



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Ing. Luboš Hurban

Autoreferát dizertačnej práce

**Inovatívne spôsoby ochrany čerpadiel
v mokrých komorách čerpacích staníc**

Na získanie akademického titulu: „doktor“ („philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“)

V doktorandskom štúdiom programe: D-VHI4 ext - vodohospodárske inžinierstvo

V študijnom odbore: stavebníctvo

Forma štúdia: externá prezenčná

Miesto a dátum: v Bratislave 05.2024



Dizertačná práca bola vypracovaná na Slovenskej technickej univerzite v Bratislave, Stavebnej fakulte, Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva.

Predkladateľ: Ing. Luboš Hurban
Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľka: doc. Ing. Jarmila Božíková, PhD.
Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva
Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Autoreferát k dizertačnej práci rozoslaný:

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa: **o** **hod.**
na Katedre zdravotného a environmentálneho inžinierstva, Stavebná fakulta, Slovenská
technická univerzita, Radlinského 11, 810 05 Bratislava

.....
Prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.

Dekan fakulty

Abstrakt

V súčasnosti sa ochrana čerpadiel sústreďuje na zachytávanie tuhých častíc. V čerpacích staniciach odpadových vôd sa v súčasnosti používajú hrablicové koše a manuálne alebo automatické hrablice a sitá. Súčasná technológia preto vyžadujú častý zásah obsluhy do procesu. Dlhodobé a komplexné skúsenosti s prevádzkovaním takýchto čerpacích staníc však ukazujú, že spomínané zariadenia majú značné nevýhody. Najväčšou nevýhodou je manipulácia so zachytenými tuhými časticami (zhrabkami), ktoré musia byť dopravené na skládky odpadu alebo do čistiarne odpadových vôd.

To všetko zvyšuje prevádzkové náklady čerpacích staníc, nakoľko časté výjazdy pracovníkov údržby k servisu sú finančne náročné. Manipulácia so zhrabkami a čistením čerpadiel navyše často vedie k znečisteniu okolia čerpacej stanice odpadovou vodou.

Úlohou dizertačnej práce, bude nájsť riešenie ochrany čerpadiel pred upchávaním, ktoré bude prijateľné pre životné prostredie a navyše povedie k zníženiu prevádzkových nákladov samotnej čerpacej stanice.

Kľúčové slová

Čerpacia stanica odpadových vôd, prevádzkovanie čerpacích staníc, problémy pri prevádzkovaní čerpacích staníc, zhrabky, dĺžkový odpor (tlakové straty trením), miestny odpor (miestne straty trením), čerpadlá, ochrana čerpadiel

Abstract

At present bar screen and manual or mechanically scraped bar screens or sieves are used for capturing solid particles in wastewater pumping stations. Accordingly, current technologies require frequent human intervention into the process. However, long-term and comprehensive experiences in operating such pumping stations show that devices suffer from significant drawbacks. Necessary handling of caught solid particles (rakings) that have been removed from the pumping station and transported to waste dump or wastewater treatment plant is a disadvantage of baskets, bar screens and sieves.

In these cases, operation services of pumping stations are financially demanding due to frequent dispatch of maintenance workers to pumping stations. Handling the rakings and pump cleaning often result in contamination of surroundings of a pumping station by wastewater.

The task of the dissertation will be to find an environmentally friendly solution for the protection of pumps from clogging, which will also lead to a reduction in the service costs of the pumping station itself.

Keywords

Sewage pumping station, operation of wastewater pumping stations, problems in the operation of sewage pumping stations, scraps, pressure losses (longitudinally and locally), pumps, pump protection

1. ÚVOD

Čerpacia technika ako súhrnný názov pre hydraulické systémy čerpadiel, potrubí, armatúr a nádrží je relatívne samostatný odbor. Jeho poslaním je navrhovať, konštruovať, skúšať a prevádzkovať zariadenia na dopravu kvapalín.

Úsilie o modernizáciu, intenzifikáciu a efektívnosť národného hospodárstva sa výrazne odráža aj v požiadavkách na čerpaciu techniku. Hydraulické systémy dopravy kvapalín sa uplatnili v rôznych odvetviach národného hospodárstva ako celok alebo ako dôležitá časť väčšieho technologického komplexu. Využívajú sa najmä v zásobovaní obyvateľstva vodou, v chemickom a potravinárskom, energetike, závlahových systémoch v poľnohospodárstve, hydraulickej doprave tuhých látok atď. Súčasne so vzrastom počtu týchto systémov sa zväčšujú aj ich rozmery, investičné náklady, materiálová a energetická náročnosť. Preto je oprávnená požiadavka intenzifikácie práce týchto systémov a ich technicko-ekonomická optimalizácia.

V zariadeniach čerpacej techniky sa často stretávame s malou celkovou hospodárnosťou dopravy kvapaliny, aj keď vlastné čerpadlo vykazuje dobrú účinnosť. Stav, keď sa nadmerne zhoršujú energetické pomery nevhodným projektovým riešením, respektíve zlou prevádzkou pre budovanie nových zariadení je neprijateľný.

Požiadavky na intenzifikáciu práce a zväčšovanie zariadení čerpacej techniky sa prejavujú zvýšením vplyvov dynamických účinkov, najmä pri časovo premenlivých režimoch. Vzniknuté tlakové pulzácie môžu mnohonásobne prevýšiť tlaky a sprostredkovane aj mechanické namáhanie systému proti pomerom pri časovo ustálenom režime, a viesť aj k deštrukcii zariadenia.

Investičná, projektová a konštrukčná činnosť v čerpacej technike tvorí dôležitú a rozsiahlu oblasť. Treba ju chápať nielen z hľadiska uvedených technických problémov, ale treba mať na zreteli aj ekonomické otázky a spoločenské záujmy a ich dôsledky.

Pri voľbe systému čerpacej techniky pre dané pomery vždy o výber takej alternatívy riešenia, ktorá v súvislosti so zabezpečením požadovaných funkcií a parametrov vykáže počas životnosti zariadenia najnižšie náklady na prepravu žiadaného množstva kvapaliny, často pri časovo premenlivých režimoch.

Pokrok v rozvoji výrobných zariadení a iných oblastí ľudskej činnosti vytvára stále rozsiahlejšie, zložitejšie a ekonomicky náročnejšie systémy. Pri riešení týchto systémov treba trvalo uplatňovať systémový prístup. Pritom treba brať zreteľ na tri základné vlastnosti systému: **celok zložený z rôznorodých elementov (prvkov), vzájomné väzby i ovplyvnenia prvkov, cieľové parametre a správanie systému.** [1]

2. CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Hlavnými cieľmi dizertačnej práce sú vývoj nového typu zariadenia pre ochranu obežných kolies čerpacích agregátov v mokrych komorách kanalizačných čerpacích staníc. Jeho odskúšanie v laboratórnych podmienkach a nasledovná verifikácia v praxi.

