732	10,149 10,135 10,117 10,133	10,134	10,1335	0,011347
7	8,178 8,184 8,186 8,177	8,181	8,18125	0,003832	10,158 10,160 10,152 10,161	10,159	10,15775	0,003491
8	8,164 8,167 8,165 8,166	8,1655	8,1655	0,001118	10,155 10,145 10,117 10,135	10,14	10,138	0,014036
9	8,207 8,200 8,202 8,199	8,201	8,202	0,003082	10,184 10,153 10,152 10,142	10,1525	10,15775	0,015754
10	8,206 8,214 8,217 8,213	8,2135	8,2125	0,004031	10,177 10,176 10,175 10,180	10,1765	10,177	0,001871
11	8,257 8,251 8,254 8,253	8,2535	8,25375	0,002165	10,186 10,187 10,188 10,186	10,1865	10,18675	0,000829

MG 703	K	x̃	x̄	σ	L	x̃	x̄	σ
MASTER MODEL	13,993 13,989 13,990 13,996	13,9915	13,992	0,002739	11,999 11,999 12,003 11,995	11,999	11,999	0,002828
1	13,884 13,887 13,883 13,884	13,884	13,8845	0,0015	11,889 11,880 11,878 11,877	11,879	11,881	0,004743
2	13,889 13,893 13,891 13,893	13,892	13,8915	0,001658	11,880 11,883 11,895 11,880	11,8815	11,8845	0,006185
3	13,903 13,912 13,911 13,908	13,9095	13,9085	0,0035	11,894 11,898 11,895 11,896	11,8955	11,89575	0,001479
4	13,900 13,891 13,888 13,897	13,894	13,894	0,004743	11,912 11,907 11,903 11,906	11,9065	11,907	0,00324
5	13,887 13,888 13,891 13,883	13,8875	13,88725	0,002861	11,890 11,881 11,886 11,884	11,885	11,88525	0,003269
6	13,885 13,877 13,884 13,881	13,8825	13,88175	0,003112	11,881 11,877 11,881 11,877	11,879	11,879	0,002
7	13,873 13,870 13,868 13,874	13,8715	13,87125	0,002385	11,870 11,875 11,873 11,877	11,874	11,87375	0,002586
8	13,924 13,920 13,908 13,919	13,9195	13,91775	0,005932	11,948 11,952 11,943 11,940	11,9455	11,94575	0,004603
9	13,861 13,866 13,856 13,857	13,859	13,86	0,003937	11,877 11,865 11,870 11,877	11,8735	11,87225	0,005068
10	13,884 13,888 13,885 13,886	13,8855	13,88575	0,001479	11,893 11,889 11,889 11,889	11,889	11,89	0,001732
11	13,905 13,907 13,900 13,902	13,9035	13,9035	0,002693	11,897 11,903 11,899 11,899	11,899	11,8995	0,002179

Příloha 2 Rozměry MG 805 [mm]

MG 805	A	x̃	x̄	σ	B	x̃	x̄	σ
MASTER MODEL	39,469 39,471 39,472 39,471	39,471	39,47075	0,00109	19,979 19,978 19,979 19,977	19,9785	19,97825	0,000829
1	39,353 39,428 39,368 39,361	39,3645	39,3775	0,029635	19,781 19,778 19,779 19,774	19,7785	19,778	0,00255
2	39,259 39,262 39,262 39,257	39,2605	39,26	0,002121	19,731 19,739 19,726 19,729	19,73	19,73125	0,004815
3	39,240 39,242 39,241 39,238	39,2405	39,24025	0,001479	19,972 19,973 19,968 19,975	19,9725	19,972	0,00255
4	39,136 39,139 39,134 39,138	39,137	39,13675	0,00192	19,734 19,736 19,730 19,732	19,733	19,733	0,002236
5	39,161 39,168 39,172 39,163	39,1655	39,166	0,004301	19,736 19,731 19,738 19,740	19,737	19,73625	0,003345
6	39,171 39,162 39,169 39,166	39,1675	39,167	0,003391	19,739 19,734 19,736 19,738	19,737	19,73675	0,00192
7	39,161 39,169 39,166 39,162	39,164	39,1645	0,003202	19,727 19,731 19,726 19,729	19,728	19,72825	0,00192
8	39,172 39,191 39,188 39,179	39,1835	39,1825	0,0075	19,739 19,737 19,743 19,742	19,7405	19,74025	0,002385
9	39,209 39,225 39,221 39,218	39,2195	39,21825	0,00589	19,821 19,823 19,817 19,811	19,819	19,818	0,004583
10	39,464 39,472 39,460 39,468	39,466	39,466	0,004472	19,725 19,734 19,727 19,730	19,7285	19,729	0,003391

MG 805	C	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ	D	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ
MASTER MODEL	30,002 30,001 30,003 30,002	30,002	30,002	0,000707	21,986 21,988 21,985 21,987	21,9865	21,9865	0,001118
1	29,800 29,803 29,798 29,796	29,799	29,79925	0,002586	21,780 21,783 21,783 21,779	21,7815	21,78125	0,001785
2	29,761 29,767 29,764 29,769	29,7655	29,76525	0,003031	21,765 21,764 21,769 21,771	21,767	21,76725	0,002861
3	29,739 29,743 29,738 29,734	29,7385	29,7385	0,003202	21,734 21,737 21,738 21,732	21,7355	21,73525	0,002385
4	29,778 29,773 29,778 29,772	29,7755	29,77525	0,002773	21,754 21,757 21,756 21,751	21,755	21,7545	0,002291
5	29,734 29,729 29,731 29,727	29,73	29,73025	0,002586	21,732 21,731 21,733 21,739	21,7325	21,73375	0,003112
6	29,736 29,739 29,733 29,735	29,7355	29,73575	0,002165	21,737 21,739 21,736 21,739	21,738	21,73775	0,001299
7	29,776 29,779 29,772 29,770	29,774	29,77425	0,003491	21,725 21,726 21,728 21,729	21,727	21,727	0,001581
8	29,735 29,738 29,739 29,734	29,7365	29,7365	0,002062	21,724 21,727 21,728 21,729	21,7275	21,727	0,001871
9	29,725 29,728 29,731 29,734	29,7295	29,7295	0,003354	21,724 21,726 21,726 21,721	21,725	21,72425	0,002046
10	29,763 29,766 29,759 29,761	29,762	29,76225	0,002586	21,746 21,749 21,746 21,742	21,746	21,74575	0,002487

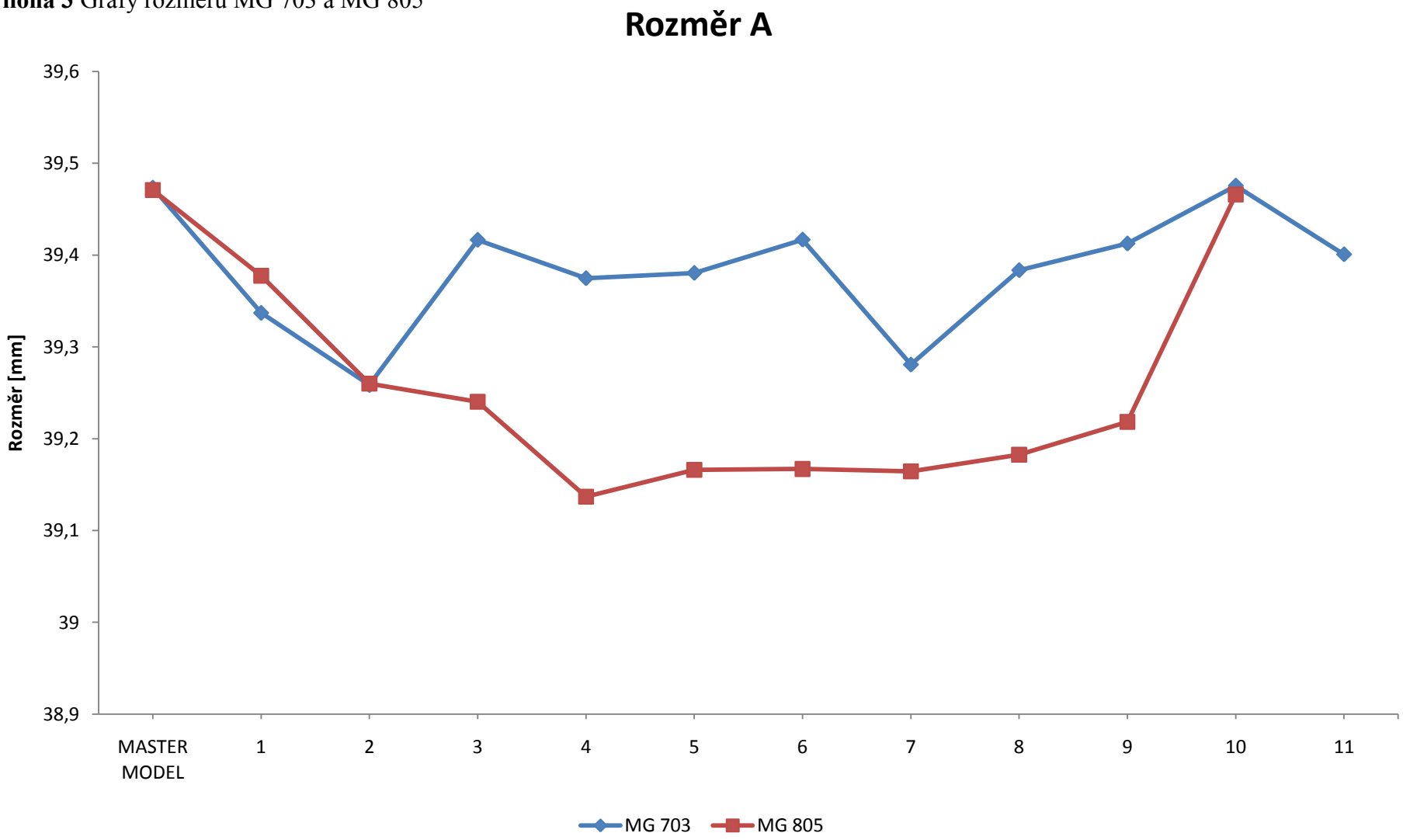
MG 805	E	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ	F	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ
MASTER MODEL	9,996 9,998 9,997 9,995	9,9965	9,9965	0,001118	8,052 8,048 8,054 8,052	8,052	8,0515	0,002179
1	9,844 9,841 9,849 9,838	9,8425	9,843	0,004062	8,164 8,164 8,161 8,159	8,1625	8,162	0,002121
2	9,762 9,767 9,769 9,762	9,7645	9,765	0,003082	8,128 8,130 8,142 8,136	8,133	8,134	0,005477
3	9,767 9,763 9,769 9,772	9,768	9,76775	0,003269	8,174 8,175 8,173 8,179	8,1745	8,17525	0,002278
4	9,774 9,771 9,779 9,778	9,776	9,7755	0,003202	8,173 8,169 8,166 8,174	8,171	8,1705	0,003202
5	9,778 9,775 9,768 9,776	9,7755	9,77425	0,003767	8,185 8,182 8,183 8,178	8,1825	8,182	0,00255
6	9,772 9,778 9,768 9,767	9,77	9,77125	0,004323	8,156 8,155 8,157 8,163	8,1565	8,15775	0,003112
7	9,769 9,774 9,768 9,767	9,7685	9,7695	0,002693	8,165 8,163 8,163 8,167	8,164	8,1645	0,001658
8	9,777 9,773 9,775 9,777	9,776	9,7755	0,001658	8,181 8,184 8,179 8,176	8,18	8,18	0,002915
9	9,762 9,766 9,761 9,764	9,763	9,76325	0,00192	8,149 8,150 8,153 8,147	8,1495	8,14975	0,002165
10	9,761 9,760 9,761 9,772	9,761	9,7635	0,004924	8,220 8,221 8,216 8,218	8,219	8,21875	0,00192

