

Inteligentní podtlaková úchopná hlavice manipulačního robota

Ester Jančaříková¹, Petr Kolář¹, Ondřej Novák²

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav výrobních strojů a zařízení, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

² ČVUT v Praze, Český institut informatiky, robotiky a kybernetiky, oddělení Testbed, Technická 4, 166 07 Praha 6, Česká republika

Abstrakt

Flexibilní průmyslová automatizace je v dnešní době založena zejména na průmyslových robotech. Podtlakové úchopné hlavice jsou jednou z možností pro manipulaci objektů. Při jejich navrhování se konstruktér vždy musí rozhodnout mezi dvěma strategiemi: použití standardních komponent, které zajišťují cenově výhodné, ale hmotnostně neoptimální řešení, nebo dedikované hlavice, kde lze optimalizovat hmotnost a tlakové ztráty, ale výroba je časově náročnější a tedy dražší. Článek představuje řešení, které spojuje výhody obou přístupů: modulární CAD konstrukci dílce připraveného pro výrobu 3D tiskem, s možností plug-and-produce napojením na robota. V první části je uveden přehled stávajících průmyslových řešení a trendů v oblasti podtlakových úchopných hlavíc. V druhé části je popsána konstrukce CAD geometrie dílce, která umožňuje snadnou změnu parametrů modelu dle konkrétního zadání. Model umožňuje rychlé a finančně efektivní generování CAD modelů určených k výrobě technologií 3D-tisku. Koncept integruje též různé úrovně senzoričky, sloužící k sledování stavu dílce v okolí hlavice: měření vzdálenosti úchopné hlavice od dílce, určování přítomnosti dílce pod savkami, kamerový přenos scény. V závěru jsou popsány dva konkrétní příklady uplatnění a testování prvního prototypu.

Klíčová slova: dedikované úchopné hlavice, senzorička, 3D tisk, vacuum gripper

1. Úvod

Flexibilní průmyslová automatizace je v dnešní době založena zejména na využití průmyslových robotů. Nejčastější operací je manipulace objektů, která využívá různé typy úchopných hlavíc. Jednou z běžných řešení pro manipulaci objektů jsou podtlakové úchopné hlavice.

Podtlakové úchopné hlavice fungují na principu vytvoření podtlaku ve vakuovém systému (typicky v savkách či v pryžové ploše). Rozdíl tlaků vnějšího atmosférického tlaku a tlaku ve vakuovém systému způsobí vznik přídržné síly. Tato síla je závislá na více faktorech. Zásadní vliv má plocha savky a velikosti rozdílu tlaků uvnitř a vně savky. Čím větší je tento rozdíl tím větší je přídržná síla. Proto je důležité zajistit vznik kvalitního vakua v savce.

V robotice jsou pro vytvoření vakua nejčastěji využívány vakuové ejektory [1]. Jejich výhodou jsou malé rozměry, nízká hmotnost a rychlá reakce s krátkým náběhem a doběhem. Dosahovaná hloubka vakua se běžně pohybuje okolo 80 až 85 % [2]. Vznik podtlaku mezi objektem a savkou dává přímou informaci o uchopení objektu. Proto je nutné tento podtlak sledovat, a to nejčastěji pomocí tlakových čidel. Informace o podtlaku v savkách je zásadní pro manipulaci objektů.

Dalšími podstatnými informacemi pro správný průběh manipulace je například lokace objektu a vzdálenost mezi objektem a hlavicí. Pro získání těchto informací je využíváno integrované senzoričky a řídicího systému ve kterém jsou tyto informace vyhodnocovány a implementovány do průběhu činnosti robota.

Pro lepší vzhled do problematiky konstrukce a senzoričky podtlakových hlavíc je možno vycházet ze současného stavu trhu. Je nutno si uvědomit, že správná funkce podtlakové hlavice závisí na dosažení podtlaku v savkách, což je závislé i na jejich přesném dosednutí na objekt. Z toho důvodu není obvyklé univerzální řešení distribuované ve velkých sériích jako je tomu u hlavíc mechanických či magnetických (výjimkou mohou být podtlakové úchopné hlavice s pryžovými plochami které jsou nabízeny v sériích o různých velikostech).