Medzi dôležité ciele dizertačnej práce patrí:

- Stanovenie charakteristík vplyvu vyvíjaného zariadenia na prúdenie v hydraulickom systéme,
- Získanie patentu
- Vyhodnotenie skúšobnej prevádzky v reálnej čerpacej stanici.

Ciele práce boli zvolené takým spôsobom, aby korešpondovali so zadaním dizertačnej práce pre objasnenie riešenej problematiky. Výstupy práce bude možné použiť, ako v praxi, tak na ne bude možné nadviazať v ďalšej výskumnej činnosti.

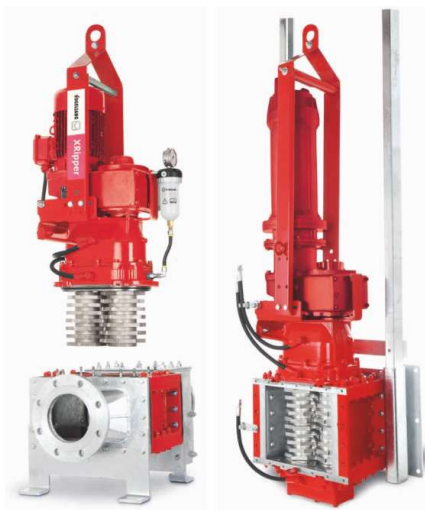
3. SÚČASNÝ STAV POZNANIA OCHRANY ČERPADIEL V MOKRÝCH KOMORÁCH KANALIZAČNÝCH ČERPACÍCH STANÍC

Na zachytenie pevných častí v čerpacích staniciach odpadových vôd sa v súčasnosti využívajú najmä zariadenia, ktoré:

- Filtrujú nátok odpadovej vody na obežné koleso čerpadla (Obr. 1)
- Drvia znečistenie na prijateľnú veľkosť v závislosti od priechodnosti obežného kola čerpadla (Obr. 2) alebo sa navrhujú čerpadlá s tzv. veľkou priechodnosťou (Obr. 3)
- Inovatívne spôsoby ako napríklad tzv. suché čerpacie stanice (Obr. 5), elektronicky regulovaný chod čerpadla, v prípade zisteného upchatia obežného kola čerpadla tzv. Concertor od spoločnosti Flygt (Obr. 6)



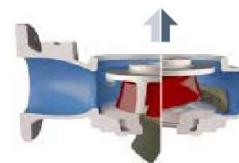
Obr. 1 Strojne stierané hrablice [1]



Obr. 2 Strojny drvič znečistenia [2]



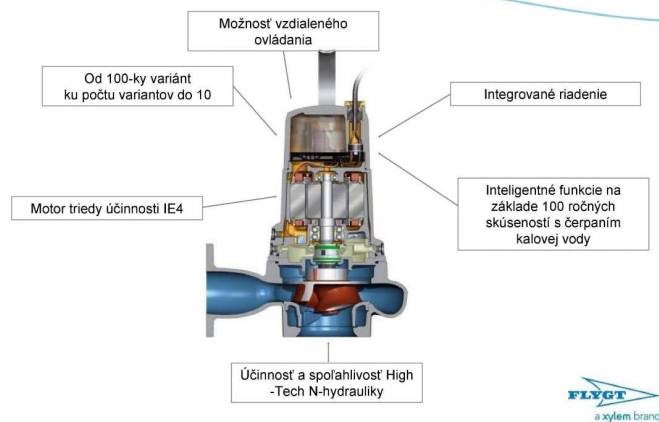
Obr. 3 Upchatie čerpadla s výtlačnou stranou DN150_ČS 5 Ivanka pri Dunaji



Obr. 4 Princíp funkcie adaptívneho obežného kola čerpadla [3]



Obr. 5 Separáčna čerpacia stanica [4]



Obr. 6 Schematický rez čerpadlom Concertor [5]

4. VÝVOJ NOVÉHO TYPU OCHRANY ČERPADIEL V MOKRÝCH KOMORÁCH KANALIZAČNÝCH ČERPACÍCH STANÍC

Každé z vyššie uvedených zariadení má svoj nesporný pozitívny vplyv na chod čerpacej techniky v čerpacích staniách, ale na druhej strane má aj svoje značné slabé stránky.

Po dlhoročnej práci v projekcii a následne v realizácii sme s kolegami rozmýšľali či by sa nedalo vymyslieť také zariadenie, ktoré v čo možno najväčšej miere využije pozitívne funkcie jedného, spojí ich s pozitívnymi funkciami druhého práve preto aby sa v konečnom dôsledku eliminovali slabé stránky oboch.

A tak sa zrodila myšlienka vytvoriť v podstate separačnú čerpaciu stanicu (pracovný názov PumpProtector), ktorá by však mohla byť osadená v existujúcich mokrých komorách čerpacích staníc, bez nutnosti dodatočných stavebných úprav, investičných nákladov na realizáciu nových akumuláčnych komôr a popri prípade aj s využitím pôvodnej čerpacej techniky.

4.1 DEFINOVANIE OKRAJOVÝCH PODMIENOK

Na začiatku vývoja boli zedefinované okrajové podmienky:

- Ochrana čerpadiel do veľkosti výtlačnej strany dimenzie DN150 (vrátane), nakoľko sú známe prípady upchatia čerpadla tejto dimenzie (viď obr. 3). Po konzultáciách s prevádzkovateľmi čerpacích staníc sú upchatia už pri dimenzii výtlačnej strany DN200 a viac ojedinelé, preto je neefektívne riešiť ich ochranu,

- Z hľadiska možnosti osadenia strojného vybavenia vyvíjanej separačnej stanice je minimálny požadovaný priemer mokrej komory ČS na úrovni $\Phi 1600$ mm (maximálny priemer nie je nutné stanoviť),
- Maximálny počet nátokových potrubí do mokrej komory ČS v počte 3
- Existujúce výtlačné potrubie z ČS je dimenzie minimálne rovnakej ako guľová priechodnosť osadeného čerpaceho agregátu
- Čerpadlá sú v zapojení 1 pracovný stroj + 1 inštalovaná rezerva
- Vyvíjané zariadenie musí zahŕňať separačnú komoru, opatrenú výtlačným potrubím na odvod odpadových vôd do stokovej siete,
- Vyvíjané zariadenie musí zahŕňať prívodné potrubie, napojené na separačnú komoru, na prívod odpadových vôd s pevnými časticami do separačnej komory,
- Vyvíjané zariadenie musí zahŕňať spätný ventil, usporiadaný medzi prívodným potrubím a separačnou komorou, na zabránenie spätného prúdenia odpadových vôd do prívodného potrubia,
- Vyvíjané zariadenie musí zahŕňať obojsmerné potrubie, napojené na separačnú komoru, na spojenie separačnej komory s čerpadlom, kde obojsmerné potrubie slúži na prívod odpadových vôd zo separačnej komory do čerpadla umiestneného v mokrej akumuláčnej komore a na spätný odvod odpadových vôd z čerpadla do separačnej komory a do výtlačného potrubia,
- Vyvíjané zariadenie musí zahŕňať separátor tuhých látok, usporiadaný medzi separačnou komorou a obojsmerným potrubím, na zachytenie pevných častíc obsiahnutých v odpadovej vode v separačnej komore,
- Obojsmerné potrubie a výtlačné potrubie sú usporiadané tak, že ústia do separačnej komory oproti sebe v spodnej časti separačnej komory.