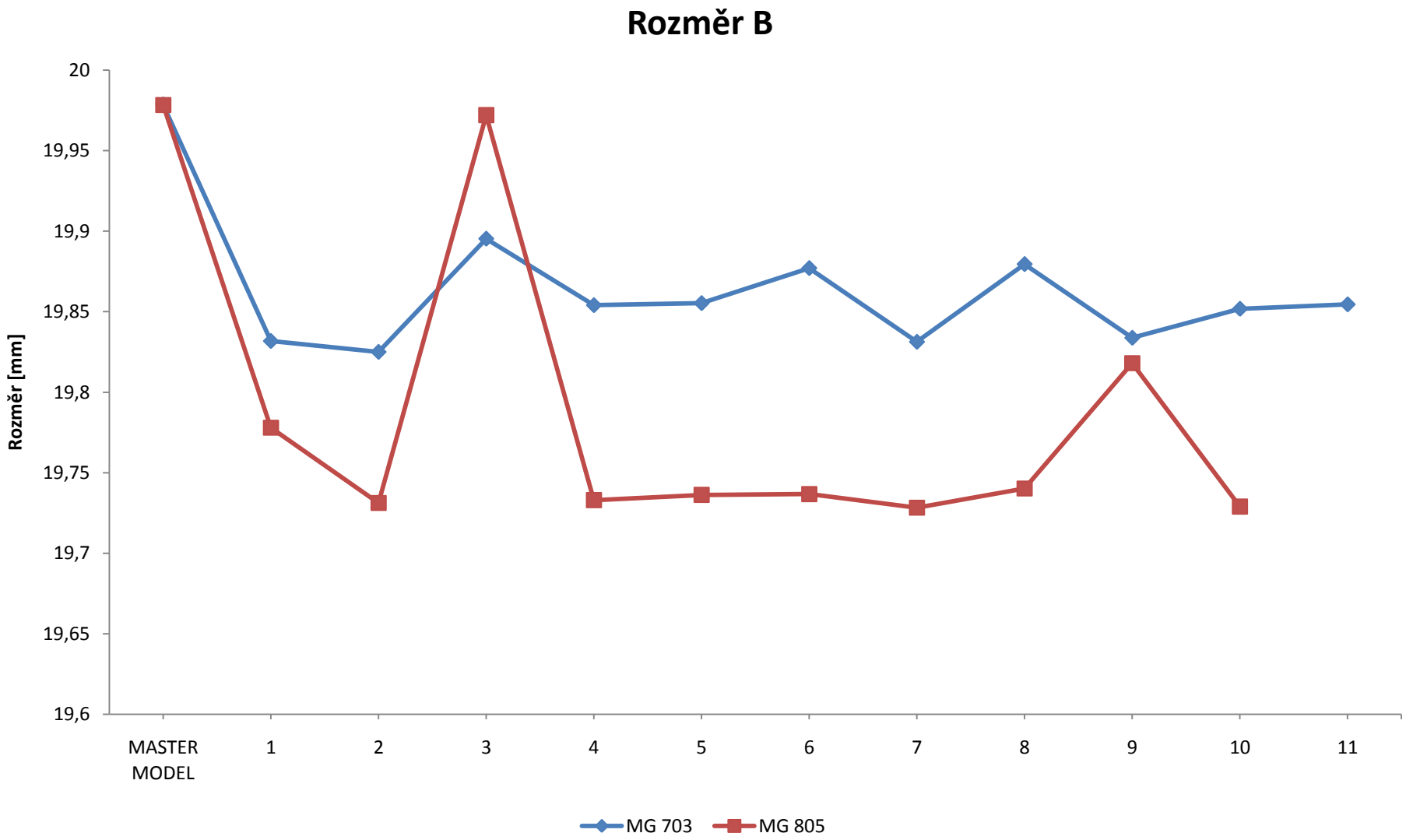
MG 805	G	x̃	x̄	σ	H	x̃	x̄	σ
MASTER MODEL	8,058 8,062 8,057 8,060	8,059	8,05925	0,00192	8,076 8,069 8,071 8,073	8,072	8,07225	0,002586
1	8,170 8,161 8,161 8,168	8,1645	8,165	0,004062	8,182 8,179 8,179 8,176	8,179	8,179	0,002121
2	8,158 8,150 8,147 8,152	8,151	8,15175	0,004023	8,180 8,169 8,175 8,174	8,1745	8,1745	0,003905
3	8,181 8,176 8,181 8,177	8,179	8,17875	0,002278	8,195 8,196 8,197 8,191	8,1955	8,19475	0,002278
4	8,173 8,167 8,172 8,169	8,1705	8,17025	0,002385	8,188 8,192 8,187 8,186	8,1875	8,18825	0,002278
5	8,143 8,180 8,176 8,178	8,177	8,16925	0,015221	8,180 8,199 8,188 8,186	8,187	8,18825	0,006869
6	8,149 8,151 8,147 8,152	8,15	8,14975	0,00192	8,167 8,179 8,180 8,174	8,1765	8,175	0,005148
7	8,175 8,173 8,176 8,169	8,174	8,17325	0,002681	8,180 8,182 8,185 8,191	8,1835	8,1845	0,004153
8	8,174 8,185 8,184 8,179	8,1815	8,1805	0,004387	8,197 8,190 8,198 8,192	8,1945	8,19425	0,003345
9	8,147 8,149 8,145 8,152	8,148	8,14825	0,002586	8,165 8,174 8,172 8,176	8,173	8,17175	0,004146
10	8,208 8,204 8,219 8,211	8,2095	8,2105	0,0055	8,224 8,228 8,229 8,247	8,2285	8,232	0,00886

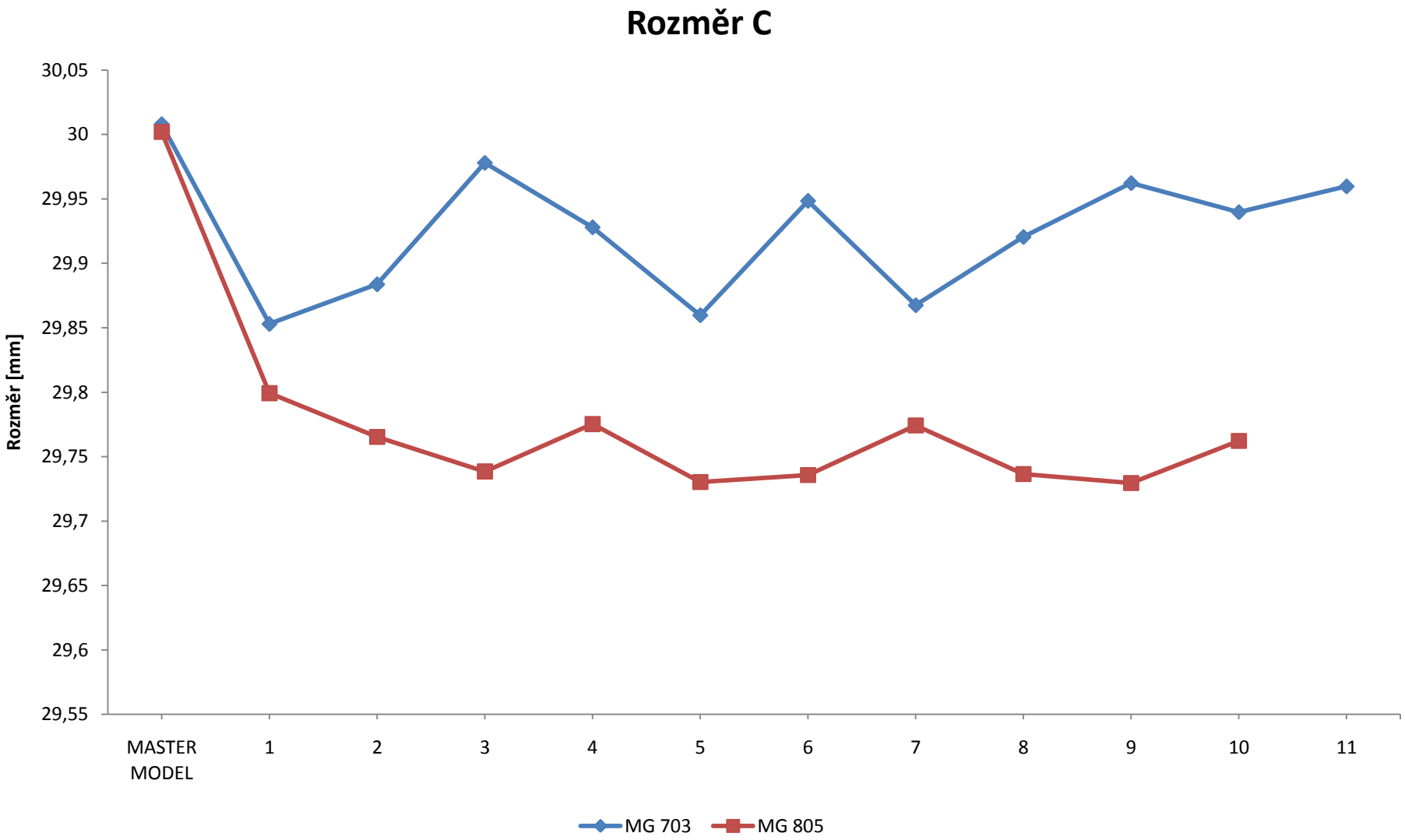
MG 805	I	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ	J	$\tilde{x}$	$\bar{x}$	σ
MASTER MODEL	7,995 8,005 8,004 8,001	8,0025	8,00125	0,003897	10,127 10,102 10,106 10,103	10,1045	10,1095	0,01021
1	8,118 8,119 8,118 8,121	8,1185	8,119	0,001225	10,192 10,190 10,190 10,187	10,19	10,18975	0,001785
2	8,123 8,123 8,127 8,126	8,1245	8,12475	0,001785	10,195 10,192 10,191 10,197	10,1935	10,19375	0,002385
3	8,134 8,134 8,137 8,138	8,1355	8,13575	0,001785	10,190 10,190 10,187 10,185	10,1885	10,188	0,002121
4	8,138 8,137 8,141 8,143	8,1395	8,13975	0,002385	10,191 10,191 10,190 10,198	10,191	10,1925	0,003202
5	8,136 8,146 8,130 8,140	8,138	8,138	0,005831	10,191 10,189 10,189 10,196	10,19	10,19125	0,002861
6	8,121 8,121 8,122 8,124	8,1215	8,122	0,001225	10,189 10,178 10,183 10,187	10,185	10,18425	0,004206
7	8,129 8,138 8,132 8,134	8,133	8,13325	0,003269	10,190 10,189 10,189 10,198	10,1895	10,1915	0,003775
8	8,134 8,136 8,140 8,139	8,1375	8,13725	0,002385	10,195 10,196 10,193 10,189	10,194	10,19325	0,002681
9	8,123 8,124 8,126 8,129	8,125	8,1255	0,002291	10,185 10,188 10,189 10,183	10,1865	10,18625	0,002385
10	8,157 8,164 8,170 8,166	8,165	8,16425	0,00471	10,190 10,195 10,196 10,191	10,193	10,193	0,00255