Zásadní jsou řešení přizpůsobené pro konkrétní aplikaci zákazníka. Zde lze rozlišit dva existující způsoby. První variantou je částečně univerzální modifikovatelné konstrukční řešení. Obvykle se jedná o úchopnou hlavici s pevným základním dílcem, na který lze připojovat přípojná ramena, moduly či přímo savky. Druhou variantou je plně variabilní model pro zakázkovou výrobu, např. technologií 3D tisku.



Obr. 1. Částečně univerzální řešení piCOBOT, Piab

* Kontakt na autora: Ester.Jancarikova@fs.cvut.cz

Částečně univerzální modifikovatelné konstrukční řešení s pevným základním dílcem je nejrozšířenější variantou. Toto řešení umožňuje měnit počet, rozmístění a velikost savek v rozmezí prostoru základního dílce a přípojných ramen či modulů. V základním dílci je běžně integrován generátor vakua a tlakové spínače. Příkladem úchopných hlavice s možností napojení přípojných ramen jsou AirPick od společnosti Robotiq či piCOBOT od společnosti Piab, viz **Obr.1**. Výhodou tohoto řešení je jednoduchá a rychlá implementace do výroby a možnost částečně měnit rozložení savek i po sestavení hlavice. Nevýhodou tohoto řešení je vyšší pořizovací cena a vyšší hmotnostní a rozměrové parametry.



Obr. 2. Modulární řešení VEE, SCHMALZ

Další variantou této kategorie je modulární stavebnicová konstrukce z univerzálních dílců. Od varianty s přípojnými rameny se odlišuje zvýšenou mírou modifikovatelnosti. Příkladem je například VEE **Obr.2** od společnosti Schmalz. Toto řešení je prodáváno jako set modulů a savek. K dispozici VEE je online konfigurator, ve kterém lze snadno namodelovat optimální rozložení modulů na hlavici. Výhodou tohoto řešení je snadná a rychlá přestavba a oproti variantě s přípojnými rameny i nižší pořizovací cena.



Obr. 3 Konfigurovaná 3D tištěná hlavice SGL, SCHMALZ

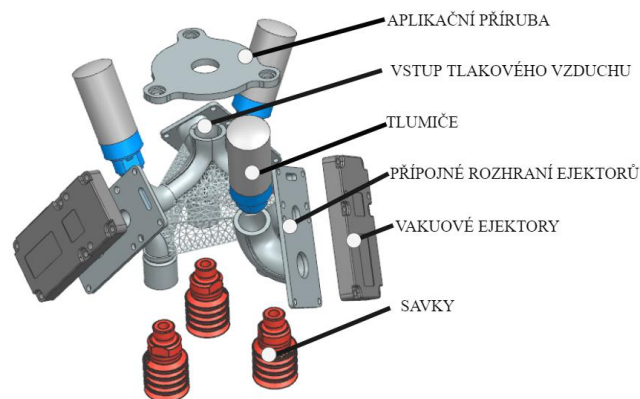
Plně zákaznické řešení vyrobené technologií 3D tisku umožňuje konfiguraci přímo dle konkrétních požadavků zákazníka. Výhodou tohoto řešení je kromě jedinečného prostorového patternu rozmístění savek také menší zástavbový prostor a nižší hmotnost. Díky stále větší dostupnosti 3D tisku je toto řešení i časově a

finančně efektivní a oproti částečně univerzálnímu řešení levnější. Příkladem jsou např. úchopné hlavice SLG SCHMALZ viz. **Obr.3**. Tyto hlavice jsou nakonfigurovány dle konkrétních požadavků zákazníka. V rámci poptávky jsou vybrány požadované parametry, jako je například váha a rozměry manipulovaného objektu a na základě nich je vygenerováno jedinečné těleso.

