

# Měření čerpacích charakteristik mamutových čerpadel

Ing. Vojtěch Zejda\*<sup>1</sup>, Ing. Petr Bělohradský Ph.D.<sup>1</sup>, Ing. Lucie Houdková Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>) Ústav procesního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Česká republika; e-mail: [vojtech.zejda@vutbr.cz](mailto:vojtech.zejda@vutbr.cz)

<sup>2</sup>) KUNST, spol. s r. o., Palackého 1906, 753 01 Hranice

## Souhrn

Mamutová čerpadla patří k neodmyslitelnému zařízení ČOV. Při jejich provozu se spotřebovává nezanedbatelné množství tlakového vzduchu a vzniká tak snaha jejich provoz optimalizovat, aby čerpadla byla provozována s maximální účinností. Bylo vytvořeno experimentální zařízení, na kterém byly změřeny čerpací charakteristiky několika rozměrových řad mamutových čerpadel. Příspěvek pojednává o konstrukci tohoto zařízení a o komplikacích, které měření těchto specifických čerpadel provázely.

**Klíčová slova:** Mamutová čerpadla, čerpací charakteristiky, experimentální měření, čistírna odpadních vod

## Úvod

Jedno z důležitých hledisek k posuzování kvality technologických procesů je jeho ekonomičnost, tedy poměr vynaložených nákladů k objemu vyráběného produktu. Hledání ekonomicky výhodnějších řešení procesů provází lidstvo od pradávna, avšak v současnosti je tento trend zvyšován s ekologickými nároky. Pro optimalizaci technologických procesů je nezbytná znalost charakteristických parametrů jednotlivých aparátů.

Mamutové čerpadla jsou pro své specifické vlastnosti často používána v procesu čištění odpadních vod [1]. Jejich výkon je závislý na několika faktorech, a tak je výběr vhodného mamutového čerpadla pro danou aplikaci složitější, než u běžných čerpadel. Zjištění přesných čerpacích charakteristik tak umožní nejen jejich optimalizaci ve stávajících procesech, ale bude i možné posoudit jejich možnou použitelnost pro další aplikace.

V rámci výzkumných aktivit Ústavu procesního inženýrství Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně (dále jen ÚPI) vznikl požadavek na proměření čerpacích charakteristik pěti rozměrových řad mamutových čerpadel vyráběných společností KUNST. Tento článek pojednává o vzniku měřicího zařízení, na kterém byla čerpadla proměřena, a které umožnilo sledovat vlivy jednotlivých faktorů na výkon čerpadel.

## Popis mamutových čerpadel

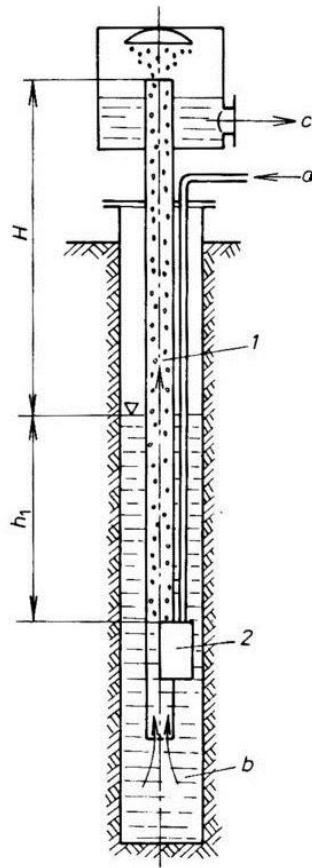
Mamutové čerpadla se řadí do kategorie proudových čerpadel [2]. Hnací médium představuje stlačený vzduch, který je pro provoz čerpadla nezbytný. Příklad jejich konstrukce znázorňuje Obr. 1, ze kterého je patrné, jak jsou tato čerpadla jednoduchá. Ačkoliv se vlastní konstrukční provedení liší (viz Obr. 2 a 3), jedná se v podstatě vždy o trubku s přívodem tlakového vzduchu u jejího dolního konce.