4.2 PODSTATA TECHNICKÉHO RIEŠENIA (PUMP PROTECTOR)

Odpadová voda, obsahujúca pevné častice, pritekajúca cez nátokové potrubie do mokrej akumuláčnej komory je namiesto toho usmernená do separačnej komory PumpProtector-a prívodným potrubím. Zo separačnej komory voda ďalej preteká cez separátor tuhých častíc, cez obojsmerné potrubie a cez čerpadlo až do mokrej akumuláčnej komory. Separátor pevných častíc zachytí pevné častice, čím dôjde k ich akumulácii v separačnej komore. Častice s vyššou objemovou hmotnosťou (piesok, štrk) ako čerpané médium sa hromadia vplyvom sedimentácie na dne separačnej komory a neprechádzajú ďalej na obežné koleso čerpadla. Pri zapnutí čerpadla je voda pod tlakom čerpaná späť z mokrej akumuláčnej komory cez obojsmerné potrubie, separátor pevných častíc a separačnú komoru do výtlačného potrubia a ďalej do stokovej siete. Spätným čerpaním odpadových vôd zároveň dochádza k premytiu separátora pevných častíc. Spätný ventil (plávajúca nerezová guľa so sedlom) zamedzí spätnému prúdeniu odpadovej vody do prívodného potrubia.

Pevnou časticou sa rozumie pevná častica rozmerov presahujúcich hodnoty priechodnosti obežného kolesa čerpadla inštalovaného v čerpacej stanici, respektíve častica ktorá môže spôsobiť obrus lopatiek obežného kolesa čerpadla. Pevnou časticou môže byť napr. piesok, štrk ale aj textilie, hygienické vreckovky, fólie rôzneho druhu, zhluky rôznorodých látok a pod.

Výhodne je separačná komora v podstate tvaru valca, ktorý môže byť usporiadaný vertikálne alebo horizontálne. Separacia komora obsahuje, vrchnú časť, dno a bočnú stenu/steny. Separacia komora ďalej obsahuje otvory pre príslušné potrubia.

Obojsmerné potrubie a výtlačné potrubie sú napojené v spodnej časti separačnej komory tak, že ich ústia sú situované, oproti sebe, krížom cez separačnú komoru. Spodná časť separačnej komory, znamená priestor bezprostredne nad dnom separačnej komory. Toto usporiadanie má za následok, že s čerpanou odpadovou vodou sú pevné častice akumulované na dne separačnej komory vytlačené zo separačnej komory do výtlačného potrubia a dopravené ďalej do stokovej siete respektíve do čistiarne odpadových vôd. Tým dochádza k samočisteniu separačnej komory od odseparovaných pevných častíc.

Výhodne je prírodné potrubie situované tak, že ústi do separačnej komory z jej vrchnej časti. Spätný ventil môže pozostávať napr. zo sedla a plávajúcej gule. Tlak vody pri čerpaní pritlačí plávajúcu guľu do sedla, čím zamedzí spätnému prúdeniu odpadovej vody.

Výhodne, výtlačné potrubie smeruje z bočnej steny komory najprv šikmo hore pod uhlom 30° až 70° vzhľadom na dno separačnej komory, ešte výhodnejšie pod uhlom 50° a potom je zakrivené tak, že smeruje kolmo hore. Výhodou tohto usporiadania je, že potrubie neobsahuje pravý uhol, a pevné častice sú tlakom vody bez problémov vytlačené cez výtlačné potrubie.

Podľa ďalšieho výhodného uskutočnenia, je obojsmerné potrubie rozvetvené. Jedna vetva ústí cez bočnú stenu do spodnej časti separačnej komory, rovnako ako v predchádzajúcom prípade, a druhá vetva ústí cez bočnú stenu do hornej časti separačnej komory. Horná časť separačnej komory, znamená priestor separačnej komory pod spätným ventilom. Obe vetvy sú napojené na separačnú komoru cez samostatný separátor pevných častíc. Rozvetvenie obojsmerného potrubia do dvoch výškových úrovní má za následok zlepšenie hydraulických pomerov v separačnej komore. Pri zopnutí čerpadla je časť prietoku pod tlakom cez jednu vetvu obojsmerného potrubia privedená do hornej časti separačnej komory, a časť prietoku je pod tlakom cez druhú vetvu obojsmerného potrubia privedená do spodnej časti separačnej komory. Tým dochádza k premiešaniu obsahu separačnej komory v tesnom okamihu pred samotným vytlačením zachytených pevných častíc do výtlačného potrubia. Pri takomto riešení sa samočistiaci účinok ešte zvýši a riziko, že separacia komora nebude úplne vyčistená od odseparovaných pevných častíc je minimálne.

Ďalšou výhodou rozvetveného obojsmerného potrubia, je väčšia filtračná kapacita zariadenia ktorá sa vysporiada aj s prípadným výskytom nárazovo väčšieho množstva naplavených pevných častíc. Tento stav nie je v bežnej praxi prevádzkovania kanalizácií ničím výnimočným. Nahromadenie pevných častíc na dne separačnej komory, môže mať za následok čiastočné alebo úplné znepriatočnenie (upchatie) prvého oddeľovača pevných častíc, umiestneného v spodnej časti separačnej komory. Pri rozvetvenom obojsmernom potrubí však filtrácia odpadovej vody bude pokračovať cez druhý separátor pevných častíc, ktorý je umiestnený v hornej časti separačnej komory a cez hornú vetvu obojsmerného potrubia. Po zopnutí čerpadla dôjde spätným čerpaním odpadových vôd k premytiu separátorov a k vyčisteniu separačnej komory.