Uvedený přehled stavu techniky ukazuje, že na trhu je poptávka po vakuových uchopovacích hlavících. Nabídka obsahuje řešení univerzální i přizpůsobitelná specifickým požadavkům zákazníka. Cílem je vždy minimalizace hmotnosti a ceny řešení. Tyto dva požadavky, často protichůdné, vytváří potenciál pro uplatnění úchopných hlavice vytvořených dle konkrétních požadavků uživatele. Pro zajištění flexibilního návrhu a rychlé a levné realizace je uvažován modulární CAD model a výroba s využitím 3D tisku. Návrh takového řešení popisuje tento příspěvek.

2. Popis modulárního řešení hlavice

V rámci řešení návrhu podtlakové úchopné hlavice byl hledán kompromis mezi rychle a finančně efektivně dostupným modelem a modifikovatelným zákaznickým řešením, upravitelným na míru požadavkům konkrétní aplikace. Vývoj probíhal v Testbedu pro Průmysl 4.0. Hlavice je navržena pro aplikaci na robotech s nosností do 10 kg. V této kategorii je řada kolaborativních robotů a menších průmyslových robotů využívaných v automatické montáži.



Obr. 4 Popis modulární stavby tělesa s ukázkami připojovaných součástí.

Základem řešení je těleso vytvořené z modulárního CAD modelu a připravené pro výrobu 3D tiskem technologií MJF [3]. Těleso má dedikovanou přírubu pro připojení na konkrétní typ robota. Na těleso se montují savky, ejektory a volitelné senzory **Obr. 4**. Cílem je možnost rychlého vytvoření konstrukční varianty dle specifických požadavků zákazníka.

2.1 Základní těleso

Základní těleso hlavice je uvažováno jako parametrický CAD model s variabilní geometrií. Základní funkcí je možnost měnit počet ramen a s tím související počet ejektorů. Těleso je navrženo pro 2 až 6 ramen. Návrh jednoho ramena soustavy je ukázán na **Obr 5**.

Přepočet parametrů průřezu od přívodu vzduchu k ejektorům je v souladu s rovnicí kontinuity.

Charakteristickým parametrem základního tělesa je tloušťka stěny, která musí zajistit pevnost tělesa při vnitřním přetlaku. Výpočtem dle teorie otevřené tlustostěnné nádoby je odvozen vztah pro dovolený tlakový spád (1). Z něj je vyjádřen vztah pro vnější poloměr nádoby r_2 (2).

$$(p_1 - p_2)_D \leq \frac{\sigma_D}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] \quad (1)$$

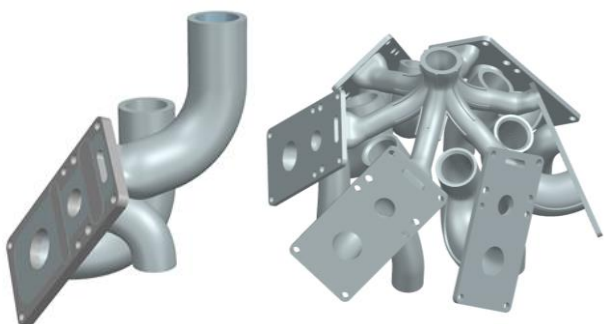
$$r_2^2 = \frac{-r_1^2}{\frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\sigma_D} - 1} \quad (2)$$

Rozdíl vnitřního poloměru r_1 a vnějšího poloměru r_2 je minimální tloušťka stěny. Pro materiál HR PA12 tisknutý metodou ASTM D638 s předpokladem vstupního tlaku 6 barů vychází minimální tloušťka stěny 0,12 mm. Z technologických důvodů je navržena tloušťka stěny 2 mm, což pevnostně vyhovuje.

K základnímu parametrickému dílci jsou dále vytvořeny další volitelné části. Jedná se zejména o přípojovací příruby, přípojná rozhraní k senzorce a výztuže.

Model je upraven pro jednotlivé modifikace prostřednictvím několika základních funkcí. Implementace modulu je možná přes funkci *Linked body*, kterou lze vložit modul do sestavy. Funkcí *Trim body* lze odstranit nevyžádané přesahy vloženého modulu do sestavy. Funkcí *Lattice* lze do modelu vložit odlehčené výztuže. Nová sestava je pak přes funkci *Unite* sjednocena a připravena na tisk.