Funkce čerpadla spočívá v přívodu tlakového vzduchu do kapaliny, kde se vytváří bubliny. Vzniklá směs bublin vzduchu a kapaliny má menší hustotu než samotná kapalina a směs tak stoupá vzhůru výtlačným potrubím. Aby tedy čerpadlo mohlo být uvedeno do provozu, je nutné jej ponořit do určité hloubky. Hloubka ponoření a množství přivedeného vzduchu jsou tak hlavními faktory určujícími účinnost čerpadla [6].

Za hlavní výhody oproti jiným čerpadlům se u mamutových čerpadel považují:

- nízké pořizovací náklady
- bezúdržbový provoz
- spolehlivost
- vhodná do prostředí s rizikem výbuchu

- schopnost čerpat silně znečištěné kapaliny, kaly aj.
- snadná regulace
- vhodné pro dlouhodobý provoz
- možnost čerpat z velkých hloubek



**Obr. 1: Nákres mamutového čerpadla. Legenda: 1 – výtlačné potrubí, 2 – směšovací komora, a – přívod tlakového vzduchu, b – čerpaná kapalina, c – odvod vyčerpané kapaliny, H – výtlačná výška, h<sub>1</sub> – hloubka ponoru. [3]**

Za zásadní nevýhody ve srovnání s jinými čerpadly se u mamutových čerpadel uvádějí:

- nízká účinnost, (20 – 40 %)
- nutný zdroj stlačeného vzduchu
- nulový sací efekt
- nemožnost využití pro dávkování a plnění

S ohledem na přednosti i nedostatky mamutových čerpadel je jejich primární využití především na čistírnách odpadních vod, dále při čerpání různých kalových jímek nebo zatopených šachet na stavbách a v prostředích s rizikem výbuchu [6, 7].



**Obr. 2: Konstrukce mamutového čerpadla podle AQUA-STYL s trubicí čeřící vody. [4]**



**Obr. 3: Mamutové čerpadlo firmy VHZ-DIS. [5]**

## Experimentální zařízení

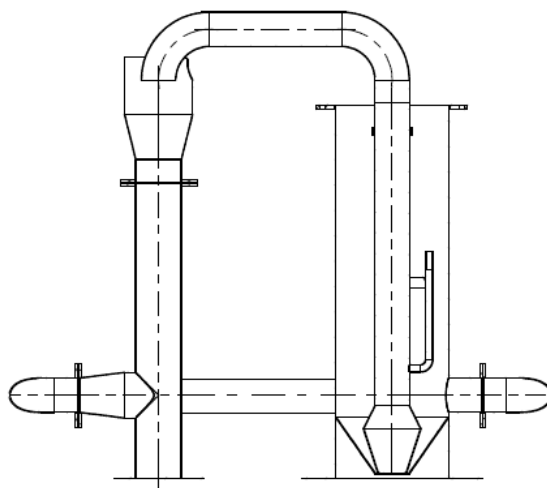
### Popis koncepce

Jak už bylo zmíněno, cílem bylo získat kompletní čerpací charakteristiky mamutových čerpadel a sledovat vlivy jednotlivých faktorů, které výkon mamutek ovlivňují. Z toho plynul základní požadavek na experimentální zařízení. Hloubka ponoru, výška výtlačku a objem dodávaného vzduchu musely být libovolně nastavitelné. Zařízení muselo být dostatečně univerzální, aby na něm bylo možné proměřit všech pět požadovaných rozměrových řad čerpadel. Dále vzhledem k celé povaze měření se požadovala co nejjednodušší montážní náročnost a v neposlední řadě i spolehlivost a bezpečnost celého zařízení.

Konečnou měřenou veličinou je podobně jako u všech jiných čerpadel průtok vytlačené kapaliny. Závislost průtoku na výtlačné výšce a na výšce sání se na měřicích standech u objemových čerpadel používá škrťacích kohoutů, které simulují tlakovou ztrátu výtlačného nebo sacího potrubí. U mamutových čerpadel tohoto způsobu však nelze použít pro přítomnost stlačitelného vzduchu v potrubí výtlačku. Z tohoto důvodu i osazení jakéhokoliv průtokoměru přímo na výtlačné potrubí je nemožné.

