

Vývoj oběžného kola čerpadla chemikálií

Miroslav Šamánek

Bakalářská práce
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2005/2006

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav ŠAMÁNEK**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vývoj oběžného kola čerpadla chemikálií**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na dané téma
2. Proved'te analýzu současného stavu
3. Navrhněte vhodné materiály a technologie
4. Proved'te analýzu a výpočty
5. Navrhněte nástroj pro vstřikování

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

ŠUBA , Oldřich. Dimenzování a navrhování výrobků z plastů. UTB Zlín : [s.n.], 2005. 112 s. ISBN 80-7318-287-4.

MEISSNER, Bohumil. Fyzikální vlastnosti polymerů. [s.l.] : Státní Nakladatelství Technické Literatury, 1971. 155 s.

ZÁMORSKÝ , Zdeněk, HAGEN, Vladislav. Laboratorní cvičení z nauky o polymerech. [s.l.] : Vysoké učení technické v Brně, 1978. 84 s.

HUŠEK, Josef, NECHLEBA, Miroslav. Hydraulické stroje. [s.l.] : Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 386 s.


Solvay advanced polymers [online]. 2005 , 1/4/2004 [cit. 2005-11-25]. Angličtina. Dostupný z WWW: www.solvayadvancedpolymers.com.

Metal,plastic, and Ceramic search Index [online]. 1996-2005 , 1/9/2005 [cit. 2005-11-23]. Angličtina. Dostupný z WWW: www.matweb.com.

KOLMAN, Libor. Konstrukční materiály,kompozity-výztuže [online]. 2001 , 1/9/2005 [cit. 2005-12-08]. Čeština. Dostupný z WWW: www.volny.cz/kolman/obsah.htm.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Halaška**
Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2006**
Termín odevzdání bakalářské práce: **13. června 2006**

Ve Zlíně dne 10. ledna 2006


prof. Ing. Josef Šimoník, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Abstrakt česky

Cílem práce je vyšetření problematiky stávajícího oběžného kola a návrh jeho nového řešení. V teoretické části bakalářské práce je analyzován návrh materiálu oběžného kola a možnosti jeho plnění vyztužujícími vlákny. Agresivní prostředí, v němž bude kolo pracovat, bude mít podstatný vliv jak na vlastní materiál kola, tak i na jeho využitelnou konstrukci. Při vlastním návrhu budeme muset zohlednit hustotu směsí a dopad chemikálií na oběžné kolo. Dále v rámci práce byla nastíněna problematika pevnosti a pružnosti oběžného kola v souvislosti s narůstající teplotou, neboť lze v reálním provozu tento nárůst předpokládat.

Klíčová slova: kolo, chemikálie, čerpadlo

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis is examination of the problems of contemporary circulation wheel and its new solution project. In theoretical part of the thesis are the proposal of the material and the possibility of stiffen fibres filling analyzed. The aggressive environment where is the wheel supposed to work influences the material and applicable construction essentially. Within the proposal we have to respect the density of mixtures and impact of the chemicals on circulation wheel as well. In this thesis are the problems of solidity and flexibility of circulation wheel sketched in connection with rising temperature, because this situation is presumed in reality.

Keywords: wheel, chemical, pump

Poděkování:

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Halaškovi, za odborné vedení a cenné rady, které mi v průběhu zpracování diplomového tématu poskytl.

OBSAH

ÚVOD	9
1.1 ČERPADLA V CHEMICKÉM PRŮMYSLU.....	9
1.1 ČERPADLA NA KYSELINY A LOUHY.....	9
1.2 VÝVOJ PLASTŮ A KOMPOZITŮ VE STROJÍRENSTVÍ.....	10
1.3 VLASTNOSTI PLASTŮ A KOMPOZITŮ.....	11
1.4 KONSTRUOVÁNÍ DÍLŮ VYROBENÝCH Z PLASTŮ.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	13
2 VOLBA MATERIÁLU OBĚŽNÉHO KOLA	14
2.1 MATERIÁL PP-POLYPROPYLEN.....	14
2.2 MATERIÁL PPS-POLYFENYLENSULFID	16
2.3 KONSTRUKČNÍ PLASTY	20
2.4 CHEMICKÁ ODOLNOST POLYMERŮ	20
2.5 ZÁVISLOST MODULU PRUŽNOSTI E V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTĚ.....	20
2.6 PEVNOST PLASTŮ	22
2.7 VLÁKNITÁ PLNIVA PRO POLYMERY	24
2.7.1 Skleněná vlákna	25
2.7.2 Uhlíková vlákna	25
2.7.3 Aramidová (KEVLAROVÁ) vlákna.....	26
2.7.4 Forma výztuží.....	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	28
3 ÚVOD DO PROBLEMATIKY	29

3.1	ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA NHR	29
3.2	TEPLOTNÍ ANALÝZA VÝSTŘIKU OBĚŽNÉHO KOLA	31
3.3	NAPĚŤOVÁ ANALÝZA VÝSTŘIKU OBĚŽNÉHO KOLA NAMÁHANÉHO ROZDÍLEM TEPLOT	34
3.4	NOVÉ ŘEŠENÍ OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA NHR	35
3.5	NAPĚŤOVÁ ANALÝZA	35
3.6	PRŮHYB KOLA S OCELOVOU VLOŽKOU	36
3.7	PRŮHYB KOLA BEZ OCELOVÉ VLOŽKY	37
3.8	ZATÍŽENÍ ZÁVITU NÁBOJE OBĚŽNÉHO KOLA	39
3.9	AXIÁLNÍ SÍLA V ZÁVITU SMYKOVÉ NAPĚTÍ V ZÁVITU	41
3.10	PODMÍNKY VSTŘIKOVÁNÍ	44
3.11	ZÁVĚR ANALÝZY SOUČASNÉHO STAVU	46
3.12	ZKOUŠKY OBĚŽNÉHO KOLA VSTŘÍKNUTÉHO Z PP PLNĚNÉHO 50% SKLENĚNÝCH VLÁKEN	46
3.12.1	Zkouška závitů náboje kroutícím momentem	46
3.12.2	Zkouška průhybu kola působením hydrostatického tlaku při maximální výtlačné výšce	48
3.13	ZÁVĚR ANALÝZY OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA	54
4	NÁVRH VSTŘIKOVACÍHO NÁSTROJE	56
4.1	LEVA UPÍNACÍ DESKA	56
4.2	LEVÁ TVAROVÁ DESKA	57
4.3	PRAVÁ TVAROVÁ DESKA	58
4.4	OPĚRNÁ DESKA	58
4.5	ROZPĚRKY	59
4.6	OPĚRNÁ DESKA	59
4.7	KOTEVNÍ DESKA	60
4.8	PRAVÁ UPÍNACÍ DESKA	60
4.9	VYHAZOVACÍ SYSTÉM	61
4.10	TEMPERANČNÍ SYSTÉM	62
4.11	ANALÝZA FORMY	63
4.11.1	Postup	63
4.11.2	Výpočtová část	63
4.11.3	Lokální průhyb desky	64
4.12	ZÁVĚR NÁVRHU VSTŘIKOVACÍHO NÁSTROJE	65
	ZÁVĚR	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71

SEZNAM TABULEK.....	73
SEZNAM PŘÍLOH.....	74
PŘÍLOHA P I: VÝKRES ZÁVITOVÉHO OSAZENÍ PRO MĚŘENÍ KROUTÍCÍHO MOMENTU	75
PŘÍLOHA P II: PŘÍPRAVKY	76
PŘÍLOHA P III: ZÁVITOVÉ JÁDRO.....	78

ÚVOD

1.1 Čerpadla v chemickém průmyslu

Čerpadla v chemickém průmyslu přečerpávají různé kapaliny s odlišnými teplotami, měrnými hmotnostmi, viskozitami a ostatními fyzikálními hodnotami. Přednost se dává čerpadlům odstředivým, která svou charakteristikou Q-H mohou dobře uspokojit nároky rozmanitých chemických provozů. Viskozita μ čerpané kapaliny má značný vliv jak na průtok, tak na dopravní výšku i účinnost, a tedy i na velikost příkonu. Teplota viskosní kapaliny zmenšuje viskozitu, a tím odpory a příkon čerpadla. Proto se viskosní kapaliny často ohřívají, mají-li být čerpány. Čerpadla pro chemický průmysl vyžadují pro svůj náročný a těžký provoz, aby byla věnována zvláštní péče ucpávkám. V podstatě se používá dvou druhů ucpávek

a) nejčastěji používané jsou měkké ucpávky (jsou určeny pro širší rozsah teplot a tlaků, nevýhodou je, že ucpávku není možné utáhnout natolik, aby neukapávala, neboť by došlo k rychlému opotřebením součástí)

b) mechanické ucpávky (princiálně se jedná o těsný styk dvou dokonale rovných čelních těsnících ploch, jedné pevné a druhé rotující, propouštění kapaliny mechanickou ucpávkou je proti měkké ucpávce nepatrné).[1]

1.1 Čerpadla na kyseliny a louhy

Do této skupiny patří čerpadla na čerpání kyselin a louhů koncentrovaných nebo zředěných, dále na kapaliny unášející drobné hmoty znečištěné vody. Podle povahy těchto látek se musí vyšetřit způsob jejich proudění v čerpadle a volit vhodný materiál. Nedostatečně odolný materiál zaviní brzké zničení stroje, musí totiž vzdorovat korozi nebo i erozi. Chemickou korozi je leptán povrch materiálu postupně do hloubky. Galvanická koroze nastává, jestliže čerpaná kapalina tvoří s omočenými součástmi galvanický člunek. Unáší-li čerpaná kapalina drobný brousící materiál, porušuje se jím mechanický povrch a následuje eroze, která v kombinaci s kavitací rychle zničí soustrojí. Nejodolnější proti korozi při styku s kyselinou jsou čerpadla, která mají vnitřní vyložení ze steatitu, porcelánu a kameniny.

[1]

1.2 Vývoj Plastů a kompozitů ve strojírenství

Použití plastů a kompozitů ve strojírenství vycházelo v minulosti zejména ze snahy (často i neopodstatněné) nahrazovat ocel a jiné kovové materiály. Hlavním argumentem bylo téměř ve všech případech snížení hmotnosti, v některých případech to byla i korozní odolnost, elektrické a izolační vlastnosti nebo zřídka některé další důvody. S tímto přístupem byly v podstatě řešeny individuální případy strojírenských součástí a dílů. V posledních letech se ukazuje, že stále náročnější požadavky lidské společnosti na strojírenské výrobky je možno splnit mnohem intenzivnějším využitím plastů a kompozitů a jejich dalším vývojem s cílem dosáhnout vlastností žádaných ve strojírenství. Má-li ovšem být tento vývojový směr v rámci relativně nové skupiny materiálů vysoce efektivní, je nutno do budoucna přijmout integrovanou strategii pro plasty a kompozity, na základě níž budou současně jednak inovovány stávající výrobky, jednak uváděny do praxe zcela nové výrobky využívající specifických vlastností plastů a kompozitů, bude systematicky rozvíjen trh, budou brány v úvahu ekonomické aspekty, a v neposlední řadě budou přísně sledovány produktivita výroby a kvalita výrobků (technologické aspekty), bezpečnost zdraví a životní prostředí. Tato strategie bude vyžadovat zvládnutí materiálového vývoje v požadovaných směrech, principů konstruování s těmito materiály, modelování a predikčních metod pro materiály i celé součásti a díly a také nové výrobní technologie.

V současné době materiály na bázi plastů a kompozitů a s nimi související technologie přesvědčivým způsobem pomáhají rozvíjet obor strojírenství jako celek. Dosud největší význam mají v leteckém průmyslu (sekundární i primární kompozitové konstrukce), automobilovém průmyslu (interiér, exteriér i pohonná jednotka) a výrobě plavidel všeho druhu. Ve stále větší míře se prosazují ve stavbě chemických a energetických strojů a zařízení (součásti čerpadel, odsiřovacích jednotek apod.) a v konstrukci výrobních strojů (např. včetně obráběcích strojů). Polymerní a kompozitní materiály umožňují dosáhnout nejen základního požadavku společného pro téměř všechny aplikace, tj. snížení hmotnosti, ale umožňují i mnohem větší "svobodu konstruování" a tím i lepší podmínky pro inovace.

1.3 Vlastnosti plastů a kompozitů

Plasty a kompozity splňují následující soubor vlastností:

- pevnost a modul pružnosti přibližující se kovovým materiálům
- lepší odolnost proti únavě než u kovů
- vysokou rázovou a vrubovou houževnatost a odolnost proti šíření trhlin
- vysokou teplotní odolnost (vysokou teplotu skelného přechodu nebo tání)
- schopnost tlumení vibrací
- balistické vlastnosti
- nehořlavost
- bariérové vlastnosti
- kvalitu povrchu třídy A. Výroba komponent, které nevyžadují lakování
- nízkou, případně nulovou teplotní roztažnost
- elektrickou vodivost
- korozní odolnost proti vysoce agresivnímu prostředí
- recyklovatelnost

U moderních strojírenských výrobků jsou často požadovány takové kombinace vlastností, kterých nelze pomocí kovových materiálů vůbec dosáhnout. K těmto požadavkům přistupují nároky na zpracovatelské technologie, např. rychlost výroby, kombinace materiálů (plasty, kompozity a kovy, možnost výroby integrovaných modulů s kovovými záložkami apod.).

1.4 Konstruování dílů vyrobených z plastů

V posledních letech se ujal zcela nový přístup k hodnocení konstrukčních materiálů, založený na poměru mechanických charakteristik k hustotě. Ten se stal základem Ashbyho materiálových map používaných pro výběr materiálů. Kompozitní materiály s polymerní maticí mohou výrazně převýšit kovy, pokud jde o měrný modul pružnosti a měrnou pevnost. Toto kritérium je zvláště důležité pro aplikace v dopravní technice.

Konstruování z plastů je ve srovnání s kovy komplikováno existencí časově závislé elastické deformace, výraznou teplotní závislostí mechanických vlastností a efekty vyplývajícími z orientace makromolekul a částečné krystalizace. Zpracovatelské technologie jsou zase ovlivňovány neneutonským chováním tavenin a mnohdy značnými rozdíly v jejich viskozitě.

Ve srovnání s ostatními materiály je u kompozitů jedním ze základních problémů materiálová standardizace. Vlastnosti kompozitů jsou totiž při daném složení silně závislé na způsobu uložení výztuže v matrici, což přímo souvisí s technologií výroby kompozitních dílů. Uživatelé potřebují získat alespoň hrubou představu o tom, jaké vlastnosti má určitý typ kompozitu. V zahraniční literatuře se takové údaje objevují, v Ústavu materiálového inženýrství bylo započato s tvorbou materiálových listů a základní databáze. K základnímu specifikačnímu označení vytvořenému na základě normy ISO 8604 "Prepregs-Symbols-Definitions" jsou přiřazeny průřezové vlastnosti získané buď z různých údajů v literatuře, nebo na základě vlastních výpočtů. Nezbytné je postupné korigování a doplňování těchto základních informací. Pro konkrétní výrobky je přirozeně nutné vlastnosti vypočítat. Modelování se tak stává jednou ze základních součástí kompozitního inženýrství.

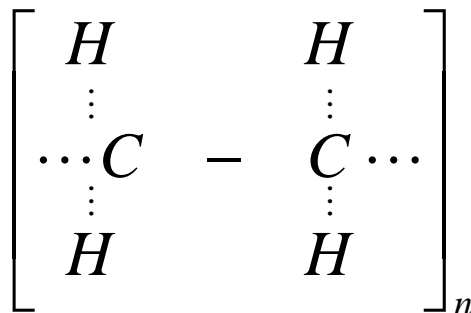
Materiálové trendy ve strojírenství se zcela evidentně ubírají směrem k většímu využití plastů a kompozitů s polymerní matricí. V úvodu naznačená integrovaná strategie využití těchto materiálů pro rozvoj strojírenství je založena nejenom na vývoji nových polymerních systémů a výztuží a výrobních technologií (včetně problematiky svařování), ale vyžaduje potřebu věnovat pozornost i dalším oblastem. Chybí např. dostatek poznatků potřebných pro konstruování a rozměrovou optimalizaci výrobků i forem, rovněž nejsou k dispozici podklady umožňující spolehlivé modelování a dlouhodobou predikci materiálových vlastností a životnosti součástí a dílů. To přirozeně platí i pro nově vyvíjené hybridní systémy založené na kombinacích polymer-kov. Mnoho úsilí bude vyžadovat realizace recyklačních technologií. Významnou úlohu v integrované strategii musí sehrát komplexně pojaté vzdělávání. Jen tak bude možno pro konstrukční plasty a kompozity systematicky zvětšovat aplikační prostor ve strojírenství, a tak zajistit potřebnou infrastrukturu a udržitelný rozvoj oboru.

I. TEORETICKÁ ČÁST

2 VOLBA MATERIÁLU OBĚŽNÉHO KOLA

Při vývoji oběžného kola čerpadla, bylo uvažováno použití dvou typů polymerních materiálů, kvůli jejich vysoké odolnosti. Jejich vlastnosti byly modifikovány přidavkem skleněného vlákna.

2.1 Materiál PP-polypropylén



Obr. 1: Strukturní vzorec materiálu PP

Tab. 1: Vlastnosti polypropylénu-PP[2]

vlastnost	hodnota
Měrná hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	900-910
Modul pružnosti E [MPa]	1240
Teplota skelného přechodu T_g [$^{\circ}\text{C}$]	-20
Teplota tání T_m [$^{\circ}\text{C}$]	165-170
Rozsah teploty při použití [$^{\circ}\text{C}$]	0-100

Struktura: Polypropylén je tvořen nasyceným uhlovodíkovým řetězcem s převážně izotaktickou strukturou tj. všechny skupiny CH_3 jsou pod nebo nad rovinnou nákrasny. Ve skutečnosti mají molekuly PP terciální symetrii tak, že skupiny CH_3 jsou podél hlavního řetězce uspořádány spirálovitě, takováto struktura je označována jako ataktická. Na přechodu mezi izotaktickou a ataktickou strukturou je struktura stereobloková => střídání delších nebo kratších úseků molekul mezi čistě izotaktickou a ataktickou strukturou.[2]

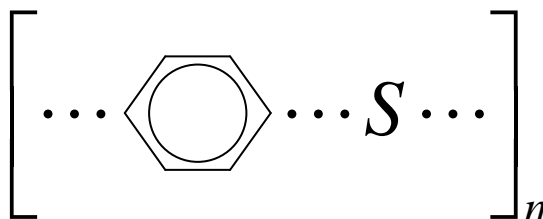
Vlastnosti: jedná se o polymer s nízkou hustotou. Tvrdost je vyšší jak u polyetylénu. Dlouhodobá pevnost (mechanicky namáhaný dílec se při dlouhodobém působení síly poruší o mnoho menším napětím než při krátkodobé zkoušce, toto napětí bývá tím menší, čím déle na dílec působí síla). Má poměrně dobrou odolnost proti opotřebením, je velmi dobrý izolant. Modifikace polypropylénu: nejčastěji ztužen skleněnými a minerálními vlákny. Polypropylén má dobrou odolnost proti otěru a opotřebením, má výhodné elektroizolační vlastnosti a dlouhodobou pevnost.[2]

Chemická odolnost: polymer velmi dobře odolává všem hydrolytickým činidlům (kyseliny, zásady, soli), je netečný vůči polárním látkám (voda, alkoholy, org. kyseliny). Neodolává oxidačním činidlům (koncentrovaná kyselina dusičná, chromsírová). V organických nepolárních rozpouštědlech (benzin, benzen, toluen, chlorované uhlovodíky) za studena bobtná, výrobky je možné sterilizovat až při teplotě 130°C.

