

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie – odbor slévárenství

Ing. Martin Svadbík

**OBJEMOVÉ MODELY JAKO NOVÝ PROSTŘEDEK
KE STANOVENÍ VÝROBNÍCH ČASŮ VE SLÉVÁRENSTVÍ**

SOLID MODELS AS A NEW TOOL FOR DETERMINING
TIME STANDARDS IN FOUNDRY ENGINEERING

ZKRÁCENÁ VERZE PH. D. THESIS

Obor: Strojírenská technologie
Školitel: Prof. Ing. Jaroslav Čech, CSc.
Oponenti: Prof. Ing. František Havlíček, CSc.
Doc. Ing. Karel Menšík, CSc.
Doc. Ing. Marie Jurová, CSc.

Datum obhajoby: 6. 10. 2004

KLÍČOVÁ SLOVA

predikce časových norem, Pacynovy charakteristiky odlitků, propojení CAD a PPS systémů, zrychlení poptávkového řízení.

KEY WORDS

prediction of time standards, Pacyna's characteristics of castings, connection between CAD and PPS systems, acceleration of inquiry procedures

MÍSTO ULOŽENÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

oddělení pro vědu a výzkum FSI VUT v Brně

1 OBSAH

1	OBSAH.....	3
2	SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY.....	5
2.1	Hlavní přínosy normování práce	5
2.2	Stanovení norem času	5
3	CÍLE PRÁCE	6
4	ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	7
4.1	Vícenásobná regresní analýza	7
4.1.1	<i>Statistické rozdělení pravděpodobnosti.....</i>	<i>8</i>
4.1.2	<i>Volba vhodného empirického modelu</i>	<i>8</i>
4.1.3	<i>Směšené charakteristiky a multikolinearita</i>	<i>8</i>
4.1.4	<i>Hodnocení adekvátnosti modelu</i>	<i>8</i>
5	HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE.....	11
5.1	Nové charakteristiky	11
5.1.1	<i>Obvod v dělicí rovině</i>	<i>11</i>
5.1.2	<i>Pacynovy charakteristiky vtokové soustavy.....</i>	<i>11</i>
5.1.3	<i>Kontaktní plochy</i>	<i>11</i>
5.1.4	<i>Plošná rozlehlost.....</i>	<i>12</i>
5.2	Experimentální určení přesnosti nových charakteristik u odlitků z oceli.....	13
5.2.1	<i>Data.....</i>	<i>13</i>
5.2.2	<i>Vyhodnocení dat.....</i>	<i>15</i>
5.3	Experimentální určení přesnosti nových charakteristik u hliníkových odlitků.....	16
5.3.1	<i>Data.....</i>	<i>16</i>
5.3.2	<i>Vyhodnocení dat.....</i>	<i>19</i>
5.4	Komunikace mezi CAD a PPS systémy.....	20
5.4.1	<i>Propojení na straně 3D systémů</i>	<i>20</i>
5.4.2	<i>Propojení a nastavení na straně PPS systémů</i>	<i>20</i>
5.4.3	<i>Praktické využití výsledků disertační práce</i>	<i>20</i>
6	ZÁVĚR.....	24
6.1	TEORETICKÝ PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE.....	24
6.2	PRAKTICKÝ PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE	25
7	SUMMARY	26
8	LITERATURA	27
9	SEZNAM AUTOROVÝCH PUBLIKACÍ.....	28
10	AUTOROVO CURRICULUM VITAE	30

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Období hospodářské recese s sebou přináší nedostatek zakázkové náplně a nevytíženost kapacit sléváren. Vystává otázka, jak zabezpečit zakázkovou náplň. Faktory, které ovlivňují získání zakázky jsou nabídnutá cena, rychlá reakce na poptávku, zkušenosti odběratele odlitků s dodavatelem týkající se spolehlivosti dodávek, zvláště pak plnění termínů a požadavků na kvalitu vyráběných odlitků.

Proto je potřeba vytvářet takové podmínky, aby náklady na zhotovení výrobků a potřebné časy, které jsou základem pro jejich objektivní stanovení, byly známy již během výrobního cyklu, dokonce při jeho projektování a plánování. Z toho tedy vyplývá nutnost vytvářet profesionální odhady časů a spotřeb výrobních materiálů tak, aby bylo možné ještě před započítáním výroby odpovědět na otázky týkající se ceny a termínu dodání budoucích odlitků.

Otázky organizace a normování práce nejsou v našich podnicích neznámé. Již před válkou byla věnována těmto činnostem u nás soustavná a odborná péče. Např. díky Masarykově akademii práce, Ústavu práce a organizačně vyspělým podnikům bylo dosaženo vysoké organizační úrovně a výkonnosti. I po válce pokračovalo úsilí o soustavné uplatňování metod zdokonalování organizace práce a výroby, což vedlo k vytvoření jednotných slévárenských normativů.

V posledních letech, zřejmě i pod vlivem spoléhání na "všudypřítomnou ruku trhu", se přestala těmto otázkám věnovat pozornost. Téměř vše, co bylo v této sféře dříve vytvořeno, upadá v zapomnění. Činnosti patřící do oblasti označované jako organizace a normování práce jsou záležitostmi podnikové sféry a nelze je řídit centrálně. Jejich provádění, které je nesporně všeobecně prospěšné, lze však podporovat nepřímo vytvářením příznivého ekonomického klimatu. Jedním z příkladů řešení může být nezisková organizace REFA, svaz pro pracovní studie a podnikovou organizaci, který působí v SRN již téměř 60 let.

2.1 HLAVNÍ PŘÍNOSY NORMOVÁNÍ PRÁCE

Jak uvádí Personální a mzdový poradce podnikatele 11/97 [1], lze přínosy normování práce nalézt v celé řadě oblastí:

- Inovace a vývoj nových výrobků
- Plánování nákladů a ceny
- Projektování a plánování výrobního procesu
- Příprava výroby
- Řízení realizační fáze výrobního procesu
- Zvyšování kvalifikace a pracovní výcvik
- Stanovení mzdy a plánovaných mzdových nákladů
- Vypracování výrobní dokumentace
- Evidence a kontrola

2.2 STANOVENÍ NOREM ČASU

Jak uvádí Maynard's Industrial Engineering Handbook [3] a Personální a mzdový poradce podnikatele [1], existují v současné době následující metody stanovení výrobních časů použitelné ve slévárenství:

- **Rozborově chronometrážní metoda** – spočívá v důkladném rozboru práce a v určení času pro jednotlivé části a složky pracovní činnosti (zejména pracovních úkonů) na základě snímkování práce. K zjištění dávkových a směnových časů je možné použít snímků pracovního dne. Tato metoda je časově a technicky velmi náročná a vyžaduje detailní měření času přímo na pracovišti.

- **Rozborově výpočtová metoda** – Princip metody a postup stanovení normy je v podstatě analogický jako u metody rozborově chronometrážní. Rozdíl je v tom, že ke stanovení času pro stanovené jednotlivé složky a části operace se použije dříve vypracovaných a dokumentovaných normativů. Ty vyjadřují nutnou spotřebu času pracovníka na jednotlivé dílčí normované pracovní činnosti v závislosti na činitelích trvání ovlivňujících spotřebu času. Ve slévárenství se používá ke stanovení normy jednotných nebo firemních normativů (Jednotné normativy slévárenství publikovány v roce 1981 [4], [5]), které pokrývají detailně velkou škálu slévárenských technologií výroby a umožňují určit normu rozdělením výroby na jednotlivé základní úkony, jejichž suma tvoří celkový čas trvání operace. Takovéto stanovení normy je poměrně zdlouhavé a vzhledem k tomu, že hodnoty uvedené v normativech vznikly zprůměrováním výsledků z několika českých a slovenských sléváren, neodpovídají zcela situaci v konkrétní slévárně. Hodnota normy je totiž specifickým číslem, které ve velké míře závisí na technickém vybavení a organizaci výroby v dané slévárně. Další nevýhodou jednotných normativů je to, že nejsou použitelné pro normování některých moderních technologií, které se začínají prosazovat v našich slévárnách.
- **Rozborově porovnávací metoda** – spočívá v tom, že při určování normy zpravidla jednotkového času práce se obsah a činitelé trvání jednotlivých částí pracovního cyklu porovnávají s dílčími normativními hodnotami již dříve stanovené normy pro zpracování obdobného předmětu. Na tomto základě se odvodí případně rozdílná spotřeba času. Ve slévárenské praxi existuje řada podobnostních třídníků (např. Rosenberger [6]). V českých zemích je používán Málkův třídník odlitků jak popisuje Hajkr [7].
- **Sumárně porovnávací metoda** – je podobná jako rozborově porovnávací metoda, ale při určování normy času se porovnává obsah a činitelé trvání celého pracovního cyklu s obdobnými předměty, pro něž je již známa spotřeba času. Postupuje se tak, že se u tvarově a technologicky obdobných předmětů (dílců) porovnává, v čem se oba pracovní cykly odchyľují a kolik se u nich liší činitele, které mají vliv na spotřebu času. Z toho se usuzuje, o kolik se mohou lišit spotřeby času na oba porovnávané pracovní cykly.
- **Metoda sumárního měření času a odhadu času** – spotřeba času se zjišťuje bez rozboru v celkové hodnotě na celou operaci. Sumární odhad je založen pouze na osobních zkušenostech normovače. V každém případě představuje riziko značných chyb. Tyto metody se používají jen ve zcela výjimečných případech, např. kdy nelze použít jiných metod stanovení norem času, nebo při stanovení prozatímních norem.
- **Statistická metoda** – metoda spočívá ve vypočtení průměrného výkonu z údajů operativní evidence pracovních výkonů dosahovaných na konkrétní pracovní činnosti (operaci) za určité časové období v zjištěném skutečně odpracovaném čase. Norma času se potom vypočte jako podíl skutečně odpracovaného času a zjištěného počtu měrných jednotek výkonu (vymezujičích pracovní cyklus).
- **Metoda sumárních empirických vzorců** – spočívá v nalezení funkční závislosti mezi jednotkovým časem operace a jeho hlavním faktorem trvání, a ve vyjádření funkční závislosti empirickým vzorcem. Tato metoda byla rozvíjena zejména v SRN za podpory organizace REFA Fachausschuss Giesserei [8] a za využití popisu odlitků pomocí charakteristik definovaných Pacynou [9]. Pro výpočet je možno použít buď vícenásobnou regresní analýzu, nebo expertní systémy, jak je popisují Provazník a Kozumplík [10]).