Proto byla navržena koncepce přečerpávání vody ve dvou spojených nádobách, kde měření průtoku bude probíhat na vratném a již nezavzdušněném potrubí spojující obě nádoby (viz obr. 4). Mamutové čerpadlo tak bude v jedné nádobě ponořeno do požadované hloubky a výtlačné potrubí bude postaveno do požadované výšky. Mamutka tak čerpá kapalinu do vedlejší nádoby, ve které dochází k odvzdušnění vyčerpávané směsi. Vlivem spojených nádob se vratným potrubím vrací k mamutce stejné množství kapaliny, které bylo vyčerpáno.

Jako pracovní kapalina se zvolila čistá voda. Praktické aplikace mamutových čerpadel sice pracují s nečistěnou vodou (nejčastěji směs vody a písku), avšak vzhledem k možnostem použitého průtokoměru i celého zařízení se zkoumání vlivu znečištěné vody na čerpací charakteristiky neuvažovalo.



**Obr. 4** Konceptní náčrtes experimentálního zařízení.

### **Použitá měřicí technika**

Pro měření průtoku ve vratném proudu byl použit ultrazvukový průtokoměr Dynasonics TFX Ultra, jehož senzory jsou upevněny z vnější strany na potrubí. Dimenze potrubí byla zvolena s ohledem na potřebnou délku uklidňovacích úseků (deseti násobek průměru potrubí před senzory a pěti násobek za nimi). Dodržení délky těchto úseků lze předpokládat dodrženu přesnost průtokoměru uváděnou výrobcem  $\pm 1 \%$ .

Pro měření průtoku dodávaného vzduchu byl využit vestavěný termický hmotnostní průtokoměr společnosti Höntzsch. Tento průtokoměr je osazen na stálý rozvod tlakového vzduchu v těžké laboratoři ÚPI.

### **Technický popis**

Vzhledem k možnostem těžké laboratoře ÚPI bylo rozhodnuto, že ponoření čerpadla bude maximálně 4 m a výška výtlačku max. 4,5 m. Od toho se odvíjely celkové rozměry zařízení, které musely být co nejmenší kvůli pracovnímu objemu kapaliny, ale zároveň dostatečné velké, aby umožnily montáž a provoz největšího mamutového čerpadla. Dalším určujícím parametrem byly uklidňovací úseky pro měření průtoku na vratném potrubí. Posledním parametrem, od kterého se odvíjely rozměry jednotlivých dílů, byl zvolený měřicí plán. Od těchto parametrů se určily všechny zbývající rozměry experimentálního zařízení, jejichž přehled je uveden v Tab. 1. Na Obr. 5 a 6 je vyobrazeno zařízení v různých fázích měření.

Všechny díly zařízení jsou vyrobeny z nerezové oceli. Hlavní nádrž, ve které je umístěné mamutové čerpadlo, má průměr 500 mm a skládá se ze základny a 4 nastavovacích dílů, z nichž dva mají délku 0,5 m a dva mají délku 1 m.

U dna hlavní nádrže je vyvedeno hrdlo pro napouštění a vypouštění vody z nádrže a hrdlo s připevněnou transparentní hadicí z PVC, která slouží jako vodoznak. Vratná nádrž má průměr 200 mm a sestává se opět ze základny, 14 nastavovacích dílů o délce 0,5 m a trychtýře. Všechny tyto díly se spojují šrouby pomocí přírub. Obě nádrže jsou spojeny vratným potrubím o průměru 150 mm, které je připojeno rovněž pomocí přírub.