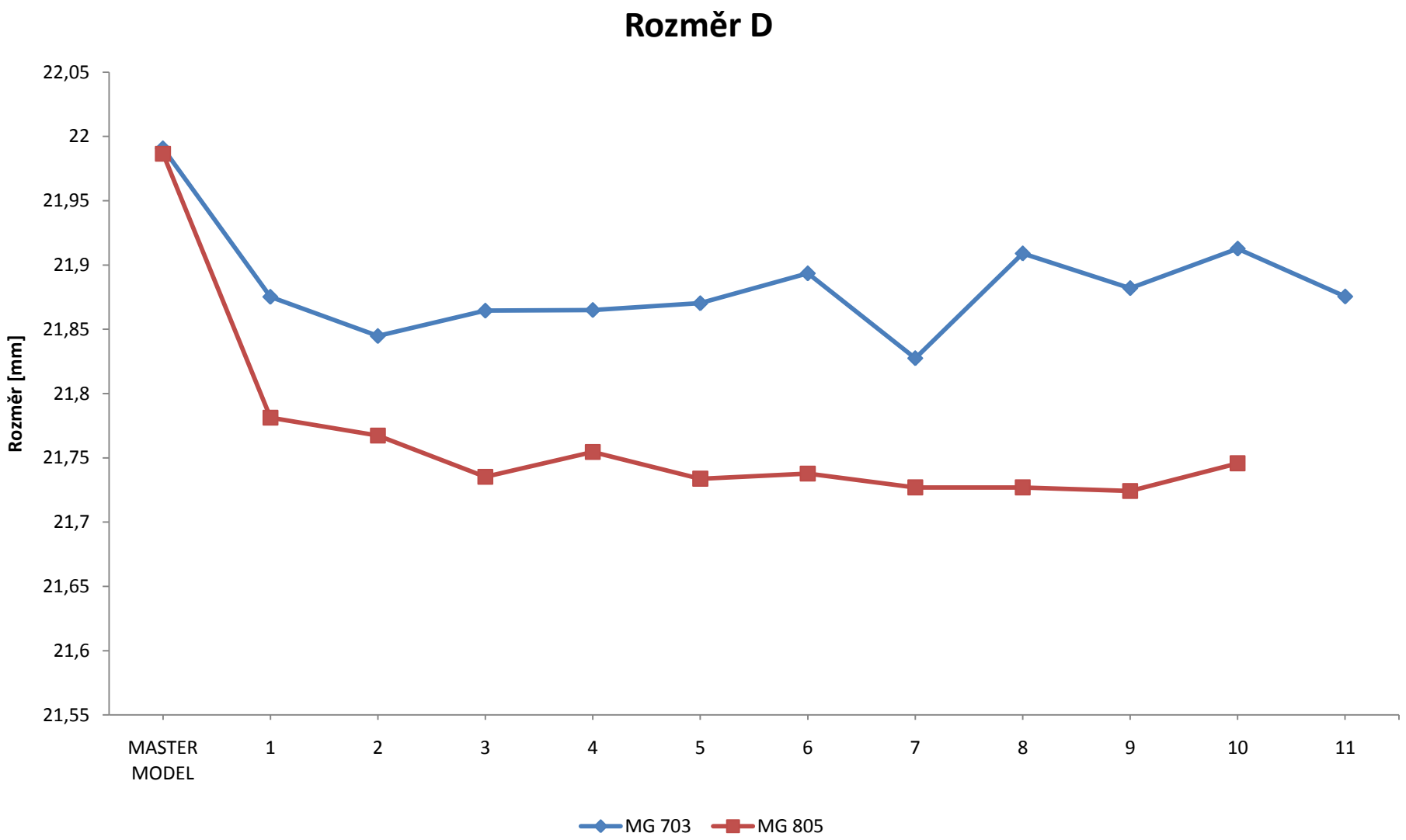
MG 805	K	x̃	x̄	σ	L	x̃	x̄	σ
MASTER MODEL	13,995 13,997 13,996 13,995	13,9955	13,99575	0,000829	12,000 12,003 12,002 12,000	12,001	12,00125	0,001299
1	13,851 13,846 13,853 13,848	13,8495	13,8495	0,002693	11,859 11,857 11,861 11,863	11,86	11,86	0,002236
2	13,832 13,839 13,837 13,832	13,8345	13,835	0,003082	11,850 11,854 11,855 11,857	11,8545	11,854	0,00255
3	13,836 13,829 13,838 13,831	13,8335	13,8335	0,00364	11,846 11,849 11,846 11,842	11,846	11,84575	0,002487
4	13,835 13,834 13,840 13,837	13,836	13,8365	0,002291	11,856 11,857 11,855 11,853	11,8555	11,85525	0,001479
5	13,827 13,825 13,839 13,833	13,83	13,831	0,005477	11,843 11,845 11,849 11,847	11,846	11,846	0,002236
6	13,836 13,840 13,838 13,834	13,837	13,837	0,002236	11,848 11,847 11,845 11,849	11,8475	11,84725	0,001479
7	13,832 13,834 13,829 13,831	13,8315	13,8315	0,001803	11,844 11,846 11,840 11,847	11,845	11,84425	0,002681
8	13,822 13,830 13,828 13,831	13,829	13,82775	0,003491	11,842 11,839 11,843 11,845	11,8425	11,84225	0,002165
9	13,861 13,863 13,858 13,864	13,862	13,8615	0,002291	11,848 11,849 11,850 11,847	11,8485	11,8485	0,001118
10	13,855 13,859 13,854 13,857	13,856	13,85625	0,00192	11,881 11,880 11,883 11,877	11,8805	11,88025	0,002165