3 CÍLE PRÁCE

Cílem disertační práce je navrhnout a definovat nový způsob přístupu ke stanovení veličin ovlivňujících výrobní časy ve slévárenství, který bude znamenat zrychlení a zjednodušení práce při plánování a řízení slévárenské výroby. Splnění cílů lze rozdělit do několika bodů:

- definování nových charakteristik popisujících odlitek a jeho výrobu za pomoci objemových modelů počítačové geometrie,
- stanovení nových, v literatuře nepublikovaných matematických závislostí, vyjadřujících závislost výrobních časů na nově zvolených veličinách,
- stanovení kritérií pro hodnocení úspěšnosti nově zavedených veličin a srovnání a vyhodnocení matematických závislostí podle stávajících a nových charakteristik,
- napojení systémů plánování a řízení výroby na CAD a simulační programy a začlenění získaných závislostí do těchto programů s cílem zjednodušit a urychlit plánování a přípravu výroby odlitků
- zhodnocení ekonomických přínosů propojení CAD a PPS systémů v oblastech plánování a přípravy výroby

4 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Proces tvorby a použití norem není jednoduchý a proto je cílem přesunout tuto práci v co největší míře na výpočetní techniku. To by mělo přinést zejména:

- urychlení procesu tvorby norem a tím i všech následných postupů, které na hodnotě normy závisí
- zjednodušení tvorby a výpočtu normy, což v elektronickém zpracování dat znamená jednoduché a rychlé zadávání vstupních veličin
- odstranění všech subjektivních vlivů z procesu tvorby normy tak, aby nemohlo dojít k rozdílům v hodnotě normy mezi jednotlivými pracovníky
- zpřesnění predikované normy a hlavně podání informací o přesnosti s jakou je odhad vypočítán

Pokud se tedy zaměříme na jednotlivé způsoby predikce normy, lze algoritmizovat například stanovení normy podle normativů, jak uvádí Hejl [11]. Jako vhodnější se však jeví způsob založený na výpočtu empirických vzorců. Cílem této práce je zpřesnit tuto metodu. Rozhodujícím faktorem, který má vliv na výsledný odhad normy jsou veličiny, kterými je odlitek popsán. S ohledem na dříve publikované práce (Pacyna [9], REFA [8]) byla jako základ vzata Pacynova klasifikace odlitků.

Cílem disertační práce je však zvolit nový přístup ke stanovení normy a to jak v oblasti vlastního sběru dat, tak v oblasti popisu odlitku. Konec papírové dokumentace je symbolem dnešní počítačové doby a nevyhne se ani slévárnám. Postupně se přechází na elektronickou (výkresovou) dokumentaci a např. většina německých automobilek již dnes dodává své zakázky slévárnám pouze v podobě objemového modelu za využití šifrované bezpečnostní komunikace přes internet.

Další důležitou věcí je, že se přechází na objemové modely, nikoliv jen elektronické vyjádření výkresu v podobě nárys + půdorys + bokorys + detaily. Právě tento fakt přináší obrovské možnosti využití. Pokud je totiž k dispozici 3D model budoucího výrobku, je možné automaticky vypočítat řadu charakteristik, které doposud musel zjišťovat technolog manuálně. Navíc se otevírá i možnost zjištění charakteristik zcela nových, které zatím nemohly být využity z důvodu velké náročnosti jejich manuálního stanovení. Záměrem této práce je proto osvětlit možnosti využití 3D modelů pro výpočet norem a dokázat přínos tohoto stanovení nejen z hlediska efektivity, ale i z hlediska zvýšení přesnosti normy.

4.1 VÍCENÁSOBNÁ REGRESNÍ ANALÝZA

Při určování empirického modelu, který bude reprezentovat závislost výrobních časů na veličinách popisujících odlitek, je důležité si uvědomit jak velká je variabilita výroby v různých slévárnách. Jedná se nejen o odlišnosti ve strojním vybavení, ale také v pracovních postupech

a organizaci výroby. Není proto možné vytvořit jeden obecný model a aplikovat jej na všechny slévárny podobného typu. Každá operace ve slévárně, pro kterou je empirický model počítán, musí být brána minimálně z hlediska koeficientů modelu jako jedinečná.

4.1.1 Statistické rozdělení pravděpodobnosti

Při výpočtu statistických charakteristik i vlastního modelu stanovení výrobních časů v rámci disertační práce se vychází z předpokladu vícerozměrného lognormálního rozdělení studovaných veličin (převzato z REFA [8]). Znamená to, že přirozený logaritmus sledované veličiny má rozdělení normální. Tento fakt má význam zejména proto, že při práci s empirickým modelem je využito nelineární transformace.

Při provádění analýzy byla normalita kontrolována programem Statgraphics a to testem dobré shody (Goodness-of-Fit Test).

4.1.2 Volba vhodného empirického modelu

Při snaze nalézt závislost mezi dominantními veličinami ovlivňujícími výrobní časy ve slévárně a časem samotným je třeba stanovit empirický model tohoto procesu. Při stanovení modelu v rámci disertační práce se vycházelo:

- z prací na toto téma již publikovaných, zejména REFA [8], Svadbík [12] a RGU [13]
- ze zkušeností a znalostí zkoumaného procesu
- z grafických vyjádření dílčích závislostí
- z použitých transformací a dalších operací nutných k výpočtu modelu a jejich vlivu na rozdělení pravděpodobnosti tak, aby byl nejvýhodnější poměr náročnost výpočtu a výsledná adekvátnost modelu

Na základě provedených analýz byl zvolen model:

$$y = \beta_0 \cdot x_1^{\beta_1} \cdot x_2^{\beta_2} \cdot \dots \cdot x_k^{\beta_k} \quad (0.1)$$

Ten je logaritmickou transformací linearizován a jsou pro něj spočítány bodové (případně intervalové) odhady jednotlivých koeficientů a provedena analýza adekvátnosti zvoleného modelu.

4.1.3 Smíšené charakteristiky a multikolinearita

Při výpočtech modelů vícenásobnou regresí je nutné rovněž postihnout přítomnost smíšených charakteristik. Do modelu totiž mohou vstupovat kromě spojitých (kvantitativních) i nespojitě (ordinální, pořadové, nominální) charakteristiky.

Pro případ disertační práce nebyly tyto veličiny zařazovány do empirických modelů z důvodu malé velikosti výběrových souborů.

Další možnou překážkou při výpočtu je přítomnost **multikolinearity**. Díky volbě vstupních veličin, která se snaží co nejlépe zohlednit co nejvíce vlivů, může dojít k přeürčenosti regresního modelu jak uvádějí například Hebák a Hustopecký [14]. Proto je potřeba při přípravě modelu zjistit míru korelace mezi jednotlivými charakteristikami a vyřadit ty, jež jsou na sobě prokazatelně závislé. K tomu byly během výpočtů využívány zejména korelační resp. kovariační matice.

4.1.4 Hodnocení adekvátnosti modelu

Aby bylo možné navržený model pokládat za vhodný pro daný experiment, je potřeba jeho adekvátnost statisticky ověřit. V ideálním případě se provede analýza rozptylů a analýza adekvátnosti zvoleného modelu pomocí F-testu jak uvádí Maroš [15]. Znamená to, že hypotézu o adekvátnosti modelu zamítneme s rizikem α , jestliže:

$$\frac{s_r^2}{s_e^2} \geq F \left(1 - \alpha, n - k - 1, \sum_i p_i - n \right) \quad (0.2)$$

kde F(1- α) kvantil F-rozdělení s počtem stupňů volnosti (n-k-1) a (Σp -n)
n.....počet úrovní měření
k.....počet koeficientů modelu
p.....počet opakovaných měření

Výpočet veličiny s_e^2 a tedy i test adekvátnosti měření modelu je však možné provést pouze pro případ opakujících se měření. Toho se dá ovšem při stanovování norem času těžko dosáhnout. Není možné definovat žádný plán experimentu, jelikož při zjišťování dat ve slévárně jsme odkázáni na stávající a popsany výrobní program. Z hlediska opakování měření tedy přichází v úvahu:

- opakované měření bude prováděno s naprosto stejnými druhy odlitků, ale v jiný časový okamžik (den). Díky tomu dostaneme datový soubor s opakovanými měřeními, jehož variabilita, která se promítne i do variability výsledného modelu, bude vyjadřovat odchylky způsobené náhodnými vlivy ve výrobě. Pro tento případ by bylo nutné provádět opakované ruční náměry přímo ve výrobě, což by bylo časově velmi náročné a vytvořený datový soubor by zahrnoval pouze výrobky v daném období ve slévárně vyráběné.
- opakované měření bude prováděno na jiných typech odlitků, které jsou však popsány stejnými popisnými charakteristikami. Z hlediska popisu odlitku se tedy bude jednat o naprosto stejné kusy, i když budou ve skutečnosti odlišné tvarem a třeba i časovou náročností výroby. Pomocí takto získaných opakovaných měření by bylo možné postihnout variabilitu resp. nepřesnost zvoleného popisu odlitku. Tento typ opakovaných měření by více vyhovoval popisu rozptylu daného modelu, bohužel je však z hlediska plánování experimentu zcela mimo kontrolu a jsme odkázáni jen na to, kolik takovýchto případů se vyskytne v aktuálním výrobním sortimentu dané slévárny.
- opakované měření může nastat díky vícenásobnému výskytu nějaké výrobní operace u jednoho výrobku. Např. operace tryskání se může provádět po odlití a pak ještě jednou např. po tepelném zpracování. Tento typ opakovaných měření se však vyskytuje u minima operací a málokdy přináší nějaký užitek, jelikož pracovníci slévárny často používají pro všechny takovéto operace stejnou hodnotu normy.

Jak je patrné z výše uvedených skutečností, je nutné porovnat adekvátnost výsledných modelů pomocí jiných charakteristik. V případě disertační práce to není na závadu, jelikož hlavním cílem není nalézt adekvátní modely konkrétních výrobních operací, ale prokázat, že nově definované charakteristiky zvýší přesnost empirických modelů.

Na základě dostupných prostředků a s ohledem na vlastnosti naměřených výběrových statistických souborů byly určeny statistické veličiny, s jejichž pomocí se bude porovnávat přínos nově zavedených veličin. Vždy je vypočítán empirický model za využití stávajících charakteristik a následně za využití všech dostupných charakteristik včetně dat z geometrie 3D modelu. Porovnání je prováděno nezávisle ve dvou programových celcích a za využití následujících kritérií:

- **MER** – program firmy RGU GmbH, který je součástí informačního systému OPTI. Umožňuje přímé napojení na data slévárenského PPS systému. Byl použit pro:
 - získání empirického modelu
 - výpočet indexu determinace
 - výpis Y-tabulek

- **Statgraphics** – program firmy Statistical Graphics Corp. Jedná se o statistický software s rozsáhlými možnostmi, které popisuje např. Koschin [16]. Byl použit pro:
 - získání intervalů spolehlivosti pro parametry regresní rovnice
 - výpočet korigovaného indexu determinace
 - výpočet residuálních součtů čtverců
 - hodnoty T-testů jednotlivých veličin
 - pravděpodobnosti párových regresí
 - analýza rozptylu

Příklady statistických výpočtů, které byly použity v rámci disertační práce jsou na obr. 1, obr. 2, obr. 3 a obr. 4.