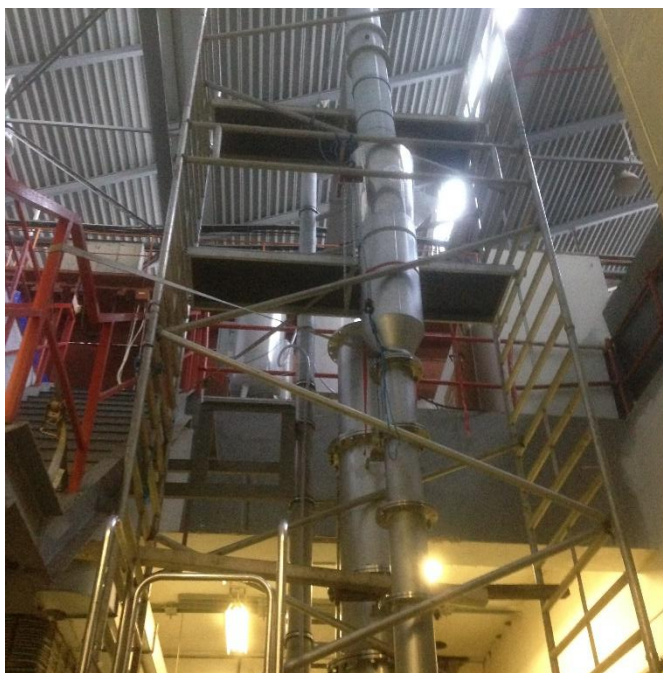
Mamutová čerpadla jsou v hlavní nádrži upevněna pomocí konzolí a objímek. Uchycení konzolí je nastavitelné podle velikosti mamutového čerpadla. Ke každé rozměrové řadě mamutky přísluší 14 kusů výtlačného potrubí o délce 0,5 m. To je vzájemně spojováno pomocí trubních spojek Normaconnect Flex. Těch je vždy ke každé rozměrové řadě 15. Jejich výhodou je menší montážní náročnost na prostor.

**Tab. 1 Přehled charakteristických rozměrů experimentálního zařízení.**

Maximální výška x šířka x délka	9,064 x 1,15 x 2,6 m
Průměr hlavní nádrže	500 mm
Průměr vratné nádrže	200 mm
Průměr vratného potrubí	150 mm
Maximální objem nádrže	1,7 m <sup>3</sup>
Hmotnost experimentálního zařízení	1041 kg
Minimální průměr mamutového čerpadla	65 mm
Maximální průměr mamutového čerpadla	150 mm
Maximální dosažený průtok vzduchu	280 Nm <sup>3</sup> /h



***Obr. 5 Zařízení při měření nejmenšího ponoru a nejmenšího výtlačku.***



**Obr. 6 Zařízení při měření největšího ponoru a nejvyššího výtlačku.**

Vzhledem k celkové výšce zařízení je vedle hlavní nádrže umístěn kotevní sloup o průměru 150 mm. Ten je ve výšce 4,6 m připevněn k pevné konstrukci v laboratoři. K tomuto sloupu je pomocí příslušných konzolí a objímek upevněn každý díl hlavní nádrže a výtlačné potrubí. Díly vratné nádrže jsou pomocí dalších konzolí upevněny k hlavní nádrži a k výtlačnému potrubí.

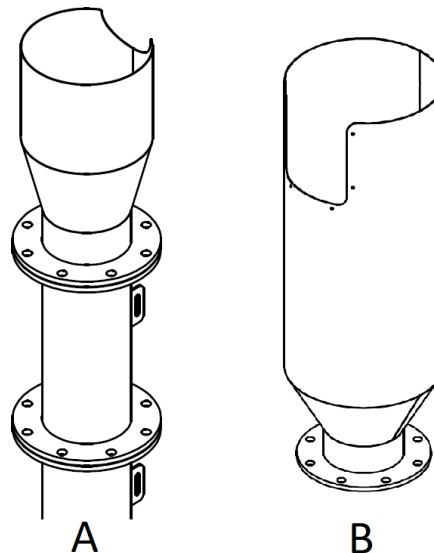
Tlakový vzduch byl do mamutky přiváděn gumopryžovou hadicí o rozměru 1". Tlakový vzduch byl primárně odebírán ze stabilního rozvodu v laboratoři, jehož průtok byl měřen hmotnostním průtokoměrem. Pomocný kompresor byl připojován při měření větších rozměrových řad mamutových čerpadel, kde už množství vzduchu z řádu nebylo dostačující. Celkový maximální průtok vzduchu byla cca 280 Nm<sup>3</sup>/h.

Celé zařízení bylo kvůli záchytu případných úniků vody postaveno na bezpečnostní záchytné jímce pro IBC kontejnery. Z bezpečnostních důvodů se vždy po měření ze zařízení vypouštěla většina vody. Aby se tato voda nemusela znovu dodávat z vodovodního řádu, což by bylo neekonomické, tak se vypouštěná voda zachytávala v IBC kontejneru, odkud se před měřením znovu přečerpala do měřícího standu.