Použití: PP se ve větším měřítku používá na výrobu vláken, které vedle několika nedostatků (světelná stabilita), mají řadu předností: malou krčivost, nízkou cenu, jejich pevnost je až 600 MPa, nenavlhají, jsou odolné proti plísním a hmyzu, mají dobrou mrazuvzdornost a špatně se vybarvují. PP se také používá na výrobu vysoce orientovaných pásků, které se používají jako vázací materiál na balíky a bedny. Další významnou aplikací jsou např. trubky a armatury a v neposlední řadě také desky a fólie. Fólie se vyrábějí vytlačováním spojeným s vyfukováním, jedná se o velmi dobrý obalový materiál. Z praktického hlediska existuje celá řada výrobků jako košíky, kbelíky a nádoby, jejichž tloušťka stěn, může být značně menší než při použití materiálu PE.

Výrobci: Basell polyolefins, mitsubishi Chemical, SF Hoechst, Idemitsu Petrochemical CoLtd, Borealis.

2.2 materiál PPS-polyfenylensulfid



Obr. 2: Strukturální vzorec materiálu PPS

Tab. 2: Vlastnosti materiálu polyphenylensulphide PPS

vlastnost	hodnota
Měrná hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	1350
Modul pružnosti E [MPa]	3450
Teplota tání T_m [$^{\circ}\text{C}$]	280
Rozsah teploty při použití [$^{\circ}\text{C}$]	-100+150

Zpracování: Upřednostňovanou metodou zpracování PPS je vstřikování. Rovněž je možné vytlačování mono a multi-vláknenných pevných tyčí, fólií a trubek, v některých zvláštních případech se ještě výrobek modifikuje např. žíháním. Nejvíce příhodný způsob získávání součástí s vysokou krystaličností je zformování v horkých formách. Tyto součástky budou rozměrově stálé při zvýšených teplotách, a požadují čas cyklu jen okrajově delší, než ty obdržené ve studených formách. Lisované díly zhotovené ve studených formách jsou považované za beztvaré a mají poněkud lepší mechanické vlastnosti, ale nejsou tak rozměrově stálé při teplotách nad teplotou skelného přechodu [3].

Struktura: Fortron PPS je lineární, částečně krystalický polyfenylén sulfid. Polyfenylénový řetězec a atom síry tvoří základ této makromolekuly.

Vlastnosti: Podobně jako u jiných polymerů, aromatických uhlovodíků se sírou, propůjčuje i u PPS toto spojení řadu unikátních vlastností – jedná se o žárupevný materiál, s vynikající rozměrovou stabilitu (zachovává si ji i při zvýšených teplotách a v chemických prostředích), k čemuž neodmyslitelně patří nehořlavost a vynikající chemická odolnost a

odolnost proti rozpouštědlům. PPS má také vysokou pevnost a tuhost. Nelze vynechat ani nízkou nasákovost a odolnost vůči tečení i při vyšších teplotách.

Tab. 3: Porovnání vlastností vybraných typů PPS [4]

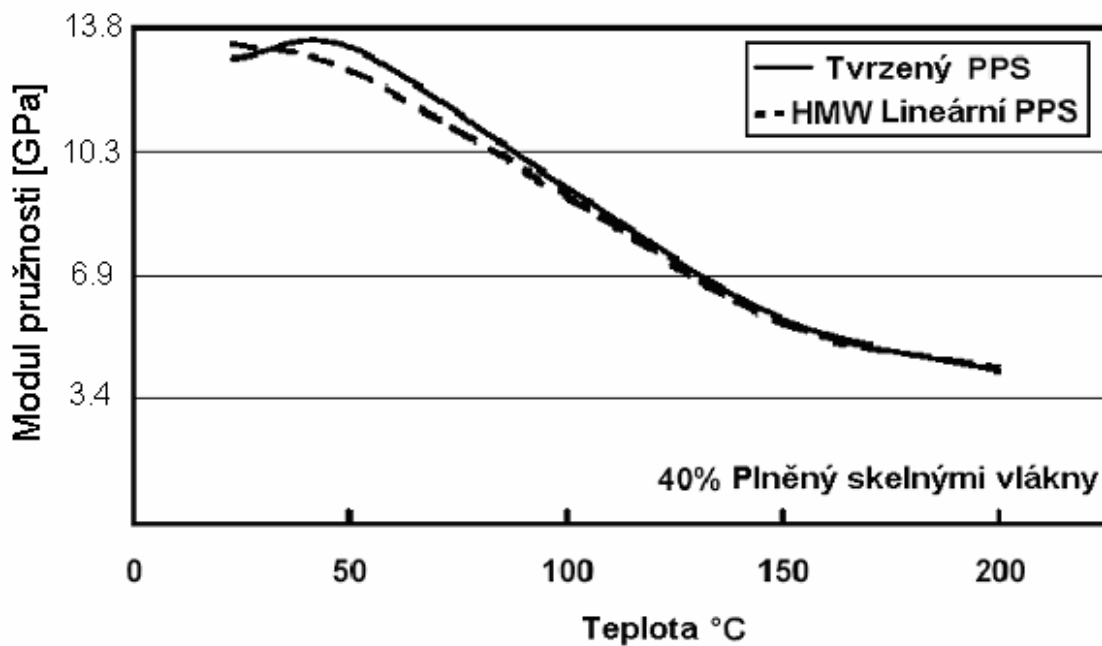
Název:	Techtron	Ryton	Fortron	Noryl	Celstran
Typ:	HPV	R-4-200NA	203	EXCPo111Ps	PPS-GF30-01
Výrobce:	Quadrant	Chevron philips	Ticona	GE Plastics	Ticona
Hustota (kg/m ³)	1430	1650	1400	1520	1520
Absorpce vody (%)	0,01	0,05	0,02	x	x
Tahová síla (MPa)	75,2	195	86	101	265
Tahový modul (GPa)	3,72	x	x	11,3	13,2
Ohybový modul (GPa)	3,69	15	4,1	10,2	11,6
Povolený ohybový modul (GPa)	72,4	250	145	145	145
Tlaková síla (MPa)	107	275	x	x	x
Tlakový modul (GPa)	2,36	x	x	x	x
Maximální provozní teplota (°C)	221	200	104	x	x
Tavný bod (°C)	280	x	x	x	x

Nevyztužený PPS má střední odolnost vůči teplotě. Přidáním skelných vláken a směsí skleněného vlákna a minerálního plniva získá PPS odolnost vůči tepelnému namáhání a pevnost. Následující vlastnosti dávají PPS charakteristiky vysoce výkonnostního polymeru:

- provozní teploty až do 240°C, přechodně až do 270°C
- přirozená samozhášivost
- velmi dobrá chemická a oxidační odolnost

- vysoká tvrdost a tuhost
- velmi nízká absorpce vody

I při vysokém stupni vyztužení mají typy pro vstřikování nízkou viskozitu taveniny a malý sklon k tvorbě výronků. Vybrané typy s vynikající zabíhavostí jsou vhodné pro tenkostěnné a přesné díly pro elektrotechniku. Dodávají se i typy pro vytlačování a typy vhodné jako pojiva pro PTFE kluzné materiály.



Obr. 3: Grafická závislost modulu pružnosti E na teplotě t materiálu PPS [3]

Chemická odolnost: chemická odolnost proti kyselinám a zásadám je velmi dobrá, proti koncentrovaným roztokům je však omezená, dále pak materiál může podléhat účinkům chemikálií, chemických sloučenin jako je např. toluen, ozón, sloučeniny chlóru, bromu kyselina solná a kyselina dusičná. Výrobci však uvádějí, že k narušení materiálu chemickým působením dojde jen za současného vlivu nepříznivých podmínek jako je např. vysoká teplota. Proto je u většiny typů PPS uváděno, že do teploty 200°C není známo žádné rozpouštědlo, to také ukazuje jeho obrovské možnosti a stálost.

Použití: PPS je velmi vhodný materiál pro výrobu vysoce tepelně a mechanicky zatížených vstřikovaných dílů. Hlavní oblasti použití zahrnují:

Automobilový průmysl

Osvědčené ukázkové aplikace v motorových vozidlech, především management vody - čerpadel, chladicího systému, vytápění - slouží jako příklady pro možnost obdobných aplikací vyztuženého plastu PPS i v jiných oborech, např. v konstrukci výměníků, termostatů, čerpadel, ventilátorů, klimatizací a jiných zařízení s provozem teplosměnných kapalin za vyšších teplot.

elektrotechnika

Teplotní odolnost, tuhost, dobrá zabíhavost a vhodné elektrické vlastnosti jsou předpokladem výhodného použití vyztužených typů plastů PPS na vstříkované díly v elektrotechnice. Zde se jedná především o nejrůznější konstrukce zásuvek, zástrček, konektorů, konektorových lišt, cívek, kondenzátorové fólie, tepelně exponované díly v osvětlovací technice, ale i součásti "bílé techniky" - myček, praček, varných konvic, nápojových automatů apod. Schválené je jejich použití v potravinářství. K dispozici jsou i elektricky vodivé typy s rovnoměrným rozložením a odvodem statického náboje a typy vhodné pro odvod tepla z elektronických komponent.

letectví

Zřejmě nejprestižnější aplikací každého výrobku je aplikace v letectví.

PPS byl též jedním z prvních plastů použitých se standardní výztuží skleněnými vlákny a s výztuží uhlíkovými vlákny na prestižní velkoplošné kompozitní díly letadel - náběhová hrana křídla tzv. J-nose u letadel Airbus A340 Použití 4000 kg kompozitů v letadlech řady A340 jen dokládá trend, podle něhož by měl podíl kompozitů v novém Airbusu A380 dosáhnout až 40 % hmotnosti draku, s převahou kompozitů vyztužených uhlíkovými vlákny.

Voda a zpracování odpadu

Jedná se zejména o plastové roury, tanky, elementy čerpadel. Dále se jedná se o součásti přístrojových vybavení. PPS jako plast je takřka netečný vůči chemikáliím a může odolávat nejrozmanitějším chemickým zatížením. Díky vysoké pevnosti a odolnosti proti otěru, může být použit jako materiál pro ložiska, nebo jako vodní pumpa, případně jako část ventilů. Plastové díly nejsou tolik náročné na udržování a mohou odolávat náročnému použití bez praskání nebo lámání.

Výrobci: Ticona (Polyplastics), Chevron Chemici, GE plastic (USA), Tichna, Tosoh Corporation, Solvay Advanced polymers, Mitsubishi Chemical.

2.3 Konstrukční plasty

Přestože se inženýrské (konstrukční) plasty podílejí na celkové produkci plastů pouhými 5 %, jejich spotřeba s rostoucími nároky průmyslu zaznamenává neustálý růst.

2.4 Chemická odolnost polymerů

Celá řada polymerů podléhá účinkem chemikálií rozkladu řetězců nebo postranních chemických skupin. Na polymer je možno se dívat jako na chemickou sloučeninu určité struktury s funkčními skupinami, které jsou schopné chemických reakcí. V chemické reaktivitě, hraje však významnou roli krystalinita polymeru. Všeobecně je možno říci, že krystalita působí snížení chemické reaktivity a stává se, že u některých polymerů se díky sevržené krystalické struktuře činí k chemickým vazbám, schopným s ní reagovat, vůbec nedostane a polymer je nereaktivní.

- Malé chemické změny vedou k velkým změnám strukturních charakteristik Pozn. Jediná reakce může vést ke snížení molární hmotnosti M na polovinu
- Reakce probíhají v amorfních oblastech polymerů
- Hlavním zdrojem chemického napadení bývají kyslík, ozón a voda
- Chemická odolnost je určena nejslabším místem ve struktuře řetězce
- Chemická reaktivita je dána povahou přítomných skupin v makromolekule.

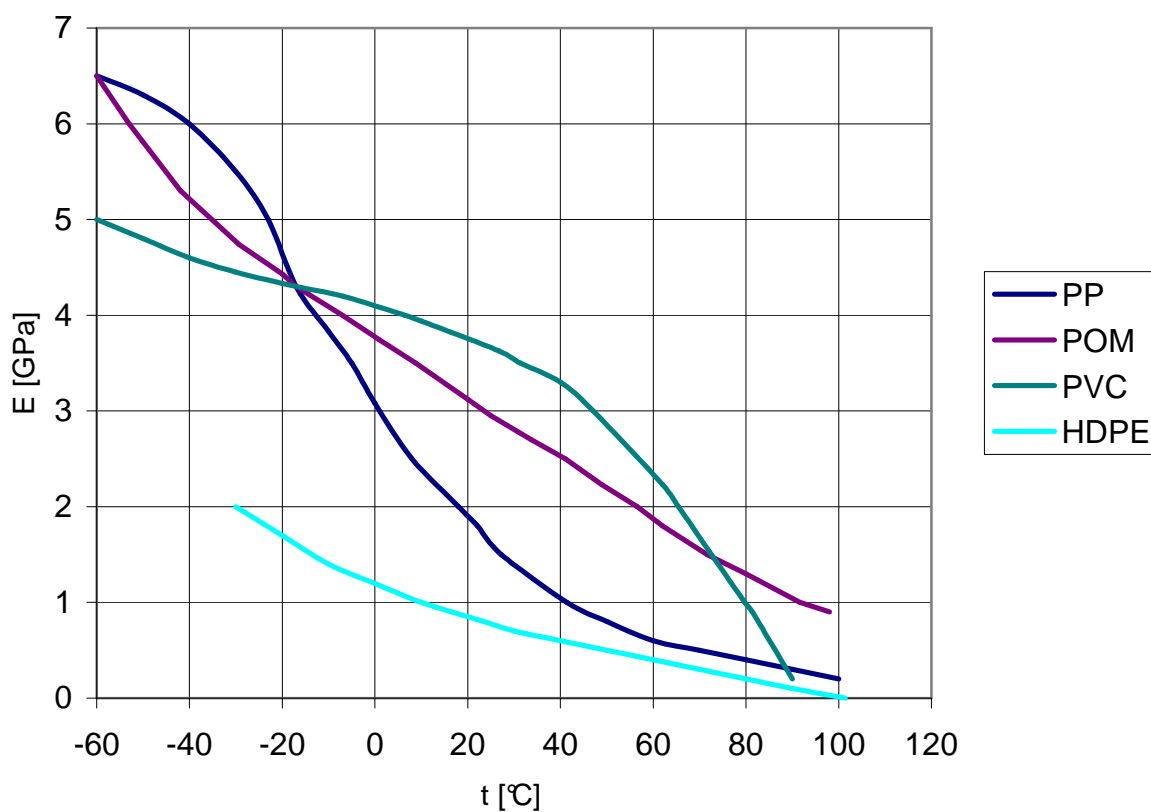
2.5 Závislost modulu pružnosti E v závislosti na teplotě

Vedle pevnosti je základní technickou charakteristikou každého konstrukčního materiálu je jeho tuhost. V širším smyslu chápeme tuhost jako poměr působícího mechanického zatížení k deformaci výrobku, kterou toto zatížení vyvolá. Čím vyšší je tento poměr, tím je výrobek tužší a naopak. V užším slova smyslu je tuhost materiálu definována jako směrní-

ce tečny v počátku závislosti napětí na deformaci. Hodnota směrnice je v tech. praxi označována jako (Yongův) modul pružnosti.

Mění-li s zatížením tělesa tak pomalu, že lze zanedbat velikost setrvačných sil, jsou deformace zhruba úměrné působícímu zatížení a spolu s ním po odlehčení zmizí. Taková tělesa (materiály) označujeme jako pružná (elastická). Platí-li úměrnost mezi deformacemi a zatížením dostatečně přesně, jedná se o tzv. lineární elasticitu. V opačném případě je elasticita nelineární. S deformací jsou spojeny změny termodynamického stavu materiálu. Mají-li být deformace vratné, nesmí docházet k disipaci energie. Překročí-li zatížení tělesa určitou hranici, vznikají nevratné, trvalé změny tvaru či velikosti. Nevratná deformace na rozdíl od pružných deformací závisí na historii tělesa. Při vyvolání určité (konstantní) deformace vznikne v tělese určitá napjatost. Nezávisí-li tato napjatost na čase, pak se trvalá část deformace nazývá plastická deformace. Zmenšuje-li se napjatost s časem, jde o tzv. viskózní deformaci. Trvalé deformace nemusí zasahovat celé těleso, ale jen jeho určitou část (oblast). Výsledné deformace jsou složeny z výše zmíněných základních typů. Takové mechanické namáhání je pak označováno složenými názvy např. viskoelastické apod. V běžných případech předpokládáme u nemodifikovaných (nevyztužených) polymerů, že během technologického procesu nedochází k výraznější orientaci materiálové struktury. Takže pak lze tyto materiály považovat za izotropní, tj. za takové které vykazují shodné vlastnosti ve všech směrech.