Multiple Regression Analysis - Dependent variable: Formovani					
Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value	
CONSTANT	-1,83286	0,111872	-16,3835	0,0000	
L	-0,0139059	0,00681671	-2,03998	0,0414	
M	0,0999656	0,0207694	4,81311	0,0000	
VKL	-0,212547	0,036287	-5,85739	0,0000	
ZSP	0,021441	0,00791577	2,70865	0,0068	
VS	1,01417	0,0366478	27,6733	0,0000	
F	-0,20213	0,0462768	-4,36784	0,0000	
S	0,0529647	0,0263635	2,00901	0,0445	

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Model	709,003	7	101,286	1400,62	0,0000
Residual	53,0792	734	0,072315		
Total (Corr.)	762,083	741			

R-squared = 93,035 percent
 R-squared (adjusted for d.f.) = 92,9686 percent
 Standard Error of Est. = 0,268915
 Mean absolute error = 0,206569

obr. 1: Výstup z vícenásobné regresní analýzy programu Statgraphics

Further ANOVA for Variables in the Order Fitted					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
L	15,4452	1	15,4452	213,58	0,0000
M	387,887	1	387,887	5363,85	0,0000
VKL	190,577	1	190,577	2635,37	0,0000
ZSP	3,72708	1	3,72708	51,54	0,0000
VS	109,983	1	109,983	1520,88	0,0000
F	1,09272	1	1,09272	15,11	0,0001
S	0,291874	1	0,291874	4,04	0,0445
Model	709,003	7			

obr. 2: Detailnější rozbor rozptylu včetně dílčích F-testů

95,0% confidence intervals for coefficient estimates				
Parameter	Estimate	Standard Error	Lower Limit	Upper Limit
CONSTANT	-1,83286	0,111872	-2,05213	-1,61359
L	-0,0139059	0,00681671	-0,0272665	-0,000545408
M	0,0999656	0,0207694	0,0592582	0,140673
VKL	-0,212547	0,036287	-0,283668	-0,141426
ZSP	0,021441	0,00791577	0,00592639	0,0369557
VS	1,01417	0,0366478	0,942337	1,08599
F	-0,20213	0,0462768	-0,292831	-0,111429
S	0,0529647	0,0263635	0,00129305	0,104636

obr. 3: Intervaly spolehlivosti pro parametry regrese

Correlation matrix for coefficient estimates				
	CONSTANT	L	M	VKL
CONSTANT	1,0000	-0,0200	-0,4253	0,1703
L	-0,0200	1,0000	-0,0596	-0,0586
M	-0,4253	-0,0596	1,0000	-0,0291
VKL	0,1703	-0,0586	-0,0291	1,0000

obr. 4: Odhad kovariační matice jednotlivých odhadů parametrů

5 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

5.1 NOVÉ CHARAKTERISTIKY

Díky možnosti načítat data o tvaru odlitku a vtokové soustavy a jejich umístění ve formě přímo z objemových modelů se naskytá možnost rozšířit dosud používané charakteristiky o nové, které by předtím nebylo možné v reálných podmínkách provozu zjistit (matematické algoritmy používané pro výpočty objemů a ploch 3D modelů popisuje např. Eberley [17]). Jedná se zejména o následující:

5.1.1 Obvod v dělicí rovině

Tato veličina má nezanedbatelný vliv na dobu výroby odlitku a doposud není běžně určována. Nejedná se o průmět tvaru odlitku do dělicí roviny, ale skutečný obvod odlitku, který je nutné zbavit otřepů a not. V případě existence geometrického modelu celé formy jde o řez odlitkem pomocí roviny umístěné v místech napojení formovacích rámců. Následný výpočet obvodu vzniklého řezu nám dá veličinu, jejíž zavedení může zlepšit přesnost predikce cidírenských operací. Bohužel ve většině 3D programů nejsou výpočty obvodu řezů těles řešeny přímo.

5.1.2 Pacynovy charakteristiky vtokové soustavy

Využití kovu ve formě je jedním ze základních specifíků slévárenské výroby. Jeho hodnota může klesnout i pod hranici 50%, což znamená, že objem vtokové soustavy a nálitků je větší než objem celého odlitku. To může mít podstatný vliv na cenu odlitku a dobu výroby formy, neboť kromě odlitku je třeba zaformovat i velkou část vtokové soustavy.

Právě zde tkví velké využití objemových modelů, které zahrnují i vtokovou soustavu. Lze totiž vypočítat některé Pacynovy charakteristiky i pro vtokovou soustavu a zařazením těchto veličin do celého modelu výrazně zvýšit přesnost stanovení normy. V úvahu tak přichází zejména rozlehlost, tenkostěnnost a objemová skladnost vtokové soustavy.

5.1.3 Kontaktní plochy

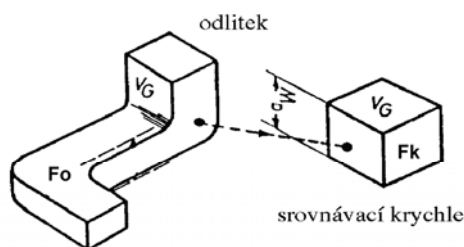
Plošné charakteristiky mají velký vliv na řadu operací a jejich stanovení je v podmínkách běžného zpracování technologického postupu prakticky nemožné. Ve 3D modelech jsou řešena

např. zaústění vtoků a nálitků do odlitku velmi podrobně, neboť jsou klíčová při výpočtech plnění dutiny formy a tuhnutí odlitků. Proto je velmi snadné vypočítat pomocí objemových modelů tyto charakteristiky:

- kontaktní plochu odlitku s formou
- kontaktní plochu odlitku s jádrem
- kontaktní plochu odlitku s vtoky a nálitkovými zaústěními. Tyto plochy jsou totiž hlavními činiteli, jež mají vliv na dobu trvání cídírenských operací (řezání a broušení).

5.1.4 Plošná rozlehlost

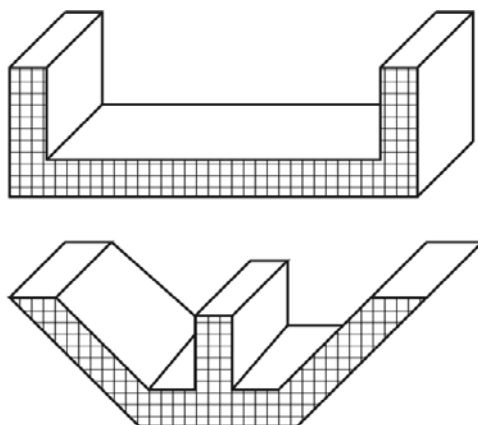
Další charakteristikou, kterou je možné při existenci objemových modelů použít, je tzv. plošná rozlehlost. Pacynovy charakteristiky zahrnují v sobě délku, objem a často problematicky stanovitelnou střední tloušťku stěny. Tyto charakteristiky však nejsou zcela dokonalé. Příkladem mohou být dva odlitky na obr. 6. Všechny tři Pacynovy charakteristiky (G, D, V) jsou pro ně téměř shodné a jediné co je odlišuje je plocha odlitku. Tuto veličinu nelze prakticky využít, pokud by ji bylo nutné počítat z klasických výkresů. Díky objemovým modelům je však stanovení plochy dílem okamžiku a je proto možné zavést veličinu „Plošná rozlehlost“ (F), jako poměr plochy odlitku (vtokové soustavy) vůči ploše srovnávací krychle o stejném objemu (viz obr. 5)



$$\frac{F_o}{F_k} = \frac{F_o}{6 a_W^2}$$

obr. 5: Plošná rozlehlost

$$F = \frac{\text{plocha odlitku}}{\text{plocha srovnávací krychle}} \quad (0.3)$$



obr. 6: Příklad různých odlitků se stejnými Pacynovými charakteristikami

5.2 EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ PŘESNOSTI NOVÝCH CHARAKTERISTIK U ODLITKŮ Z OCELI

Tato část práce byla prováděna ve slévárně se sériovou, malosériovou a kusovou výrobou odlitků z uhlíkových ocelí, nízko a středně legovaných ocelí.

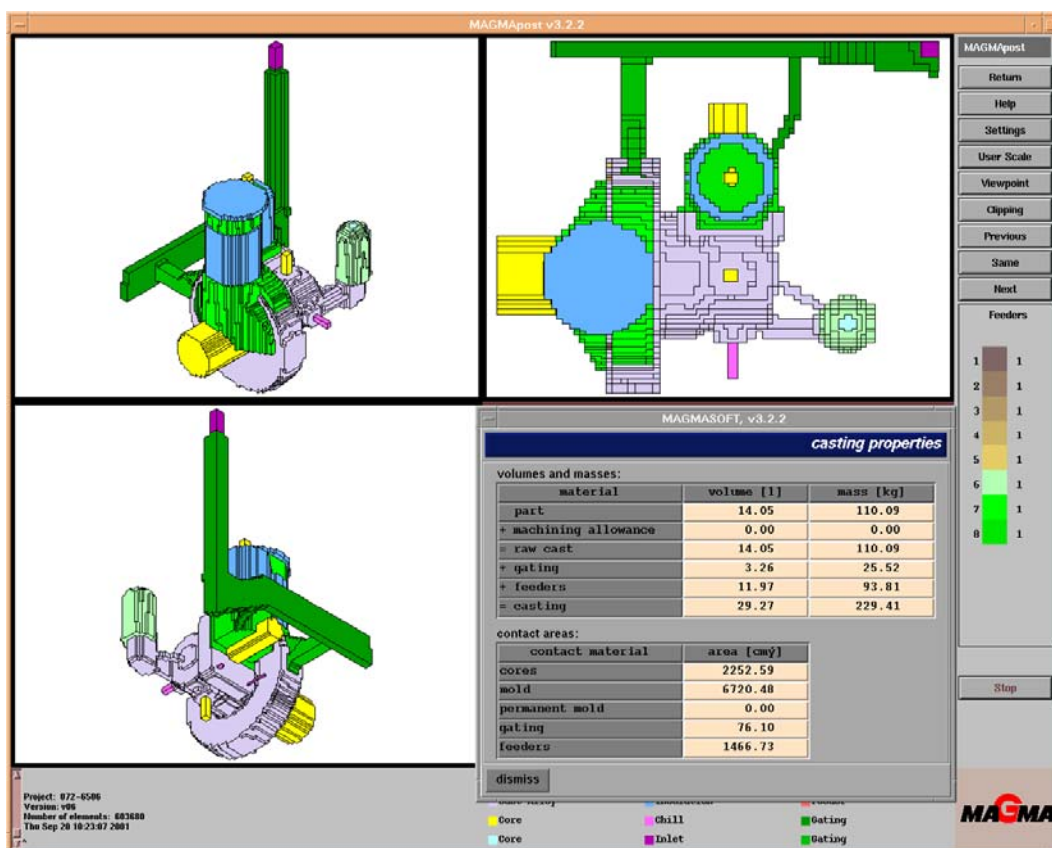
5.2.1 Data

Slévárna využívá simulační program Magma (MAGMA Giessereitechnologie GmbH). Systém využívá pro svá řešení metodu konečných diferencí a umožňuje pracovat s existujícími CAD daty většiny systémů.