Podľa ďalšieho výhodného uskutočnenia prírodné potrubie je vo forme nátokového žľabu. Steny nátokového žľabu sú od určitej výšky opatrené filtračnými perforáciami. Funkciou žľabu je jednak usmernenie vody do separačnej komory, ale zároveň aj zachytenie a prefiltrovanie prívalových vôd cez perforácie v bočných stenách žľabu. Veľkosť perforácií v bočných stenách žľabu je dimenzovaná podľa hodnoty priechodnosti obežného kolesa čerpadla inštalovaného v čerpacej stanici. Usporiadanie perforácií na stenách, ich množstvo

a rozloženie je dané podľa hodnoty maximálneho kritického nátoku do čerpacej stanice. To znamená, že priemerný denný prietok je bezpečne nátokovým žľabom privedený do separačnej komory a prípadný kritický prítok je cez filtračné perforácie odvedený priamo do mokrkej akumulačnej komory, aby nenastalo zahlienie separačnej komory. Filtračné perforácie zabránia prechodu pevných častíc rozmerov väčších ako je priechodnosť obežného kolesa čerpadla do akumulačnej komory a tieto sú žľabom odvedené do separačnej komory.

Akumulačná komora môže obsahovať aj viac čerpadiel, v tom prípade je každé čerpadlo opatrené samostatným zariadením podľa vynálezu. Tieto zariadenia však môžu zdieľať jedno prírodné potrubie, respektíve nátokový žľab.

Oddeľovačom pevných častíc môže byť napr. sito s veľkosťou otvorov, ktoré sú dimenzované podľa hodnoty priechodnosti obežného kolesa čerpadla. Nevýhodou sita je že sa rýchlo upchá najmä ak sa v odpadovej vode nachádzajú textilie alebo jednorazové hygienické utierky a pod. Taktiež pri spätnom čerpaní odpadových vôd dochádza len k čiastočnému premytiu oddeľovača, pretože uvedené textilie majú tendenciu sa do sita zamotať.

Podľa výhodného uskutočnenia zariadenie podľa vynálezu môže obsahovať tyčový separátor pevných častíc. Tyčový separátor pozostáva z rámu opatreného po vnútornom obvode tyčami minimálne dvoch dĺžok. Rám môže byť s výhodou tvaru medzikružia. Alternatívne, vonkajší obvod rámu môže byť štvorcového, obdĺžnikového alebo iného geometrického tvaru. Tyče sú na ráme, usporiadané striedavo (dlhá, krátka, dlhá, krátka). Tyče lúčovito vystupujú z roviny rámu na jednu stranu pod uhlom tak, že plocha preložená ich povrchmi vytvára zrezaný kužeľ alebo ihlan. Tyče sú usporiadané tak, aby priestor medzi hociktorými dvoma tyčami nepresiahol rozmer na ktorý je dimenzovaná hodnota priechodnosti obežného čerpadla. V praxi sa vzdialenosť medzi tyčami pohybuje vo rozmedzí 15 až 100 mm. Dĺžky tyčí môžu byť napr.: 20 a 50 mm, 20 a 60mm, 15 a 60mm, 20 a 80mm a pod. Dĺžka jednotlivých tyčí je predovšetkým závislá na priechodnosti obežného kolesa čerpadla. Takýto tyčový separátor pevných častí je uložený medzi prírubou obojstranného potrubia a prírubou separačnej komory tak, že tyče smerujú do priestoru separačnej komory. Tyčový oddeľovač môže byť z výhodou opatrený prostriedkami na uchytenie v prírube napr. vo forme otvorov. Tyčový oddeľovač môže byť z výhodou opatrený aspoň jednou drážkou na uloženie tesnenia.

Výhodou tyčovej konštrukcie separátora je, že sa zväčší jeho filtračná plocha, čo má za následok zníženie rizika upchania separátora. Taktiež, pri spätnom čerpaní odpadových vôd dochádza k lepšiemu premytiu separátora, pretože textilie majú tendenciu z tyčí sklznúť.

Čerpadlo je obvyčajne umiestnené na dne mokrkej akumulačnej komory a k obojstrannému potrubiu zariadenia podľa vynálezu môže byť napojené rozoberateľným spojmom cez potrubie čerpadla. Výtlačné potrubie zariadenia môže byť napojené rozoberateľným spojmom na výtlačné potrubie čerpacej stanice. Dĺžky jednotlivých potrubí závisia od hĺbky čerpacej stanice a vzdialenosti nátokového potrubia odpadovej vody od dna čerpacej stanice.

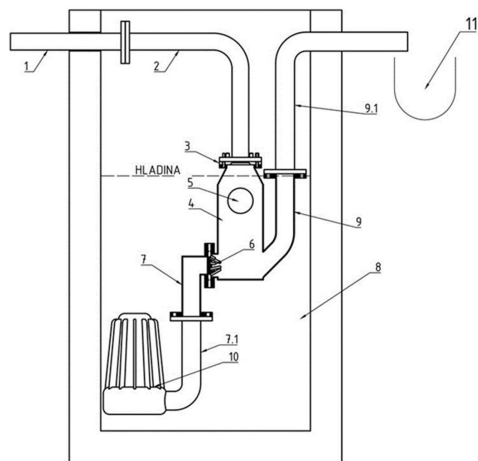
Pre lepšiu manipuláciu pri inštalovaní zariadenia podľa vynálezu do čerpacej stanice sú obojsmerné potrubie a potrubie čerpadla, ako aj výtlačné potrubie a výtlačné potrubie čerpacej stanice spojené rozoberateľnými spojmi v blízkosti separačnej komory.

4.3 TEORETICKÉ PŘÍKLADY USKUTOČNENIA VYNÁLEZU

Na obr. 7 je znázornený prvý príklad zariadenia na ochranu čerpadla odpadových vôd, ktoré obsahuje separačnú komoru 4 v podstate vo forme vertikálne uloženého valca. Táto

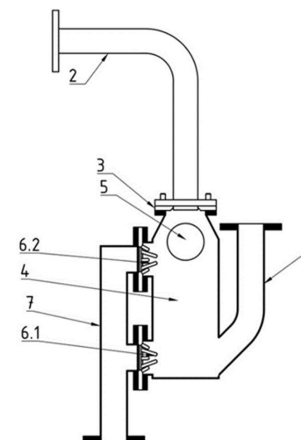
separačná komora je vo svojej spodnej časti opatrená výtlačným potrubím komory 9, ktoré je ďalej napojené rozoberateľným spojom na výtlačné potrubie čerpacej stanice 9.1, ktoré je ďalej napojené na stokovú sieť 11. Zariadenie podľa vynálezu ďalej obsahuje prívodné potrubie 2, napojené na nátokové potrubie 1. Prívodné potrubie 2 je z druhej stany napojené zvrchu na separačnú komoru 4 na prívod odpadových vôd do separačnej komory 4. Medzi prívodným potrubím 2 a separačnou komorou 4 sa nachádza spätný ventil na zabránenie spätnému prúdeniu odpadových vôd do prívodného potrubia 2. Tento ventil pozostáva zo sedla 3 usporiadaného na prívodnom potrubí 2 a zodpovedajúcej plávajúcej gule 5 umiestnenej v separačnej komore 4. V spodnej časti separačnej komory 4, oproti ústiu výtlačného potrubia komory 9, je na komoru 4 pripojené obojsmerné potrubie 7. Toto obojsmerné potrubie 7 je napojené na potrubie čerpadla 7.1 a spája zariadenie podľa vynálezu s čerpadlom 10 uloženým v mokrej akumuláčnej komore 8. Medzi separačnou komorou 4 a obojsmerným potrubím 7 je usporiadaný tyčový separátor (oddeľovač) 6 pevných častíc. Úlohou tyčového oddeľovača 6 pevných častíc je zachytenie pevných častíc obsiahnutých v odpadovej vode v separačnej komore 4.