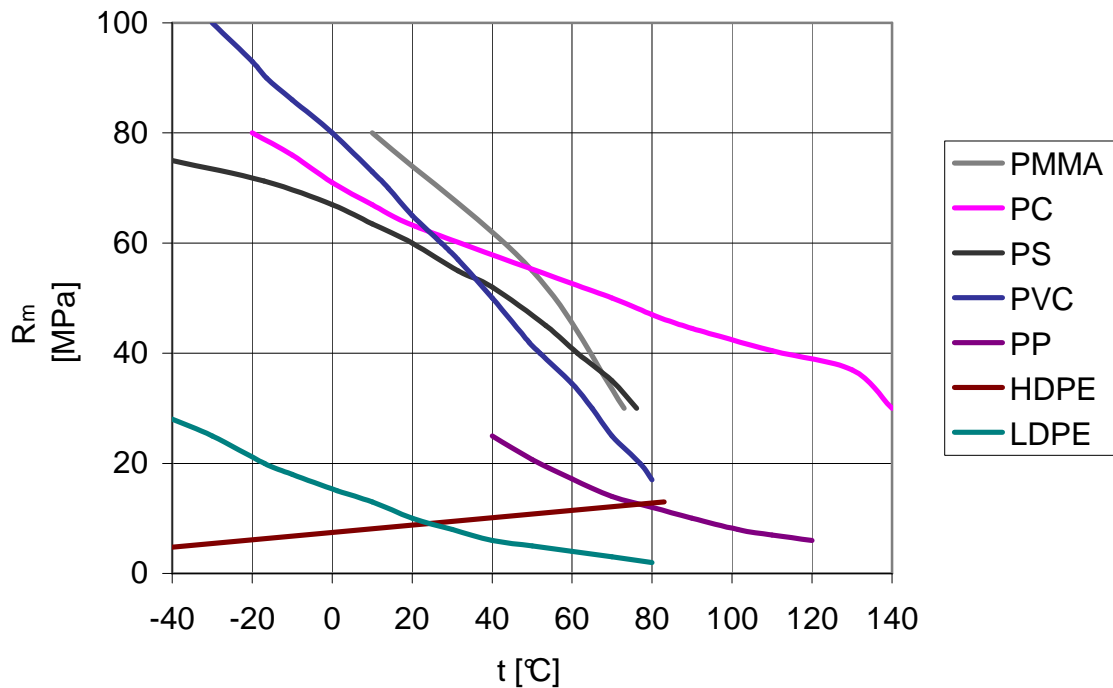
Polymerní materiály patří mezi materiály, jejichž modul pružnosti E se snižuje s rostoucí teplotou, tak jak ukazuje (obr.4).[5]



Obr. 4: Závislost modulu pružnosti E na teplotě t [5]

2.6 Pevnost plastů

Základním materiálovým parametrem vstupujícím do úvah o spolehlivosti plastového výrobku či konstrukce je časová mez pevnosti při daných vnějších podmínkách. Směrem k nižším teplotám u plastů obecně vzrůstá pevnost a klesá tažnost. Závislost krátkodobé meze pevnosti na teplotě pro některé typy plastů viz (obr.5)



Obr. 5: Závislost pevnosti R_m na teplotě t [5]

Pevnost a tažnost jsou ovlivňovány některými technologickými faktory. Orientací struktury při zpracování dochází obecně ke zvýšení pevnosti v směru orientace a snížení ve směru příčném. Čím je stupeň orientace makromolekulární struktury vyšší, tím jsou vyšší i rozdíly v pevnostech podél směru orientace a napříč.

Při vstřikování složitějších výrobků se nachází v dutině formy místa styku čel dvou proudů taveniny nebo místa, kde se proud taveniny po rozdělení při obtékání překážky opět spojí. Tato místa jsou potenciálními zdroji porušení výrobku. Důležitou částí návrhu výrobku je omezení počtu studených spojů resp. jejich umístění do lokalit, které nejsou vystaveny velkým namáháním.

Při mechanickém namáhání působí místa studených spojů do značné míry jako koncentrátoři napětí. Koncentrace napjatosti se pak podílejí na snížení efektivní pevnosti v místě studeného spoje. Toto snížení závisí jak na technologických parametrech vstřikovacího procesu, tak především na typu polymeru. Jednotlivé typy jsou na pevnost studeného spoje různě citlivé a lze je z tohoto hlediska rozdělit na dvě základní skupiny. U křehkých plastů je pevnost studeného spoje i za optimálních technologických podmínek pouze zlomkem základní pevnosti. Proti tomu houževnaté materiály, vykazují jen nevýrazný pokles pevnosti vlivem studeného spoje.

V praxi je třeba přistupovat k údajům o hodnotách pevností platů v materiálových databázích s jistou obezřetností, protože např. pevnost v tahu a pevnost v ohybu u téhož plastu vykazují často výrazné rozdíly ve prospěch ohybové pevnosti, avšak z největší části jsou tyto rozdíly v pevnostech v tahu a ohybu zapříčiněny neadekvátním použitím elasticke teorie při měření ohybové pevnosti termoplastů, vykazujícím plastické chování během ohybového testu.[5]

2.7 Vlákenná plniva pro polymery

Plastické hmoty zpevněné skelným vláknem a umělé hmoty zesílené uhlíkovým vláknem spojují dobré mechanické vlastnosti s nízkou vahou .

Běžně jsou plastické hmoty houževnaté, mají malou pevnost v tahu. Skleněná vlákna jsou křehká a mají vysokou pevnost v tahu. V plastické hmotě zpevněné skelným vláknem se kombinuje vysoká pevnost v tahu skleněných vláken s houževnatostí plastické hmoty . Přitom se odstraní křehkost skleněných vláken a malá pevnost v tahu plastických hmot. Ve směru vláken dosahujeme pevnosti v tahu od 400-500 Mpa, při hustotě (1,4-1,9) kg/dm³. [6]

Tab. 4: Porovnání vlastností základních typů vláken

Vlákno	uhlíko- vé	skleně- né
průměr [μm]	7-10	12-20
Hustota [kg·m ⁻³]	1,6	2,5
Pevnost v tahu [GPa]	2,5-3,5	3,5
Modul pružnosti [GPa]	250-300	70-85
Teplota tání [°C]	3650	700
Tepelná odolnost-inert [°C]	2000	500
Tepelná odolnost vzduch[°C]	350	300

Nejčastěji používanou výztuží ve vláknových kompozitech vyráběných tažením, navíjením i jinými technikami jsou skleněná vlákna. První zmínka o skleněných vláknech

pochází z knihy Antoniho Neri, publikované v roce 1612. Už tehdy byly překvapivé jejich neobvyklé vlastnosti, především vysoké pevnosti ve srovnání se skly tabulovým, i přes velmi podobné chemické složení. Skleněná vlákna mají zhruba 20 krát vyšší pevnost v tahu, než skleněná tyčovina či tabulové sklo. Průměr skelných vláken je v rozmezí 5-20 μm , tvoří v kompozitech součást nesoucí zatížení a dodávající kompozitu tuhost a pevnost. Matrice (pojivo, pryskyřice) tato vlákna pouze chrání proti vlivům prostředí a manipulace, pojí je dohromady do požadovaného tvaru a přenáší na ně zatížení působící na kompozitní dílec. Přes velmi dobré mechanické vlastnosti a nízkou cenu mají skleněná vlákna i některé nedostatky, jako je např. relativně nízký modul pružnosti (přibližně 62 GPa) a navíc jsou poměrně křehká, což znesnadňuje manipulaci a omezuje některé aplikace. Vláknové výztuže prodělali bouřlivý vývoj zejména v 60. a 70. letech, kdy byla na trh uvedena první komerční uhlíková vlákna [6].

2.7.1 Skleněná vlákna

Vlastnosti: vyrábějí se nejčastěji z E-skla. Výroba skelných vláken, dříve se skelná vlákna vyráběla dvoustupňově, nejprve se ze sklářského kmenu vytvořily tavením při teplotě 1550°C kuličky o průměru 10-20 mm, které se dále tavily v platinových kelímcích, ze kterých se vytahovalo vlákno. Nověji jsou v provozu kontinuální technologie na jednom konci pece se sází sklářský kmen a na druhém se z platinových vaniček vytahuje vlákno. Toto vlákno má průměr nejčastěji 3,5-20 μm . [6]

2.7.2 Uhlíková vlákna

Vlastnosti: v uhlíkových vláknech se pojí vysoká pevnost, modul pružnosti a tepelná odolnost s nízkou hmotností. Vzhledem na specifickou pevnost a modul pružnosti je překonávají pouze monokrystaly. Vlákná se vyrábějí z viskózních nebo polyakrylonitrilových vláken a alternativně i z tzv. anizotropní smoly zvlákněvané v tavenině. Prvním výrobním krokem přípravy uhlíkových vláken je karbonizace primárního vlákna, při níž se nesmí surovina roztavit a zreagovat na nadefinované produkty. Proto se zvlákněné smoly zesílují opatrným naoxidováním do netavitelného termosetu. Zvlákněje se pod napětím, aby se v případě zvlákněvaní ze smoly vytvořila orientace molekul ve směru osy vlákna. Tím je tato orientace dokonalejší a vlákno má vyšší modul pružnosti a pevnost.

Z materiálového a energetického hlediska jsou výhodnější suroviny, které dávají při karbonizaci vyšší výtěžky. Uhlíková vlákna z praktického důvodu dělíme podle hodnot modulu pružnosti a pevnosti. Vlákna získaná při 900°C-1500°C jsou pevnější, nazývají se vysokopevnostní uhlíková vlákna. Tato vlákna jsou levnější než následující vysokomodulová vlákna, další karbonizací vláken při teplotě 2000°C-2800°C se získají vlákna grafitová, která mají menší tahovou pevnost, ale vynikají vyšším modulem pružnosti v tahu.[6]

2.7.3 Aramidová (KEVLAROVÁ) vlákna

Kevlar je aramidové vlákno s vysokou pevností a nízkou průtažností. Představen byl na počátku sedmdesátých let firmou DuPont. Typickým materiálem je v současné době Kevlar 29 spolu s novějším Kevlarem 129, který je lehčí, ohebnější a má vyšší pevnost.

Kapalně krystalické polyamidy (aramidy) se v praxi ujaly nejdříve. Nejznámější z nich je poly (p-fenylentereftalamid). Jde o lyotropní řetězový kapalně krystalický polymer, který netaje do teploty rozkladu (nad 500 °C). Zpracovává se nejčastěji spřádáním z roztoku ve 100% kyselině sírové. Pevnost vláken z něj vyrobených je dvaapůlkrát větší než pevnost nejlepších polyamidových vláken, modul pružnosti v tahu je deset až dvacetkrát větší. Ze srovnání závislosti napětí vlákna na jeho deformaci (prodloužení) vyplývá, že aramidová vlákna dosahují vlastností skleněných nebo ocelových vláken a v některých místech je ještě předčí. Pro vynikající mechanické vlastnosti a tepelnou odolnost se aramidová vlákna uplatňují při výrobě speciálních pneumatik, dopravních pásů, hadic, klínových řemenů a k výrobě kompozitů pro leteckou, raketovou a vojenskou techniku (lehké, pevné a radarem nezachytitelné konstrukční prvky, neprůstřední vesty apod.). Nevýhodou aramidů je technologicky značně náročné zpracování z roztoku a také skutečnost, že se z nich dají připravit pouze vlákna nebo folie.

Tab. 5: Porovnání vlastností aramidových vláken s běžnými typy výztuží [7]

vlákno	Hustota (g/cm ³)	modul pružnosti v tahu (GPa)	Pevnost v tahu (MPa)	deformace do lomu (%)
sklo	2,54	70-85	2200-3500	2,5
uhlík	1,86	300-800	2700	0,7
Kevlar 49	1,45	130	2900	2,5
Kevlar 29	1,45	60	2700	5
Kevlar 129	1,44	120	3000	3
Kevlar 149	1,45	190	2600	2,5

2.7.4 Forma výztuží

Odpovídají potřebám výrobců. Pokud jsou kladeny požadavky na namáhání ve více, než jen jednom směru a vrstvení jednosměrných lamin není z technologických důvodů výhodné, jsou jako výztuže používána: rouna, tkaniny, pleteniny a rohože. Ve všech těchto výrobcích lze různé typy výztuží nebo vláken kombinovat a vyrábět tak hybridní kompozity. Tato možnost dává materiálovému inženýrství další stupeň volnosti, při tvorbě a výrobě materiálů vytvořeného na míru pro požadované aplikace nebo výrobky.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

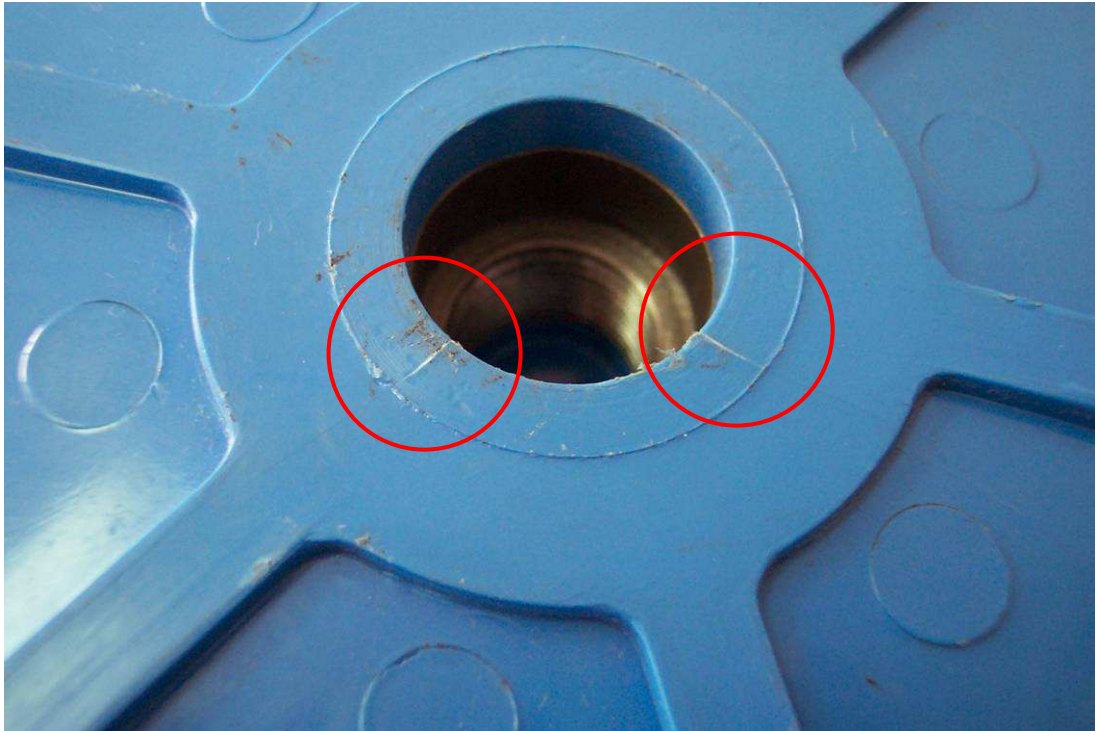
Cílem práce je vyšetření problematiky stávajícího oběžného kola a návrh jeho nového řešení. Na základě posouzení jeho současného stavu provedeme potřebné analýzy a zvolíme vhodný materiál oběžného kola, včetně optimálního způsobu plnění. Celá práce směřuje k získání oběžného kola s takovými parametry, jež bude možné považovat za provozuschopné.

3.1 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA NHR

Na oběžném kole čerpadla NHR vznikají trhliny, a to nejen při provozním zatížení, ale i při dlouhodobém skladování (Obr. 6, 7). Oběžné kolo je vyrobeno vstřikováním PP plněného 30% CaCO_3 . Do oběžného kola je pro zvýšení tuhosti zastříknuta ocelová vložka (Obr. 8).

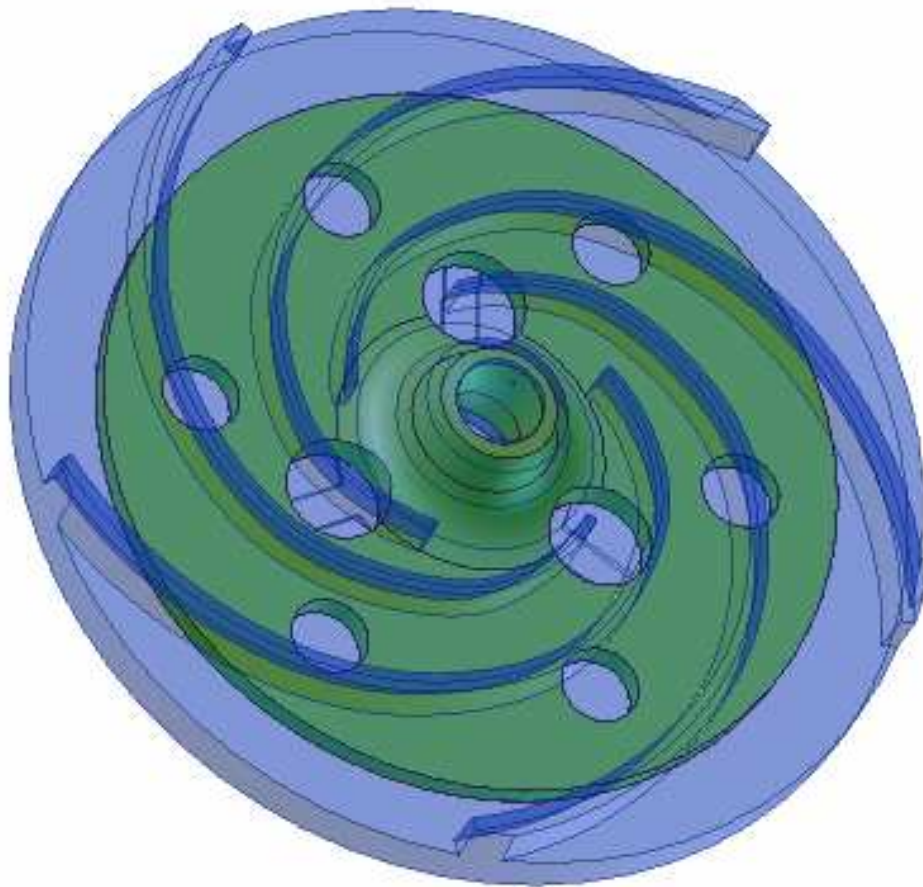


Obr. 6: Trhliny v oběžném kole



Obr. 7: Trhliny v oběžném kole

Trhliny v oběžném kole vznikají vlivem rozdílného koeficientu teplotní roztažnosti oceli $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ a PP $9,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$. Výstřik oběžného kola je vyhazován ze vstřikovací formy při teplotě kolem 120°C . Protože PP má 10-krát vyšší koeficient teplotní roztažnosti než ocel vznikají v polypropylenové matici napětí, která překročí mez pevnosti PP a dochází ke vzniku trhlin.