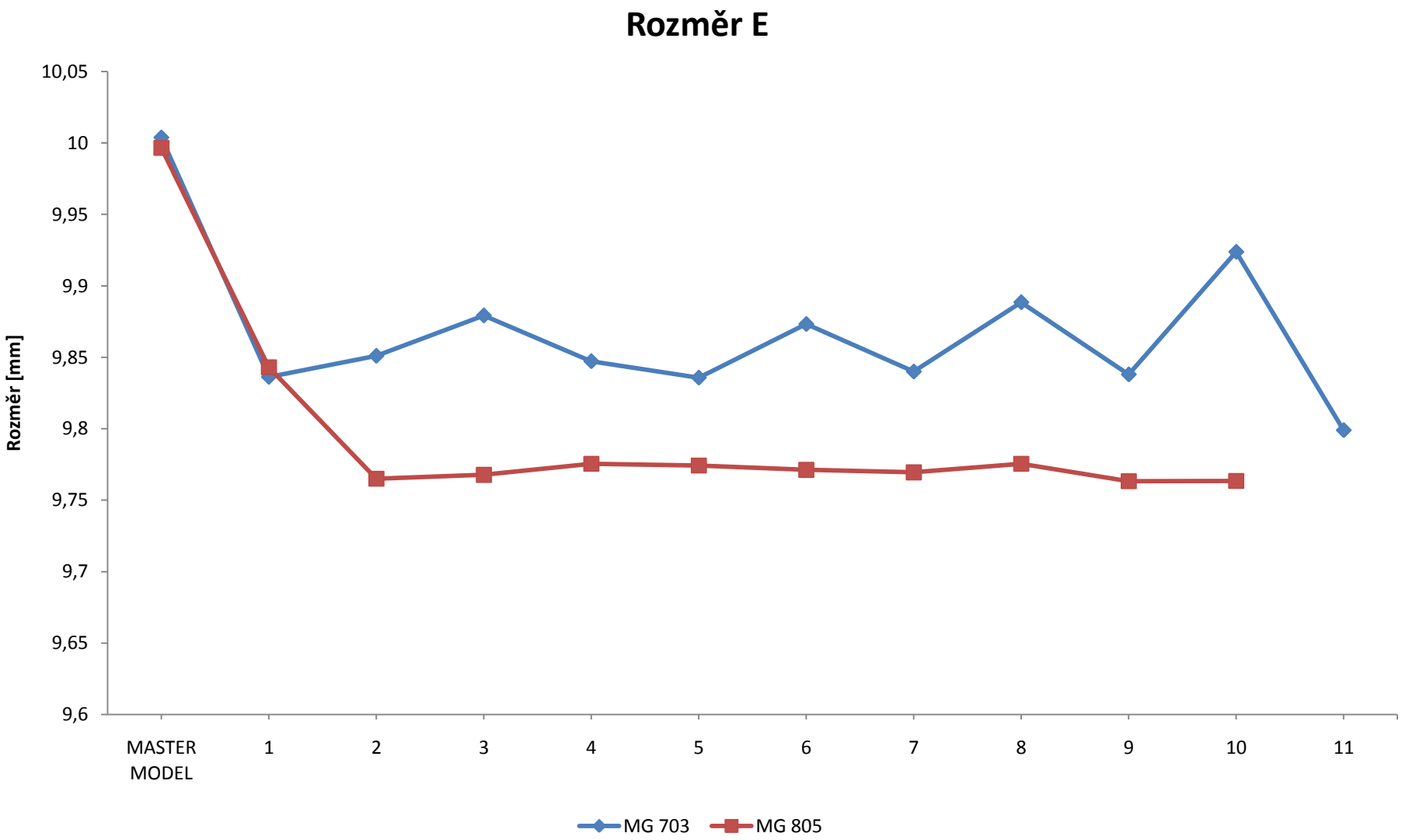
Příloha 3 Grafy rozměrů MG 703 a MG 805

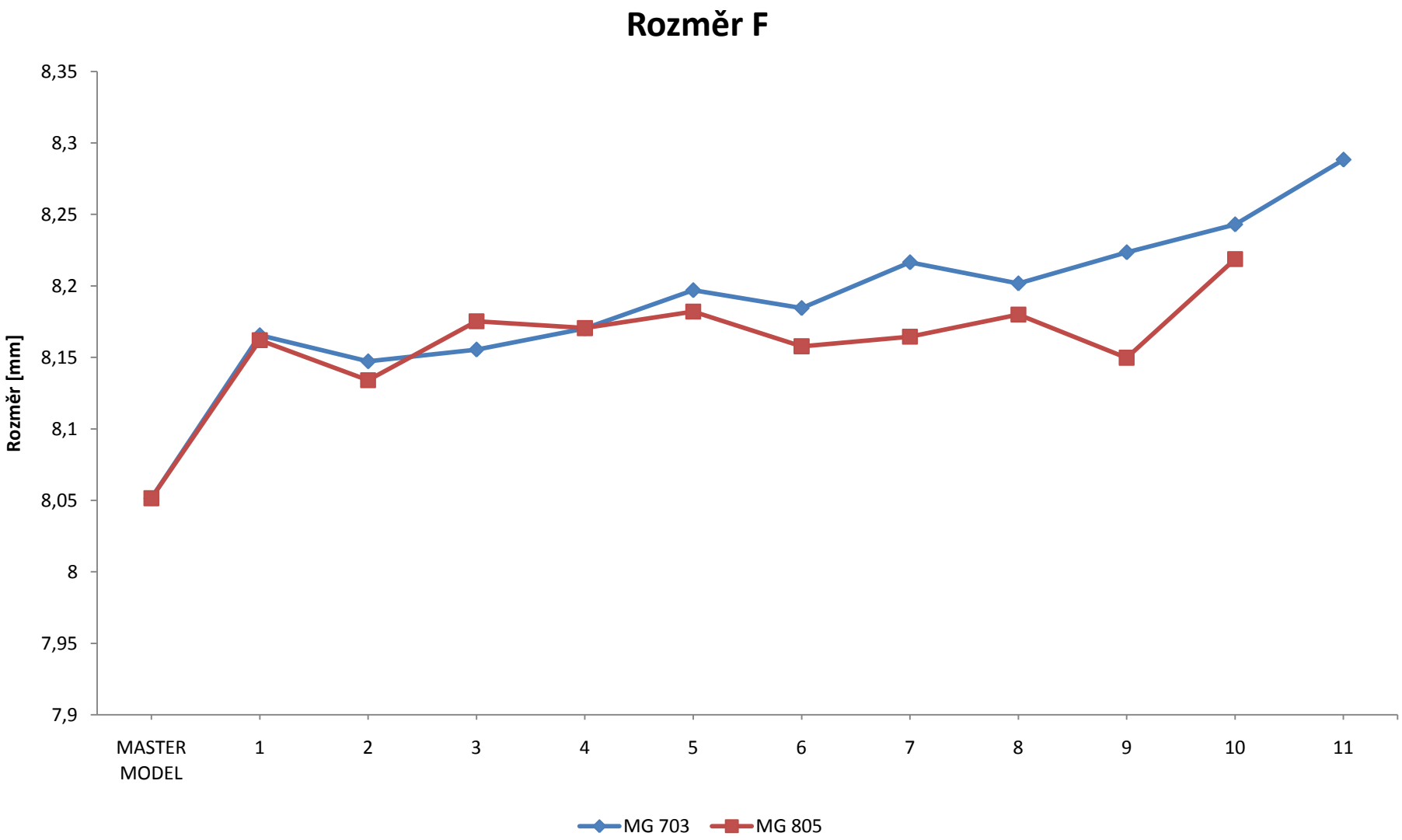


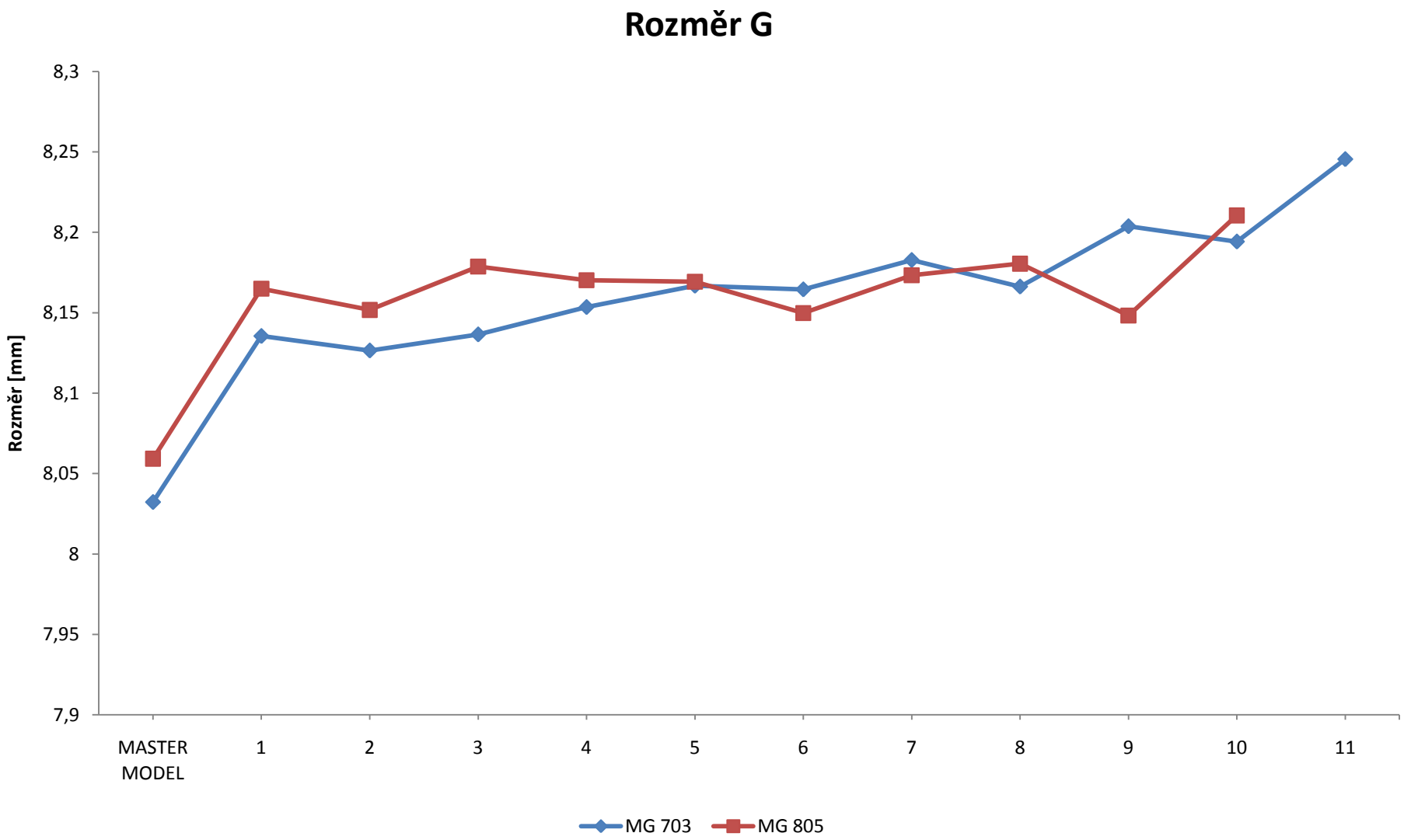

Rozměr B
Rozměr [mm]
20
19,95
19,9
19,85
19,8
19,75
19,7
19,65
19,6
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

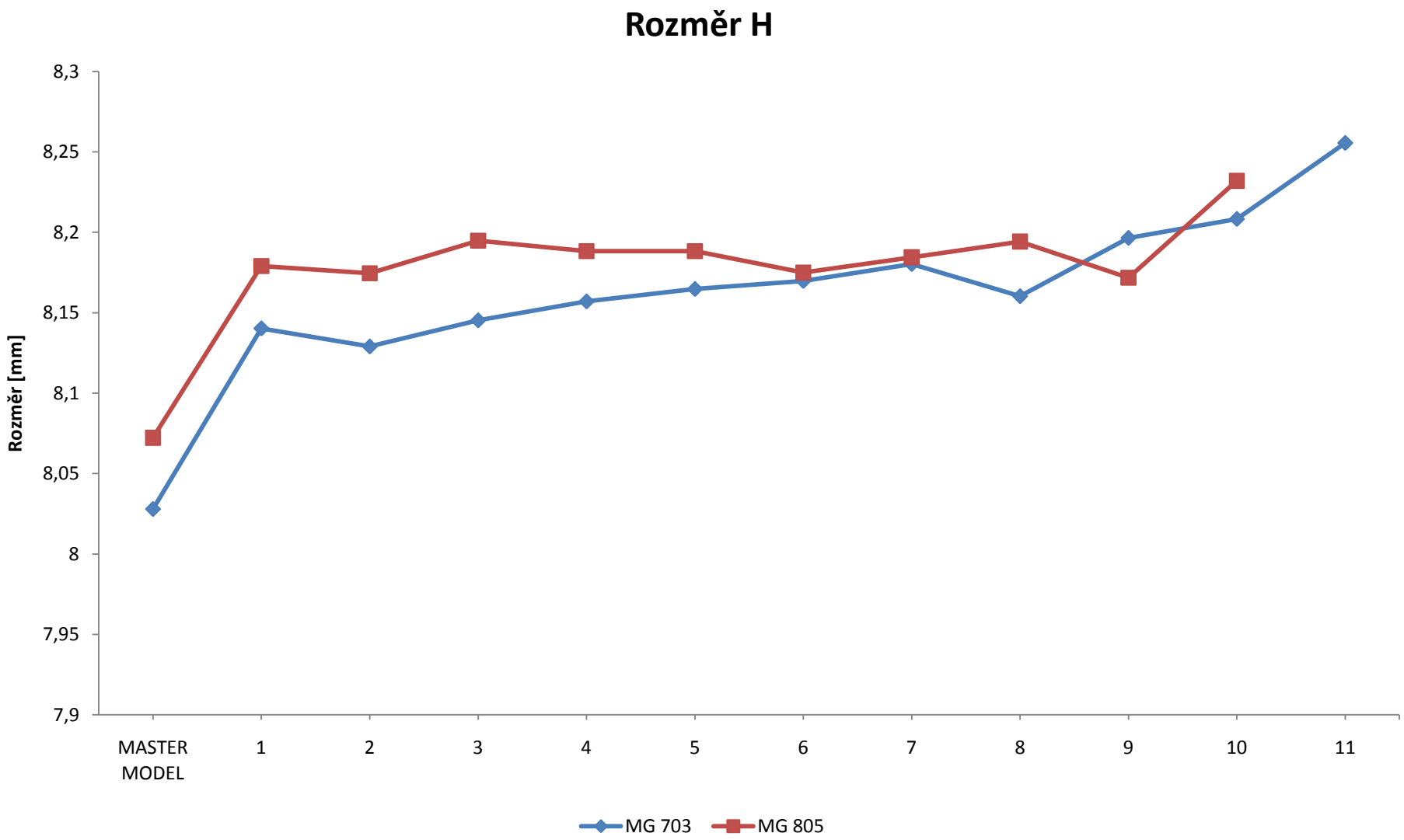

Rozměr C
Rozměr [mm]
30,05
30
29,95
29,9
29,85
29,8
29,75
29,7
29,65
29,6
29,55
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

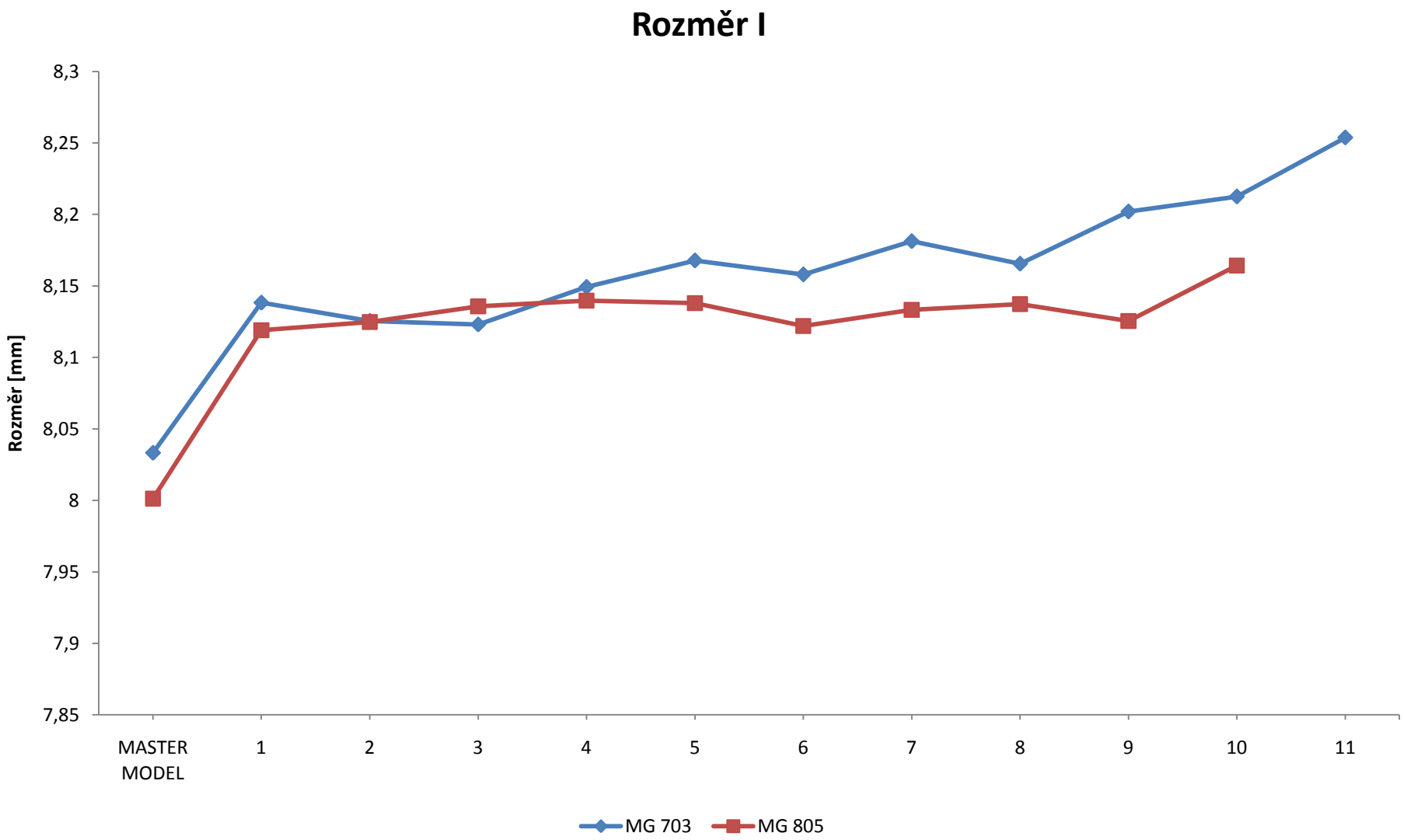

Rozměr D
Rozměr [mm]
22,05
22
21,95
21,9
21,85
21,8
21,75
21,7
21,65
21,6
21,55
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