Pri prevádzke zariadenia, tečie odpadová voda zo separačnej komory 4, cez tyčový oddeľovač 6 pevných častíc, obojsmerným potrubím 7 do čerpadla 10 a následne do mokrej akumuláčnej komory 8. Pevné častice obsiahnuté v odpadovej vode sú odfiltrované oddeľovačom 6 pevných častíc a hromadia sa na dne separačnej komory 4. Keď hladina vody v mokrej akumuláčnej komore 8 dosiahne nastavenú zapínaciu hladinu čerpadlo 10 sa zopne. Po zopnutí čerpadla 10 je odpadová voda z mokrej akumuláčnej komory 8 čerpaná späť čerpadlom 10 cez obojsmerné potrubie 7 a tyčový oddeľovač 6 pevných častíc do separačnej komory 4. Zvyšujúca sa hladina čerpanej odpadovej vody v separačnej komore 4 pritlačí plávajúcu guľu 5 na sedlo 3, čím uzavrie priechod do prívodného potrubia 2. Čerpaná voda zo separačnej komory 4 ďalej pokračuje do výtlačného potrubia komory 9 a ďalej do výtlačného potrubia čerpacej stanice 9.1. Pevné častice akumulované na dne separačnej komory 4 sú tlakom čerpanej vody taktiež vytlačené zo separačnej komory 4 do výtlačného potrubia 9 komory a cez výtlačné potrubie čerpacej stanice 9.1 dopravené ďalej do stokovej siete 11.



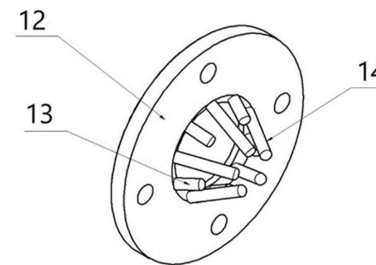
Obr. 7 prvý príklad uskutočnenia vynálezu

Druhý príklad uskutočnenia vynálezu je na obr. 8. Je tu zobrazené výhodné uskutočnenie zariadenia podľa vynálezu, kde zariadenie obsahuje všetky časti zariadenia podľa príkladu 1. Zariadenie sa od zariadenia podľa príkladu 1 líši v tom, že obojsmerné potrubie 7 je rozvetvené. Jedna vetva ústí do spodnej časti separačnej komory 4, tak ako v príklade 1, a druhá vetva ústí do hornej časti separačnej komory 4. Obe vetvy sú napojené na separačnú komoru cez samostatný tyčový oddeľovač 6.1, 6.2 pevných častíc.



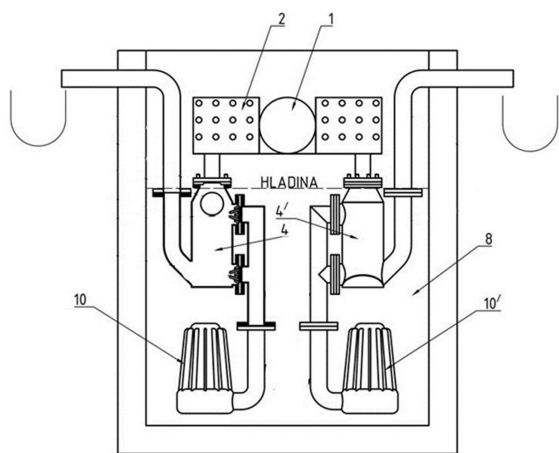
Obr. 8 druhý príklad uskutočnenia vynálezu

Na obr. 9 je zobrazený tyčový separátor/oddeľovač pevných častíc, ktorý pozostáva z rámu 12 v tvare medzikružia, kde uvedené medzikružie je po svojom vnútornom obvode opatrené tyčami 13 a 14 minimálne dvoch dĺžok. Tyče sú na ráme, usporiadané striedavo (dlhá, krátka, dlhá, krátka). Tyče zároveň lúčovito vystupujú z roviny rámu na jednu stranu pod uhlom tak, že plocha preložená ich povrchmi vytvára zrezaný kužeľ. Tyče sú usporiadané tak, aby priestor medzi hociktorými dvoma tyčami nepresiahol rozmer na ktorý je dimenzovaná hodnota priechodnosti obežného čerpadla. V praxi sa vzdialenosť medzi tyčami pohybuje vo rozmedzí 15 až 100 mm.



Obr. 9 Separátor / oddeľovač pevných častíc

Na obrázku 10 je zobrazený tretí príklad zapojenia zariadení podľa vynálezu v mokrej akumuláčnej komore, ktorá obsahuje dve čerpadlá. Zariadenia podľa vynálezu sú podobné ako zariadenie opísané v príklade 2. Zariadenia sa od zariadenia v príklade 2 líšia v tom, že obsahujú len jedno spoločné privodné potrubie 2 vo forme nátokového žľabu. Nátokový žľab je napojený na nátokové potrubie 1. Steny nátokového žľabu sú od určitej výšky opatrené filtračnými perforáciami. Veľkosť perforácií je dimenzovaná podľa hodnoty priechodnosti obežného kolesa čerpadiel 10 a 10'. Usporiadanie perforácií v bočných stenách žľabu je dané hodnotou maximálneho kritického nátok do čerpacej stanice. To znamená, že perforácie sú usporiadané v takej výške steny žľabu, že priemerný denný prietok je nátokovým žľabom bezpečne privedený do separačných komôr 4 a 4' a prípadný kritický prítok je cez perforácie odvedený priamo do mokrej akumuláčnej komory 8.