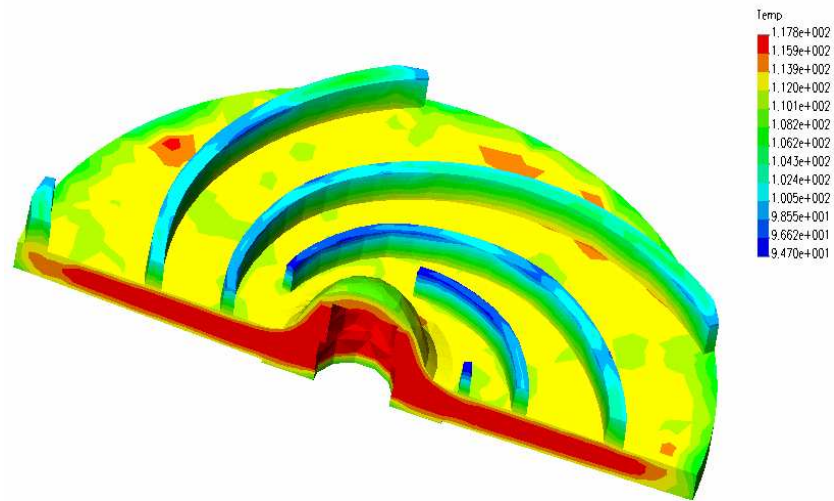


Obr. 8: Výstřik oběžného kola čerpadla

3.2 Teplotní analýza výstřiku oběžného kola

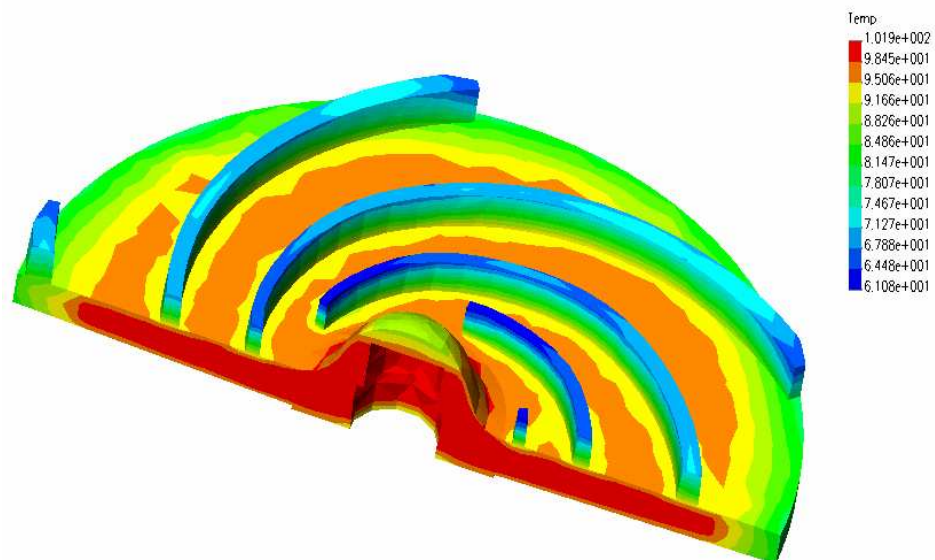
Teplotní analýza ukazuje průběh teploty PP matrice a ocelové vložky po dobu chladnutí. Analýza byla provedena pro dobu chladnutí 20 minut, po jedné minutě. Jak je vidět na následujících obrázcích spektrum barev ukazuje teplotu v řezu oběžným kole čerpadla v 1., 5., 10., 15. a 20. minutě (Obr. 9-13) po vyhození výrobku z formy. Teplotní gradient pak generuje napětí v polymerní matrici.

Kolo7_PP_10&zostrik-1 :: Thermal Time Step : 1
 Units : Celsius Deformation Scale : 1 : 0



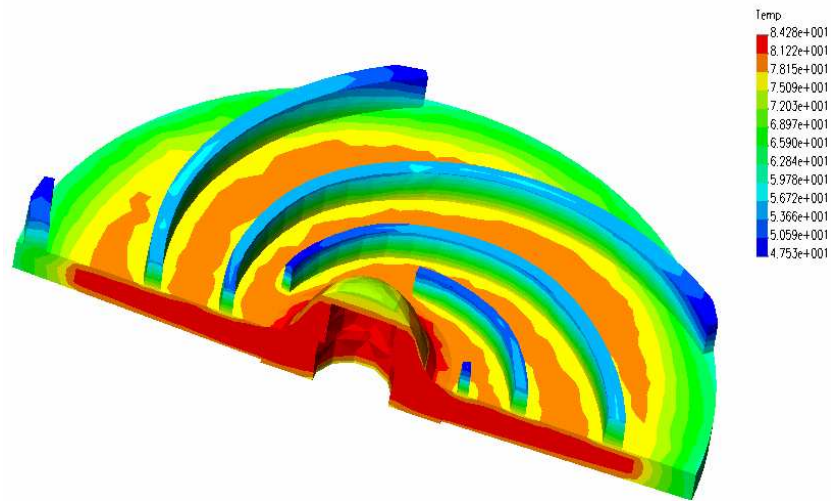
Obr. 9: Teplota po 1. minutě po vyhození oběžného kola z formy.

Kolo7_PP_10&zostrik-1 :: Thermal Time Step : 5
 Units : Celsius Deformation Scale : 1 : 0



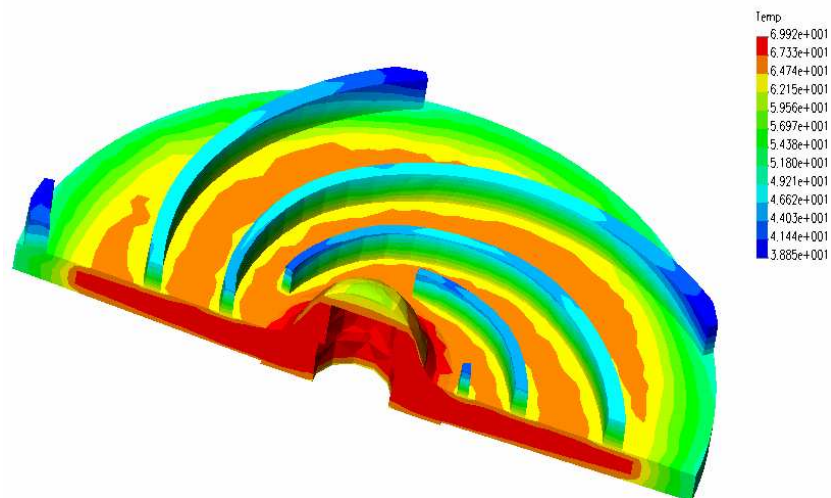
Obr. 10: Teplota po 5. minutě po vyhození oběžného kola z formy

Kolo7_PP_10&zsostrik-1 :: Thermal Time Step : 10
Units : Celsius Deformation Scale : 1 : 0

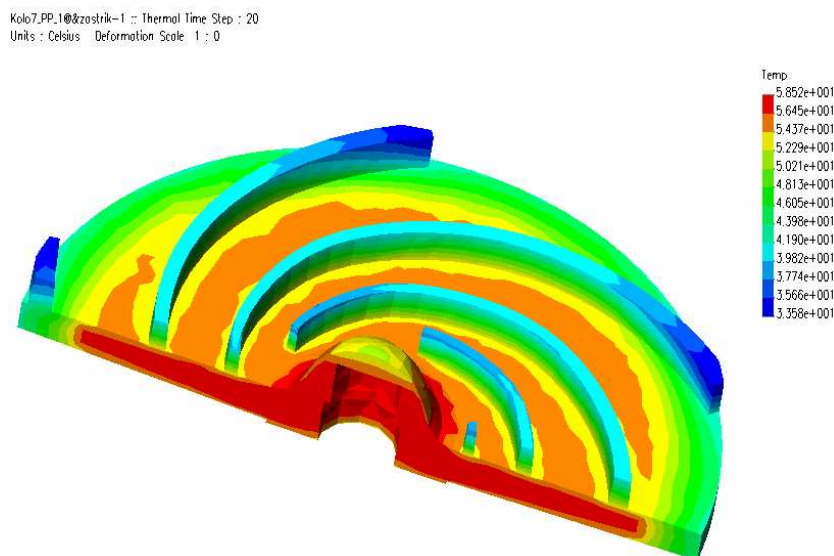


Obr. 11: Teplota po 10. minutě po vyhození oběžného kola z formy

Kolo7_PP_10&zsostrik-1 :: Thermal Time Step : 15
Units : Celsius Deformation Scale : 1 : 0



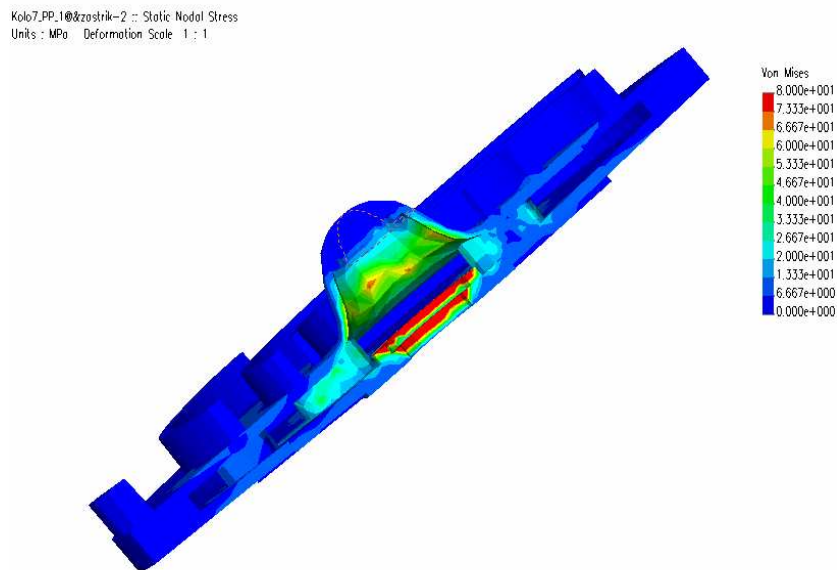
Obr. 12: Teplota po 15. minutě po vyhození oběžného kola z formy.



Obr. 13: Teplota po 20. minutě po vyhození oběžného kola z formy.

3.3 Napět'ová analýza výstřiku oběžného kola namáhaného rozdílem teplot

Analýza napětí byla provedena pro teplotu v 10. minutě (Obr. 14) po vyhození ze vstřikovací formy. Jak je vidět z barevného spektrogramu, ke vzniku napět'ových špiček dochází v náboji oběžného kola. Srovnávací Von Misesovo napětí dosahuje špičkové hodnoty 80 MPa. Tato hodnota 2,5 krát překračuje hodnotu napětí na mezi pevnosti PP plněného 30% uhlíčitanu vápenatého, která je 30 MPa. Protože PP vykazuje vysokou hodnotu studeného toku, napětí relaxuje a ke vzniku trhlin dochází až po čase.



Obr. 14: Von Misesovo napětí

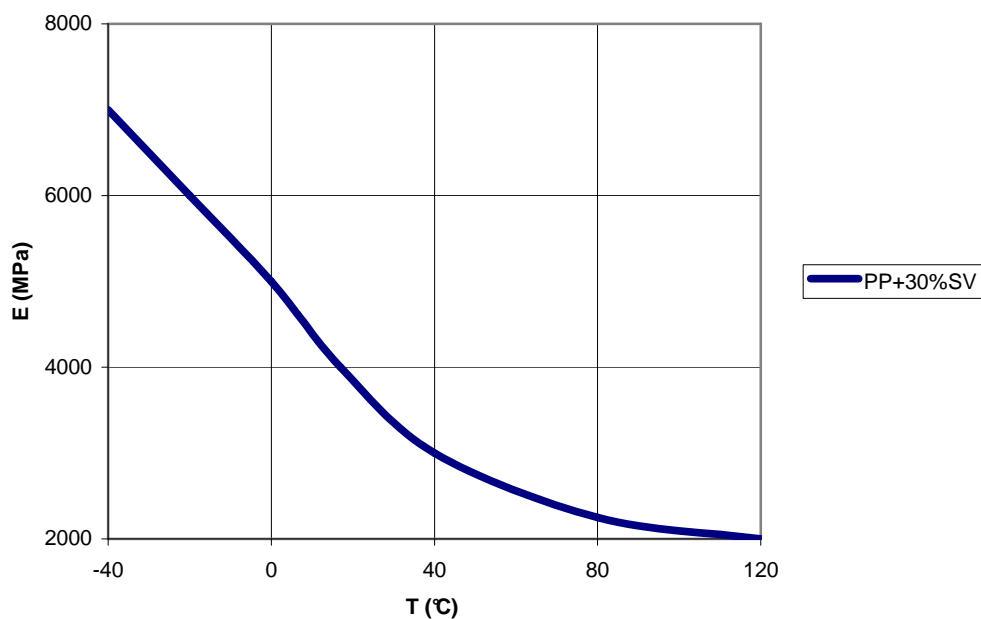
3.4 Nové řešení oběžného kola ČERPADLA NHR

Na základě výše uvedeného se v této kapitole zaměříme na samotný návrh oběžného kola. Naším prvořadým cílem je přiblížení se parametrům oběžného kola tak, aby bylo schopno přenášet vypočtená zatížení, při dané dovolené hodnotě průhybu.

3.5 Napět'ová analýza

Aby se zabránilo nežádoucím vzniku trhlin je nutné navrhnout nové řešení oběžného kola čerpadla.

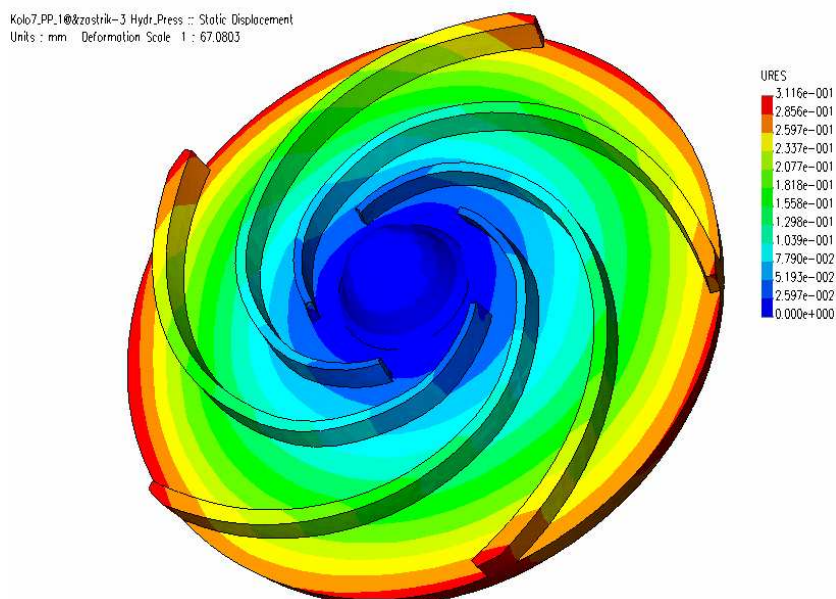
Protože čerpadlo se používá pro čerpání silných kyselin bude nutno použít stávající polymer PP. Ocelová vložka nebude použita a namísto plnění 30% uhlíčitanu vápenatého bude použito plnění 50% krátkých skelných vláken. *Vlákna musí být chemicky upravena, tak aby vznikla vazba mezi PP maticí a plnivem.* Závít v náboji výstřiku sloužící pro upevnění kola na hřídel bude tvarován přímo ve formě. Bude nutné použít nestandardní závít se zaoblenými hranami. Kolo musí splňovat provozní teplotu 110-130°C. Ačkoliv modul pružnosti v tahu PP plněného 50% skelných vláken je 10 000 MPa, je nutno počítat s pracovní teplotou, která hodnotu modulu sníží na pětinu. Dále je nutno počítat se studeným tokem PP, takže výpočtovou hodnotu modulu snížíme desetkrát. (schematicky znázorňuje Obr.15)



Obr. 15: Závislost modulu pružnosti PP na teplotě

Oběžné kolo je zatěžováno v axiálním směru tlakem 0,72 MPa. V radiálním směru jsou zatíženy lopatky na náběžné ploše stejným tlakem 0,72 MPa.

3.6 Průhyb kola s ocelovou vložkou

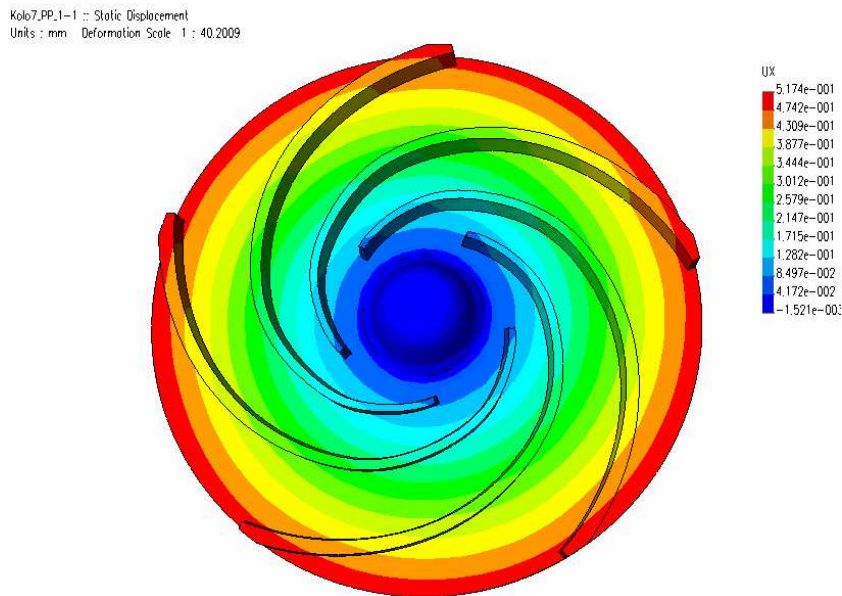


Obr. 16: Průhyb kola s ocelovou vložkou

Průhyb kola PP+30% CaCO₃ s ocelovou vložkou bude podle analýzy 0,3 mm. Analýza je lineární a nezohledňuje ani zvýšenou teplotu, ani studený tok polymerního materiálu.

