

# RAPID PROTOTYPING – VYUŽITÍ TECHNOLOGIE SANDPRINT

Autor: Ing. Libor Horáček

Školitel: doc. Ing. Viktor Kreibich, CSc.

Školitel specialista: Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE

Studijní obor: Strojírenská technologie

## ÚVOD

Disertační práce se zabývá výzkumem aditivní technologie sandprint, neboli 3D tiskem z písku na principu Binder jetting, která se jeví jako nejvhodnější způsob aplikace pro výrobu forem ve slévárenství, ale i pro další využití ve strojírenství. Ze všech zatím známých způsobů aditivní výroby byla vybrána tato technologie, přestože je zatím nejméně rozšířená. Je však vhodná pro zásadní a nezbytné změny v technologiích slévání v rámci probíhajících změn v digitalizaci výroby v období nazývaném Průmysl 4.0. Práce se zabývá vývojem v etapě předvýrobního výzkumu a vývoje digitální aditivní technologie Rapid prototyping s cílem praktického využití v těchto směrech:

- 1) Tisk slévárenských forem pro tvarově složité kovové odlitky
- 2) Tisk technologických a kontrolních přípravků
- 3) Vývoj nového materiálu – pískového kompozitu

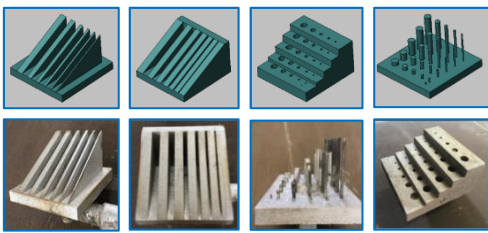
## CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Práce zkoumá technologii sandprint s hlavním využitím ve strojírenských technologiích. Zaměření práce spočívá v objevení nových vlastností nekovových materiálů na bázi písku a jejich přípravu do stavu aplikačních možností ve strojírenských technologiích. Po průzkumu stávajícího stavu byly stanoveny následující cíle:

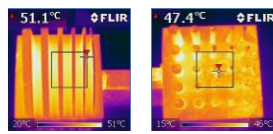
- 1) Nalezení krajních možností vytištěné pískové struktury technologií sandprint při použití ve slévárenství
- 2) Nalezení následné úpravy struktury tištěné technologií sandprint pro zlepšení mechanických vlastností
- 3) Ověření možnosti využití upravené tištěné struktury pro výrobu funkčních dílů a přípravků

## EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

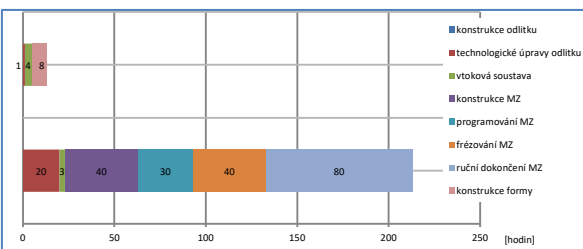
- 1) **Odlévání složitých tvarů do forem z tištěné struktury** vyrobené standardním nastavením 3D tiskárny specifikovaným od jejího výrobce. Výsledkem je stanovení limitních možností odlévání detailů (žeber, drážek, výstupků, otvorů).



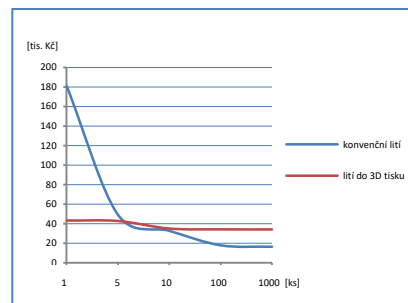
Obr.1: 3D data a odlitky zkušebních vzorků



Obr.2: Teplotní pole zkušebních odlitků



Obr.4: Porovnání časů technologické přípravy (TPV) pro konvenční lití a lití do forem vyrobených technologií sandprint



Obr.5: Graf ukazující porovnání nákladů v závislosti na množství odlitků vyráběných konvenčně a za pomoci technologie sandprint

- 2) **Provedení analýz a zkoušek skutečných parametrů tištěné struktury.** Zkoušky následných úprav tištěné pískové struktury a zkoušky pro stanovení mechanických vlastností po úpravě. Byla provedena série mechanických, tepelných a chemických zkoušek a byly podrobně popsány vlastnosti tištěné struktury. Dále byly stanoveny postupy pro úpravy a metody pro kontrolu úprav tištěné struktury.