Obr. 10 tretí príklad uskutočnenia vynálezu

Zoznam vzťahových značiek:

- 1 – nátokové potrubie
- 2 – privodné potrubie
- 3 – sedlo spätného ventilu
- 4 – separačná komora
- 5 – plávajúca guľa
- 6 – Mattosieve
- 6.1 – prvý Mattosieve
- 6.2 – druhý Mattosieve
- 7 – obojsmerné potrubie
- 7.1 – potrubie čerpadla
- 8 – mokrá akumuláčna komora čerpacej stanice
- 9 – výtlačné potrubie komory
- 9.1 – výtlačné potrubie čerpacej stanice
- 10 – čerpadlo

- 11 – stoková sieť
- 12 – rám tyčového oddelovača pevných častíc
- 13 – krátka tyč oddelovača
- 14 – dlhá tyč oddelovača

4.4 PRACOVNÝ MODEL VYVÍJANÉHO ZARIADENIA

Teóriu je nutné otestovať v laboratóriu a tak musel vzniknúť aj skúšobný model zariadenia, ktorého úlohou je testovať rôzne prevádzkové stavy, ktoré nastávajú v reálnej prevádzke kanalizačnej siete.

Model je zostrojený v reálnej veľkosti (viď. obr. 11, 12). Pozostáva z čerpacieho bazéna, systémového čerpacieho agregátu Flygt DP 3069 LT3 413, 1,5 kW, 50Hz, pomocného čerpacieho agregátu, zariadenia PumpProtector, výtlačného potrubia so spätnou klapkou a indukčným prietokomerom Acquamag F4022, nátokového žľabu. Konfigurácia zariadení vychádzala z okrajovej podmienky, aby sa simulovaný nátok na zariadenie čo najviac priblížil reálne vyskytujúcim sa nátokovým stavom v reálnej kanalizačnej ČS.

Z dôvodu úspor množstiev vody pri testovaní je celý systém zokruhovaný. A to dvoma spôsobmi:

- a) takým spôsobom, že výtlačné potrubie je zaústené späť do nátokového žľabu cez deflektor (viď. obr. 11). To znamená, že čerpané množstvo vody počas testu je opätovne prečerpávané do nátokovej časti žľabu. Týmto spôsobom je možné testovať dlhodobé správanie sa celého systému. Cyklické striedanie času čerpania a času „filtrácie“ v rozličných dĺžkach, pri rozličnej frekvencii činnosti motora systémového čerpacieho agregátu, zloženia a množstva nečistôt ... atď.
- b) Takým spôsobom, že výtlačné potrubie je zaústené späť do čerpacieho bazéna cez zachytý kôš pre nečistoty (viď. obr. 12). Navyše je v čerpacom bazéne osadené aj pomocné čerpadlo, ktorého úlohou je prečerpávať vodu z čerpacieho bazéna do nátokového žľabu. Takto je možné vyhodnocovať účinnosť prečerpávania nečistôt (zhrabkov) dočasne zachytených v separačnej komore PumpProtector-a ako aj splaveninový režim nečistôt (zhrabkov) v nátokovom žľabe a v neposlednom rade vplyv samotného zariadenia na priebeh odporov (strát) na dopravnej výške čerpacieho agregátu. To všetko pri možných zmenách prietochného množstva, čerpaného množstva - zmenách frekvencie činnosti motora systémového čerpacieho agregátu a množstve respektíve zložení znečisťujúcich látok.

Riadenie chodu čerpadla frekvenčným meničom je cez riadiaci ovládač, v ktorom je možné nadefinovať rôzne okrajové podmienky pre funkciu systému (nábehová frekvencia motora, čas trvania nábehovej frekvencie motora, požadovaná frekvencia motora pri ustálenej prevádzke, čas chodu čerpadla v ustálenej prevádzke, čas nečinnosti medzi jednotlivými čerpacími cyklami, atď.).

Vďaka indukčnému prietokomeru je zase umožnené sledovať aktuálne aj súčtové čerpané množstvá vód systému ako aj rýchlosť prúdenia.



Obr. č. 11 pracovný model vo verzii so zaústením výtláčného potrubia späť do nátokového žľabu



Obr. č. 12 pracovný model PumpProtector vo verzii so zaústením výtláčného potrubia späť do čerpacej bazény

4.5 VÝPOČET ODPOROV PRE PUMPPROTECTOR

Pre správny návrh čerpacej techniky v rámci návrhu celého systému so zaradením zariadenia PumpProtector je nevyhnutné stanovenie odporovej charakteristiky samotného zariadenia PumpProtector.

Stanovenie odporovej charakteristiky prebiehalo využitím už vyššie spomínaného skúšobného modelu. Na začiatku sú stanovené nasledovné okrajové podmienky a predpoklady:

- Zariadenie PumpProtector vytvára odpor v prúde tekutiny
- Sú známe charakteristiky Q-H kriviek systémového čerpadla pre rozličné frekvencie činnosti motora
- Je známa geodetická dopravná výška systému čerpania H_g [m]
- Čerpaním skúšobnej tekutiny v súčinnosti s meraním prietoku a prúdiacej rýchlosti tekutiny cez geometricky jasne definovaný potrubný systém a pri rovnakých fyzikálnych podmienkach (teplota skúšobnej tekutiny, objemová hmotnosť skúšobnej tekutiny, dynamická viskozita, kinematická viskozita atď.) najskôr bez zariadenia PumpProtector a následne so zaradením PumpProtector-a zistíme rozdiely, ktoré sú vstupom pre požadovaný výpočet odporovej charakteristiky zariadenia PumpProtector
- Získané krivky „potrubia“ pre prípad bez zaradenia PumpProtector-a a so zaradením do čerpacej sústavy je možné matematicky definovať a doplniť do grafu Q-H kriviek systémového čerpadla
- Späť je možné odrátať resp. vypočítať celkové dopravné výšky systémového čerpadla pre oba merané resp. výpočtové stavy (viď. Graf 1)
- Ak sú známe celkové dopravné výšky pre čerpač sústavu, je možné stanoviť miestne odpory (straty) a odpory (straty) po dĺžke

Miestny odpor samotného zariadenia PumpProtector (h_{mpp}) teda stanovíme ako rozdiel nameraných resp. vypočítaných celkových dopravných výšok pre čerpané množstvá potrubím s PumpProtector-om a celkových dopravných výšok potrubím porovnávacím.