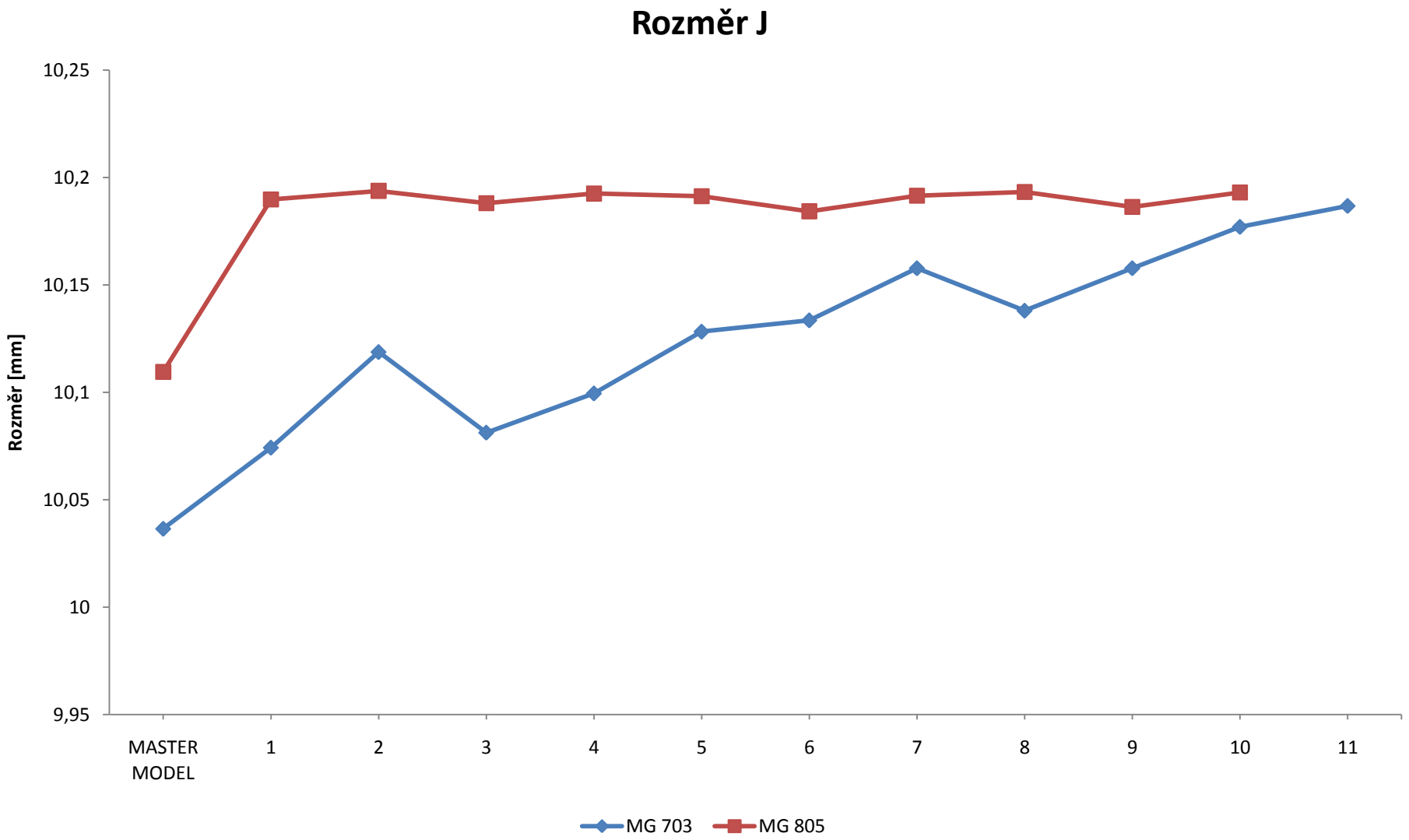

Rozměr E
Rozměr [mm]
10,05
10
9,95
9,9
9,85
9,8
9,75
9,7
9,65
9,6
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

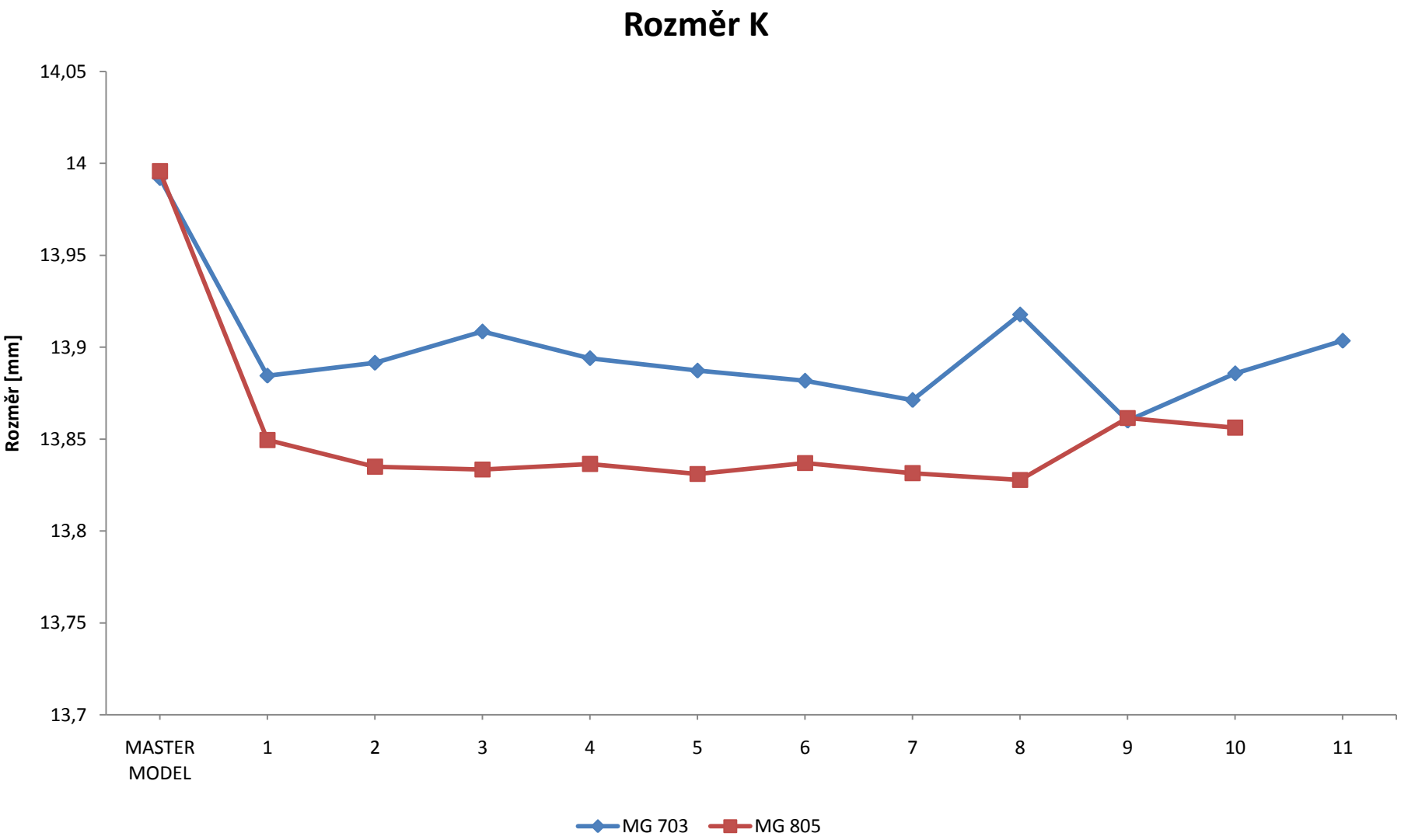

Rozměr F
Rozměr [mm]
8,35
8,3
8,25
8,2
8,15
8,1
8,05
8
7,95
7,9
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

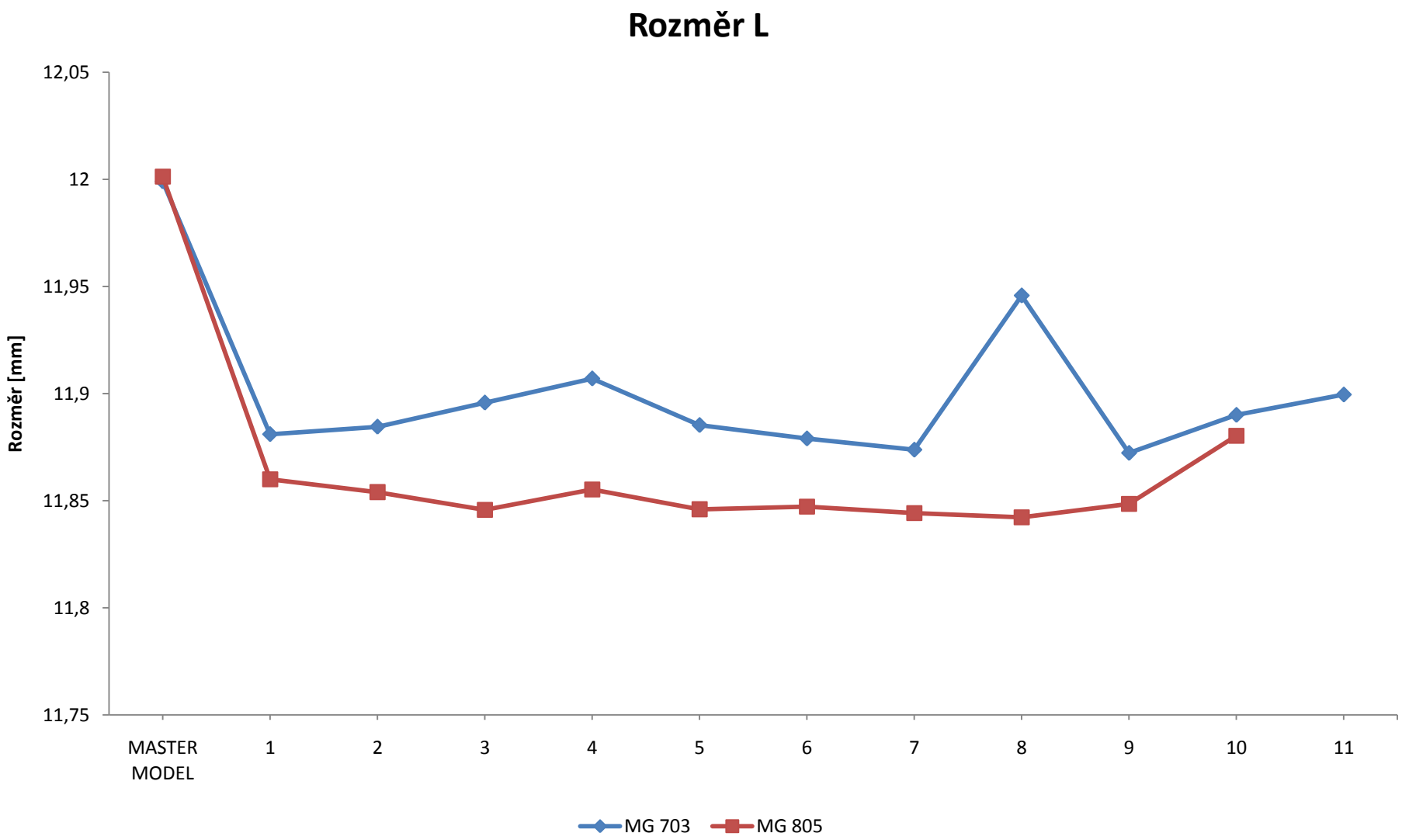

Rozměr G
Rozměr [mm]
8,3
8,25
8,2
8,15
8,1
8,05
8
7,95
7,9
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Rozměr H
Rozměr [mm]
8,3
8,25
8,2
8,15
8,1
8,05
8
7,95
7,9
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Rozměr I
Rozměr [mm]
8,3
8,25
8,2
8,15
8,1
8,05
8
7,95
7,9
7,85
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Rozměr J
10,25
10,2
10,15
10,1
10,05
10
9,95
Rozměr [mm]
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Rozměr K
Rozměr [mm]
14,05
14
13,95
13,9
13,85
13,8
13,75
13,7
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Rozměr L
12,05
12
11,95
11,9
11,85
11,8
11,75
Rozměr [mm]
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