3.7 Průhyb kola bez ocelové vložky

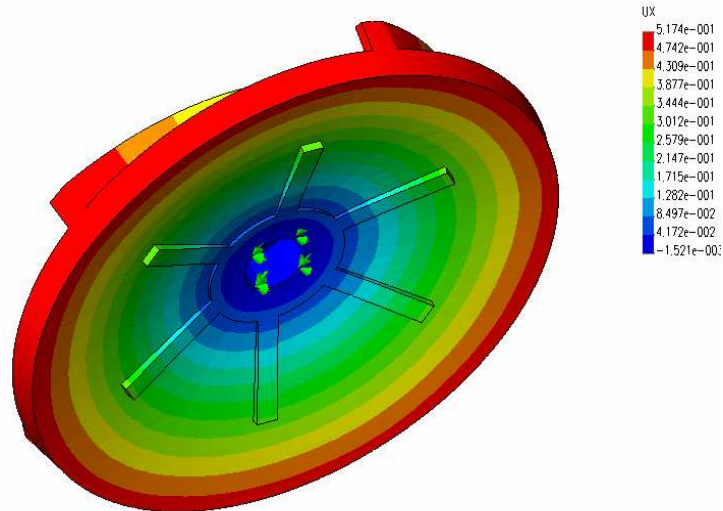
Maximální průhyb oběžného kola vstříkovaného z PP plněného 50% skelných vláken je 0,52 mm. (Obr. 17, 18) Uvažujeme-li snížení pevnosti desetkrát, pak lze předpokládat hodnotu 5,2 mm.



Obr. 17: Průhyb oběžného kola PP+50% skelných vláken

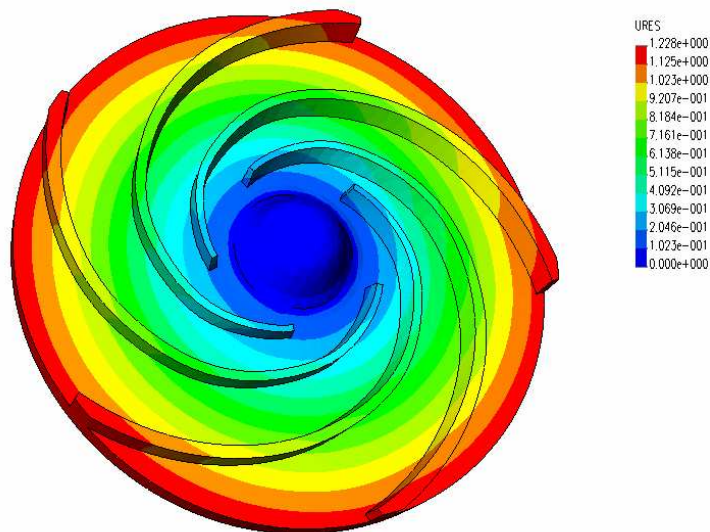
V případě, že bude oběžné kolo vystříknuto z PP plněného 30% skelných vláken je maximální průhyb 1,2 mm. Tzn., že při výše uvedeném snížení pevnosti bude průhyb 12 mm. Nelze tedy, z důvodu vysoké hodnoty průhybu, použít nižší stupeň plnění.

Kolo7_PP,1-1 :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 40.2009



Obr. 18: Průhyb oběžného kola PP+50% skelných vláken

Kolo7_PP,1-2.30% :: Static Displacement
Units : mm Deformation Scale 1 : 17.1249

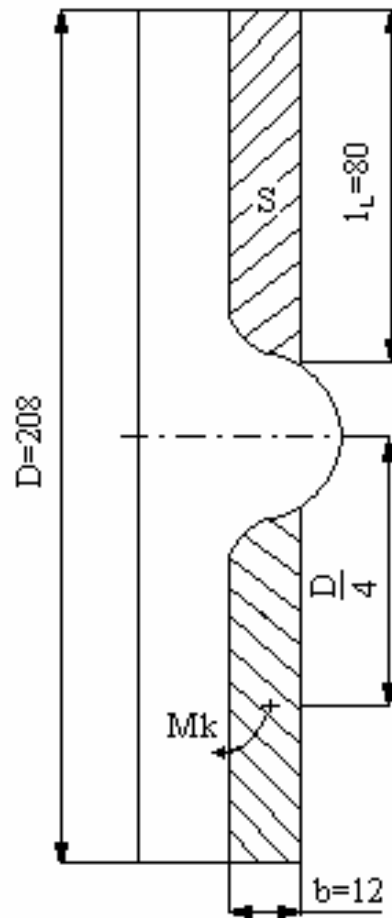


Obr. 19: Průhyb oběžného kola PP+30% skelných vláken

Závěrem je nutné podotknout, že při vyšetřování průhybu jsme vycházely z původního návrhu oběžného kola, při kterém bylo uvažováno zatížení kola hydrostatickým tlakem vodního sloupce. Z toho důvodu je zřejmé, že reálné zatížení kola bude oproti uvažovanému větší. Zatížení nám v agresivním prostředí kyselin naroste takřka na dvojnásobek (1,9-krát), z čehož jasně vyplývá, že lze při provozu zařízení očekávat vyšší hodnoty průhybu.

Nejvýhodnější charakteristiky průhybu, dle našeho uvažovaného zadání, je teoreticky možné dosáhnout volbou alternativního materiálu PPS. Srovnáním modulu pružnosti obou materiálů dospějeme k závěru, že materiál PPS má tuto hodnotu 1,7-krát vyšší než PP.

3.8 Zatížení závitu náboje oběžného kola



Obr. 20: Schéma 1 - oběžné kolo

$$p_H = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Dáno:

$\rho = 1840 \text{ [kg/m}^3\text{]}$. Hustota H_2SO_4 při provozní teplotě $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$. Tíhové zrychlení

$h = 40 \text{ [m]}$. Pracovní výška čerpadla

$$p_H = \rho \cdot g \cdot h = 1840 \cdot 9,81 \cdot 40 = 0,72 \text{ MPa}$$

Závit náboje oběžného kola čerpadla je namáhán kroutícím momentem, který byl vypočítán z hydrostatického tlaku, při maximální výtlačné výšce čerpadla 40m. Hydrostatický tlak je tedy 0,72 MPa.

$$Mk = p_{\max} \cdot 2 \cdot S \cdot \frac{D}{4} = 2 \cdot p_{\max} \cdot b \cdot l_L \cdot \frac{D}{2} \quad (2)$$

Dáno:

p_{\max} = maximální hydrostatický tlak $p_{\max} = p_H = 0,72$ [MPa]

$b = 12$ [mm]. Šířka lopatek oběžného kola

$l_L = 80$ [mm]. Délka lopatek oběžného kola

$D = 208$ [mm]. Velký průměr oběžného kola

$$Mk = P_{\max} \cdot 2 \cdot S \cdot \frac{D}{4} = 2P_{\max} \cdot b \cdot l_L \cdot \frac{D}{2}$$

$$Mk = 0,722 \cdot 10^6 \cdot 0,012 \cdot 0,08 \cdot 0,104 = 72 \text{ Nm}$$

Kroutící moment zatěžující závit je vypočten z průmětu ploch dvou lopatek do příčné roviny na středním průměru kola $D/4$. Hodnota kroutícího momentu je 72 Nm.

$$F_U = \frac{2 \cdot Mk}{D_2} \quad (3)$$

Dáno:

$Mk = 72$ [Nm]. Kroutící moment

$D_2 = 19,03$ [mm]. Střední průměr závitu náboje, pro závit M20x1,5

$D_2 = 22,05$ [mm]. Střední průměr závitu náboje, pro závit M24x3

$D_2 = 22,7$ [mm]. Střední průměr závitu náboje, pro závit M24x2

$$D_2 = 18,372 \text{ (M 20x2,5)}$$

$$F_U = \frac{2 \cdot Mk}{D_2} = \frac{2 \cdot 72}{0,0184} = 9741 \text{ N}$$

$$D_2 = 22,05 \text{ (M24x3)}$$

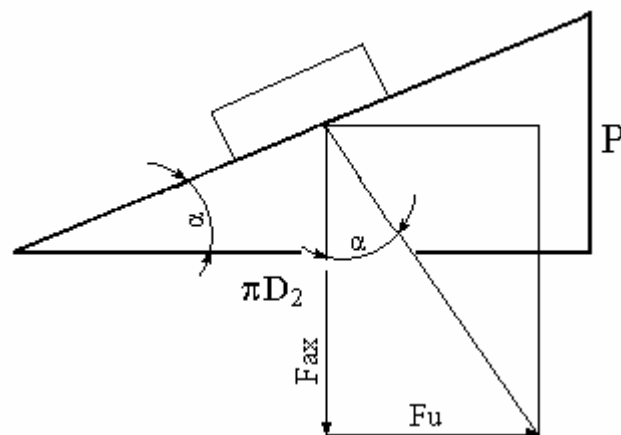
$$F_U = \frac{2 \cdot Mk}{D_2} = \frac{2 \cdot 72}{0,02205} = 8110 \text{ N}$$

$$D_2 = 22,7 \text{ (M24x2)}$$

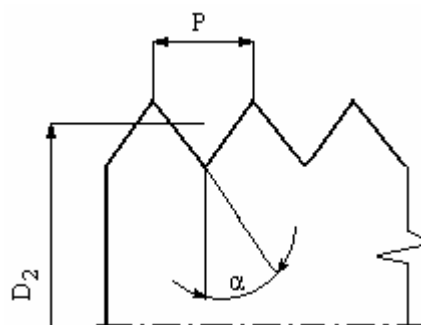
$$F_U = \frac{2 \cdot Mk}{D_2} = \frac{2 \cdot 72}{0,0227} = 6344 \text{ N}$$

Radiální síla na středním průměru závitu byla vypočítána pro stávající závit M20x2,5 a pro nově navržený závit M24x3 a M24x2. Hodnota radiální síly pro M20 je 9741 N a pro M24x3 je 8110 N, pro M24x2 dosahuje radiální síla velikosti 6344 N.

3.9 Axiální síla v závitu smykové napětí v závitu



Obr. 21: Schéma 2 - zatížení závitu



Obr. 22: Schéma 3 - závit

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{P}{\pi \cdot D_2} \quad (4)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot D_2} \Rightarrow \alpha$$

Dáno:

$P = 2,5$ [mm]. Rozteč závitu, pro závit M20x2,5

$P = 3$ [mm]. Rozteč závitu, pro závit M24x3

$P = 2$ [mm]. Rozteč závitu, pro závit M24x2

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot D_2} = \frac{2,5}{\pi \cdot 18,4} = 0,0433 \Rightarrow \alpha = 2,5^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot D_2} = \frac{3}{\pi \cdot 22,05} = 0,0433 \Rightarrow \alpha = 2,5^\circ$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi \cdot D_2} = \frac{2}{\pi \cdot 22,7} = 0,028 \Rightarrow \alpha = 1,6^\circ$$

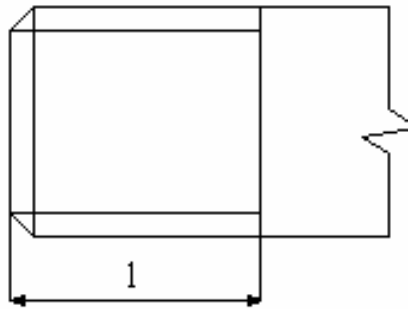
$$F_{AX} = \frac{F_U}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (5)$$

$$F_{AX} = \frac{F_U}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{9741}{0,0433} = 224\,965 \text{ N}$$

$$F_{AX} = \frac{F_U}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{8110}{0,0433} = 187\,298 \text{ N}$$

$$F_{AX} = \frac{F_U}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{6344}{0,028} = 226\,571 \text{ N}$$

Z radiální síly a úhlu stoupání byla pro M20 vypočtena axiální síla 224965 N a pro M24x3 byla zjištěna 187298 N a konečně pro závit M24x2 nabývala axiální síla velikosti 226571 N.



Obr. 23: Schéma 4 - délka závitu

$$i = \frac{l}{P} \quad (6)$$

Dáno:

$l = 17,5$ [mm]. Délka závitu

$$\tau_s = \frac{F_{AX}}{\pi \cdot D \cdot i \cdot P} \quad (7)$$

$$\tau_s = \frac{F_{AX}}{\pi \cdot D \cdot i \cdot P} = \frac{224965}{\pi \cdot 20 \cdot 7 \cdot 2,5} = 204,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_s = \frac{F_{AX}}{\pi \cdot D \cdot i \cdot P} = \frac{187298}{\pi \cdot 24 \cdot 5 \cdot 3} = 165,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_s = \frac{F_{AX}}{\pi \cdot D \cdot i \cdot P} = \frac{226751}{\pi \cdot 24 \cdot 8 \cdot 2} = 187,8 \text{ MPa}$$

Při daném krouticím momentu bude namáhání příliš velké.

Z axiální síly, plochy závitu a počtu závitů bylo vypočteno smykové napětí 205 MPa pro M 20, dále pak 166 MPa pro M24x3 a 188 MPa pro M24x2. Z porovnání uvedeného vyplývá, že nejvhodnější závit pro upevnění oběžného kola je M24x2.

$$F_p = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) \cdot P_{\max} \quad (8)$$

Dáno:

$D = 208$ [mm]. Velký průměr kola čerpadla

$d = 160$ [mm]. Malý průměr kola čerpadla

$$F_p = \pi \cdot \left(\frac{D^2}{4} - \frac{d^2}{4} \right) \cdot p_{\max} = \pi \cdot \left(\frac{208^2}{4} - \frac{160^2}{4} \right) \cdot 0,72 = 9989 \text{ N}$$

Tuto sílu můžeme vzhledem k hodnotám axiální utahovací síly zanedbat.

Závít je také zatížen axiální tlakovou silou 9989 N, vypočtenou z hydrostatického tlaku a čelní plochy oběžného kola.

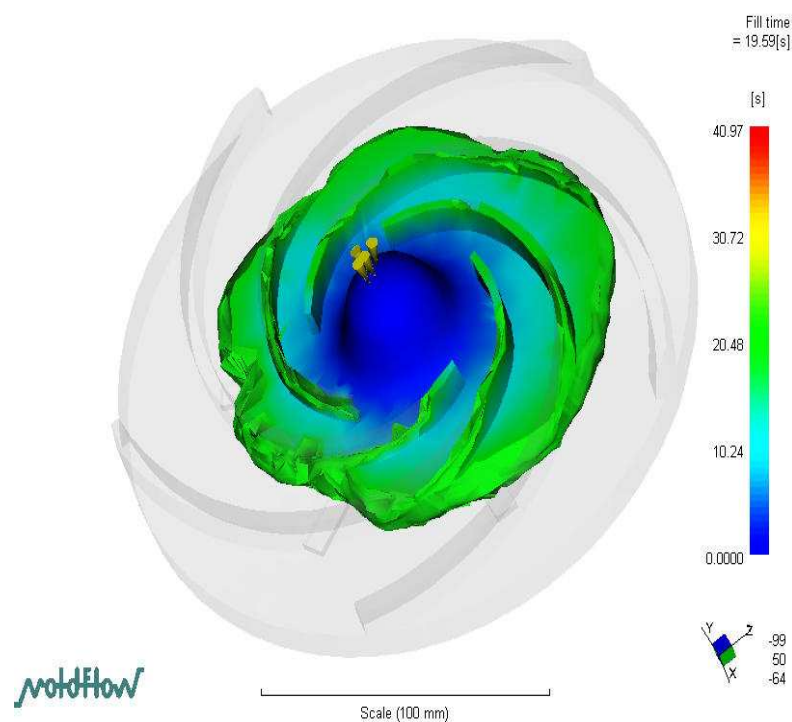
Na profilu metrického závitu není možné vyrobit nestandardní zaoblení jak je zmiňováno v odstavci 3.5.

Proto bylo z důvodu snadné výrobitelnosti navrženo nové tárové jádro do vstříkovací formy oběžného kola. (Příloha III).

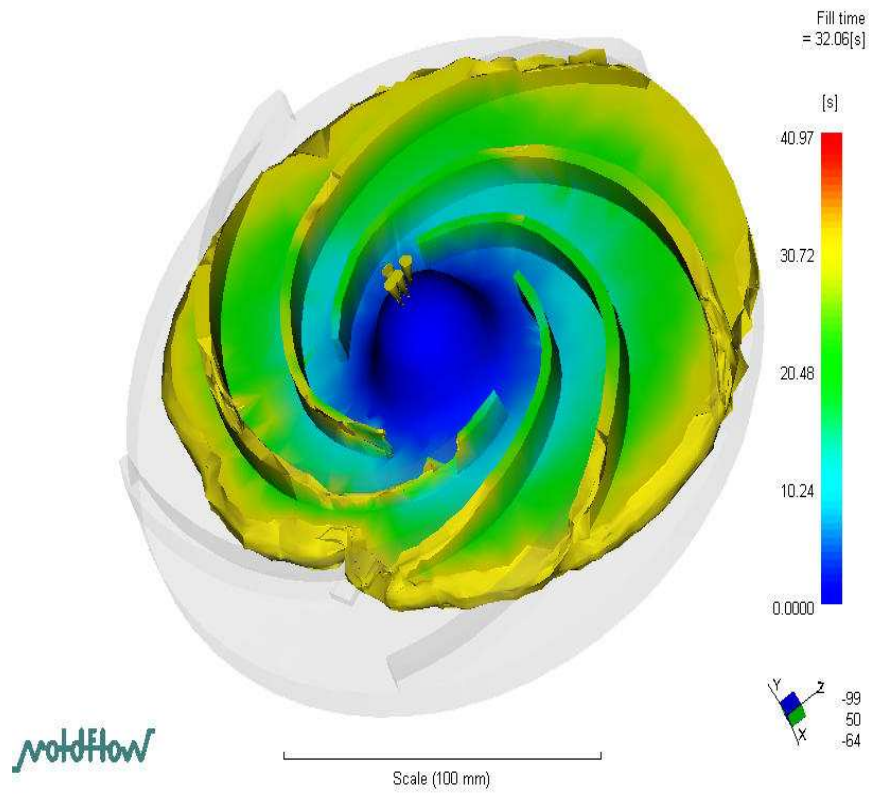
3.10 Podmínky vstříkování

Pro vstříkování oběžného kola zůstala původní vstříkovací forma číslo výkresu 1 TR F 0117. Bylo navrženo pouze nové jádro pro závít náboje.