Objemové modely jsou vesměs vytvářeny pracovníky slévárny.

Podmínky sběru dat:

- z dostupné škály druhů výroby bylo zvoleno ruční formování, jelikož mělo největší zastoupení v databázi 3D modelů.
- Bylo vybráno 50 vzorových kusů. Protože každý model existoval v několika variantách podle toho jak probíhaly optimalizace výrobního procesu, bylo třeba najít platný model, který odpovídá datům z výroby. Každý 3D model byl načten do programu Magma a byly pro něj spočteny dostupné charakteristiky. Výpočtové okno (viz. obr. 7) bylo uloženo jako obrázek.
- z uložených obrázků byla poté data přepsána do tabulky v Excelu (viz. tab. 1)
- k těmto datům byly vyhledány další údaje ve výrobní dokumentaci a výrobních postupech. Takto získaná data byla poté přiřazena existujícím záznamům v systému OPTI a výsledný soubor byl naimportován do programu MER a Statgraphics k dalším analýzám.



obr. 7: Zobrazení odlitku včetně vtokové soustavy a vypočtených charakteristik

tab. 1: Ukázka dat získaných z 3D modelů v programu Magma

číslo odlitku	objem vtokové soustavy [dm ³]	hmotnost vtokové soustavy [kg]	objem nálitků [dm ³]	hmotnost nálitků [kg]	kontaktní plocha s jádrem [cm ²]	kontaktní plocha s formou [cm ²]	kontaktní plocha s vtoky [cm ²]	kontaktní plocha s nálitky [cm ²]
001	3,71	28,95	21,08	164,49	10086,2	20176,4	52,46	1599,22
002	6,94	54,18	147,43	1150,55	28413,6	58533,8	61,91	15679,2
003	3,5	27,29	28,78	224,64	6719,08	18599,5	86,22	3126
004	2,76	21,64	6,54	51,32	6721,88	785,13	23,48	612,16
005	2,86	22,46	5,27	41,33	8419,84	1072,48	24,36	613,82
006	1,67	13,09	16,78	131,65	5041,75	1027,4	14,21	1012,37
007	3,52	27,64	34,42	270,07	12941,2	2697,04	28,46	2573,28
008	3,45	26,93	26,43	206,28	6036,32	15769,6	47,84	3904,02
009	3,54	27,62	36,58	285,48	7351,72	16909,8	0	7383,48
010	0,81	6,33	3,33	26,14	614,51	4816,1	12,8	790,64
011	11,9	93,38	110,41	866,26	32479,2	22200,3	79,11	5121,5
012	8,91	69,56	78,01	608,76	13699,3	60921,6	0	9638,54
013	6,96	54,62	16,75	131,36	0	16887,1	140,92	518,56
014	11,87	92,92	71,57	560,11	0	33675,7	81,11	1923,89
015	5	39	15,8	123,29	92,67	13616,3	0	2594,13
016	2,33	18,29	5,35	41,97	4971,09	6680,51	18,37	556,33
017	5,37	42,14	20,98	164,58	1809,21	12844,8	72	471,77

Celkový výčet charakteristik, které mohou vstoupit do regresního modelu:

- L..... velikost dávky [ks]
- VG..... objem hrubého odlitku [dm³]
- W měrná hmotnost odlévaného materiálu [kg/dm³]
- G rozlehlost [bezrozměrná]
- D tenkostěnnost [bezrozměrná]
- V objemová skladnost [bezrozměrná]
- M rozměr kolmý k dělicí rovině [mm]
- VKL..... objem vratného materiálu [dm³]
- ZSP..... počet dosazovaných oblastí [bezrozměrná]
- VK objem jader [dm³]
- KZ počet jader [ks]
- GVF..... objemový faktor jader [bezrozměrná]
- HV faktor dělení formy [bezrozměrná]
- VS podíl objemu formy [bezrozměrná]
- Fr poměr písek-kov [bezrozměrná]
- VF objem formovací směsi [dm³]
- S..... využití plochy formy [bezrozměrná]
- FF podíl plochy formy [bezrozměrná]
- NFV využití objemu formy [bezrozměrná]
- FA podíl formy [1/ks]
- OBJVTOK..... objem vtokové soustavy [dm³]
- HMOTVTOK..... hmotnost vtokové soustavy [kg]
- OBJNAL objem nálitků [dm³]
- HMOTNAL hmotnost nálitků [kg]

PLOHAJADRA plocha kontaktu odlitku s jádrem [cm²]
PLOCHAFORMA plocha kontaktu odlitku s formou [cm²]
PLOCHAVTOKY plocha kontaktu odlitku s vtoky [cm²]
PLOCHANALITKY plocha kontaktu odlitku s nálitky [cm²]
PLOCHAPÍSEK celková plocha kontaktu odlitku s pískem (jádra + forma) [cm²]
PLOCHADOSOBL celková plocha kontaktu odlitku s vtokovou soustavou (vtoky + nálitky) [cm²]

5.2.2 Vyhodnocení dat

Souhrnné porovnání jednotlivých modelů je provedeno na základě charakteristik uvedených v tab. 2, kde:

- R..... korigovaný index determinace
- F..... F-test pro testování významnosti odchylky směrnice od 0
- RSC..... residuální součet čtverců modelu

Index 1 vždy platí pro základní výběrový soubor, index 2 pro soubor rozšířený o charakteristiky ze 3D modelů.

tab. 2: Souhrnné porovnání modelů pro výrobu odlitků z oceli

Operace	R ₁	R ₂	F ₁	F ₂	RSC ₁	RSC ₂
Formování	95,25	96,73	266,75	524,08	0,045	0,030
Výroba jader velkých	96,52	97,06	500,51	595,95	0,062	0,053
Výroba jader malých	79,26	79,26	169,2	169,2	0,092	0,092
Upalování	85,38	92,91	96,4	255,95	0,152	0,055
Tryskání	80,49	80,49	51,55	51,55	0,131	0,131
Ruční broušení	78,35	92,63	35,38	160,17	0,190	0,065

Výsledné empirické vzorce pro jednotlivé operace a s využitím 3D charakteristik:

$$\text{formování} = -1,69111 * \text{plochapisek}^{0,17505} * VG^{0,686072} * Fr^{0,827474}$$

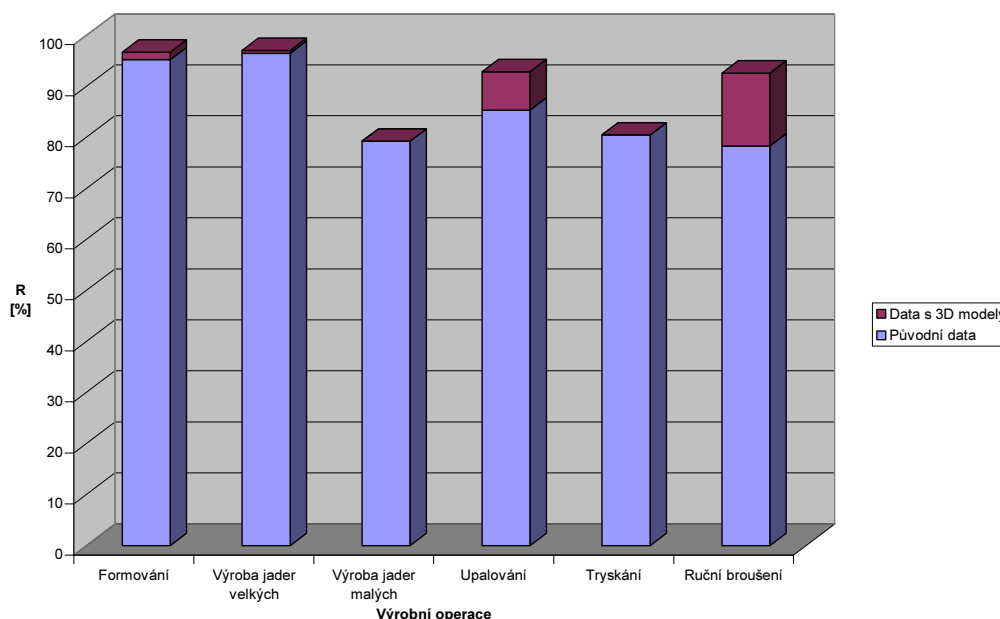
$$\text{jádra_velká} = 6,114054 * HV^{0,229203} * S^{-0,246152} * VK^{0,617878} * \text{plochajadra}^{-0,0414178}$$

$$\text{jádra_malá} = 3,04874 * VK^{0,435755}$$

$$\text{upalování} = 0,53013 * \text{plochanalitky}^{0,420591} * VKL^{0,568031} * F^{-0,335841}$$

$$\text{tryskání} = 0,02196 * HV^{-1,39344} * VS^{0,838016} * G^{-4,75419} * V^{0,94266}$$

$$\text{broušení} = 0,023089 * VKL^{0,23884} * \text{plochadosobl}^{0,690293} * D^{0,26698}$$



obr. 8: Graf znázorňující míru vhodnosti použitých regresních funkcí vyjádřenou korigovaným indexem determinace

Jak je patrné z grafu na obr. 8, došlo k největšímu zvýšení přesnosti rovnic u operací „upalování“ a „ruční broušení“. Operace „formování“ a „výroba jader velkých“ se změnily pouze zanedbatelně a operace „výroba jader velkých“ a „tryskání“ zůstaly beze změn.

Ke zpřesnění výpočtů došlo díky zavedení těchto veličin:

- plocha kontaktu odlitku s pískem (operace „formování“)
- plocha kontaktu odlitku s jádry (operace „výroba jader velkých“)
- plocha napojení náliček na odlitek (operace upalování“)
- plocha kontaktu odlitku s vtokovou soustavou (operace „broušení“)

5.3 EXPERIMENTÁLNÍ URČENÍ PŘESNOSTI NOVÝCH CHARAKTERISTIK U HLINÍKOVÝCH ODLITKŮ

Tato část práce byla prováděna ve slévárně slitin hliníku (dle DIN EN 1676) odlévaných gravitačně a nízkotlacc do kokil.