Těleso je navrženo tak aby se v několika jednoduchých krocích dalo doplnit o potřebné moduly, sjednotit a poslat na tisk. Po dokončení návrhu CAD modelu je model vytištěn. Poslední fází úprav je finalizace přípojných rozhraní a vyřiznutí závitů. Pro správnou funkci ejektoru je zásadní utěsnění dosedacích ploch. Drsnost vytištěného dílce je pro tyto účely příliš vysoká. Finalizaci přípojných rozhraní je myšleno broušením a nanesením tenké vrstvy laku, díky čemuž je dosaženo kvalitní hladké plochy. Poté je model plně připraven na připojení ejektorů i dalších prvků pneumatického obvodu a senzorky.



Obr. 5 Jedna větev úchopné hlavice (vlevo), řešení s šesti rameny (vpravo).

2.2 Ejektor

Tvorba kvalitního vakua je pro podtlakovou hlavici zásadní. Pro aplikaci byl zvolen lokální ejektor CHIP [1] využívající pro vytváření vakua stlačený vzduch.

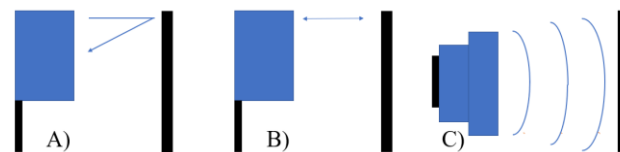
Tyto ejektory jsou standardně dodávány s přípojným rozhraním. V modelu je toto rozhraní nahrazeno vlastním lehčím přípojným interface, které je integrováno do tělesa. Důležité technické parametry jsou v **Tabulce 1**.

Tabulka 1. Technické parametry ejektoru L14A6-ZN, CHIP

Max. Vakuum [kPa]	Max. nasávané množství [NI/s] :	Rozměry [mm]	Hmotnost [g]:
-75 ÷ -95	0.5 ÷ 3	64 x 30 x 16.5	13

2.3 Senzorické vybavení

Úchopná hlavice může být vybavena různými typy senzorů pro různé pracovní úkoly. Pro správný průběh manipulace je výhodný zejména senzor vzdálenosti nebo polohy. Nejčastěji se jedná o senzory laserové nebo ultrazvukové. Ty fungují na fyzikálním principu měření časové odezvy vysílaného signálu, **Obr. 6**.



Obr. 6 Snímače vzdáleností A) laserová triangulace, B) Metoda měření letu přímého paprsku, C) Metoda měření doby letu ultrazvukového signálu.

Každý z těchto senzorů má specifika svého využití. Standardně je senzor volen na základě více požadavků, jedním z nich je množství potřebných výstupních dat. Tato data mohou být buď spojitá například údaj o výšce, nebo binární například přítomnost či nepřítomnost dílce.

Další specifickou variantou pro určení přítomnosti dílce jsou senzory kapacitní a indukční. Ty oproti výše zmíněným fungují na kratší vzdálenosti a jsou omezeny detekovaným materiálem. Poslední vybranou variantou pro určení lokace manipulovaného objektu je obrazový přenos kamerový systém. Často se tento systém umísťuje mimo hlavici robota, ale ve velmi specifických aplikacích je možné jej umístit i na hlavici.

Pro aplikaci na navržené úchopné hlavici byly vybrány senzory ze zmíněných kategorií, které jsou rozměrově optimální. K veškeré doporučené senzorce je připraveno modulární přípojná rozhraní pro jednoduché umístění na hlavici. Jedná se o následující senzory:

- Laserový triangulační senzor OD mini, SICK
- Ultrazvukový senzor UC4, SICK
- Kapacitní senzor CQF16, SICK
- Indukční senzor IM04, SICK
- Kamerový systém picoCAM, SICK