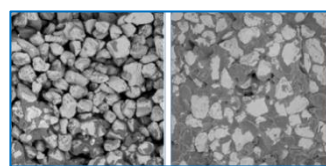


Obr. 6: Mechanické zkoušky v tlaku, tahu a ohybu a zkouška teplotní odolnosti

Po úpravách tištěné struktury napouštěním pryskyřicemi bylo dosaženo podstatné zvýšení pevnosti. Úpravou tištěné struktury napouštěním vznikl nový materiál s novými parametry. Tento materiál dostal název **PÍSKOVÝ KOMPOZIT**. Podstata nového materiálu a výrobků z něj je, že tiskem vznikne tvar a napouštěcí pryskyřice mu dodá požadované vlastnosti.

Tab.1: Mechanické vlastnosti pískového kompozitu

typ pryskyřice	průměrná hodnota pevnosti v tahu [MPa]	průměrná hodnota pevnosti v tlaku [MPa]	průměrná hodnota pevnosti v ohybu [MPa]
bez syčení	0,4	4,8	2
Jatapol WR 90N	10,8	25,1	11,8
Epolam 5015	25,2	92,4	30
LG 735 Aero	20,6	54	29,7
CHS Epodur 498 - 1667	28,4	25,3	28,7



Obr. 7: surová a nasycená tištěná struktura

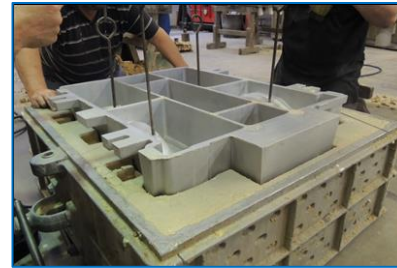
- 3) **Určení možností použití pro výrobu funkčních dílů pro strojírenství a realizovat výrobu jejich představitelů.** Byly porovnány vlastnosti pískového kompozitu s ostatními materiály používanými ve strojírenství. Na základě porovnání byly vytipovány strojní součásti a ty byly vyrobeny z pískového kompozitu technologií sandprint a podrobeny testům funkčnosti. Ukázalo se, že nově vyvinutý pískový kompozit lze s velkou výhodou bezodpadově technologie využít v mnoha aplikacích. Výrobní časy a ceny lze pomocí technologie sandprint výrazně redukovat. Navíc v některých případech nastala i redukce hmotnosti. Pískový kompozit má měrnou hmotnost 1,8 g/cm<sup>3</sup>. Je zde ovšem také teplotní limit použití 130°C.

Tab.2: Seznam přípravků a výrobků nejvíce se vyskytujících ve strojírenství a požadovaných vlastností (vyznačeno zeleně)

Tab.3: Porovnání vlastností pískového kompozitu s běžnými materiály používanými ve strojírenství

POUŽITÍ	VLASTNOSTI	materiál	typ	cena/dm <sup>3</sup>		měrná hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	koef. teplotní roztažnosti [10 <sup>-6</sup> /mm/K]	pevnost			teplotní odolnost [°C]
				[Kč]	[€]			tah	tlak	ohyb	
PŘÍPRAVKY	LEPENÍ	sandprint	Sandprint základní	150	1,4	22,4	0,4	4,8	2	1000	
	SVAROVÁNÍ		sandprint nasycen 30% Jatapol WR90	280	1,8	21,1	10,8	25,1	11,8	130	
	MĚŘENÍ		sandprint nasycen 30% epolam 5015	290	1,8	18,2	25,2	92,4	30	140	
	USOVÁNÍ		sandprint nasycen 30% LG 735 aero	310	1,8	19,8	20,6	54	29,7	135	
	DOCHLAZOVÁNÍ		sandprint nasycen 30% Epodur 498-1667	290	1,8	24,3	28,4	25,3	28,7	130	
	LAMINOVÁNÍ		Al Sířina AlMgSi s válcováním	320	2,7	23	270	270	162	300	
	DOZŘEVÁNÍ PLASTŮ		Al Sířina AlSi10Mg litá	340	2,7	12	190	190	108	300	
	SVĚŘÁRENSTVÍ		Al Sířina 7075 válcovaná	350	2,7	23	500	500	300	300	
	KLIMAKOMORA		ocel konstrukční	170	7,8	13	300	300	180	450	
	DESIGN		ocel nástrojová	220	7,8	12,6	650	650	390	470	
DÍLY/VÝROBKY	AERODYNAMIKA	ocel letecká 4140	400	7,8	10	2000	2000	1200	500		
	SIMULACE ARCHITEXURY	polyamid	60	1,1	110	65	82	x	85		
	ZÁSTAVBY	securon 540	74	0,5	40	7	20	20	55		
	DÍLY NÁSTROJŮ	securon 651	110	0,6	40	12	26	30	65		
	STOJANY	securon 1007	280	1,2	50	30	70	72	75		
		polypropylen	800	0,9	32	30	70	x	100		
	polykarbonát	400	1,2	70	55	70	x	90			
	epoplast 400	330	0,9	10	43	51	45	70			