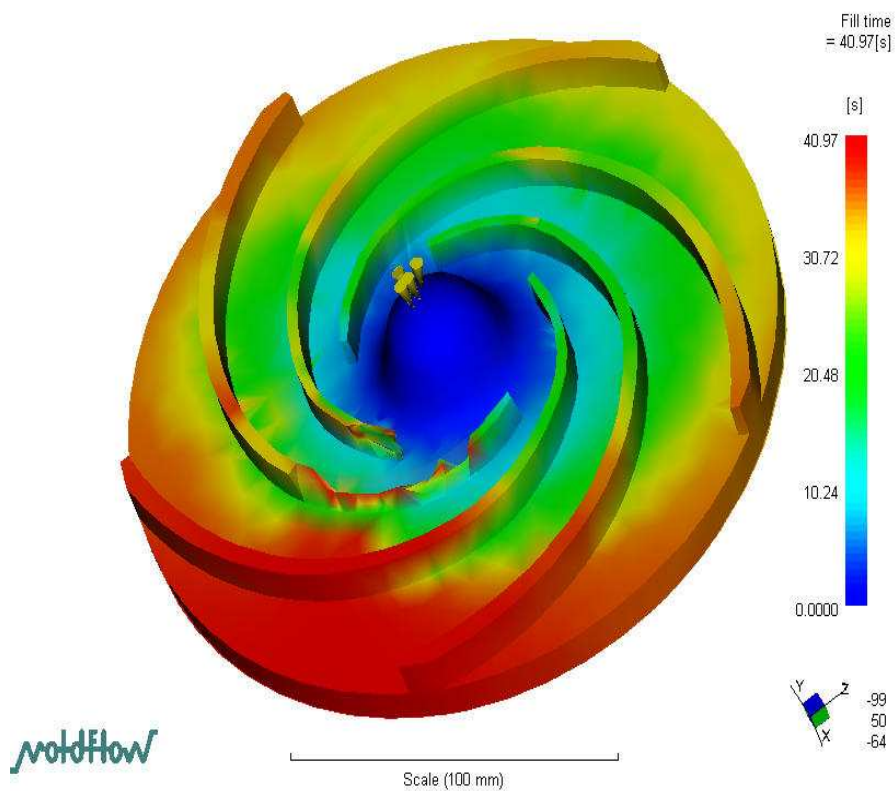
Vzhledem k dostupnosti na trhu byl vybrána PP plněný 50% skelných vláken Niple-ne F50 AGR, výrobce Soledi Italy.



Obr. 24 : Plnění dutiny vstříkovací formy



Obr. 25: Plnění dutiny vstříkovací formy



Obr. 26: Plnění dutiny vstříkovací formy

Při plnění PP 50% skelných vláken se silně sníží smyková viskozita taveniny. Proto je nutné v počáteční fázi plnění dutiny vstřikovací formy nastavit nízkou hodnotu vstřikovací rychlosti a tu dále zvyšovat tak, aby se dutina formy ideálně zaplnila.

Doporučené podmínky:

Objem výstřiku:	500 cm ³
Uzavírací síla vstřikovacího stroje:	1000 kN
Vstřikovací tlak:	10 MPa
Teplota taveniny:	240-280°C, doporučeno 260°C
Teplota formy:	20-60°C, doporučeno 40°C

3.11 ZÁVĚR ANALÝZY SOUČASNÉHO STAVU

Teplotní a napěťová analýza potvrdily, že praskliny vynikají vlivem rozdílného smrštění PP matrice a ocelové vložky. Z toho důvodu byl vybrán PP plněný 50% skelných vláken Niplene F50 AGR, výrobce Soledi Italy pro vstřikování oběžného kola čerpadla bez ocelové vložky.

Na základě analýzy průhybu kola při pracovním zatížení, bude vhodné oběžné kolo podrobit praktickým zkouškám. Je nutno upravit tvar závitu v náboji kola.

V případě, že průhyb kola nevyhoví praktickým zkouškám, bude nutno použít jádro vstříknuté z polymeru, který má vyšší pevnost a tepelnou odolnost, s následným obstříknutím PP matrice plněné 50% skelným vláknem .

3.12 ZKOUŠKY OBĚŽNÉHO KOLA VSTRÍKNUTÉHO Z PP PLNĚNÉHO 50% SKLENĚNÝCH VLÁKEN

3.12.1 Zkouška závitu náboje kroutícím momentem

Oběžné kolo bylo vyrobeno vstřikováním z PP plněného 50% skelných vláken Niplene F50 AGR. Byly vyrobeny dvě varianty závitu náboje: M20x2,5 a M24x2. Závit M20x2,5 je použit na původním oběžném kole s ocelovou vložkou a byl zkoušen z důvodu zaměnitelnosti nového typu oběžného kola s čerpadly, která jsou již instalována. Závit

M24x2 bude používán u nově vyrobených čerpadel, protože má vyšší výpočtovou pevnost.(viz. odstavec 3.8 až 3.9)

Pevnost závitu při zatěžování kroutícím momentem byla testována momentovým klíčem, kdy oběžné kolo bylo fixováno za lopatky v přípravku. Do náboje bylo zašroubováno závitové osazení hřídele (Příloha I) a utahováno pomocí momentového klíče. Při měření byl zjišťován kroutící moment při destrukci závitu.

Zkušební kola byla testována po teplotě na teplotu 25°C a po teplotě na teplotu 120°C v sušárně. Závitové osazení hřídele bylo temperováno na 25°C, 60°C a 120°C. Teplota okolí při měření kroutícího momentu byla 25°C.

Při teplotě 25°C oběžného kola i osazení hřídele oba závity M20 i M24x2 přenesly kroutící moment 200 Nm bez porušení.

Při teplotě oběžného kola 120°C a teplotě osazení hřídele 25°C závit M24x2 přenesl kroutící moment 120Nm bez porušení a při 130 Nm došlo k protočení závitu.

Při teplotě běžného kola 120°C a teplotě osazení hřídele 120°C jak závit M20, tak závit M24x2 povolil při kroutícím momentu nižším než 50 Nm. Hodnota 50 Nm je hranice citlivosti momentového klíče.

Při teplotě kola 120°C a teplotě závitového osazení 60°C se závit M24x2 v jednom případě protočil při kroutícím momentu 100 Nm a ve druhém případě při 120 Nm. Závit M20 se protočil při kroutícím momentu 60 Nm.

Ačkoliv zkouška momentovým klíčem byla do jisté míry subjektivní můžeme porovnat naměřené hodnoty kroutícího momentu porovnat s hodnotami vypočtenými.

Vypočtený kroutící moment podle odstavce 3.8 je 72 Nm. Pro teplotu kola 120 °C a teplotu náboje 60°C vyhověl pouze závit M24x2.

Pro teplotu kola i náboje 120°C je hranice porušení závitu pod citlivostí měření momentového klíče 50 Nm. Nelze tedy říct při jakém kroutícím momentu dojde k porušení obou typů závitu. Hodnota 50 Nm je však nižší než předpokládaný (vypočtený) kroutící moment a lze tedy konstatovat, že je teplotní zatížení kola 120 °C při současné teplotě závitového osazení 120 °C nežádoucí.

3.12.2 Zkouška průhybu kola působením hydrostatického tlaku při maximální výtlačné výšce

Zkouška průhybu kola působením hydrostatického tlaku při maximální výtlačné výšce byla simulována zatížením tlakem na trhacím stroji Zwick 1456 (Obr. 27) pomocí navrženého přípravku. (Obr. 28, 29, příloha II).



Obr. 27: Trhací stroj Zwick 1456



Obr. 28: Přípravek na testování průhybu



Obr. 29: Přípravek na testování průhybu řez

Na následujících obrázcích jsou přehledně zobrazeny jednotlivé variace vybraných vzorků výstřiku. Jsou zde zřetelné modifikace jak aktivní tak i neaktivní strany oběžných

kol. Hodnoty získané z trhacího stroje, respektive trhacích diagramů, jsou sepsány níže v tabulce.(tab.6)



Obr. 30: Kolo vzorek č.10



Obr. 31: Kolo vzorek č.10



Obr. 32: Kolo vzorek č.15



Obr. 33: Kolo vzorek č.15



Obr. 34: Kolo vzorek č.14



Obr. 35: Kolo vzorek č.14

Průhyb byl měřen pro oběné kolo vstříkované pouze s PP+30% skelných vláken, pro oběžné kolo s osoustruženými lopatkami a pro oběžné kolo s ocelovou vložkou. Měření bylo provedeno pro kola temperovaná na 120°C a na kola temperovaná na 25°C. Měření bylo provedeno při teplotě 25°C. Kola byla zatěžována jak ze strany náboje, tak ze strany lopatek.

Kola temperovaná na teplotu 25°C nepřekročila mez pevnosti ani při maximální zatěžovací síle trhačího stroje 22 000 N. Zatížení kola čerpadla maximálním hydrostatickým tlakem odpovídá zatěžovací síla 9986 N (viz. *Odstavec 3.9*). Zkouška průhybu kola byla však provedena při zatížení 6000 N (pozn. Při zatěžování jsme vycházeli z původního návrhu, kde bylo zatížení stanoveno z hydrostatického tlaku vodního sloupce). Průhyb při zatěžovací síle 6000 N je 2,2 mm (*Tab.6*), je-li zatěžována strana lopatek a 1,4, je-li zatěžována strana náboje (*Tab.6*). V obou případech nedochází ke vzniku prasklin ani při zatížení 22000 N.

U Kol temperovaných na teplotu 120°C při zatížení 6000 N byl naměřen průhyb od 2,1 do 2,6 mm (*Tab.6*). U kol se soustruženými lopatkami při teplotě 120°C a zatížení 6000 N byl naměřen průhyb 3,2 a 2,9 mm. (*Tab.6*). V obou případech docházelo ke vzniku prasklin. Zatížení na mezi pevnosti bylo od 19800 N do 18600 N u nesoustružených kol a 13000 N a 15400 N u soustružených. U kol se zastříknutou ocelovou vložkou byl naměřen průhyb při teplotě 120°C 1,8 a 1,6 mm. Zatížení na mezi pevnosti bylo 16800 N, resp. 12 100 N. (*Tab.6*).

Tab. 6: Průhyb oběžného kola čerpadla při zkoušce na trhacím stroji

Vzorek číslo	Průhyb (mm)	Mez Pevnosti (N)	Popis zkoušky
1	2,2	>22000	Zatížení strana lopatek 6000N, teplota 25°C
20	2,2	>22000	Zatížení strana lopatek 6000N, teplota 25°C
2	1,4	>22000	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 25°C
3	1,4	>22000	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 25°C
10	1,2	>22000	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 25°C
4	2,6	19300	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 120°C
5	2,1	19800	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 120°C
13	2,2	19300	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 120°C
16	2,3	18600	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 120°C
19	1,4	>22000	Zatížení strana náboje 6000N, teplota 120°C
9	3,2	13000	Strana náboje soustružená, 6000N, teplota 120°C
15	2,9	15400	Strana náboje soustružená, 6000N, teplota 120°C
14	1,8	12100	Ocelová vložka, strana náboje, 6000N, teplota 120°C
18	1,6	16800	Ocelová vložka, strana náboje, 6000N, teplota 120°C

3.13 ZÁVĚR ANALÝZY OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA

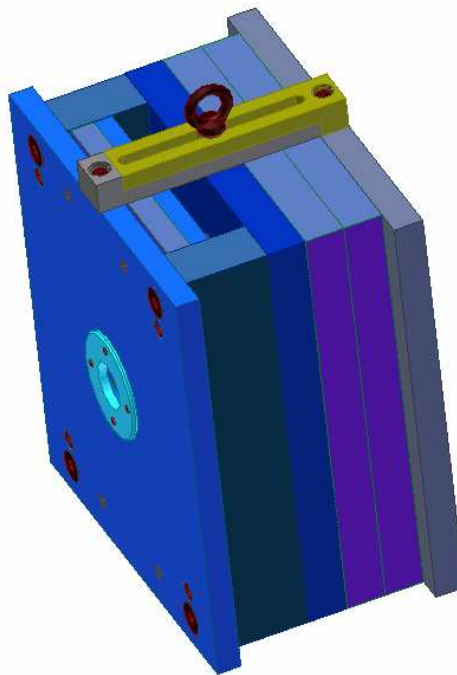
Pro čerpadla pracující ve velmi agresivním prostředí byla navržena oběžná kola vyrobená z polypropylénu plněného 50% skelných vláken Niplene F50 AGR bez zastříknuté kovové vložky, která zapříčiňovala nevratné deformace (trhliny) oběžných kol při skladování. Zkoušky na reálných vzorcích čerpadla, simulující zatížení při pracovních podmínkách ukázaly, že stávající závit M20x2,5 nepřenese kroutící moment, jenž byl vypočten z maximální výtlačné výšky čerpadla a to při teplotě oběžného kola 120°C a teplotě hřídele

60°C. Aby bylo dosaženo požadované bezpečnosti provozu, k zajištění přenosu kroutícího momentu, doporučuji použít závit M24x2.

Při měření průhybu oběžného kola čerpadla působením hydrostatického tlaku při maximální výtlačné výšce na trhacím stroji byly dovolené hodnoty průhybu dány až ex post. Hodnoty průhybu by neměly překročit hodnotu 0,4 mm. Tuto hranici maximální hodnoty průhybu nespĺnila oběžná kola ani při teplotě 25°C. Důležité je ovšem zdůraznit, že tuto požadovanou hodnotu vysoko překročila i oběžná kola se zastříknutou ocelovou vložkou, kde byl při teplotě 120°C naměřen průhyb 1,6 resp. 1,8 mm. Bez ocelové vložky 2,1 až 2,6 mm. Zkouška na trhacím stroji probíhala při extrémní poloze zatěžovací síly. Ve skutečnosti je tlaková síla rozložena po celé ploše oběžného kola rovnoměrně.

4 NÁVRH VSTŘIKOVACÍHO NÁSTROJE

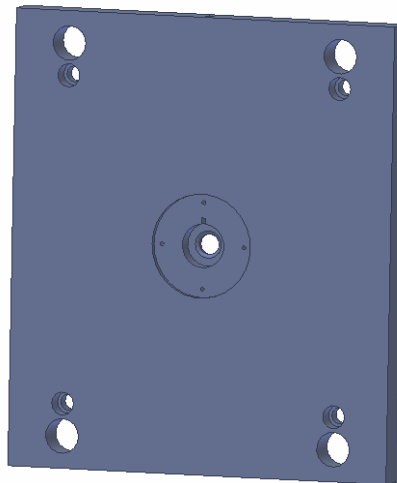
Pro vstříkování polymerního materiálu oběžného kola navrhují použít vstříkovací formu s vyjímatelnou tvarovou vložkou. Forma je tvořena pohyblivou (vtokovou) a pevnou (vyhazovací) částí. Součástí vtokové strany je levá upínací deska, s níž je šrouby svázána levá tvarová deska s tvárnici. Součástí vyhazovací strany je pravá upínací deska, rozpěrky (mezi nimiž je suvně uložena soustava vyhazovacích desek), opěrná deska a pravá tvarová deska s tvárníkem. Dělicí plocha formy je tvořena levou a pravou tvarovou deskou.



Obr. 36: Pohled na celou formu

4.1 Levá upínací deska

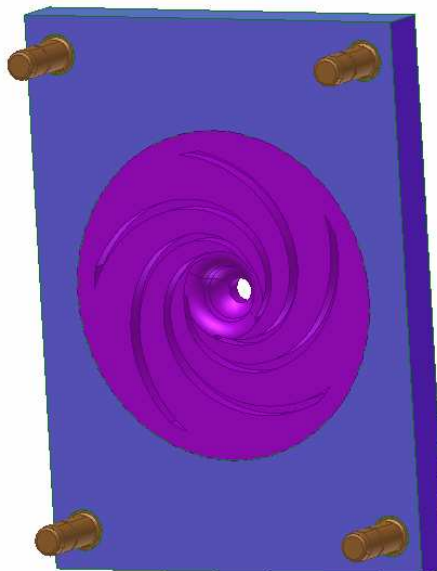
(pohyblivá část formy) Tato část formy je uložena do rámu, kde je pevně zajištěna šrouby a upínkami. Levá upínací deska je spojena šrouby s levou tvarovou deskou. Upnutý středící kroužek s kuželovým zahlobením navádí vstříkovací stroj na vtokovou trysku, se kterou vytvoří, v místě styku, těsný spoj. Vtoková tryska je v axiálním směru zajištěna šrouby a osazením, proti pootočení je bráněno kolíkem umístěným do dutiny desky. V této desce jsou vedeny vstupní/výstupní kanály pro temperační médium.



Obr. 37: Levá upínací deska

4.2 Levá tvarová deska

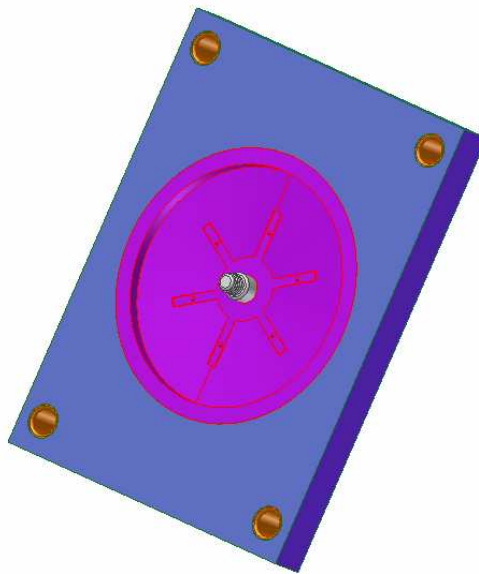
Deska je vedena na 4 vodících čepech, je šrouby pevně spojena s levou upínací deskou. Je v ní uložena tvárnice, jenž je v axiálním směru zajištěna osazením a jejímu otočení brání vložený kolík. V tvárnici je soustředně uložené tvarové čelo přímé vtokové trysky.



Obr. 38: Levá tvarová deska

4.3 Pravá tvarová deska

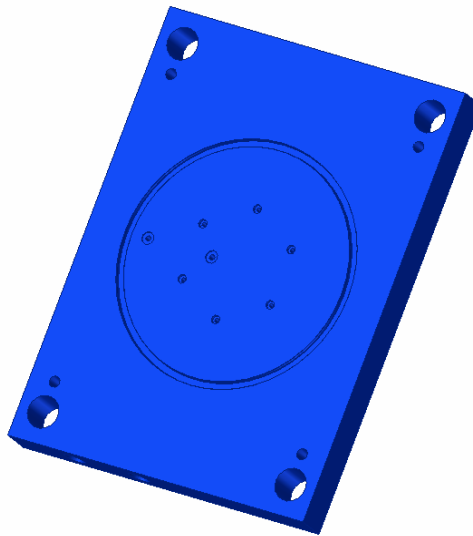
Vodícími pouzdry, kterými je tato deska navedena prochází 4 hlavní vodící čepy. Je pevně spojena šrouby s pravou upínací deskou přes opěrnou desku a rozpěrky. Je v ní uložen tvárník, jenž je v axiálním směru zajištěn osazením a jeho potočení brání vložený kolík. V tvárníku je soustředně uložené tvarové jádro ($\varnothing 20$ mm), s nestandardní oblým závitem. Toto jádro je suvně uloženo v tvárnici, na čele má vytvořené imbusové zahloubení, které slouží pro vyjmutí jádra z výstřiku.