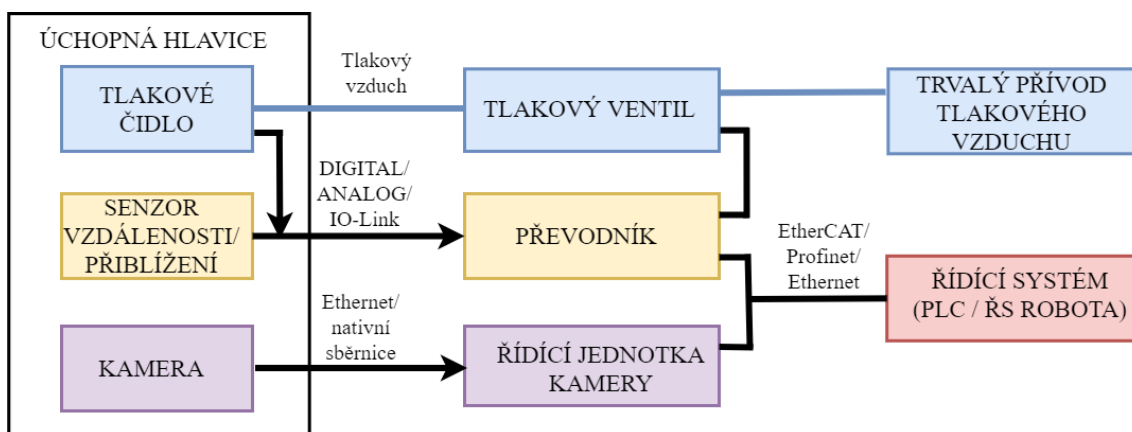
Hlavice je navržena pro umístění jednoho vybraného senzoru z výše uvedených kategorií. Tento senzor je určen pro připojení přes přípojný rozhraní do centra hlavice mezi savky. Dále je v aplikaci počítáno s integrací senzoru podtlaku, a to po jednom ke každé savce. Jedná se o standartní vybavení veškerých podtlakových hlavice. Pro kontrolu podtlaku v savkách je vybráno tlakové čidlo SPAE-V1R-S4-PNLK-2.5K [4] vhodné pro rozsah měření od 0 do -1 bar s možností jednoduchého připojení pomocí pneumatického šroubení.

2.4 Komunikační připojení na robota

Komunikace mezi řídicím systémem a hlavicí je zcela zásadní. Informace ze senzorů musí proto být vhodně zpracovány a využity. Pro snadnou implementaci návrhu do výroby je vytvořen univerzální koncept komunikace viz **Obr. 7**. Cílem tohoto konceptu je převést různé výstupní signály senzorů na jednotné rozhraní vedoucí do řídicího systému. Komunikace mezi úchopnou hlavicí a

robotem je zajištěna přes převodník, který slouží pro sjednocení různých výstupních signálů ze senzorů do jednotného výstupu, který je dále veden do řídicího systému. Tento jednotný výstup může být např. ve formě EtherCAT, Ethernet nebo Profinet protokolu. Konkrétním možným řešením je například převodník EtherCAT Coupler-EK1100 od společnosti Beckhoff [5]. Kamera je řešena zvlášť přes vlastní řídicí jednotku.

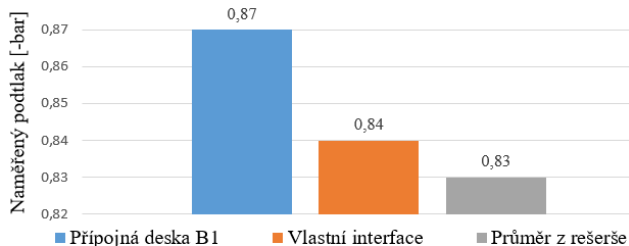
Zásadním senzorem využitým na všech variantách hlavice je tlakové čidlo, která dává informaci o nasátí jednotlivých savek. Vybrané tlakové čidlo SPAE-V1R-S4-PNLK-2.5K [4]. Vysílá signály ve formě digitálního výstupu. V případě zacpání savky je v komorách hlavice na které je napojeno čidlo vytvořen podtlak. Při překročení přednastavené hodnoty podtlaku se čidlo sepe a tím změni hodnotu vysílaného signálu. Díky tomu získáváme informaci o uchopení. Spínáním a rozpínáním tlakového ventilu je umožněno řídit vznik podtlaku v savkách a docílit tak kontrolovaného úchopu.