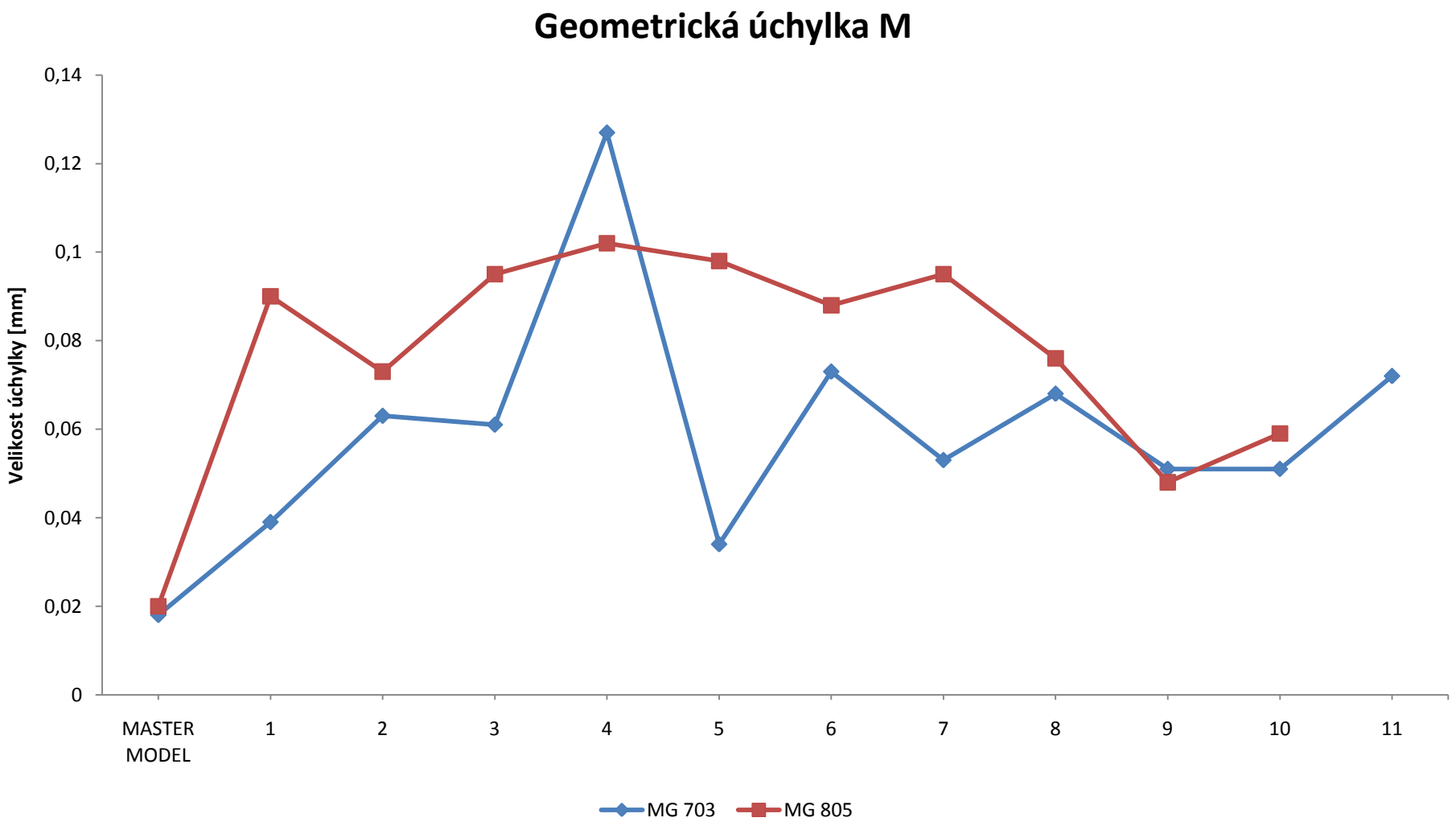
Příloha 4 Velikosti geometrických úchylek MG 703 [mm]

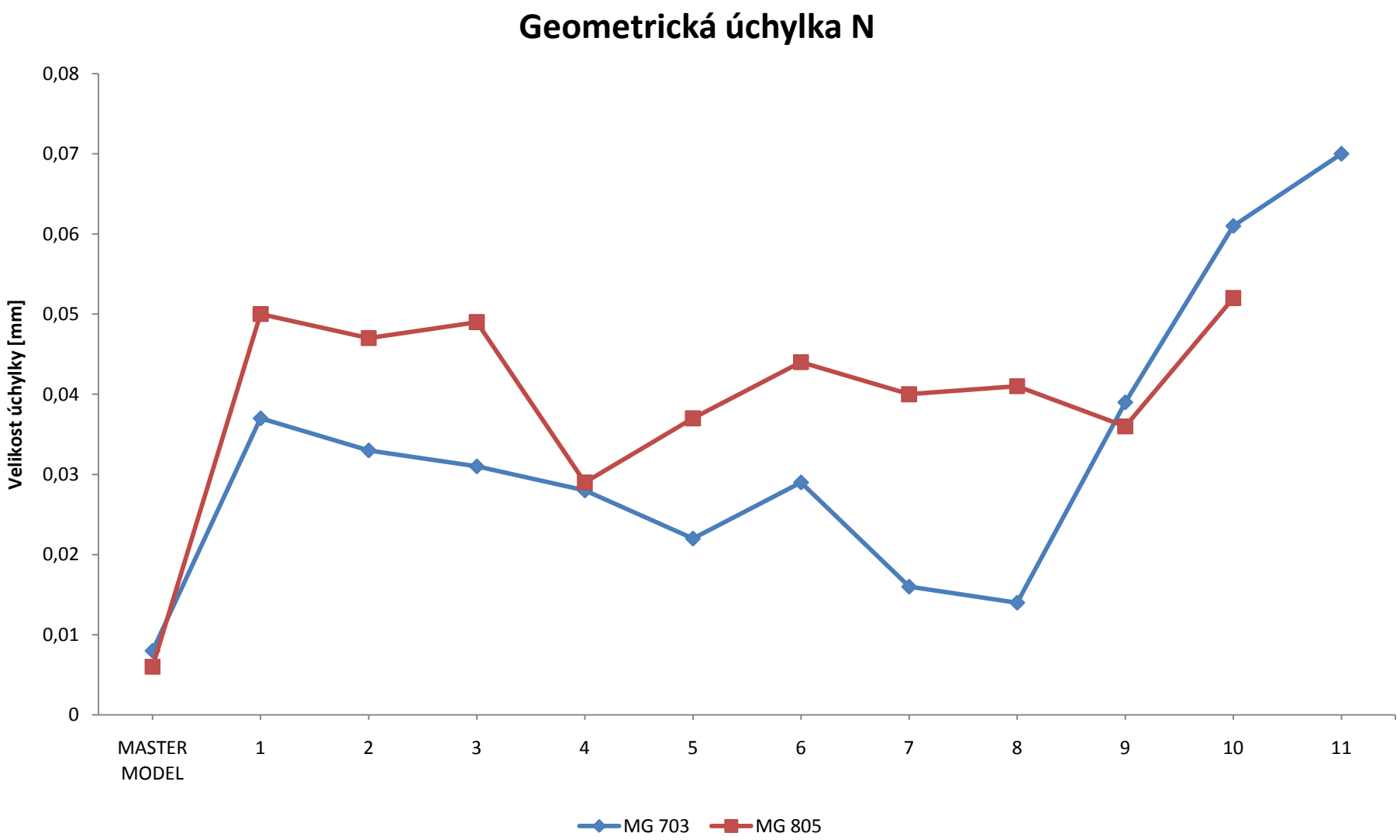
MG 703	M	N	O	P	Q	R	S	T
MASTER	0,018	0,008	0,045	0,005	0,241	0,010	0,013	0,029
1	0,039	0,037	0,072	0,018	0,154	0,013	0,024	0,025
2	0,063	0,033	0,093	0,023	0,240	0,007	0,022	0,024
3	0,061	0,031	0,101	0,018	0,104	0,005	0,012	0,010
4	0,127	0,028	0,099	0,015	0,229	0,012	0,021	0,030
5	0,034	0,022	0,130	0,037	0,203	0,012	0,063	0,026
6	0,073	0,029	0,072	0,029	0,159	0,030	0,028	0,051
7	0,053	0,016	0,160	0,032	0,252	0,018	0,025	0,037
8	0,068	0,014	0,193	0,023	0,331	0,036	0,080	0,080
9	0,051	0,039	0,087	0,020	0,138	0,025	0,018	0,051
10	0,051	0,061	0,125	0,032	0,155	0,016	0,021	0,036
11	0,072	0,070	0,155	0,027	0,243	0,014	0,024	0,028

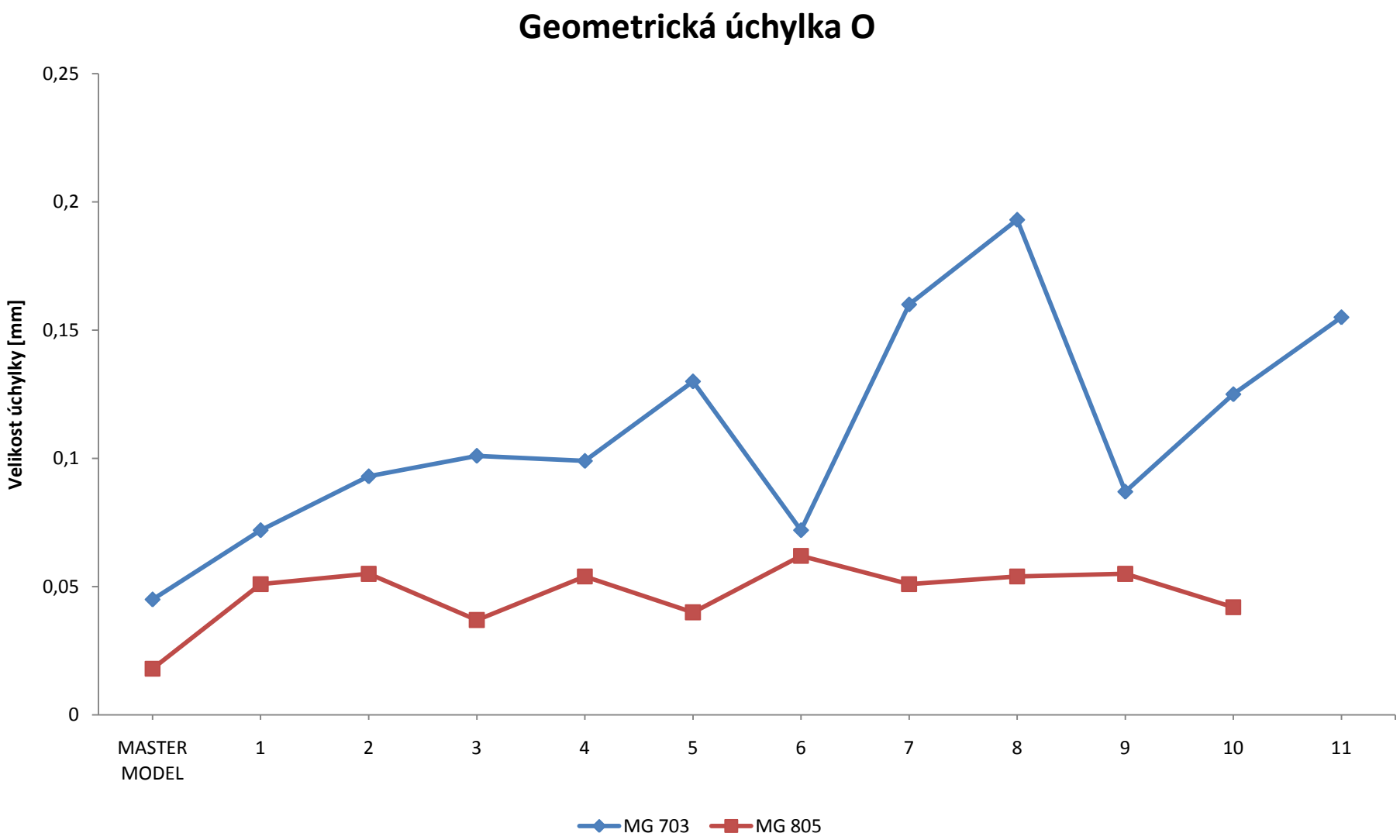
Příloha 5 Velikosti geometrických úchylek MG 805 [mm]