Obr. 39: Pravá tvarová deska

4.4 Opěrná deska

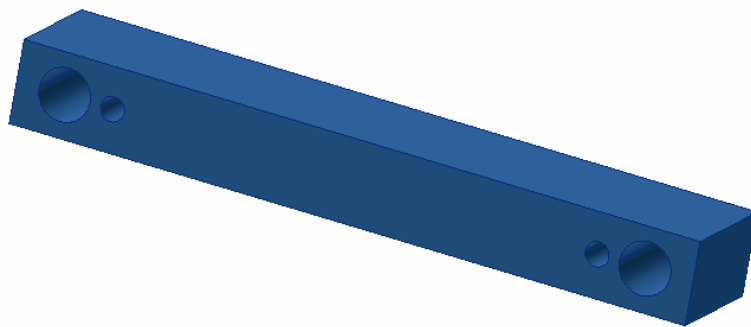
Tato deska je sevřena mezi pravou tvarovou deskou a rozpěrkami. V osovém směru jí prochází a vedou vodící trubky, jenž jsou dále svázány s rozpěrkami. V této desce jsou suvně v axiálním směru vedeny vyhazovací čepy. V této desce jsou také vstupní/výstupní kanály pro temperační médium.



Obr. 40: Opěrná deska

4.5 Rozpěrky

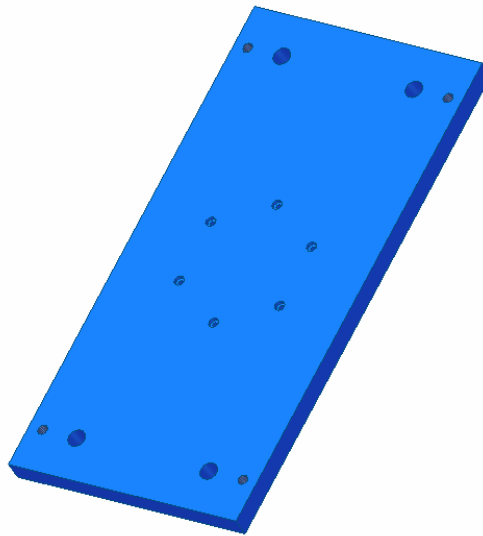
Mezi rozpěrkami je umístěna soustava vyhadzovacích desek. Rozpěrkami prochází vodící trubky. Rozpěrky limitují délku vyhadzovací dráhy a mají příznivý vliv na rozvádění teploty ve vstřikovací formě.



Obr. 41: Rozpěrky

4.6 Opěrná deska

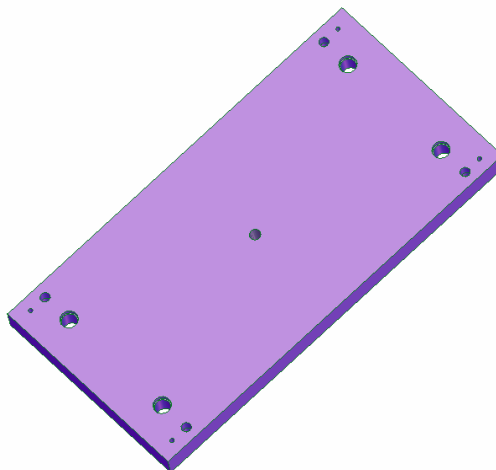
Opírají se o ni hlavy vyhadzovacích kolíků svým osazením. Jsou v ní vedeny vodící čepy určené k axiálnímu pohybu celé soustavy vyhadzovacích desek. Tyto čepy jsou suvně uloženy v pouzdrech, které jsou sevřeny mezi vyhadzovacími deskami. Je šrouby spojena s kotevní deskou.



Obr. 42: Opěrná deska

4.7 Kotevní deska

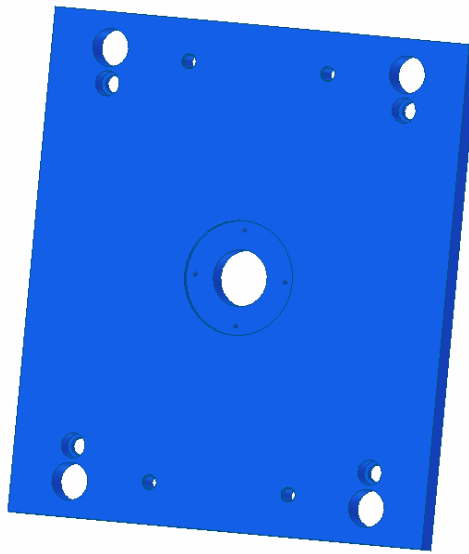
Čelem se o ni opírají hlavy vyhazovacích kolíků. Ve středu desky je vytvořena závitová díra pro vyhazovací závitový kolík, který se čelem opírá o opěrnou desku. Kolíkem je realizováno samotné vyhazování napojením na hydraulický pohon.



Obr. 43: Kotevní deska

4.8 Pravá upínací deska

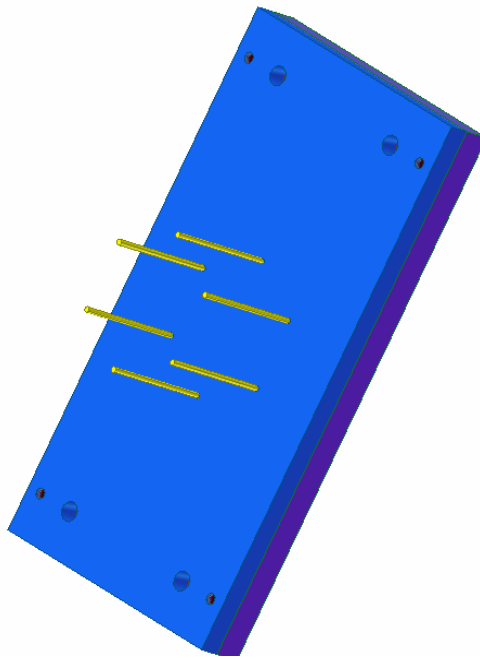
(pevná část formy) spojuje šrouby celou pravou část formy, jsou v ní ukotveny vodící čepy pro vyhazovací soustavu. Středící kroužek slouží k vystředění formy.



Obr. 44: Pravá upínací deska

4.9 Vyhazovací systém

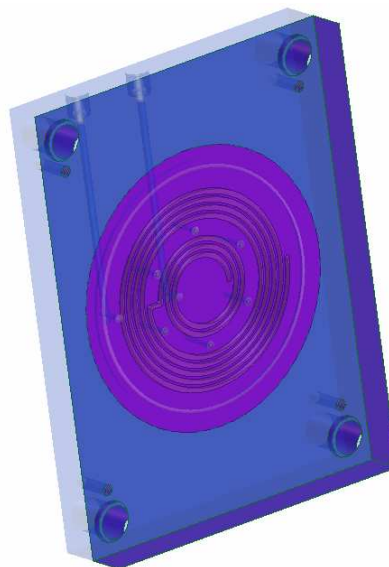
Po částečném ochlazení výstřiku ve formě následuje otevření formy a vyjímání výstřiku z dutiny, které je realizováno vyhazovacím systémem. Vyhazovací soustava je realizována 2 vyhazovacími deskami, mezi nimiž jsou sevřeny vyhazovací kolíky (kolíky jsou zajištěny osazením v opěrné desce a svými čely se opírají o kotevní desku) ovládání je realizováno přes závitový kolík zapuštěný do pravé vyhazovací desky. Posunutím kolíku v axiálním směru dojde k suvnému přestavení soustavy spojených desek vedených na 4 vodících čepích. Desky jsou spojeny šrouby, pravá deska má tlumení v koncové poloze. Mezi vodícími čepy a deskami je realizováno vodící pouzdro, umožňující deskám hlavní suvný pohyb po vodících čepích. Vyhazovací desky se pohybují mezi rozpěrkami, které v podstatě limitují délku vyhazovací dráhy.



Obr. 45: Vyhazovací systém

4.10 Temperační systém

Vstupní a výstupní kanály temperačního média jsou vyvrtány v přídržovací desce a levé upínací desce. Tyto kanálky, které jsou spojeny tlakovými hadicemi, jsou navedeny do spirálovitých chladících drážek vytvořených na levém tvárníku a pravé tvárnici. Prostor mezi deskami, vymezený k chlazení, je utěsněn pryžovými těsnícími kroužky (O-kroužky).



Obr. 46: Temperační systém

4.11 Analýza formy

Abychom zajistily užité vlastnosti vstřikovací formy, je nutné ověření jejich vlastností, simulací reálného provozu, v některém z příslušných softwarů, v našem konkrétním případě se jedná o program Cosmos-DesignStar. Při vstřikování do navržené formy uvažujeme rizikové zatížení opěrné desky.

Samotné početní řešení formy není výhodné vzhledem ke snaze o optimalizaci procesu s přihlédnutím k náročnosti takovýchto výpočtů, z toho důvodu jsme provedli analýzu vybraného komponentu formy ve zvoleném programu.

K dosažení požadovaných výsledků je nutné zavedení vhodných omezujících podmínek, jakými jsou například: definice vlastností materiálů (modul pružnosti E, poissonova konstanta ν , apod.), odebrání patřičného množství stupňů volnosti volnému tělesu, určení zatížení (síly, momenty, tlaky), smyslu působení a rozvržení na ploše tělesa.

4.11.1 Postup

Vhodným způsobem vypracovaný prvek převedeme do formátu souboru STEP, který je možno otevřít v programu Cosmos-DesignStar. Na modelu vyhotovíme výpočetní síť, zavedeme okrajové podmínky a provedeme samotný výpočet. Na základě analýz řešení posoudíme.

4.11.2 Výpočtová část

A) Plocha výstřiku v dělicí rovině

$$S_V = \pi \cdot R^2 - \pi \cdot r^2 \quad (9)$$

Dáno:

$R = 104,52$ [mm]. Poloměr oběžného kola čerpadla

$r = 10$ [mm]. Poloměr závitového jádra

$$S_V = \pi \cdot 104,52^2 - \pi \cdot 10^2 = \pi \cdot (104,52^2 - 10^2) = 34006 \text{ mm}^2$$

B) Síla působící v dutině formy

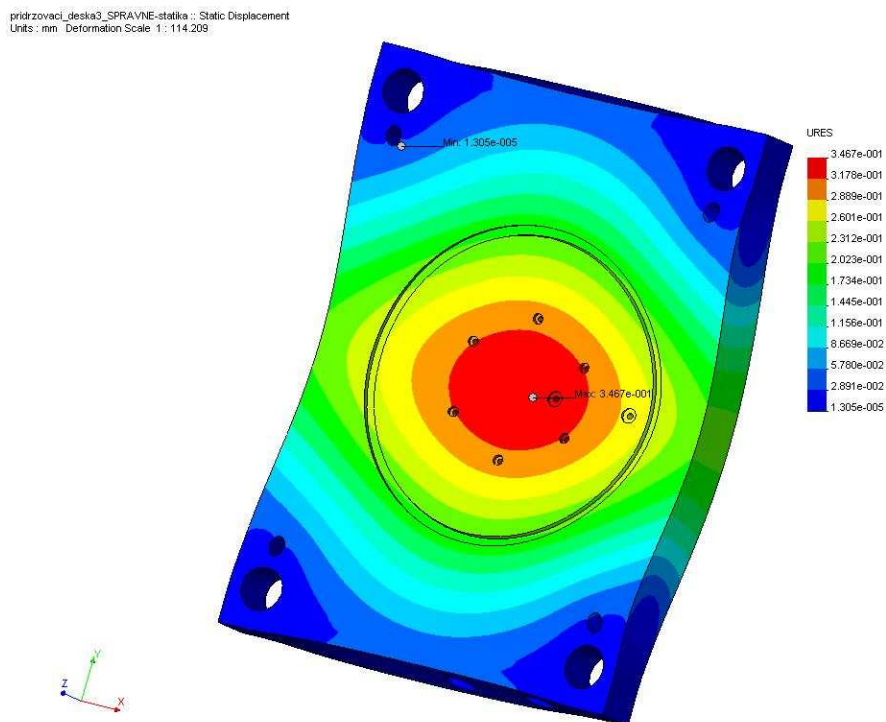
$$F = p_V \cdot S_V \quad (10)$$

Dáno:

$p_V = 10$ [MPa]. Vstřikovací tlak

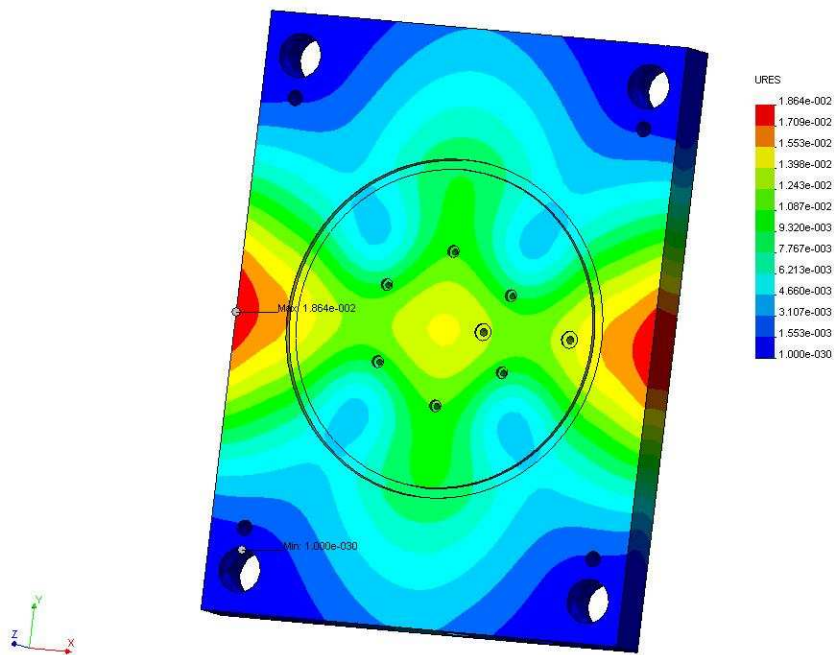
$$F = 10 \cdot 34006 = 340060 \text{ N}$$

4.11.3 Lokální průhyb desky



Obr. 47: Průhyb opěrná deska

prizkovaci_rozperty4-statika :: Static Displacement
Units: mm, Deformation Scale 1: 25



Obr. 48: Průhyb opěrná deska s rozpěrkami

Jak je zřejmé z konstrukce formy, maximální průhyb se realizuje ve střední části desky, naopak oblast s minimálním průhybem se nachází u soustavy otvorů, jimiž prochází vodící čepy a pouzdra tzn. v místech uchycení desek. Z důvodu vysoké hodnoty průhybu opěrné desky navrhuji tuto desku podepřít soustavou valcových rozpěrek. Porovnání údajů desky s rozpěrkami a bez rozpěrek nám přehledně ukazuje následující tabulka (tab.7).

Tab. 7: Srovnání hodnot průhybu pro danou část formy

	Opěrná deska	Opěrná deska s rozpěrkami
URES MAX [mm]	$8,73 \cdot 10^{-1}$	$1,86 \cdot 10^{-2}$

4.12 ZÁVĚR NÁVRHU VSTŘIKOVACÍHO NÁSTROJE

Při použití materiálu Niplen F50 AGR plněného 50% skelným vláknem, předpokládáme smrštění hotového výstřiku 0,5 %. Dále uvažujeme výrobu maximálně 1000 výstřiků za rok, což podstatně minimalizuje nároky na údržbu formy. Doporučuji kompletní

revizi zařízení jednou za rok. Značná část komponent formy je realizována pomocí normalizovaných dílů z produkce firmy HASCO.

Aby byla zaručena dovolená hodnota průhybu opěrné desky je nutné tuto desku zajistit valcovými rozpěrkami.

ZÁVĚR

Užité vlastnosti oběžného kola čerpadla jsou už od počátku jeho vývoje silně spojeny s vybraným typem materiálu, lze konstatovat, že příznivých výsledků by bylo dosaženo při použití materiálu polyphenylsulfid. Nepříznivým jevem jsou však náklady spojené s volbou materiálu, které se nám posléze promítnou do ceny výstřiku. Z výše uvedeného důvodu byl proto navržen pro reálnou výrobu materiál polypropylén, dále jen PP.

Z teplotní a napěťové analýzy stávajícího oběžného kola vyplynulo, že trhliny v oběžném kole vznikly působením rozdílného smrštění PP matrice a ocelové vložky. Z toho důvodu byl vybrán materiál Niplen F50 AGR (PP+50% skelných vláken), přičemž ocelová vložka nebude při návrhu použita. Zkoušky reálných vzorků ukázaly, že stávající závit M20x2,5 nepřenese kroutící moment, který byl vypočten z maximální výtlačné výšky čerpadla, proto byl k přenosu kroutícího momentu doporučen závit M24x2, dle požadavků výrobce by dovolené hodnoty průhybu neměly překročit hodnotu 0,4 mm, což zkoušky provedené na reálných vzorcích nespĺňují. Důležité je ovšem upozornit, že zkoušky na trhacím stroji probíhaly při extrémní poloze zatěžující síly, která je však ve skutečnosti rozložená na ploše kola rovnoměrně. V případě, že průhyb kola nevyhoví praktickým zkouškám, bude vhodné uvažovat o použití jádra oběžného kola z jiného polymeru, který bude mít vyšší pevnost a tepelnou odolnost.