Obr. 7 Schéma komunikace úchopné hlavice s řídicím systémem

3. Ověřovací testy prototypu

Zásadní pro správnou funkci hlavice je funkce pneumatického systému, těsnění dosednutí ejektorů na navržený interface a s tím související vznik požadovaného podtlaku v savkách. Pro ověření funkce pneumatického obvodu bylo provedeno testovací měření. Testovaným prototypem byla varianta úchopné hlavice s dvěma větvemi viz **Obr.9**. Pro účely testu bylo vytištěno zkušební dvouramenné těleso.



Porovnání hodnot dosažených podtlaků [-bar]

Obr. 8 Porovnávací graf dosažených podtlaků v savkách

Měření probíhalo se vstupním tlakem 6 bar pro který je úchopná hlavice navržena. Při testování pneumatického obvodu byly kanál vedoucí k savkám

zaslepen. Vzniklý podtlak byl tedy přímo závislý na výkonu vakuového ejektoru a nebyl ovlivněn špatným přisátím savky.

Při tomto měření byla naměřená hodnota podtlaku rovna 0,84 bar. Ve srovnání s hlavicí využívající ejektorů Chip s kupovanou přípojnou hliníkovou deskou B1 byla hodnota naměřeného podtlaku lehce nižší. Ve srovnání s průmyslově nabízenými hlavicemi je však hodnota podtlaku zcela dostačující.

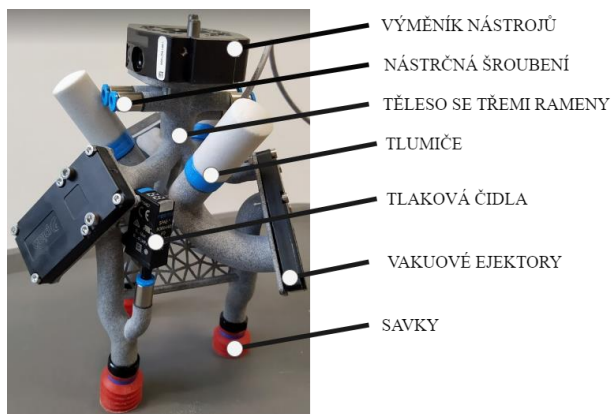


Obr. 9 Testování funkce pneumatického obvodu.

4. Příklady aplikací

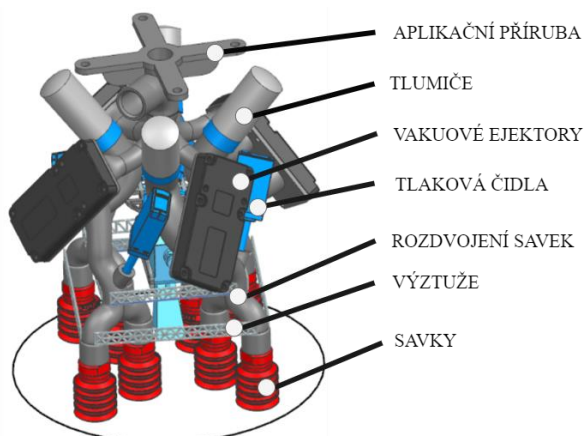
Možnosti konfigurace řešení mohou být ilustrovány na dvou konkrétních aplikačních příkladech.

Prvním příkladem je aplikace na projektu manipulace lehkých objektů (např. papírové nebo plastové sáčky s drobnými součástkami). Hlavice je navržena pro upevnění na delta robota RL5-1450-6kg. Úkolem robota je přendávání předmětů z dopravníku. Hlavice je k robotu připojena přes výměník nástrojů, tj. je možná automatická výměna hlavice. V tomto případě je vyžadována úchopná hlavice s třemi rameny a s integrovanými tlakovými čidly. Vnější rozměry válcové obálky jsou $\varnothing 136$ mm a výška 125 mm. Celková hmotnost s veškerými komponenty je 0,4 kg a kalkulovaná přídržná síla 162 N. Jednotlivá ramena jsou propojena příhradovou strukturou, aby došlo k vyztužení celé konstrukce a omezilo se kmitání jednotlivých ramen při rychlém pohybu robota. Realizované řešení hlavice je zobrazeno na **Obr. 10**



Obr. 10 Varianta úchopné hlavice s třemi rameny.