Slévárny do kokil jsou z hlediska popisu odlitku odlišné od klasického modelu, jelikož zde chybí celý popis rámců a formovacích směsí a odpadají operace formování. I použití jader není tak časté jako u klasických metod.

5.3.1 Data

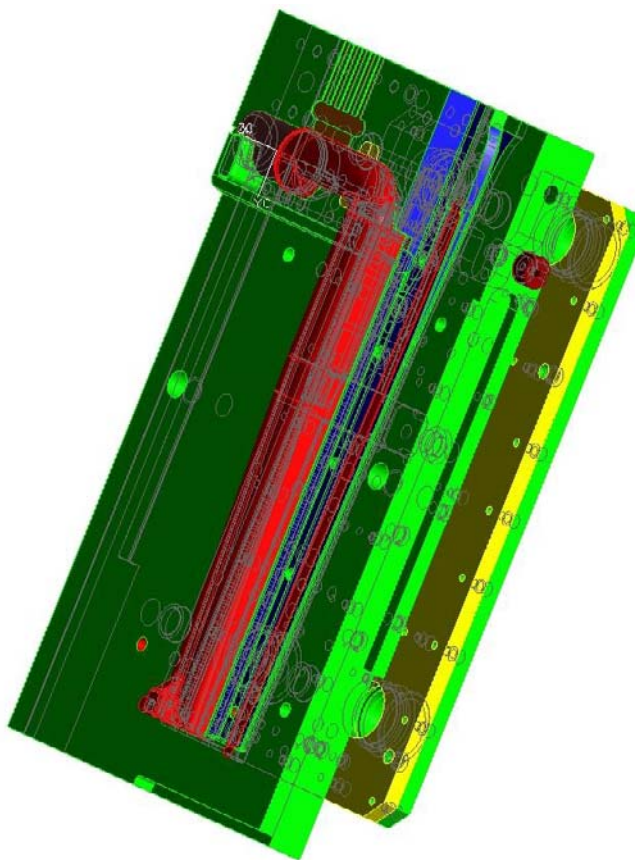
Ve slévárně je zaveden program Unigraphics v16.0 (Unigraphics Solutions), který spadá do kategorie hybridních parametrických modelářů a slučuje v sobě 2D návrhy, drátěné modely, plošné i objemové modely. Objemové modely jsou kompletní tj. sestávají z modelu odlitku i celé vtokové soustavy a slouží nejen jako vstup do simulačního programu Magma, ale také do programu pro CNC obráběcí stroje. Objemové modely jsou:

- zaslány zákazníkem ve víceméně finální podobě
- zaslány zákazníkem v základní podobě a je potřeba je dopracovat
- vytvářeny ve slévárně úplně od začátku

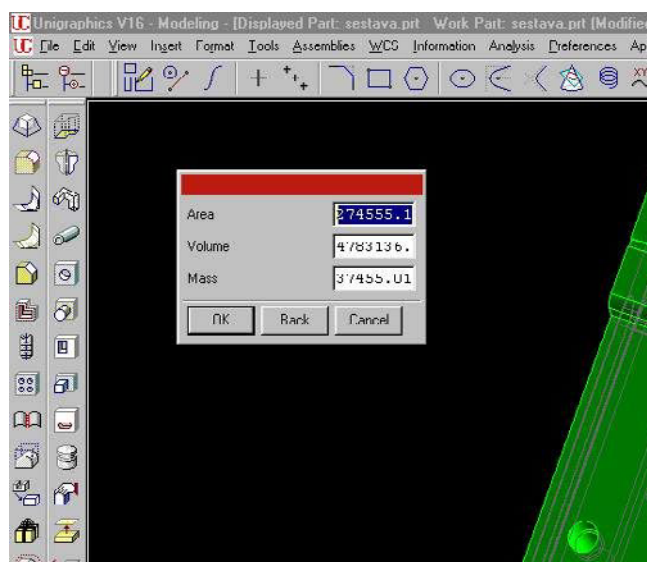
Na základě výše uvedených podmínek trvá vytvoření jednoho kompletního modelu 1 až 15 dnů.

Podmínky sběru dat:

- z dostupných odlitků, které měly popsán výrobní postup a u nichž existoval kompletní 3D model, byl proveden výběr 50 vzorových kusů
- každý 3D model byl ručně načten do programu Unigraphics a byly pro něj spočteny dostupné charakteristiky (viz obr. 9 a obr. 10)
- v některých případech, kdy již existovaly pouze otisky objektu do těla kokily (zvláště u vtokové soustavy), bylo třeba vytvořit zpětně model tělesa a teprve potom vypočítat charakteristiky
- zobrazená charakteristiky z programu Unigraphics byly přepsány do tabulky v Excelu (viz. tab. 3)
- k těmto datům byly vyhledány další údaje ve výrobní dokumentaci a výrobních postupech. Takto získaná data byla poté přiřazena existujícím záznamům v systému OPTI a výsledný soubor byl naimportován do programu MER a Statgraphics k dalším analýzám.



obr. 9: Ukázka pohyblivé poloviny kokily včetně odlitku a vtokové soustavy



obr. 10: Zobrazení vypočtených charakteristik pro zvolenou skupinu těles

tab. 3: Ukázka dat získaných z 3D modelů Unigraphics

č.odlitku	plocha odlitku [mm ²]	Rozměry vtokové soustavy [mm]			Plocha vtokových propuštění do odlitku [mm ²]
		délka	šířka	hloubka	
004	44 096	230	70	3,5	221
005	44 692	210	90	4	132
006	107 578	310	55	5	900
007	44 374	220	85	6	450
009	224 040	385	95	3,8	988
010	64 693	370	75	7,6	1 406
013	14 272	100	55	17,5	243
014	91 706	190	30	3,5	343
015	9 813	155	38	5	440
016	277 735	272	90	7,6	319
017	294 900	600	90	4	361

Celkový výčet charakteristik, které mohou vstoupit do regresního modelu:

- L.....velikost dávky [ks]
- VGobjem hrubého odlitku [dm³]
- Wměrná hmotnost odlévaného materiálu [kg/dm³]
- hmotnosthrubá hmotnost odlitku [kg]
- surhmsurová hmotnost odlitku [kg]
- Grozlehlost [bezrozměrná]
- Dtenkostěnnost [bezrozměrná]
- Vobjemová skladnost [bezrozměrná]
- Mrozměr kolmý k dělicí rovině [mm]
- VKL.....objem vratného materiálu [dm³]
- ZSPpočet dosazovaných oblastí [bezrozměrná]
- fApodíl formy [1/ks]
- PlochOdlplocha odlitku [mm²]
- VtokPochaPlocha vtokových propuštění do odlitku [mm²]
- Fplošná rozlehlost [bezrozměrná]

GVrozlehlost vtokové soustavy [bezrozměrná]
 VVobjemová skladnost vtokové soustavy [bezrozměrná]

5.3.2 Vyhodnocení dat

Souhrnné porovnání jednotlivých modelů je provedeno na základě charakteristik uvedených v tab. 4, kde:

- R.....korigovaný index determinace
- F.....F-test pro testování významnosti odchylky směrnice od 0
- RSC....residuální součet čtverců modelu

Index 1 vždy platí pro základní výběrový soubor, index 2 pro soubor rozšířený o charakteristiky ze 3D modelů.

tab. 4: Souhrnné porovnání modelů pro výrobu Al odlitků do kokil

Operace	R ₁	R ₂	F ₁	F ₂	RSC ₁	RSC ₂
Lití	86,34	95,14	104,28	240,61	0,048	0,017
Řezání	75,16	88,94	75,15	132,32	0,106	0,047
Pásová bruska	67,20	69,59	34,46	29,03	0,180	0,167
Pilování	39,91	46,09	17,27	14,96	0,696	0,625
Tryskání	40,41	40,41	17,61	17,61	0,258	0,258

Výsledné empirické vzorce pro jednotlivé operace a s využitím 3D charakteristik:

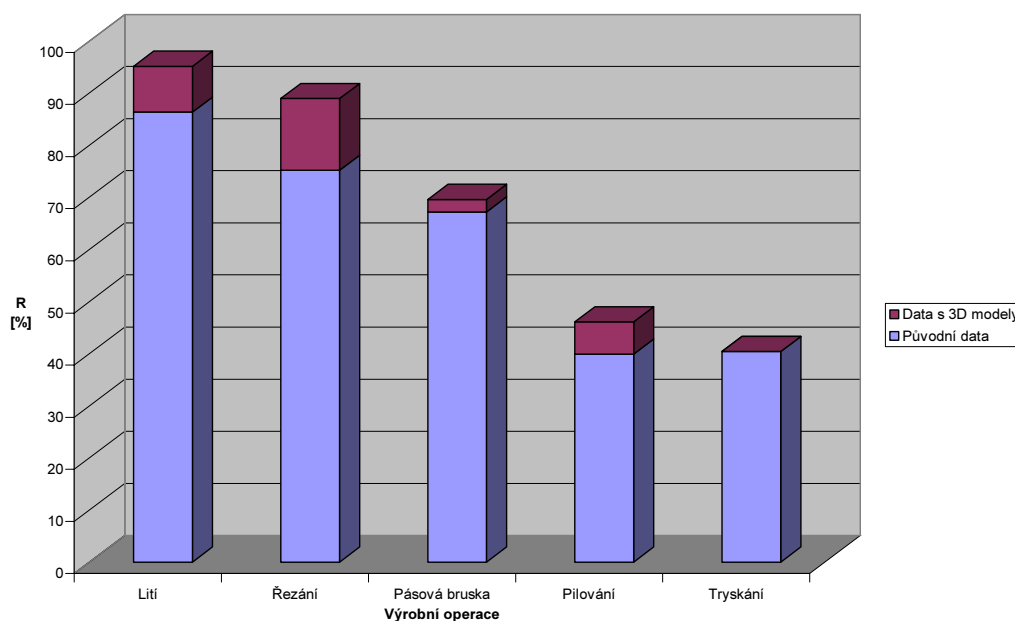
$$\text{lití} = 4,57776 * fA^{-0,480081} * GV^{0,383572} * \text{surhm}^{0,10406} * VV^{0,330778}$$

$$\text{řezání} = 0,08152 * \text{vtokplocha}^{0,380756} * VV^{0,295591} * ZSP^{0,228738}$$

$$\text{broušení} = 0,24735 * G^{0,636243} * D^{-0,390456} * \text{vtokplocha}^{0,16343} * \text{surhm}^{0,512641}$$

$$\text{pilování} = 1,452 * 10^{-6} * \text{vtokobj}^{0,392097} * V^{0,364029} * F^{1,37295}$$

$$\text{tryskání} = 0,749448 * fA^{1,14236} * VG^{0,533382}$$



obr. 11: Graf znázorňující míru vhodnosti použitých regresních funkcí vyjádřenou korigovaným indexem determinace

Jak je patrné z grafu na obr. 11 došlo k největšímu zvýšení přesnosti rovnic u operací „řezání“, „lití“ a „pilování“. Operace „pásová bruska“ a „tryskání“ zůstaly bez výrazných změn a jejich statistická určitost je velmi nízká.