Zvoleným nástrojem pro zpracování oběžného kola bude vstřikovací forma s vyjímatelnou tvarovou vložkou, která bude v dutině formy modelovat zvolený typ a velikost nestandardního závitu. Simulovaná hodnota průhybu opěrné desky dosahuje po zavedení válcových rozpěrek hodnoty 0,019 mm, která vyhovuje požadavkům na konstrukci zařízení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUŠEK J., NECHLEBA M. Hydraulické stroje: Státní nakladatelství technické literatury, 1966. 386 s
- [2] ZÁMORSKÝ Z., HAGEN V. Laboratorní cvičení z nauky o polymerech: Vysoké učení technické v Brně, 1978. 84 s.
- [3] Solvay advanced polymers [online]. 2005 , 1/4/2004 [cit. 2005-11-25]. Angličtina. Dostupný z WWW: www.solvayadvancedpolymers.com.
- [4] Metal, plastic, and Ceramic search Index [online]. 1996-2005 , 1/9/2005 [cit. 2005-11-23]. Angličtina. Dostupný z WWW: www.matweb.com.
- [5] ŠUBA O. Dimenzování a navrhování výrobků z plastů. UTB Zlín , 2005. 112 s. ISBN 80-7318-287-4.
- [6] MEISSNER B. Fyzikální vlastnosti polymerů : Státní Nakladatelství Technické Literatury, 1971. 155 s.
- [7] KOLMAN L. Konstrukční materiály, kompozity-výztuže [online]. 2001 , 1/9/2005 [cit.2005-12-08]. Čeština. Dostupný z WWW: www.volny.cz/kolmanl/obsah.htm.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

b	Šířka lopatky oběžného kola	[mm]
CaCO ₃	Uhličitan vápenatý	
D	Velký průměr kola čerpadla	[mm]
D ₂	Střední průměr závitů	[mm]
E	Modul pružnosti	[MPa]
F	Síla působící v dělicí rovině	[N]
F _{AX}	Axiální síla v závitě	[N]
F _p	Tlaková síla	[N]
F _u	Utahovací síla	[N]
g	Tíhové zrychlení	[m/s ²]
H ₂ SO ₄	kyselina sírová	
h	Pracovní výška čerpadla	[m]
i	Počet závitů	[-]
l	Délka závitů	[mm]
l _L	Délka lopatky oběžného kola	[mm]
M _k	Kroutící moment	[Nm]
NHR	Čerpadlo určené k dopravě kyselin a zásad	
P	Rozteč závitů	[mm]
PP	Polypropylén	
PPS	Polyphenylensulfid	
p _H	Hydrostatický tlak	[MPa]
p _{max}	Maximální hydrostatický tlak p _{max} = p _H	[MPa]
p _v	Vstřikovací tlak	[MPa]
SV	Skleněná vlákna	
R	Poloměr výstřiku	[mm]

Rm	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
r	Poloměr závitového jádra	[mm]
S _v	Plocha výstřiku	[mm ²]
s	tloušťka desky	[mm]
T _m	Teplota tání	[°C]
T _g	Teplota skelného přechodu	[°C]
URES	Celkové deformace	[mm]
t	Teplota	[°C]
α	Úhel stoupaní	[°]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
τ _s	Střížné napětí	[MPa]
ν	Poissonova konstanta	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Strukturní vzorec materiálu PP</i>	14
<i>Obr. 2: Strukturní vzorec materiálu PPS</i>	16
<i>Obr. 3: Grafická závislost modulu pružnosti E na teplotě t materiálu PPS [3]</i>	18
<i>Obr. 4: Závislost modulu pružnosti E na teplotě t[5]</i>	22
<i>Obr. 5: Závislost pevnosti R_m na teplotě t [5]</i>	23
<i>Obr. 6: Trhliny v oběžném kole</i>	29
<i>Obr. 7: Trhliny v oběžném kole</i>	30
<i>Obr. 8: Výstřik oběžného kola čerpadla</i>	31
<i>Obr. 9: Teplota po 1. minutě po vyhození oběžného kola z formy</i>	32
<i>Obr. 10: Teplota po 5. minutě po vyhození oběžného kola z formy</i>	32
<i>Obr. 11: Teplota po 10. minutě po vyhození oběžného kola z formy</i>	33
<i>Obr. 12: Teplota po 15. minutě po vyhození oběžného kola z formy</i>	33
<i>Obr. 13: Teplota po 20. minutě po vyhození oběžného kola z formy</i>	34
<i>Obr. 14: Von Misesovo napětí</i>	35
<i>Obr. 15: Závislost modulu pružnosti PP na teplotě</i>	36
<i>Obr. 16: Průhyb kola s ocelovou vložkou</i>	36
<i>Obr. 17: Průhyb oběžného kola PP+50% skelných vláken</i>	37
<i>Obr. 18: Průhyb oběžného kola PP+50% skelných vláken</i>	38
<i>Obr. 19: Průhyb oběžného kola PP+30% skelných vláken</i>	38
<i>Obr. 20: Schéma 1 - oběžné kolo</i>	39
<i>Obr. 21: Schéma 2 - zatížení závitu</i>	41
<i>Obr. 22: Schéma 3 - závit</i>	41
<i>Obr. 23: Schéma 4 - délka závitu</i>	43
<i>Obr. 24 :Plnění dutiny vstřikovací formy</i>	44
<i>Obr. 25: Plnění dutiny vstřikovací formy</i>	45
<i>Obr. 26: Plnění dutiny vstřikovací formy</i>	45
<i>Obr. 27: Trhací stroj Zwick 1456</i>	48
<i>Obr. 28: Přípravek na testování průhybu</i>	49
<i>Obr. 29: Přípravek na testování průhybu řez</i>	49
<i>Obr. 30: Kolo vzorek č.10</i>	50
<i>Obr. 31: Kolo vzorek č.10</i>	50

<i>Obr. 32: Kolo vzorek č.15</i>	51
<i>Obr. 33: Kolo vzorek č.15</i>	51
<i>Obr. 34: Kolo vzorek č.14</i>	52
<i>Obr. 35: Kolo vzorek č.14</i>	52
<i>Obr. 36: Pohled na celou formu</i>	56
<i>Obr. 37: Levá upínací deska</i>	57
<i>Obr. 38: Levá tvarová deska</i>	57
<i>Obr. 39: Pravá tvarová deska</i>	58
<i>Obr. 40: Opěrná deska</i>	59
<i>Obr. 41: Rozpěrky</i>	59
<i>Obr. 42: Opěrná deska</i>	60
<i>Obr. 43: Kotevní deska</i>	60
<i>Obr. 44: Pravá upínací deska</i>	61
<i>Obr. 45: Vyhazovací systém</i>	62
<i>Obr. 46: Temperační systém</i>	62
<i>Obr. 47: Průhyb opěrná deska</i>	64
<i>Obr. 48: Průhyb opěrná deska s rozpěrkami</i>	65

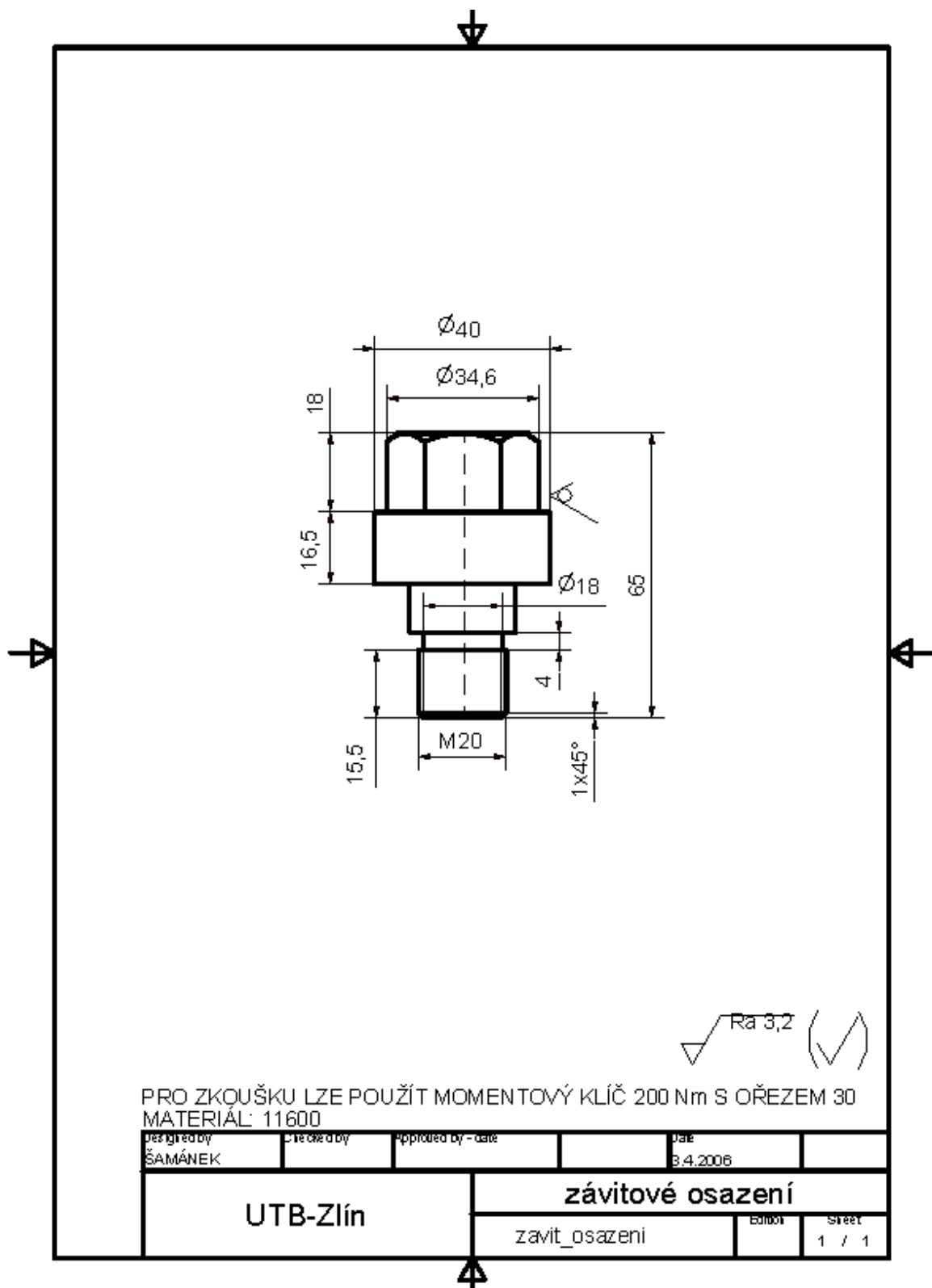
SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Vlastnosti polypropylénu-PP[2]	14
Tab. 2: Vlastnosti materiálu polyphenylensulphide PPS.....	16
Tab. 3: Porovnání vlastností vybraných typů PPS [4].....	17
Tab. 4: Porovnání vlastností základních typů vláken	24
Tab. 5: Porovnání vlastností aramidových vláken s běžnými typy výztuží [7].....	27
Tab. 6: Průhyb oběžného kola čerpadla při zkoušce na trhacím stroji	54
Tab. 7: Srovnání hodnot průhybu pro danou část formy	65

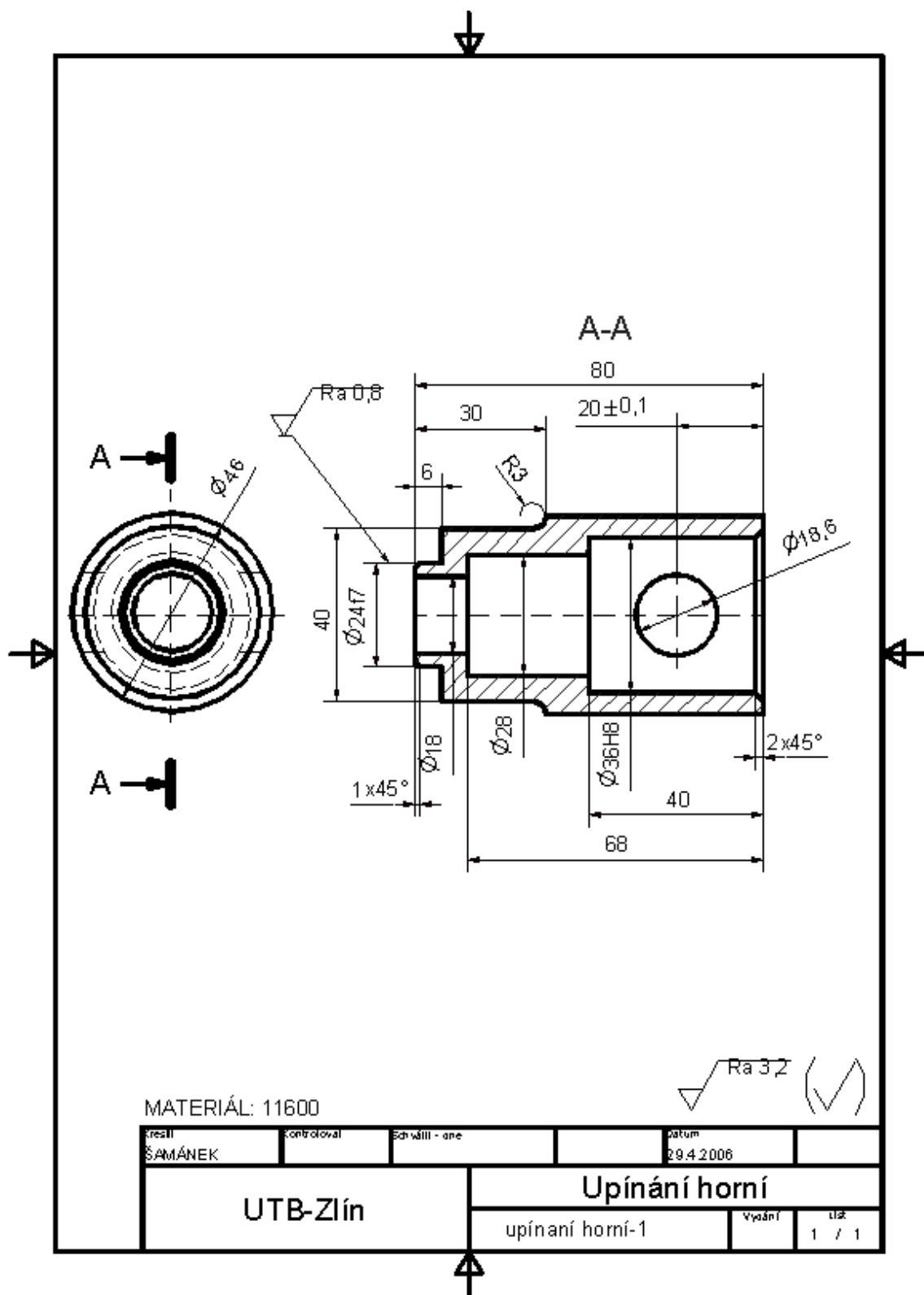
SEZNAM PŘÍLOH

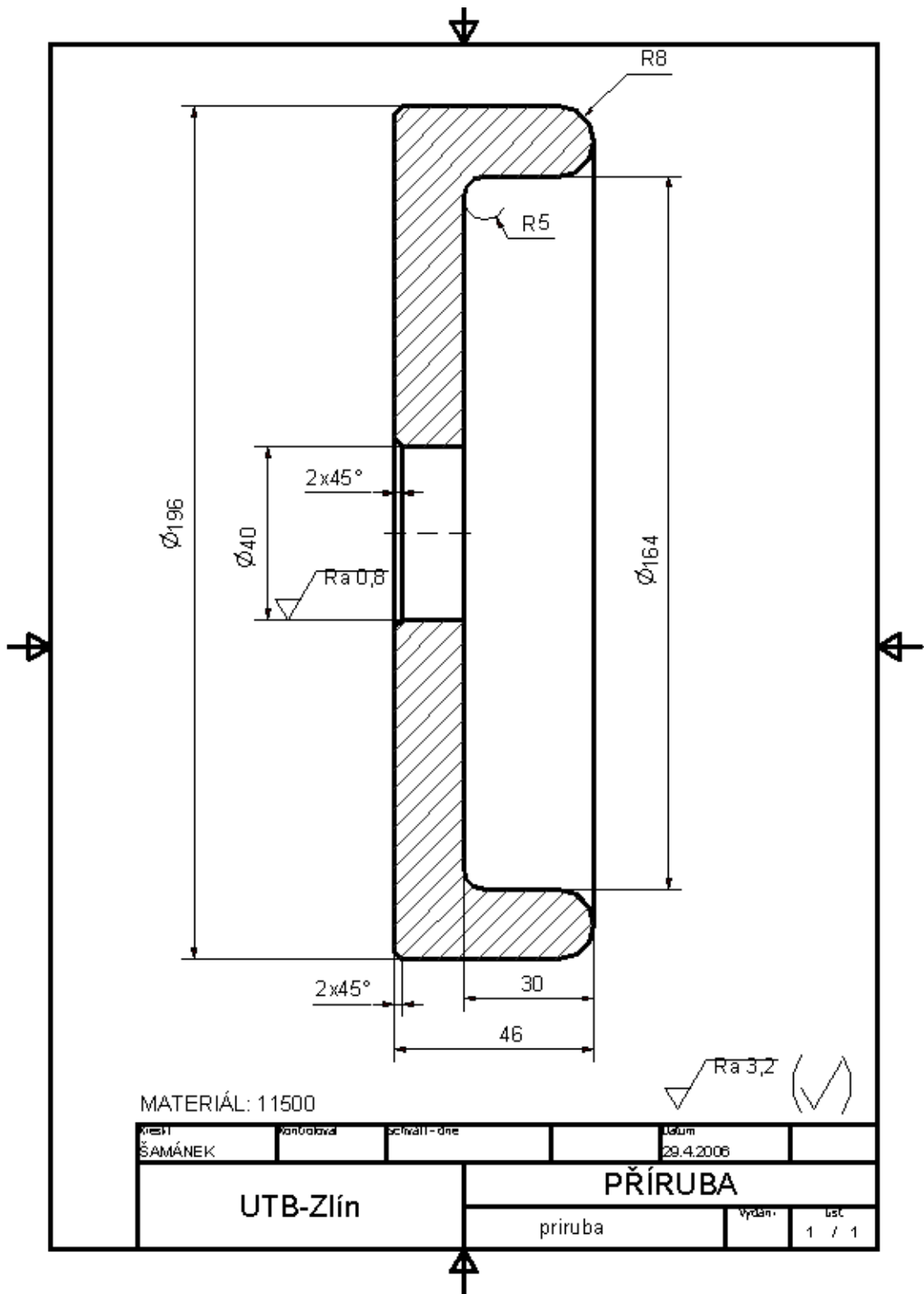
PŘÍLOHA P I: Výkres závitového osazení pro měření kroutícího momentu	75
PŘÍLOHA P II: Přípravky	76
PŘÍLOHA P III: Závitové jádro	78

PŘÍLOHA P I: VÝKRES ZÁVITOVÉHO OSAZENÍ PRO MĚŘENÍ KROUTÍCÍHO MOMENTU



PŘÍLOHA P II: PŘÍPRAVKY





PŘÍLOHA P III: ZÁVITOVÉ JÁDRO