Druhým příkladem aplikace je úchopná hlavice se čtyřmi rameny určená pro angulárního robota Denso VS-087. Manipulovaným objektem jsou papírové obálky s drobnými součástkami. Řešení má nahradit podtlakovou úchopnou hlavici, která byla dosavad na projektu využívána. Jednalo se o hlavici složenou z univerzálních pneumatických komponent, které byly uchyceny na jednoduchém tištěném základním dílci. Nový návrh řešení je na **Obr. 11**.



Obr. 11. CAD model varianty úchopné hlavice se čtyřmi rameny se zdvojenými savkami.

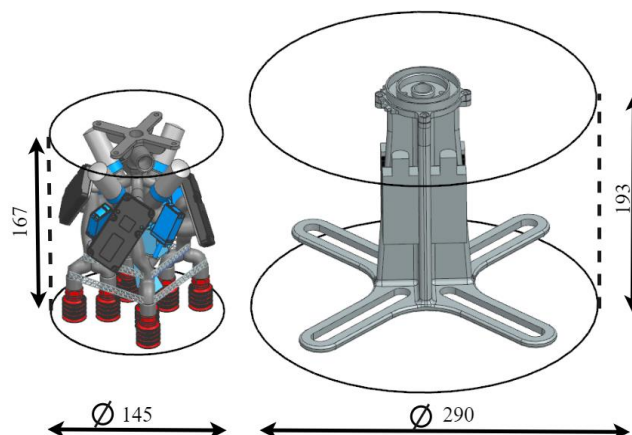
Důvodem pro nahrazení původního řešení byly zejména jeho velké hmotnosti a prostorové parametry. Hlavice byla v krátkém čase složená z univerzálních dostupných pneumatických komponent, což bylo výhodné pro otestování základních funkcí projektu, ale z dlouhodobého hlediska nevýhodné kvůli zhoršené kinematice a dynamice.

Nové řešení je oproti původnímu výrazně kompaktnější. Vnější rozměry válcové obálky nové hlavice jsou $\varnothing 145$ mm a výška 167 mm. Hmotnost celého řešení s veškerými komponenty je 0,6 kg a kalkulovaná přídržná síla hlavice s osmi savkami 430 N. Výhoda více savek není v tomto případě ve zvýšení únosnosti, ale v lepším rozložení uchopovací síly na manipulovaném objektu. Porovnání parametrů stávajícího řešení a nového návrhu je v **Tabulce 2**.

Tabulka 2 Porovnání řešení při využití standardních komponent a konfigurovaného řešení hlavice

	Stávající řešení	Nové řešení	Změna
Obálka vnějších rozměrů (válcová)	$\varnothing 290 \times 193$ (12,7 dm ³)	$\varnothing 145 \times 167$ (2,76 dm ³)	-79 %
Vlastní hmotnost	1,2kg	0,6kg	- 50 %
Změřený podtlak za ejektorem	-0,87bar	-0,83bar	- 4,6 %

Část hlavice v podobě dvou ramen byla vytištěna pro testy tvorby podtlaku, viz **Kapitola 3. obr.9** Porovnání velikostí nového řešení a stávajícího řešení jsou na **Obrázku 12**. Nahrazované řešení je vyobrazeno pouze se základním dílcem, přípojnou přírubou a ejektory. Na tomto základním dílci jsou v praxi dále upevněny univerzální pneumatické komponenty: šroubení, hadice a savky.



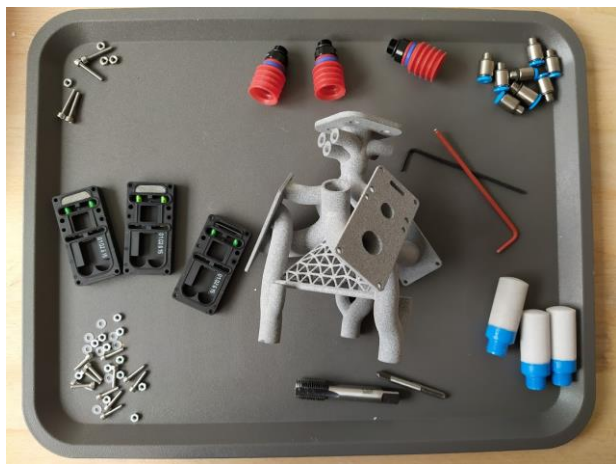
Obr. 12: Rozměrové porovnání nového řešení úchopné hlavice (vlevo) a původního řešení univerzální podtlakové úchopné hlavice (vpravo)