### **Komplikace při měření a provedené úpravy**

V průběhu měření se na původním návrhu experimentálního zařízení vyskytly nedostatky, které se musely operativně vyřešit. Prvním nedostatkem, který se projevil, bylo vystřikování a přetékání vody z trychtýře vratné nádrže při větších průtocích vody a vzduchu. Zvednutí hladiny ve vratné nádrži navíc způsobilo ponoření výtlačného potrubí a vytvoření protitlaku na výtlačku. Čerpadlo tak nevytlačovalo kapalinu do volného prostředí, což vedlo ke zkreslení měřených dat.

Příčinou tohoto jevu byl příliš malý trychtýř na vratné nádrži, ve kterém nebylo dostatek prostoru na oddělení bublin vzduchu od vody a docházelo tak ke vzkypění vody ve vratné nádrži. Proto byl navržen nový trychtýř (viz Obr. 7), kterým byl ten původní nahrazen, kromě případu měření nejmenšího ponoření a nejmenší výšky výtlačku, kde se nový trychtýř pro své větší rozměry nemohl namontovat.



**Obr. 7 Úprava trychtýře vratného potrubí. A) původní trychtýř, B) nový trychtýř.**

Další problém nastal při měření výšky výtlačku 2,5 m a vyšších. Při těchto výškách docházelo k velmi nevyrovnanému toku kapaliny mezi nádržemi, což se projevilo značným kolísáním hladiny v nádržích. Za tohoto stavu se nemohly z ultrazvukového průtokoměru odečítat hodnoty a celé měření muselo být zastaveno. Příčinou tohoto jevu byla příliš úzká vratná nádrž. Vzhledem k nerovnoměrnému chodu mamutového čerpadla (který je dán z principu fungování) docházelo k nárazovému zahlcení vratné nádrže. Kinetická energie dopadající vody je navíc zvětšena výškou hrdla výtlačného potrubí nad hladinou. Vratným potrubím pak nestíhaly nárazové objemy vody protéct a docházelo k výše popsanému jevu nepravidelného průtoku a kolísání hladiny.

Aby se zabránilo tomuto jevu, bylo nutno proud padající vody z výtlačného potrubí rozrážet. K tomu se využilo plastové potrubí s regulační klapkou, které bylo ve vybavení laboratoře. Vratná nádrž s trychtýřem se tak montovala pouze do výšky hlavní nádrže. Na výtlačné potrubí se pak zavěsilo plastové potrubí s klapkou, jehož dolní konec ústil do trychtýře vratné nádrže (viz Obr. 8). Jak se zvyšovala výška výtlačného potrubí, tak se postupně prodlužovalo plastové potrubí (viz Obr. 9). Tato úprava zcela splnila svůj účel, navíc rozbíjením proudu vody docházelo k dokonalejšímu odvzdušnění a v neposlední řadě se tím i zrychlila montáž zařízení.

### **Plán měření a zpracování výsledků**

Měření čerpacích charakteristik bylo provedeno pro pět velikostí mamutových čerpadel s vodou o teplotě cca 15 °C. Plný plán měření pro jednu velikost čerpadla je shrnut v Tab. 2.

Jako nezávislé proměnné byly definovány hloubka ponoru čerpadla, výtlačná výška a průtok vzduchu. Na základě zkušeností a doporučení pracovníků společnosti KUNST byla hloubka ponoru čerpadla měněna od 1,0 m do 4,0 m a výtlačná výška od 0,5 m do 4,5 m. Průtok vzduchu se v každém měřicím bodě měnil od 0 do max. 280 Nm<sup>3</sup>/h v závislosti na velikosti čerpadla a jeho čerpacích schopnostech. Měřenou veličinou (závislou proměnnou) byl průtok čerpané vody.



***Obr. 8: Zavěšené plastové potrubí.***



***Obr. 9: Plastové potrubí při maximální výšce výtlaku.***



**Tab. 2 Plný plán měření dle hloubky ponoru čerpadla a výtlačné výšky.**

		Výtlačná výška $H$ [m]									
Hloubka ponoru $P$ [m]	1,0	0,5	1,0	1,5	–	–	–	–	–	–	–
	1,5	0,5	1,0	1,5	2,0	–	–	–	–	–	–
	2,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	–	–	–	–	–
	3,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	–	–	–
	4,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	–

Tento plný plán byl měřen jen u nejpoužívanější rozměrové řady čerpadla. Na základě změřených výsledků došlo u ostatních čerpadel k redukci počtu měření podle Tab. 3.