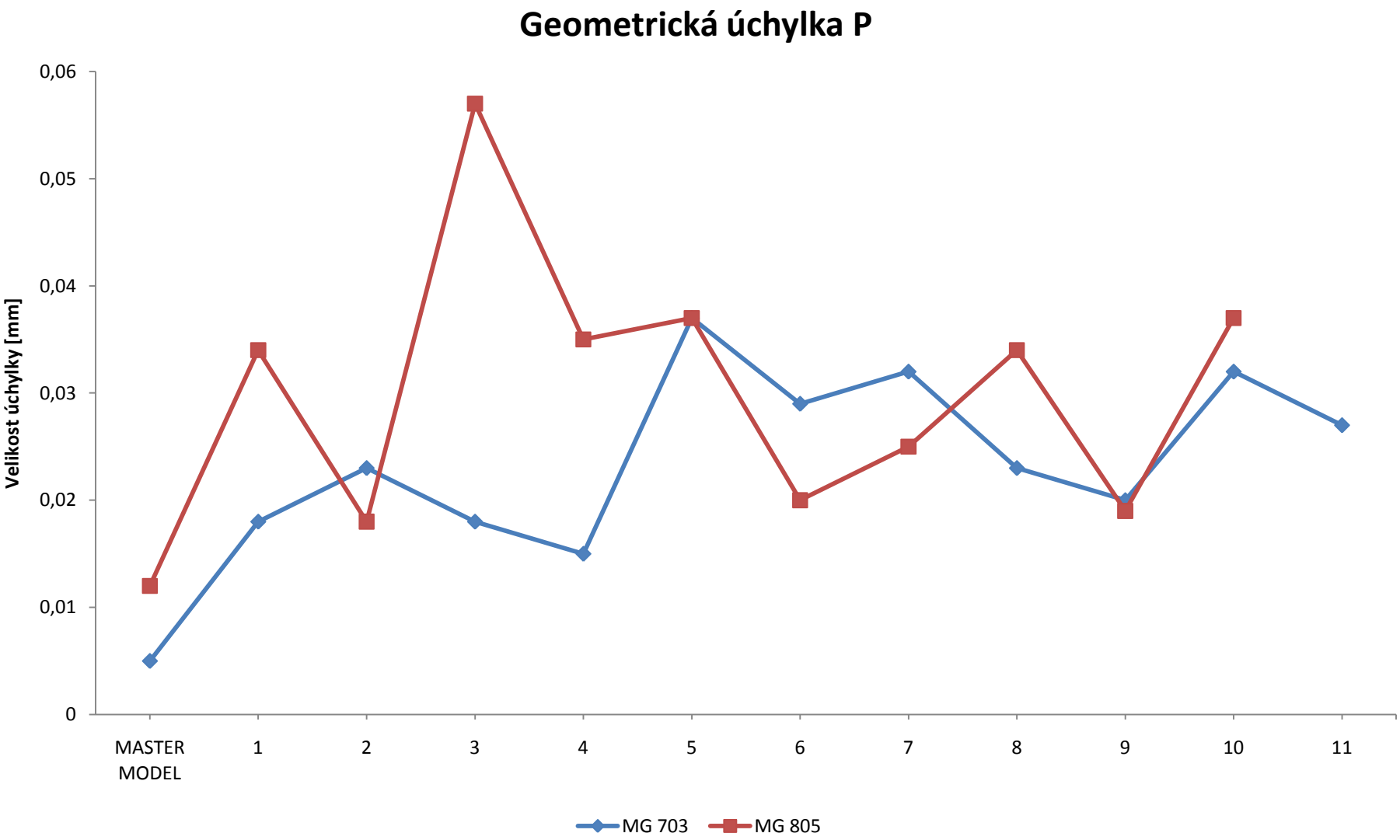
MG 805	M	N	O	P	Q	R	S	T
MASTER	0,020	0,006	0,018	0,012	0,037	0,002	0,020	0,005
1	0,090	0,050	0,051	0,034	0,074	0,007	0,004	0,018
2	0,073	0,047	0,055	0,018	0,024	0,004	0,008	0,009
3	0,095	0,049	0,037	0,057	0,061	0,010	0,019	0,028
4	0,102	0,029	0,054	0,035	0,105	0,008	0,012	0,018
5	0,098	0,037	0,040	0,037	0,066	0,014	0,011	0,024
6	0,088	0,044	0,062	0,020	0,066	0,005	0,011	0,010
7	0,095	0,040	0,051	0,025	0,072	0,005	0,014	0,012
8	0,076	0,041	0,054	0,034	0,135	0,012	0,013	0,027
9	0,048	0,036	0,055	0,019	0,047	0,007	0,015	0,013
10	0,059	0,052	0,042	0,037	0,066	0,008	0,012	0,021

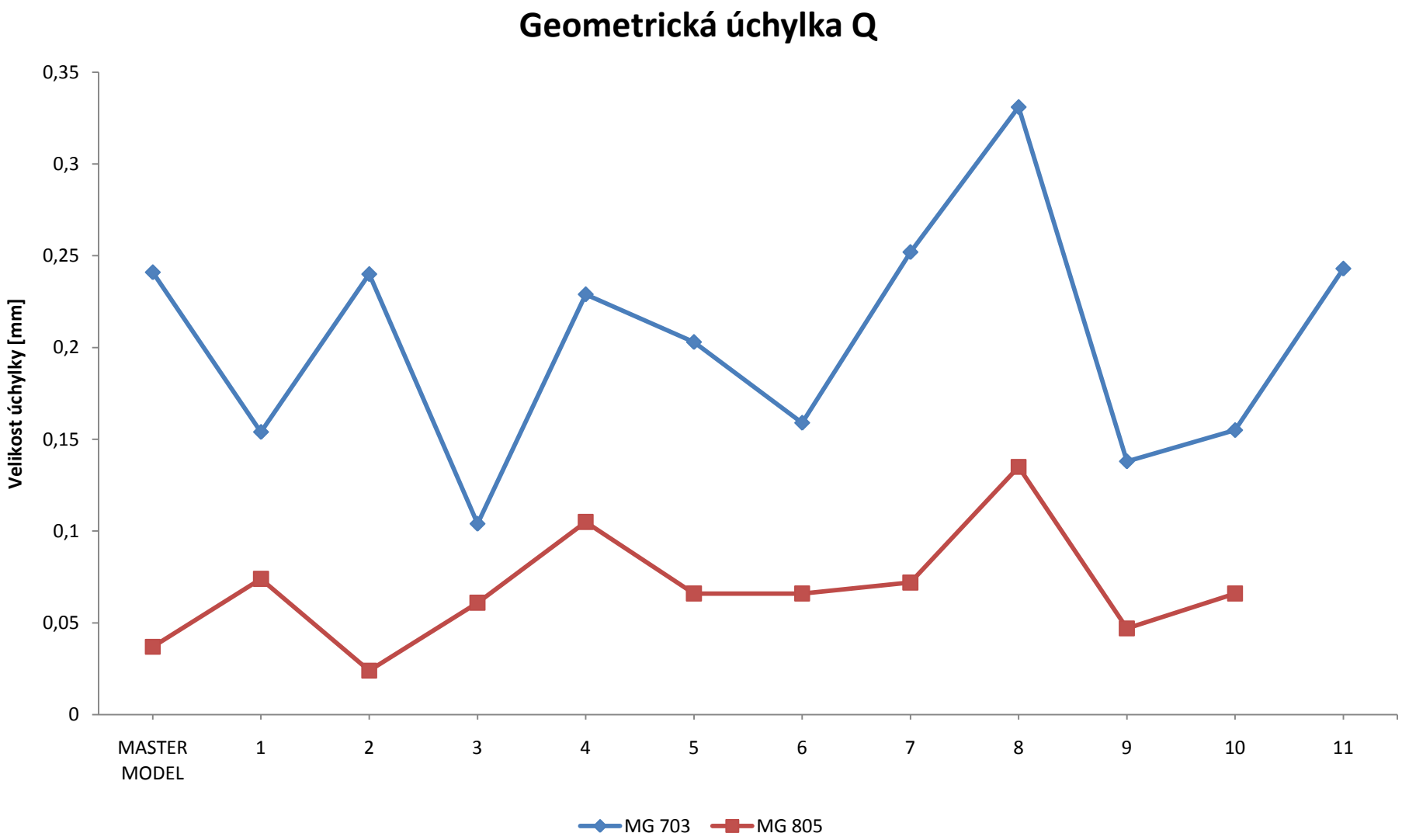
Příloha 6 Grafy geometrických úchylek MG 703 a MG 805