Pre stanovenie miestnych odporov pri známej geometrii potrubia platí vzťah:

$$h_m = \xi * P * \frac{v^2}{2g} \quad (4.1)$$

Kde ξ – súčiniteľ miestnej straty [-]

P – počet pôvodcov miestnych strát [ks]

v - rýchlosť prúdenia [m/s]

g – tiažové zrýchlenie [m/s²]

V našom prípade $h_m = h_{mpp}$ tzn.:

$$\xi_{pp} = \frac{h_{mpp}}{P * \frac{v^2}{2g}} \quad (4.2)$$

Potrubie s PumpProtector-	Q_{pp} [l/s]	2,00	4,00	6,00	6,65	7,59	8,71	9,73	10,28	11,64
	H_{pp} [m]	0,60	0,65	0,70	0,71	0,74	0,86	0,99	1,06	1,27
	v_{pp} [m/s]	0,60	1,21	1,81	2,01	2,29	2,62	2,93	3,10	3,51
	H_{mpp}	0,007	0,029	0,066	0,080	0,105	0,139	0,171	0,191	0,250
	$v_{2/2g}$	0,019	0,074	0,167	0,205	0,267	0,351	0,438	0,489	0,627
	súčiniteľ miestneho odporu ξ_{pp}	0,398	0,391	0,396	0,390	0,393	0,396	0,390	0,391	0,399
	Q_b [l/s]	2,00	4,00	6,00	6,65	7,59	8,71	9,73	10,28	11,64
Potrubie bez PumpProtector-a	H_b [m]	0,5926	0,621	0,629	0,63	0,633	0,723	0,815	0,869	1,02
	v_b [m/s]	0,6042	1,2066	1,809	2,004	2,287	2,625	2,932	3,098	3,508

Tabuľka 1 Prepočet súčiniteľa miestneho odporu ξ_{pp} pre PumpProtector

Z priloženej tabuľky 1 je zrejmé, že zariadenie PumpProtector produkuje odpor v prúde na úrovni súčiniteľa miestneho odporu $\xi_{pp} = 0,4$.

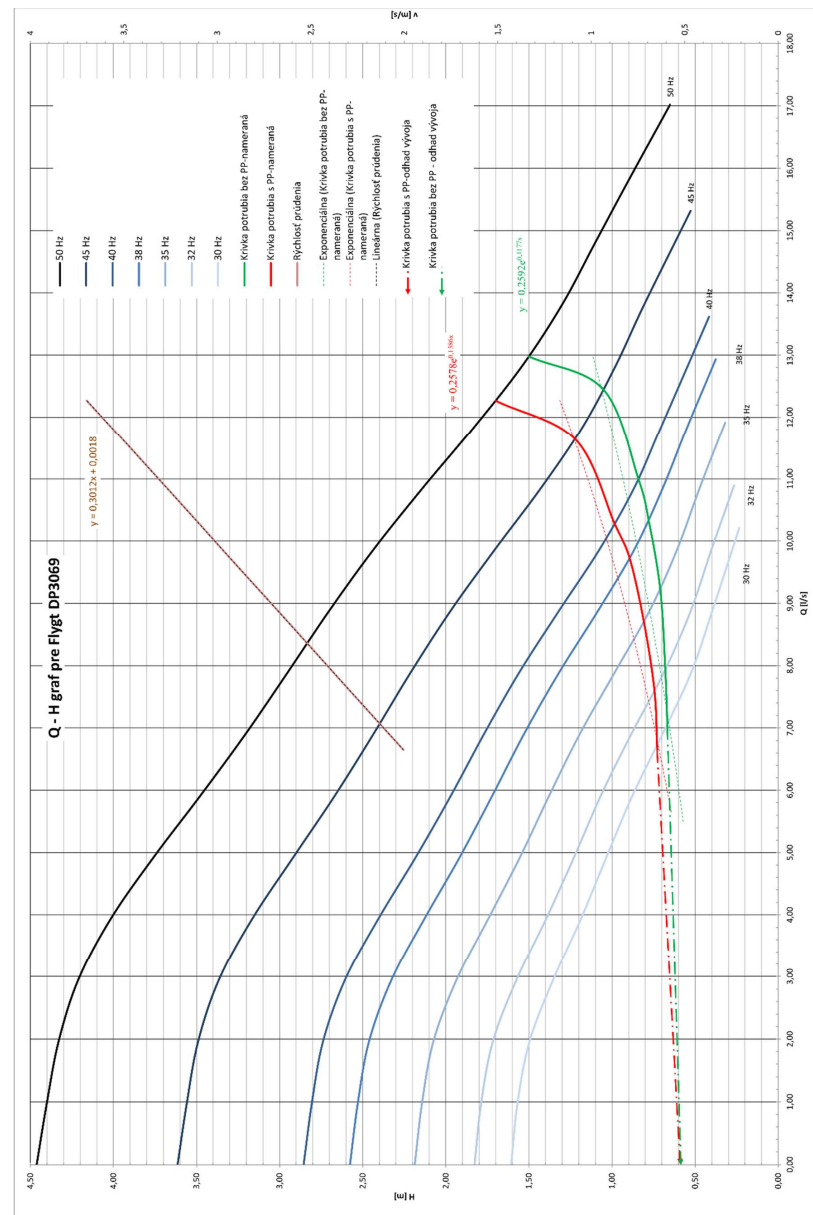
Môže sa zdať, že sa jedná o veľmi malé číslo, ale je tento stav je zrejme spôsobený tým, že samotná separačná časť PumpProtector a sa chová minimálne pri nábehu čerpaceho cyklu ako expanzná nádoba a tým akoby sa bránilo nadmernému zvýšeniu tlaku prúdiacej kvapaliny v systéme (ten sa tým pádom udržuje v optimálnejšom spektre). Tomu nasvedčujú aj získané poznatky z reálnej praxe.

4.6 POROVNANIE REÁLNYCH PREVÁDZKOVÝCH NÁKLADOV PRI ČS S PUMPPROTECTOROM A BEZ NEHO

V spolupráci so spoločnosťou Vodárne a kanalizácie Stupava (ďalej len VaK), boli vytypované dve čerpace stanice v ich majetku, ktoré sú svojou geometriou, veľkosťou spádovej oblasti, zastúpením občiansko-technickej vybavenosti, strojno-technologickým vybavením a nákladmi na prevádzku veľmi podobné.

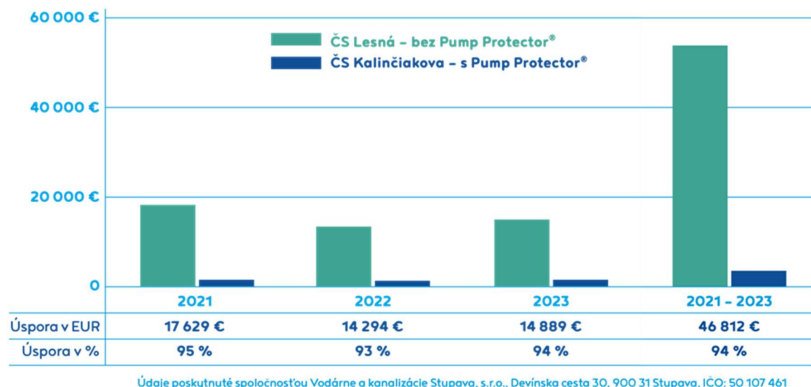
Jedná sa o čerpace stanice s pracovným označením „Lesná“ a „Kalinčiakova“ v meste Stupava. Po dohode so spoločnosťou VaK Stupava s.r.o., bola ešte v roku 2021 do ČS Kalinčiakova osadená dvojica zariadení PumpProtector – tzn., že pre každý jeden čerpadlový agregát 1 ks. ČS Lesná ostala bezo zmien.