Ke zpřesnění výpočtů došlo díky zavedení těchto veličin:

- rozlehlost vtokové soustavy (u operace lití)
- objemová skladnost vtokové soustavy (operace lití a řezání)
- plocha vtokových zaústění do odlitku (operace řezání)
- plošná rozlehlost (operace pilování)

5.4 KOMUNIKACE MEZI CAD A PPS SYSTÉMY

Pro reálné uplatnění celé ideje disertační práce je nutné vyspecifikovat, jakým způsobem bude probíhat vlastní komunikace mezi programy obsahujícími objemový model odlitku nebo celé formy a programy pro plánování a řízení výroby. Jedině spojením obou systémů lze docílit usnadnění, zrychlení a zkvalitnění práce v procesu plánování a přípravy výroby.

5.4.1 Propojení na straně 3D systémů

Aby bylo možné provést propojení mezi systémy CAD a PPS, je potřeba v programech sloužících pro zpracování výkresové a výrobní dokumentace nebo výpočtu simulací odlitku provést následující kroky:

- výpočet tvarových a technologických charakteristik. Jedná se zejména o charakteristiky vyspecifikované v kapitole 5.1:
- přenos dat mezi 3D programem a PPS. To se může dít buď ručně anebo lze po konzultaci s výrobcem 3D programu využít moderních metod relačních databází typu „klient-server“, jako je např. Oracle či SQL Server. Pomocí jednoduchých příkazů 3D program prostě zapíše zjištěné charakteristiky do příslušné tabulky databáze, odkud si jej PPS systém jednoduše načte.

5.4.2 Propojení a nastavení na straně PPS systémů

Na straně PPS systémů musí dojít k načtení informací z 3D programů. V případě komunikace přes relační databázi nestojí tomuto řešení nic v cestě, neboť systémy na řízení výroby jsou na využívání databází přímo založeny.

Na základě takto vytvořených dat může být okamžitě vytvořen výrobní postup, kalkulace či zaplánování do výroby.

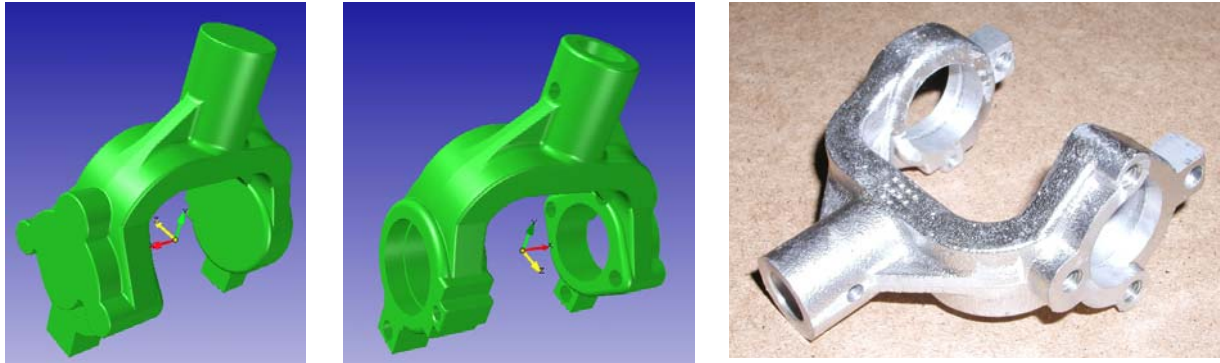
Jinou možností je provádět geometrické výpočty ploch, objemů a dalších veličin přímo v PPS systému. Z CAD programů by se pouze načel soubor s geometrickými daty a na základě numerických výpočtů by se příslušné charakteristiky dopočítaly.

5.4.3 Praktické využití výsledků disertační práce

Aby se prokázalo reálné uplatnění výsledků disertační práce, byly ve spolupráci s firmou NETic CZ s.r.o provedeny úpravy v informačním systému OPTI ve slévárně hliníku do kokil tak, aby byl připraven pro import 3D modelů, jejich uchování, výpočty dalších charakteristik a následně stanovení rovnic pro automatické generování norem času. Vypočtené empirické modely byly začleněny do programových knihoven a celý PPS systému byl otestován simulovaným průchodem nového výrobku (viz obr. 12) přes moduly PRODEJ, TPV a PPS v poptávkovém řízení dle následujících bodů:

- byl převzat 3D model obrobku a odlitku od zákazníka
- byly provedeny technologické úpravy na 3D modelu
- byl vytvořen 3D model vtokové soustavy

- data o poptávce byla přenesena ručně do systému OPTI
- byl vytvořen záznam o poptávce, o odlitku a vytvořen výrobní postup
- systémem OPTI byly automaticky vygenerovány normy spotřeb času a materiálu jednotlivých výrobních operací
- byla automaticky vypočítána kalkulace ceny odlitku
- byl stanoven dodací termín zkušebních kusů na základě zaplánování do existujících kapacit slévárny



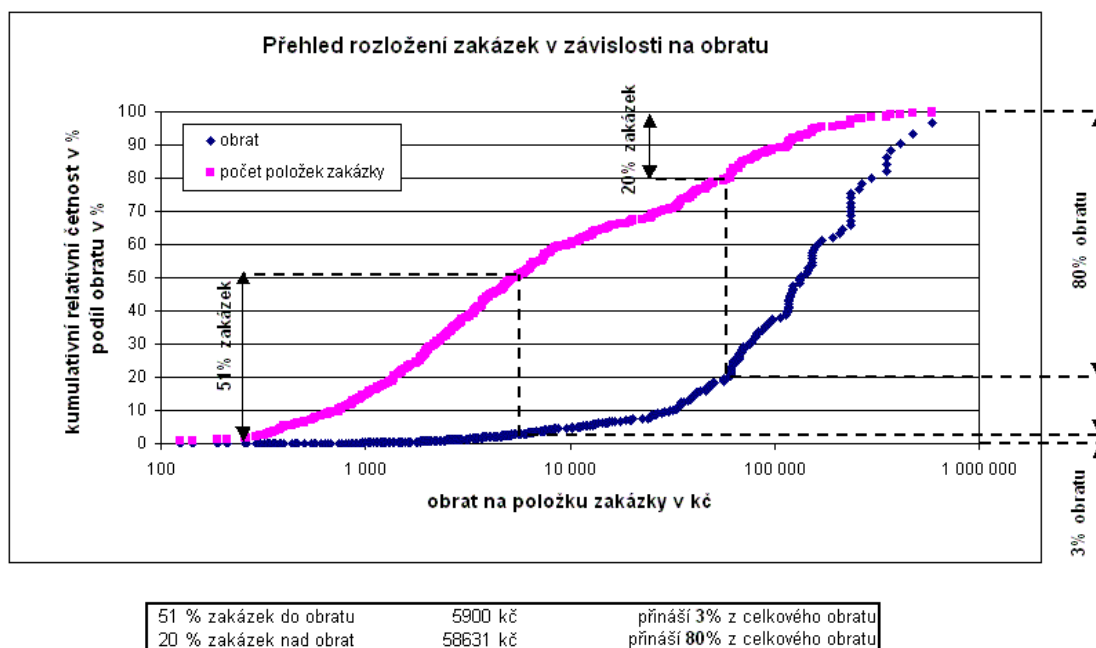
obr. 12: 3D model obrobku a odlitku a fotografie skutečného výrobku

Na základě výsledků chování systému byla predikce norem času rozdělena do několika etap podle míry využití 3D modelů a časové náročnosti zpracování. Při stanovení ceny odlitku je možné se spokojit s rychlou kalkulací, která zvažuje pouze 3D model odlitku zasláný zákazníkem, doplňující popisné informace z poptávky a výrobní možnosti slévárny. Takováto predikce je rychlá avšak díky neexistenci charakteristik popisujících vtokovou soustavu nezískáme úplně přesný odhad ceny odlitku.

Na druhé straně stojí nabídka, při jejímž vypracování se provede kompletní tvorba 3D dokumentace kokily s vtokovou soustavou a z toho vyplývající cena zahrnuje i detailní cenu výroby kokily na CNC stroji. Navíc lze provést i základní simulaci proudění a tuhnutí.

Uvedené postupy se zásadně odlišují v době trvání i ceně, kterou musí slévárna do přípravy nabídky investovat. Odpověď na otázku, jakým způsobem slévárna zpracuje konkrétní poptávku, přinese analýza hodnoty objektů pro zakázkovou slévárnu. Objektem v tomto případě jsou položky zakázek.

Hodnota položky zakázky je tvořena obratem, který přináší. V grafu rozložení zakázek jsou na ose x v logaritmických souřadnicích vyneseny obraty položek zakázek, na osách y je vyneseno procento obratu, který položky zakázek přináší a procento kumulativní relativní četnosti. Kumulativní relativní četnost udává četnost výskytu položek zakázek ve zkoumaném vzorku. Takto vytvořený graf slouží k prvotní klasifikaci zakázek. Z grafu uvedeného na obr. 13 vidíme, že 51 % položek zakázek přináší 3% obratu, 20 % položek zakázek přináší 80% obratu zbývajících 40% položek zakázek přináší 20% obratu.