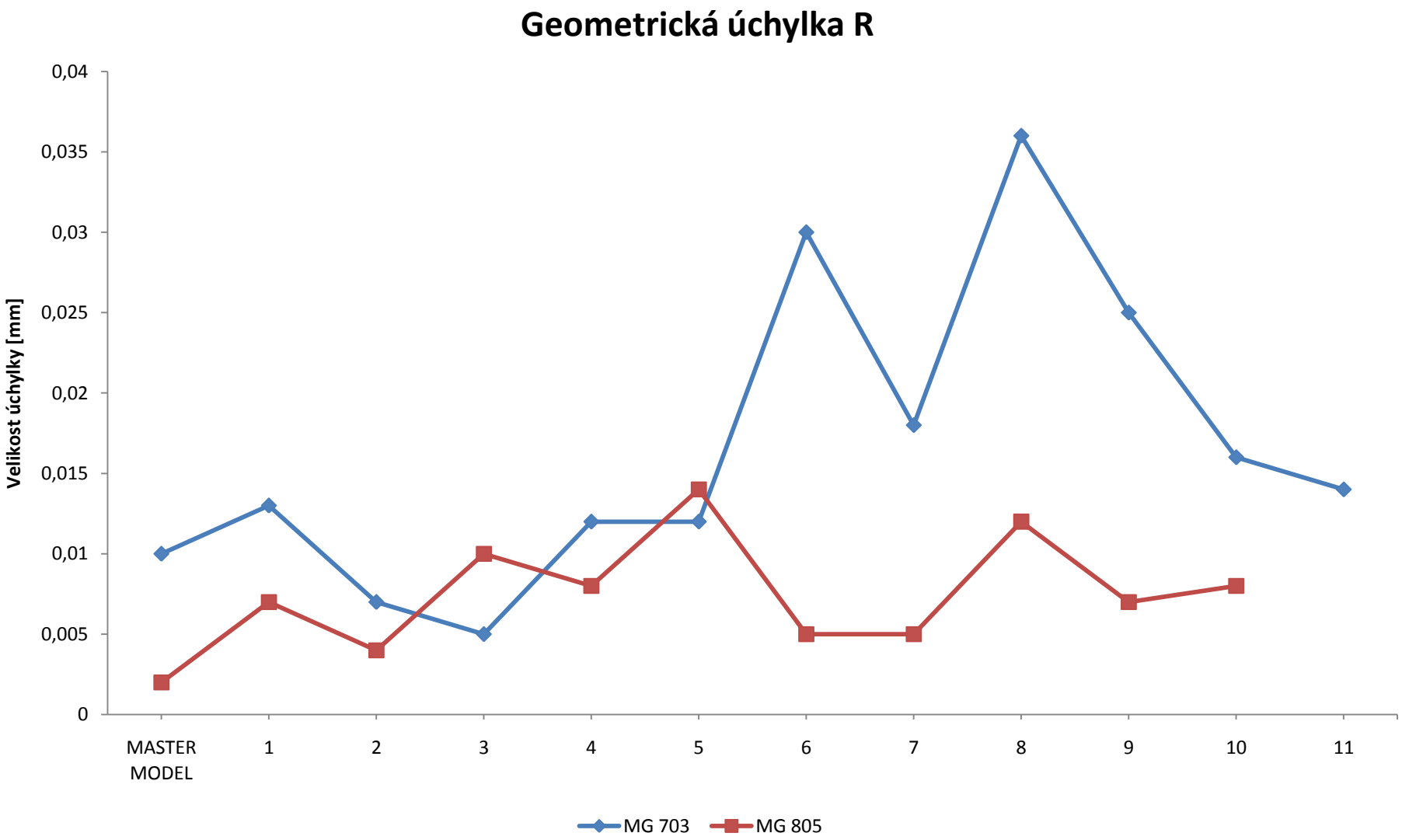


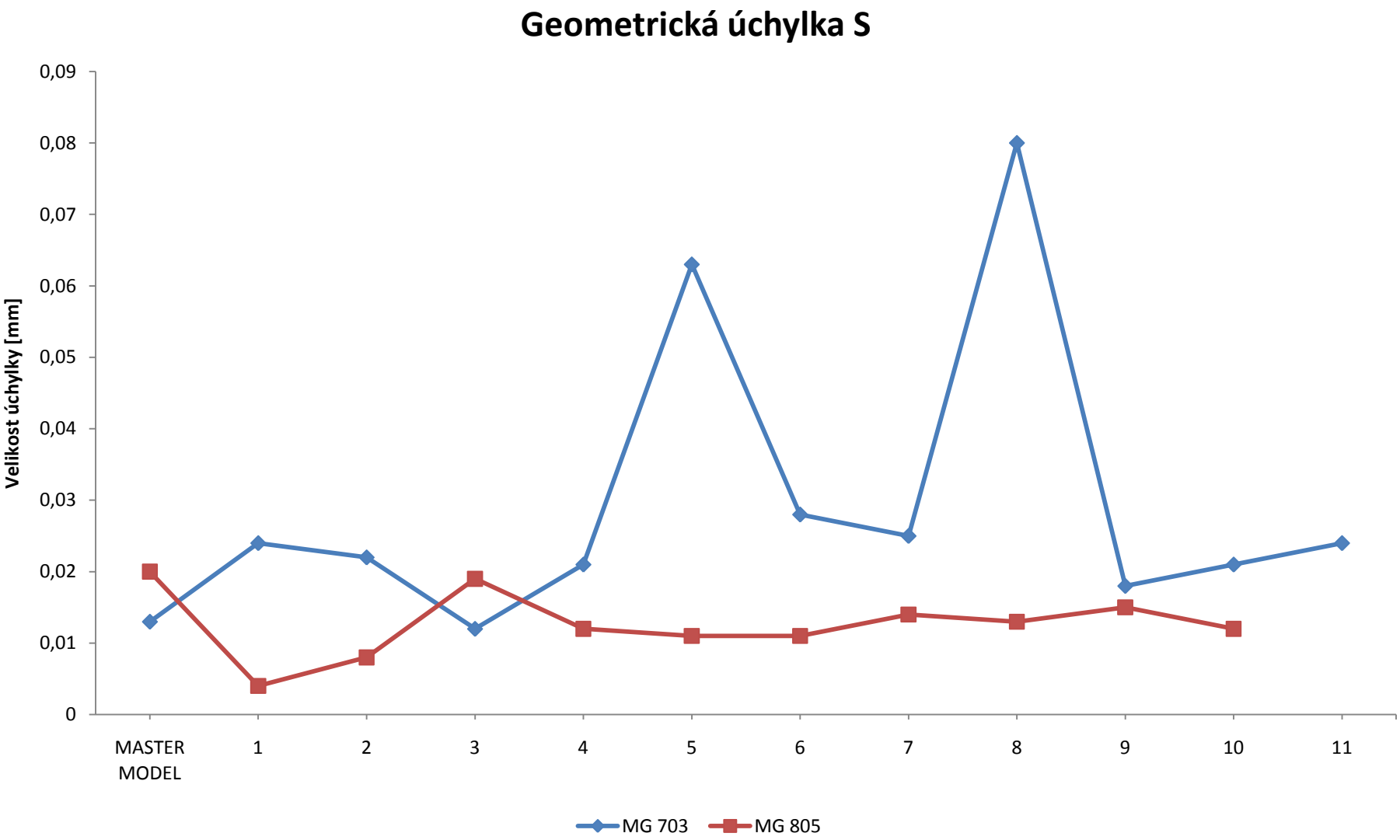

Geometrická úchylka N
Velikost úchylky [mm]
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

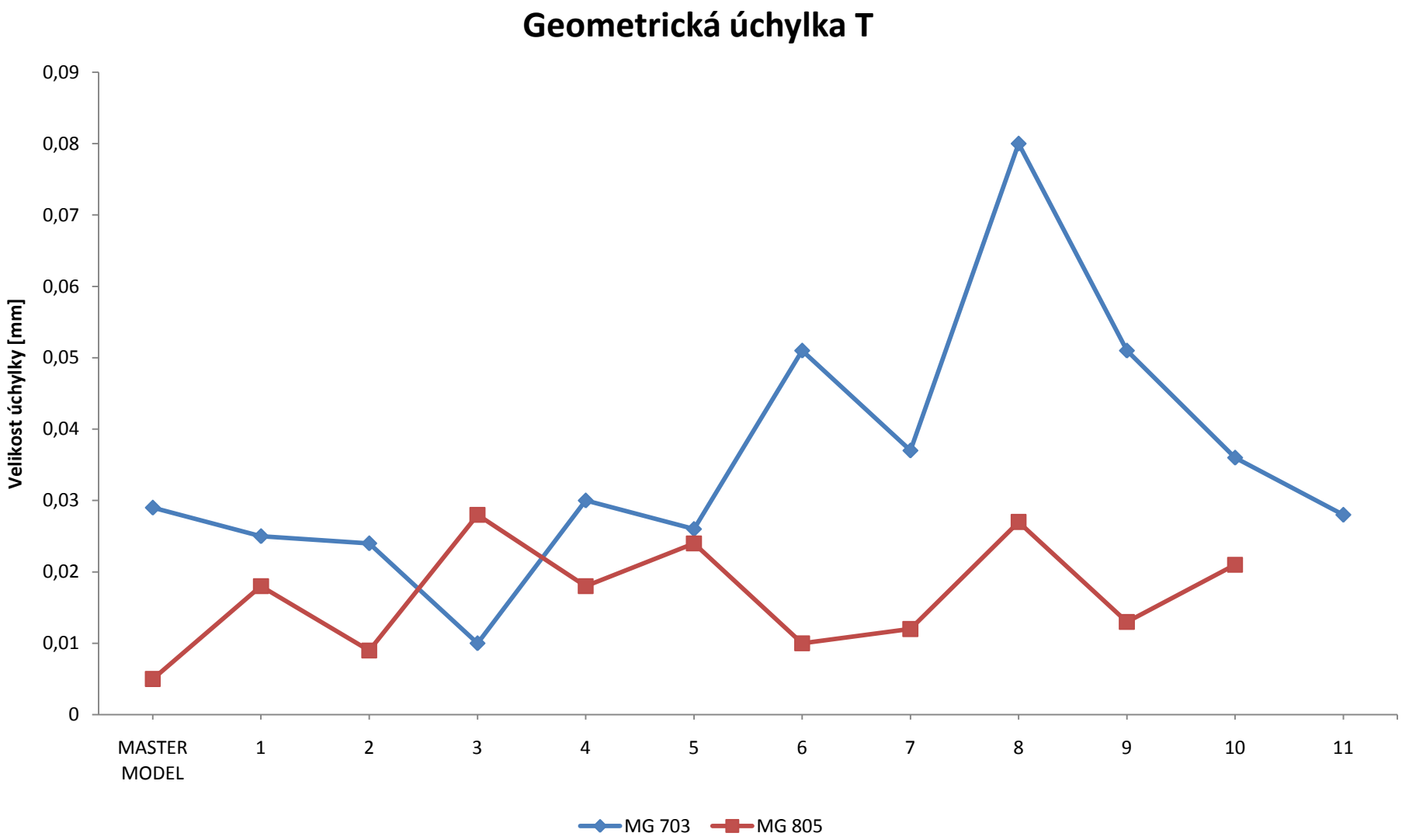
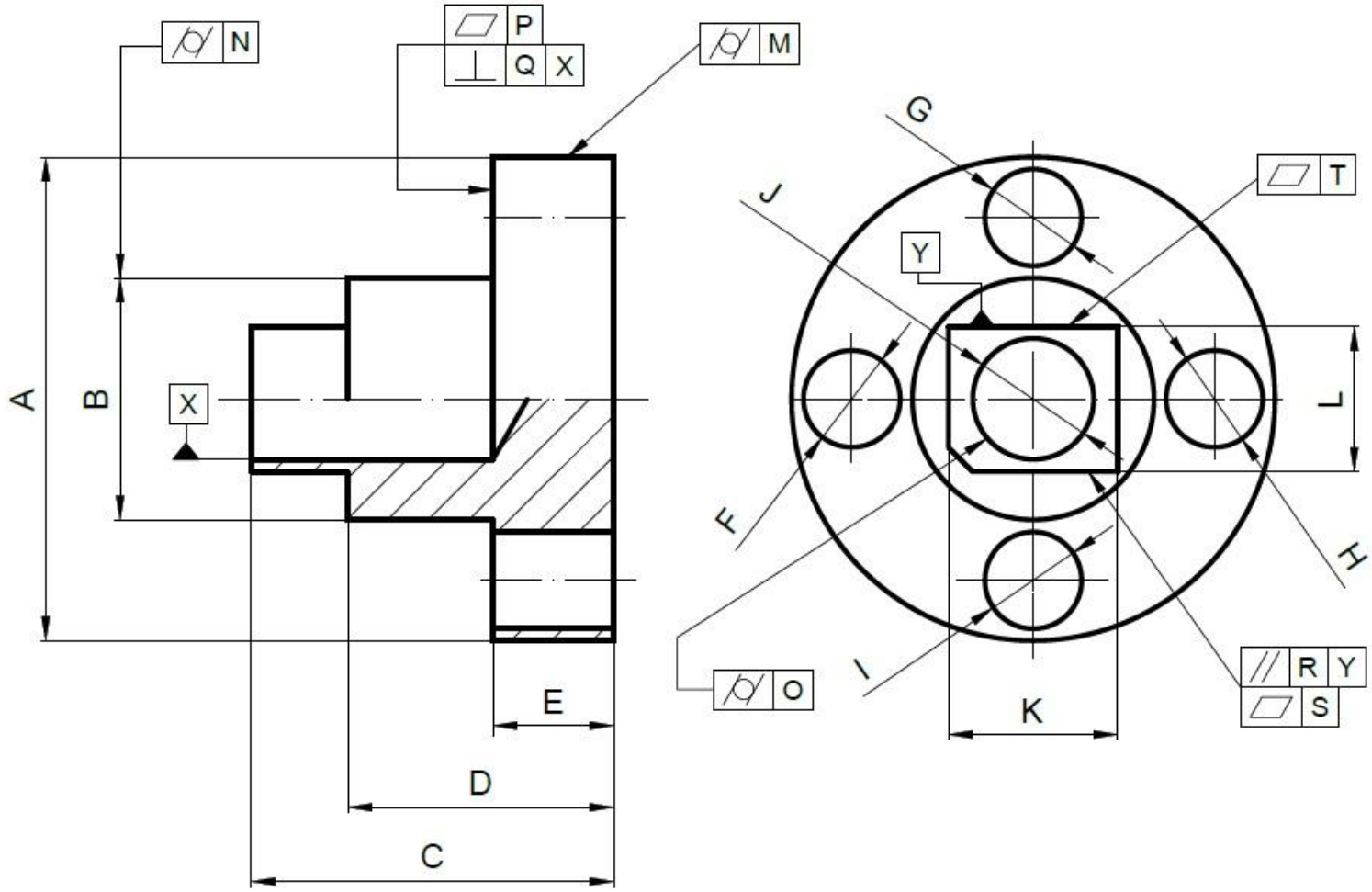

Geometrická úchylka O
Velikost úchylky [mm]
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Geometrická úchylka P
Velikost úchylky [mm]
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Geometrická úchylka Q
Velikost úchylky [mm]
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Geometrická úchylka R
Velikost úchylky [mm]
0,04
0,035
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Geometrická úchylka S
Velikost úchylky [mm]
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805


Geometrická úchylka T
Velikost úchylky [mm]
0,09
0,08
0,07
0,06
0,05
0,04
0,03
0,02
0,01
0
MASTER MODEL
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
MG 703
MG 805

Příloha 7 Součást s rozměry a úchylkami označenými písmeny