**Tab. 3 Redukovaný plán měření dle hloubky ponoru čerpadla a výtlačné výšky.**

		Výtlačná výška $H$ [m]									
Hloubka ponoru $P$ [m]	1,0	0,5	1,0	1,5	–	–	–	–	–	–	–
	1,5	0,5	1,0	1,5	2,0	–	–	–	–	–	–
	2,0	0,5	–	1,5	–	2,5	–	–	–	–	–
	3,0	0,5	–	1,5	–	2,5	–	3,5	–	–	–
	4,0	0,5	–	1,5	–	2,5	–	3,5	–	4,5	–

Výsledná data byla přehledně zpracována do grafů. Užitím regresní analýzy byla data proložena křivkami podle rovnice:

$$y = a + b \cdot \ln(x) + c \cdot \ln^2(x) + d \cdot \ln^3(x) + e \cdot \ln^4(x) + e \cdot \ln^5(x)$$

Kde:  $y$                       průtok vody [l/s],  
 $x$                               průtok vzduchu [Nm<sup>3</sup>/h],  
 $a, b, c, d, e, f$               regresní koeficienty modelu [-].

Regresní koeficienty se pro každou křivku čerpací charakteristiky liší. Tím byly v grafech vytvořeny kompletní čerpací charakteristiky.

## Závěr

V rámci výzkumných aktivit bylo vytvořeno experimentální zařízení, které umožnilo proměření čerpacích charakteristik různých rozměrových řad mamutových čerpadel. Při měření byly sledovány vlivy jednotlivých faktorů na vlastní čerpací výkon. Během měření vyvstaly komplikace, které se musely operativně vyřešit úpravou konstrukce experimentálního zařízení. Díky těmto úpravám mohla být proměřena všechna čerpadla v plném požadovaném rozsahu. Výsledná data byla graficky zpracována a proložena vhodnou křivkou. Díky tomuto měření lze posuzovat vliv jednotlivých faktorů na výkon mamutových čerpadel a také lze učinit energetickou a ekonomickou bilanci jejich provozu, avšak to již není předmětem tohoto příspěvku.

## Literatura

- [1] KUČEROVÁ R., FEČKO P., LYČKOVÁ B., Úprava a čištění vody. Multimediální učební texty zaměřené na problematiku úpravy a čištění vody, VŠB TU Ostrava, 2010, [online], [cit. 25. 4. 2017], dostupné z: <[homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka\\_2010/index.html](http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/index.html)>.
- [2] Druhy čerpadel, Čerpadla mamutová. [online], [cit. 12. 2. 2018], dostupné z: <[druhy-cerpadel.cz/ostatni/mamutova](http://druhy-cerpadel.cz/ostatni/mamutova)>.
- [3] KRATOCHVÍL M., Dopravní zařízení. [online], [cit. 12. 2. 2018], dostupné z: <[eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1927](http://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1927)>.
- [4] AQUA-STYL, Oficiální stránky společnosti. [online], [cit. 13. 2. 2018], dostupné z: <[aqua-styl.cz/download\\_soubor.php?id=6&modul=rubriky](http://aqua-styl.cz/download_soubor.php?id=6&modul=rubriky)>.
- [5] VHZ-DIS, Oficiální stránky společnosti. [online], [cit. 13. 2. 2018], dostupné z: <[vhzdis.eu/?product=virovy-a-vertikalni-lapak-pisku&lang=cs](http://vhzdis.eu/?product=virovy-a-vertikalni-lapak-pisku&lang=cs)>.
- [6] VOJÁČEK A., *Principy průmyslových čerpadel – 10. díl - mamutková čerpadla*. [online], [cit. 13. 2. 2018], dostupné z: <[automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-10dil-mamutkova-cerpadla](http://automatizace.hw.cz/principy-prumyslovych-cerpadel-10dil-mamutkova-cerpadla)>.
- [7] VOSÁHLO, D. Způsoby dopravy znečištěných kapalin a kalů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.