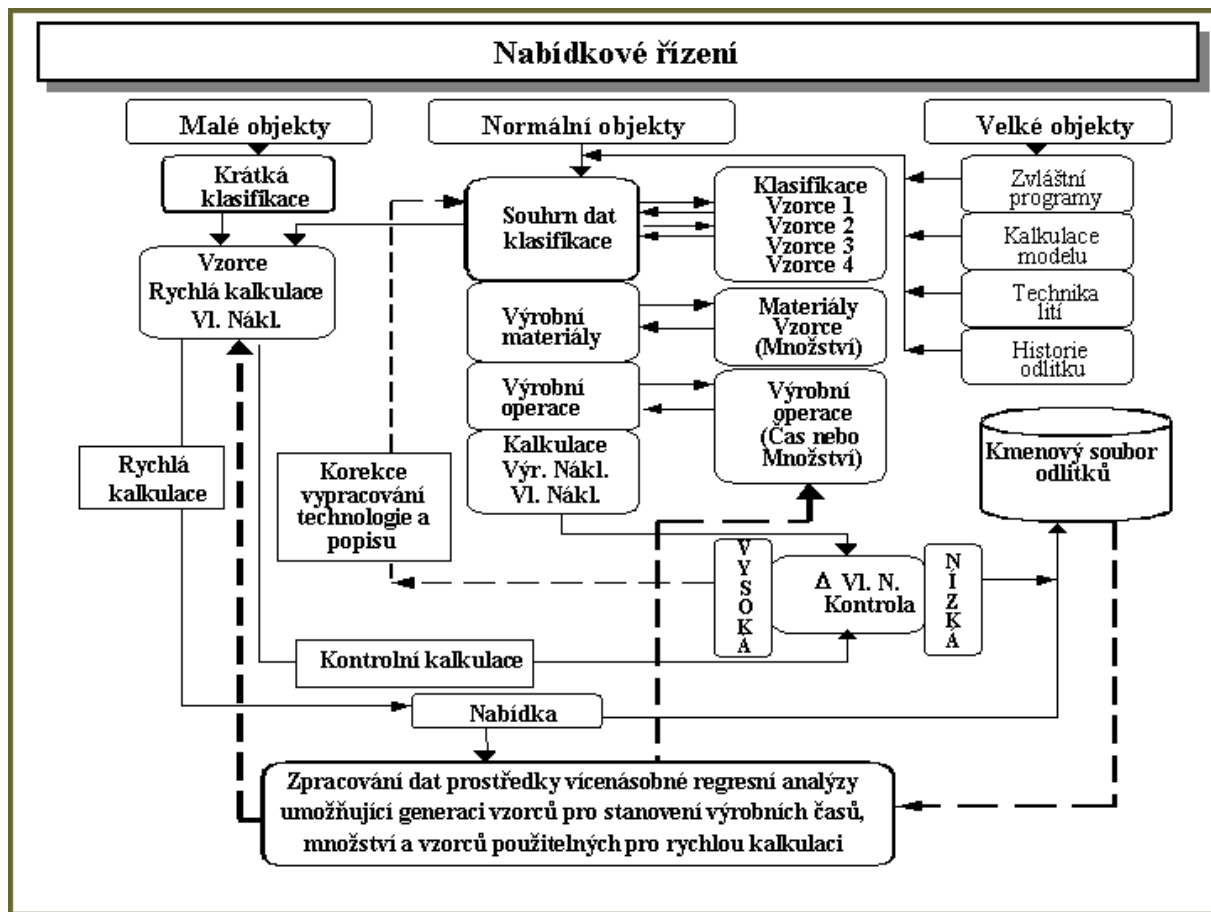
obr. 13: Přehled rozložení zakázek v závislosti na obratu (ruční formování)

Analýza hodnot objektů dává odpověď na položenou otázku. Poptávky by měly být zpracovávány v závislosti na obratu, jaký by mohly přinést. **Abychom uvolnili ruce pracovníkům TPV a změnili poměr produktivní a neproduktivní činnosti, musí být poptávky zpracovávány diferencovaně.**

Pracovníci útvaru TPV ve slévárnách musí mít dostatečný prostor k tomu, aby splnili bezezbytku svůj základní úkol: **Připravit a navrhnout ekonomicky optimální postup výroby.**

Základní úkol technologické přípravy výroby lze tedy formulovat následovně: **Na základě výrobních množství a zkušeností z výroby stanovit takový postup výroby, který zaručí při dostatečné kvalitě odlitku největší ekonomický efekt.**

Jak tedy přistupovat ke zpracování poptávek? Pomocí analýzy hodnot objektů rozdělit poptávky na malé objekty, normální objekty a objekty velké. U malých objektů minimalizovat zpracování útvarem TPV. Čas, který je ušetřen na těchto poptávkách lze poté využít pro zpracování poptávek, které lze zařadit mezi velké objekty. Graficky je klasifikace poptávek a navrhovaný způsob jejich zpracování zobrazen na obr. 14.



obr. 14: Způsob kategorizace poptávek

Pro malé objekty lze použít při stanovení prodejní ceny či vlastních nákladů na výrobu odlitku rychlou kalkulaci, která dá na základě minimálního popisu odlitku sestávajícího ze 3D modelu a základních popisných charakteristik kalkulovaný vlastní náklad. Pro normální objekty je možné vytvořit popis výrobku s rozšířenými technickými charakteristikami, ev. 3D modelem vtokové soustavy a přesný výrobní postup, na základě něhož bude provedena kalkulace. Pro velké objekty je nutné se zabývat ještě podrobněji technologií výroby.

Přínosy celého systému kategorizace poptávek spolu s využitím objemových modelů jsou pak následující:

- časová úspora
 - úspora času při zadávání popisu výrobku do PPS systému. Řada charakteristik je automaticky přenesena z CAD systému a všechny charakteristiky u kterých je to možné, jsou vypočítány systémem automaticky.
 - úspora při výpočtu kalkulací a zaplánování výrobní dávky. Díky přesnému popisu odlitku a způsobu jeho výroby je možné ihned na základě platného kalkulačního vzorce vypočítat výrobní náklady, vlastní náklady a mít tak podklady pro jednání o prodejní ceně odlitku. Na základě vytížení jednotlivých pracovišť slévárny lze pak zjistit nejbližší možný termín dodání dané výrobní dávky
- zvýšení přesnosti
 - díky využití nových charakteristik se zpřesní profesionální odhady časové náročnosti výroby a to zejména u cidírenských operací.
- ekonomické přínosy
 - díky času uspořenému v TPV automatizaci celého procesu, mají technologové šanci zpracovat kvalitně více poptávek od zákazníků a mohou rovněž zaměřit svou pozornost na kvalitnější technologické zpracování kritických zakázek

- díky rychlému výpočtu nákladů mohou technologové vytvořit více variant výrobních postupů a poté zvolit ekonomicky nejvýhodnější způsob výroby
- díky zpřesnění predikce norem dojde i ke zpřesnění odhadu vlastních nákladů na výrobu nového odlitku a tím k minimalizaci ztrát způsobených špatným odhadem časové náročnosti výroby

6 ZÁVĚR

Schopnost rychlé reakce na poptávku zákazníka, která ve svém důsledku znamená rychlou a přesnou odpověď na otázku kdy bude slévárna schopná dodat požadovaný výrobek a za jakou cenu, se stává v současné době klíčovou. Poptávkové řízení trvá v porovnání např. s německými slévárnami neúměrně dlouho a technologové jsou zavaleni množstvím práce, z nichž však pouze část se dostane až do fáze výrobní zakázky a přinese slévárně zpět investované peníze.

Rychlé přijetí a zavedení nových technologických postupů, zvláště v oblasti počítačového zpracování informací se v budoucnu stane jedním z hlavních směrů rozvoje slévárenského průmyslu. Přestože v současné době je většina českých sléváren vybavena systémem pro plánování a řízení výroby nebo alespoň jeho částí a řada sléváren využívá CAD a simulační programy, zůstává potenciál těchto systémů nevyužit.

Rychlý, přesný, jednoduše proveditelný a finančně nenáročný profesionální odhad časové náročnosti výroby společně s úpravou postupů při zpracování poptávek přinese slévárnám snížení nákladů, rychlejší odezvu na požadavky zákazníka a úsporu času, kterou je možné využít jinde.

Že je toto téma stále aktuální ukazuje jak velké množství článků v časopise pro slévárenský průmysl Slévárenství, tak řada seminářů pořádaných Českou slévárenskou společností.

Tato disertační práce ukazuje jasnou cestu do budoucna. Jedině skloubením systémů pro konstrukci a modelování výrobků a slévárenských simulačních programů se systémy pro plánování a řízení výroby lze docílit efektivní práce v oblasti TPV. Bohužel, v současné době je rozsah použití 3D modelů v českých slévárnách nízký. Rok od roku ale roste a ve velmi blízké budoucnosti se staneme svědky konce papírové výkresové dokumentace a jejího nahrazení digitální podobou ve formě 3D objemových modelů.

6.1 TEORETICKÝ PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE

Teoretický přínos disertační práce spočívá zejména v novém pohledu na problematiku predikce časových a materiálových potřeb ve slévárenské výrobě v návaznosti na poptávkové řízení, kalkulaci nákladů a stanovení dodacího termínu výrobní dávky.

V práci :

- jsou nově použity již známé charakteristiky. Jedná se zejména o využití kontaktních ploch odlitku s vtokovou soustavou. Začlenění těchto charakteristik vede zejména ke zpřesnění modelů cídírenských operací.
- jsou analogicky aplikovány existující charakteristiky na nové dosud nepoužívané objekty. Jsou vypočítány Pacynovy charakteristiky vtokové soustavy (rozlehlost a objemová skladnost) a následně využity pro zpřesnění empirických modelů
- je definována zcela nová, dosud nepublikovaná charakteristika „plošná rozlehlost“ odlitku a vtokové soustavy. Je prokázána závislost časů některých výrobních operací na této nové charakteristice

Práce rozšiřuje rozsah poznání v oblasti modelování časové náročnosti slévárenských procesů tím, že stanovuje způsob predikce těchto procesů, definuje potřebné charakteristiky, kterými se odlitek musí popsat a říká kde a jak tyto charakteristiky získat. Dále stanovuje metodiku porovnávání adekvátnosti získaných empirických modelů a poukazuje na možná úskalí, která mohou při využívání těchto postupů nastat.

6.2 PRAKTICKÝ PŘÍNOS DISERTAČNÍ PRÁCE

Práce zcela konkrétně a na reálných datech dvou českých sléváren ukazuje možnosti propojení CAD a simulačních systémů se systémy pro plánování a řízení výroby. Jsou popsány a definovány kroky potřebné pro praktické nasazení této metodiky v reálném provozu, které sestávají z :

- definování a kvantifikace charakteristik na straně CAD a simulačních systémů
- definování automatického i ručního přenosu 3D dat odlitku do PPS systémů a skutečné přenesení těchto dat u 50 vzorových odlitků ve dvou českých slévárnách
- definování charakteristik na straně PPS systému a skutečná úprava používaného informačního systému OPTI tak, aby byl schopen data přijímat a dále zpracovávat
- výpočet konkrétních závislostí mezi výrobními časy a charakteristikami popisujícími odlitek a začlenění takto získaných empirických modelů do programových knihoven informačního systému OPTI za účelem další predikce
- prokázání schopnosti aplikace celého modelu na průchodu reálného výrobku slévárnou od fáze předání výrobních podkladů od zákazníka až do výroby zkušebních kusů. Je využito predikce časové náročnosti výroby s návazností na kalkulaci výrobních nákladů a stanovení nejbližšího možného dodacího termínu zákazníkovi
- zhodnocení ekonomického přínosu zavedení metodiky propojení CAD a PPS systémů a predikce norem

7 SUMMARY

The ability to respond quickly to the customer's inquiry, which in essence means giving a prompt and exact answer to the question when the foundry can deliver the required product and at what price, is currently acquiring key importance. In comparison with German foundries, inquiry proceedings take an excessively long time, and technologists are flooded with work, only a part of which reaches the stage of job order and brings returns to the foundry.