5. Závěr

Navržený modulární vakuový gripper je vhodným řešením pro rychlé a finančně efektivní vytváření různých konstrukčních variant podtlakové manipulační hlavice. Řešení je založeno na modulárním CAD modelu tělesa, který umožňuje podle požadavků uživatele vygenerovat potřebný tvar tělesa dle požadavků uživatele. Do tělesa je možno volitelně integrovat senzory s různými funkcemi (měření podtlaku, určení přítomnosti tělesa, měření vzdálenosti, snímání obrazu). Podtlak je vytvářen ejektory nakoupenými od existujícího dodavatele.

Funkce byla ověřena dílčími testy vakuového systému i realizací varianty celé hlavice. Dosažené hodnoty podtlaku v jednotlivých savkách jsou srovnatelné s řešením založeným na použití standardních pneumatických komponent. Tím je ověřena vyrobitelnost a funkčnost sestavy dílce vytvořeného technologií 3D tisku MJF v kombinaci s nakupovaným ejektorem.

Koncept byl využit pro návrh dvou hlavic pro dvě konkrétní aplikace. Tyto návrhy potvrzují úspěšnost navrženého konceptu, neboť vytvořené hlavice jsou menší, lehčí a byly realizovány v akceptovatelné dodací lhůtě. Řešení tedy může být výhodnou variantou využitelnou v průmyslové praxi on-demand vytvářených součástí. Hlavice sestavená z uvedených komponent může být dodávána uživateli v jednoduchém setu kompletovaném na míru. Příkladem je prototyp hlavice se třemi rameny **Obr. 13**.



Obr. 13 Modulární set konstrukční varianty s třemi ejektory

Poděkování

Článek vychází z bakalářské práce E. Jančaříkové, která je v akademickém roce 2020/2021 zpracovávána na Ústavu výrobních strojů a zařízení, FS, ČVUT v Praze. Realizace prototypů a testy byly provedeny s využitím vybavení Testbed Průmyslu 4.0 CIIRC, ČVUT v Praze. Poděkování zasluží Alexander Lazarov za odborné konzultace problematiky a výrobu zkušebních dílců technologií 3D tisku.

Seznam symbolů

p_1	vstupní tlak obvodu (Pa)
p_2	výstupní tlak obvodu, atmosférický (Pa)
σ_D	dovolené napětí (MPa)
r_1	vnitřní poloměr potrubí (mm)
r_2	vnější poloměr potrubí (mm)

Literatura

- [1] VAKUUM technik s.r.o. – Vakuové pumpy [online]. Copyright © [cit. 20.04.2021]. Dostupné z: https://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/vakuove_pumpy.pdf
- [2] Porovnání skutečných nákladů na vakuové ejektory. Portál pro strojní konstruktéry [online]. Copyright © 2013 [cit. 20.04.2021]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/porovnaní-skutecných-nákladu-na-vakuove-ejektory>
- [3] Multi Jet Fusion | MJF | 3D Printing at Materialise. Materialise | 3D Printing Innovators [online]. Copyright © Copyright Materialise [cit. 20.04.2021]. Dostupné z: <https://www.materialise.com/en/manufacturing/3d-printing-technology/multi-jet-fusion>
- [4] Tlakové čidlo SPAE-V1R-S4-PNLK-2.5K [online]. Copyright ©H [cit. 25.04.2021]. Dostupné z: <https://www.festo.com/us/en/a/download-document/datasheet/8001440>
- [5] EK1100 | EtherCAT Coupler | Beckhoff Česká republika. Object moved [online]. Copyright © Beckhoff Automation 2021 [cit. 25.04.2021]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/i-o/ethercat-terminals/ek1xxx-bk1xx0-ethercat-coupler/ek1100.html>