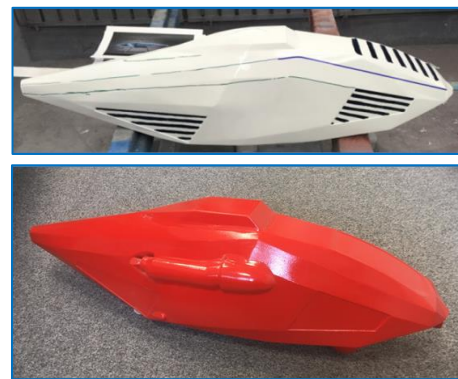
## PŘÍKLADY POUŽITÍ PÍSKOVÉHO KOMPOZITU



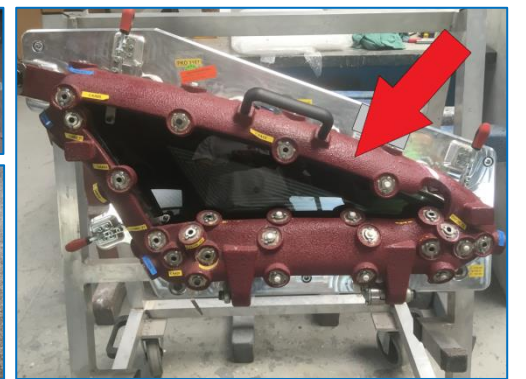
Obr.8: Modelové zařízení pro konvenční výrobu slévárenských forem



Obr.9: Svařovací přípravky na výrobu výfuku



Obr.10: Designová a aerodynamická maketa kapotáže UAV



Obr.11: Tvarový rám měřicího přípravku na kontrolu skla auta



Obr.12: Bezpilotní vrtulník SkySpotter 151 vyrobený za použití technologie sandprint (MTOW: 150kg)

## SHRNUTÍ A ZÁVĚR

Práce se zabývá poznáním možností nejméně rozšířené technologie ze skupiny Rapid prototyping, a to 3D tisku z písku tzv. sandprint s hlavním využitím ve strojírenství.

- Byly nalezeny krajní možnosti vytištěné pískové struktury technologií sandprint při použití ve slévárenství. Dále byly zjištěny skutečné vlastnosti tištěné struktury a prozkoumány krajní možnosti a výhody technologie sandprint při odlévání detailů.
- Byly nalezeny následné úpravy struktury tištěné technologií sandprint pro zlepšení mechanických vlastností. Po změření dosažených výsledků bylo zjištěno rapidní navýšení pevnosti. Například pevnost v ohybu byla zvýšena z původních 2 MPa až na 30 MPa.
- Byly ověřeny možnosti využití upravené tištěné struktury pro výrobu funkčních dílů a přípravků. Výrobky byly zhotoveny a jejich funkce byla ověřena v praxi se splněním všech požadavků.
- Technologie sandprint ukázala nové možnosti technologické přípravy i výroby funkčních dílů.

## Jako výsledek jedinečnosti této technologie jsou následující výstupy:

- Vynález: Modelové zařízení a způsob jeho výroby
- Vynález: Zástavbový model
- Užitečný vzor: Kontrolní přípravek pro kontrolu zakřivení vnitřního obkladového panelu stropu automobilu
- Užitečný vzor: Funkční tvarové díly ve střížných nástrojích
- Užitečný vzor: Ořezový přípravek
- Užitečný vzor: Přípravek na svařování výfuku
- Užitečný vzor: Funkční a pomocná maketa
- Ověřená technologie: Zpevnování 3D tištěných pískových tvarů
- Ověřená technologie: Optimální technologie výroby odlitků do 3D tištěných forem
- Prototyp: Prototyp modelového zařízení vyrobený technologií 3D tisk