A rapid acceptance and introduction of new technological processes, in particular in the area of computer-processed information, will in the future become one of the principal trends in the development of the foundry industry. In spite of the fact that most of the Czech foundries are today equipped with a system of production planning and management (or at least with a part of such system) and some of them employ CAD and simulation programs, the potential of these systems remains unexploited.

In the theoretical part of the dissertation, the problems of work organization and standardization are analyzed, and the current methods of determining the standards of time and material consumption are described together with their advantages and disadvantages.

In the practical part of the dissertation, the focus is on the application of computer technology in the area of predicting the norms of production times and batches. Computer processing of data is used to the maximum possible extent. Information about the casting and the method of its production is obtained from geometrical computer models. Based on this information, the description of the model is enriched with a number of new characteristics.

This includes on the one hand new applications of known characteristics such as contact areas between the casting and the gating system, application of existing characteristics to new and so far non-used objects (the Pacyna characteristics of gating system) and, on the other hand, the definition of completely new characteristics (areal extent).

Within the experimental part, empirical models have been calculated that express the relation between the characteristics of a casting and the time demands of individual manufacturing operations performed on the product. The precision of newly obtained models is evaluated in comparison with the possibilities that are available today.

The practical application possibilities are demonstrated on the passage of an actual product through the foundry from the stage of handing over the customer's production documents to the stage of producing test pieces. The prediction of production time demands is employed, coupled with the calculation of production costs and determination of the nearest possible term of delivery to the customer. As part of the dissertation, the technical problems of interconnecting CAD and simulation systems with systems of production planning and management are also solved.

A fast, accurate, easy-to-perform, and financially undemanding professional estimate of the production time demands, together with an adjustment of the procedures of executing the jobs bring the foundries a cost reduction, a quicker response to customers' inquiries, and savings in time, which can be made better use of elsewhere.

The fact that this theme does not lack topicality is attested by the great number of papers in *Slevarenstvi* (a journal for the foundry industry) and seminars organized by the Czech foundrymen's association. The present dissertation shows clearly what the future development will be. Only linking the systems for product design and modelling plus foundry engineering simulation programs with systems for production planning and management can make the work in the area of technical preparation of production effective. Unfortunately, the extent of using 3D models in Czech foundries is presently very small. But it increases from year to year and in the near future we will witness the end of paper drawing documentation and its replacement by its digital version in the form of 3D solid models.

8 LITERATURA

- [1] Personální a mzdový poradce podnikatele 11/97, Informační centrum podnikatelů, 1997
- [2] Kristoň, F.: OPTI – Informační systém pro řízení sléváren a jeho úloha v tržním hospodářství, Slévárenství, 41, 1993, č. 5, s. 238–241.
- [3] Kolektiv autorů : Maynard's Industrial Engineering Handbook – 4. vydání. McGraw–Hill, 1992
- [4] Jednotné normativy Slévárenství I – Ruční formování, Část technickoorganizační a metodická, 1. vyd. Praha 1981
- [5] Jednotné normativy Slévárenství I – Ruční formování, Část normativní, 1. vyd. Praha 1981
- [6] Rosenberger, H.: Technologische Klassifizierung von Gußstücken, Leipzig 1965
- [7] Hajkr, M.: Klasifikace odlitků. Diplomová práce, Brno 1995, s. 8–18, VUT FS Brno
- [8] Kolektiv autorů: REFA – Fachauschuß Gießerei, VDG, Düsseldorf 1987
- [9] Pacyna, H.: Klassifikation von Gußstücken, Düsseldorf 1972
- [10] Provazník, I. – Kozumplík, J.: Expertní systémy. Skripta FEI VUT, Brno, 1999.
- [11] Hejl, J.: Možnosti automatizace výpočtu norem spotřeby času, Slévárenství, 36, 1988, č. 4–5, s. 163–166.
- [12] Svadbík, M.: Stanovení signifikantních veličin při určování výrobních časů, Diplomová práce, VUT FSI, Brno, 1998
- [13] RGU GmbH, Hagen: Dokumentace k programovému modulu matematická statistika. 1997.
- [14] Hebák, P – Hustopecký, J.: Vícerozměrné statistické metody s aplikacemi, SNTL/Alfa, Praha, 1987.
- [15] Maroš, B.: Empirické modely I. Skripta FSI VUT, Brno, 1998.
- [16] Koschin, F. a kol.: Statgraphics aneb statistika pro každého, Grada, Praha, 2002
- [17] Eberley, D.: Polyhedral Mass Properties [online], Magic software, [cit. 2003–12–05] , <http://www.magic-software.com>, 2003

9 SEZNAM AUTOROVÝCH PUBLIKACÍ

Publikační činnost

- [1] Svadbík, M.: Automatizace normování slévárenských operací. *Mechanika* 57, ISSN 1429–6055, 1998, NR 246/98, s.139–146
- [2] Kristoň, F. – Svadbík, M.: Systém OPTI a statistické zpracování informací. *Slévárenství* 5–6, ISSN 0037–6825, 2000, ročník XLVIII, s.298–301
- [3] Svadbík, M.–Čech, J.: Průměrné zmetkovitosti odlitků a jejich predikce. *Mechanika* 63, ISSN 1429–6055, 2000, NR 263/2000, s.263–268
- [4] Kristoň, F. – Svadbík, M.: Informační systém – základní předpoklad pro zvyšování produktivity slévárenské výroby, *Slévárenství*, ISSN 0037–6825, 2001
- [5] Kristoň, F. – Svadbík, M.: Nové přístupy v poskytování manažerských informací v grafické verzi systému OPTI. *Slévárenství* 5–6, ISSN 0037–6825, 2002, ročník L, s.205–208
- [6] Kristoň, F. – Svadbík, M. – Perůtka, M.: Systém OPTI – deset let na českém a slovenském trhu. *Slévárenství* 4–5, ISSN 0037–6825, 2003, ročník LI, s.172–177
- [7] Kristoň, F. a kol.: Informační technologie představené na veletrhu GIFA. *Slévárenství* 8–9, ISSN 0037–6825, 2003, ročník LI, s.355–361

Příspěvky na konferencích

- [8] Svadbík, M.– Čech, J. – Kristoň, F.: Aplikace statistických metod při přípravě výroby odlitků. In: *Slévárenství do třetího tisíciletí*. Plzeň, Vědeckotechnická společnost západních Čech, 1999, s. 51–56
- [9] Svadbík, M. – Čech, J.: Predikce jevů a veličin ve slévárenství. In: *Technológia '99*. ISBN 80–227–1255–8. Bratislava, 1999, s. 777–781
- [10] Svadbík, M. – Kristoň, F.: Automatizace normování a kalkulace ceny odlitku. In: *Materiálové vědy na prahu 3. milénia*. ISBN 80–217–1378–6. Brno, 1999, s. 83–86
- [11] Svadbík, M. – Kristoň, F.: Systém OPTI a predikce průměrné zmetkovitosti odlitků. In: *Vady odlitků IV*, Kopřivnice, 2000, s. 14/1–14/5
- [12] Svadbík, M. – Čech, J.: Utilization of foundry information systems in sphere of production planning, In: *Transfer 2001*, Trenčín, 2001
- [13] Svadbík, M – Čech, J.: The future of foundry information systems in the sphere of production planning . In: *Transcom 2001*, Žilina
- [14] Svadbík, M – Čech, J.: Možnosti slévárenských informačních systémů v oblasti plánování výroby. In: *Slévárenství ve 3. tisíciletí*, Plzeň, Vědeckotechnická společnost západních Čech, 2001, s. 19–24
- [15] Svadbík, M – Čech, J.: The new possibilities in the sphere of production planning in foundries, In: *Technológia 2001*, ISBN 80–227–1567–0, str. 551–553, Bratislava, 2001
- [16] Svadbík, M – Čech, J.: Využití modelů počítačové geometrie pro stanovení výrobních časů ve slévárenství, připraveno na konferenci Plzeň 2004

Řešené grantové projekty – spoluúčast

- [17] Čech, J.: GAČR 106/00/0009. Vývojové trendy pro zajištění vysoké kvality a konkurenceschopnosti odlitků.
- [18] Čech, J. – Exner, J.: GAČR 106/99/0091. Predikce struktury a užitných vlastností odlitků pomocí simulačních modelů krystalizace a překrystalizace.
- [19] Čech, J. – Exner, J.: GAČR 106/02/0352. Výzkum krystalizace slitin hliníku pod tlakem.
- [20] Čech, J.: GAČR 106/04/0691. Výzkum nových nástrojů jakosti pro progresivní slitiny používané pro tlakové lití.

Fakultní projekty – hlavní řešitel

- [21] Svadbík, M.– Ursacher, R. – Boucník, P.: Otázky predikce časové náročnosti slévárenské výroby, Fakultní úkol VUT FSI Brno 1999 (FP 390011)
- [22] Svadbík, M.: Průměrná zmetkovitost odlitků, Fakultní úkol VUT FSI Brno 2000 (FP 300010)

10 AUTOROVO CURRICULUM VITAE

Jméno: Martin Svadbík
Datum narození: 19. května 1975, Brno, Česká republika
Trvalé bydliště: Dlouhé hony 7, Brno, PSČ 621 00
Rodinný stav: ženatý (manželka Lucie Svadbíková, syn Adam Svadbík)
E-mail: webmaster@opticz.cz

Vzdělání:

1998–2001 Postgraduální doktorské studium na VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie – Odbor slévárenství. Státní doktorská zkouška složena 26. června 2001.
Téma disertační práce: Objemové modely jako nový prostředek ke stanovení výrobních časů ve slévárenství.

2000 Odborná stáž ve slévárně PDC Ltd. (Velká Británie) – problematika kontroly kvality za využití měření rezonančních frekvencí.

1993–1998 VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Odbor slévárenství. Státní zkouška složena dne 23. 6. 1998. Téma diplomová práce: Stanovení signifikantních veličin při určování výrobních časů ve slévárenství.

1989–1993 Střední průmyslová škola slévárenská v Brně. Maturitní zkouška složena dne 3. června 1993.

Zaměstnání:

od září 2001 NETic CZ s.r.o., konzultant v oblasti informačních technologií ve slévárenství

Vědecký a odborný profil:

1999 grantový projekt VUT: Otázky predikce časové náročnosti slévárenské výroby, FP 390011

2000 grantový projekt VUT: Průměrná zmetkovitost odlitků, FP 300010

16 publikací v odborné literatuře a ve sbornících konferencí.

Pedagogický profil

3. roky pedagogické praxe – výuka cvičení v předmětech: Počítačová podpora technologie, Technologické aplikace výpočetní techniky, Technologie slévání, Technická měření a metrologie, Strojírenská metrologie, Predikce vad odlitků a Výrobní technologie

Činnost v odborných organizacích

Česká slévárenská společnost