Obe predmetné čerpace stanice boli sledované pracovníkmi VaK Stupava s.r.o. po dobu troch rokov (2021 – 2023). V rámci svojej evidencie porovnávali množstvo nútených výjazdov na obe ČS – tzn. porucha čerpadla, porucha na potrubí, vyberanie a odvoz zhrabkov, čistenie ČS atď., ako aj spotrebované množstvo elektrickej energie na oboch čerpacích staniciach.



Graf. 1 Porovnanie aktuálne čerpaných množstiev pre oba sledované typy výtlačného potrubia

Na základe takto nazbieraných údajov spoločnosti Vak Stupava s.r.o. vznikol graf 2, ktorý vyjadruje dosiahnutú úsporu na prevádzkových nákladoch čerpacej stanice s osadeným zariadením PumpProtector.



Graf 2 Priebeh úspory na prevádzkových nákladoch ČS Kalinčiakova oproti ČS Lesná Stupava

5. ZÁVER

Napriek enormnej rýchlosti vývoja, nárastu kvality, zlepšovania účinnosti a energetickej bilancie čerpacích agregátov, prax nás učí, že tieto samotné nie sú vždy schopné zabezpečiť bezproblémové prečerpávanie odpadových vôd najmä z dôvodu prítomnosti vlákňitého inertného znečistenia v odpadovej vode (textilné utierky, handry...). Toto znečistenie sa navíja na obežné kolesá čerpadiel (nezáležiac od geometrie obežného kolesa _ kanálové obežné koleso, vortexové obežné koleso...) a znemožňuje ich rotáciu, čím vystavuje samotné čerpadlo riziku poruchy, respektíve sa zvyšuje energetická spotreba prevádzky a znižuje sa účinnosť čerpadla.

Preto je riešenie ochrany hydraulického časti čerpadiel stále viac ako potrebným segmentom v rámci bezproblémovej prevádzky čerpacích staníc odpadových vôd.

V rámci teoretickej časti dizertačnej práce som sa snažil rešeršovať poznatky o teórii prúdenia kvapalín a popísať momentálne známe spôsoby riešenia problematiky ochrany čerpadiel s ich kladnými, ale aj zápornými vlastnosťami.

V praktickej časti je podrobne popísaný celý postup vývoja nového zariadenia pre mechanickú ochranu hydraulického časti čerpadiel PumpProtector od návrhu, cez výrobu až po skúšanie.

Skúšky zariadenia prebiehali či už na skúšobnom modeli, ale aj v praxi – v reálnej čerpacej stanici. Výsledkom teoretických skúšok na skúšobnom modeli bolo získanie odporových charakteristík navrhovaného zariadenia, overenie jeho funkčnosti pri rôznych záťažových stavoch, čo najviac približujúcich sa realitu, stanovenie účinnosti zachytávania nečistôt z odpadovej vody, či preukázanie materiálovej odolnosti PumpProtector-a.

Výsledkami z praxe sa zase potvrdilo, že zariadenie má svoje opodstatnenie a pri správnom návrhu môže viesť k významným prevádzkovým úsporám v porovnaní s momentálne používanými spôsobmi riešenia prečerpávacích staníc odpadových vôd.

Dôkazom, že sa jedná o jedinečné zariadenie, je aj udelenie patentov a ochranných známok ako Európsky patent (EP3724508), Euro-Azijský Patent (no. 202091338), Ukrajinský patent (no. 125915) a US patent (no. 11512715). Samozrejmosťou je úžitkový vzor číslo 8245 úradu priemyselného vlastníctva SR. Tieto sú prílohou dizertačnej práce.

Bezproblémové odvádzanie najmä odpadových vôd je výsostne dôležité pre zdravé životné prostredie, preto je nutné robiť maximum preto, aby sme ho snažili dosiahnuť.

ZOZNAM POUŽITÝCH NORIEM A LITERATÚRY

- [1] VERTICAL BAR SCREENS THE BEST SOLUTION, IF YOU THINK ABOUT CLEAN WATER, 05.2018, [online] dostupné z: <https://www.in-eko.com/products/fine-pre-treatment/>
- [2] TWIN-SHAFT GRINDER FOR SEWER AND WWTP, XRipper, 2023, [online], dostupné z: <https://www.vogelsang.info/int/products/grinders/xripper/>
- [3] Flygt N-pump Series Self-cleaning pumps with sustained high efficiency, FB002-Flygt N - Pump Series Brochure, 7.2015, NACT [online]. Dostupné z: https://www.xylem.com/siteassets/brand/flygt/resources/flygt-resources/fb002-896876_flygt_n-pump_series.pdf[4] KSB AMADS-Type Series Booklet AmaDS3, 21.04.2011, [online], dostupné z: <https://www.ksb.com/en-no/lc/products/system/solids-separation-system/amads3/A56A>
- [5] Flygt Concertor ® 6020 WASTEWATER PUMPING SYSTEM WITH BUILT-IN INTELLIGENCE, 2023, [online], Dostupné z: <https://www.xylem.com/en-au/products--services/pumps--packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/flygt-concertor/concertor-xpc/documentation/>
- [6] STN 75 6100 EN 752-2008 Stokové siete a systémy kanalizačných potrubí mimo budov
- [7] STN 75 61 01-2002 Stokové siete a kanalizačné prípojky
- [8] Colebrook, C.F.: Turbulent flow in pipes, with particular referenceto the transitionregion between the smooth and rough in pipe laws. Journal Inst. Civ. Eng. 11 (1938-39)

ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ SÚVISIACICH S DIZERTAČNOU PRÁCOU

- [I] Hurban, Ľuboš - Rusnák, Roman - Božíková, Jarmila, Innovative ways of protection the wastewater pumps for wet accumulation chambers. In: WITTMANOVÁ, Réka; MARKO, Ivana; RÓZSA, Gergely; HRUDKA, Jaroslav. *Proceedings from 10th Conference of Young Researchers - KOMY 2021*. Bratislava: Spektrum STU, 2021, s. 58--63. ISBN 978-80-227-5092-9.
- [II] EUROPEAN PATENT SPECIFICATION EP 3 724 508 B1
- [III] UNITED STATES PATENT APPLICATION PUBLICATION, PUB. NO.: US 2020/0370568 A1, PUB. DATE: NOV. 26, 2020
- [IV] EURASIAN PATENT ORGANISATION NO. 202091338 A1
- [V] PATENT Č. 125915 PRE ÚZEMIE UKRAJINY