


6			
5			
4			
3	REVIZE 01	11.05.2023	Ing. Kuba, Ph.D.
2	ČISTOPIS	06.01.2023	Ing. Kuba, Ph.D.
1	VERZE KE KONTROLE	07.12.2022	Ing. Kuba, Ph.D.
REVIZE	POPIS	DATUM	SCHVÁLIL

Sweco Hydroprojekt a.s. Ústředí Praha Táborská 31, 140 16 Praha 4; praha@sweco.cz; www.sweco.cz				SWECO 		
VYPRACOVAL	Doc. Ing. Havlík, CSc.	HIP	Ing. Rinn	T. KONTROLA	Doc. Ing. Havlík, CSc.	
PROJEKTANT	Doc. Ing. Havlík, CSc.	ŘEDITEL DIVIZE	Ing. Hanák	DATUM	01/2023	
OBJEDNATEL	Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.			OKRES	BRNO	
AKCE: Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE				ČÍSLO ZAKÁZKY	12 2127 01 02	
				STUPEŇ	DPS	
				FORMÁT	105x A4	
				ARCHIVNÍ ČÍSLO	009422/22/1	
ČÁST STAVBY				SO/PS		
PŘÍLOHA: VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY				ČÍSLO PŘÍLOHY	S0.3	i
						1

Tato dokumentace včetně všech příloh (s výjimkou dat poskytnutých objednatelem) je duševním vlastnictvím akciové společnosti Sweco Hydroprojekt a.s. Objednatel této dokumentace je oprávněn ji využít k účelům vyplývajícím z uzavřené smlouvy bez jakéhokoli omezení. Jiné osoby (jak fyzické, tak právnické) nejsou bez předchozího výslovného souhlasu objednatele oprávněny tuto dokumentaci ani její části jakkoli využívat, kopírovat (ani jiným způsobem rozmnožovat) nebo zpřístupnit dalším osobám.

Poznámka: Podpisy zpracovatelů jsou připojeny pouze k výtisku číslo 01 nebo originálu přílohy (matrici).

OBSAH / SEZNAM PŘÍLOH

strana

1	VSTUPNÍ ÚDAJE.....	3
1.1	Základní údaje	3
1.1.1	Hydraulické výpočty trubních tras pro dopravu kalů	3
1.1.2	Hydraulické výpočty trubních tras provozní vody.....	3
1.1.3	Hydraulické výpočty trubní trasy pitné vody	3
2	HYDRAULICKÉ VÝPOČTY ČERPÁNÍ KALŮ.....	4
2.1	Provedení odběru vzorků a reometrické měření	4
2.2	Výsledky určení hustoty kalové směsi	10
2.3	Výsledky určení reologických parametrů vzorků kalů	11
2.4	Shrnutí výsledků určení reologických parametrů	16
2.5	Hydraulický výpočet trubních tras	17
2.5.1	Trasa č. 1 – Vyhníly kal s tepelným výměníkem	19
2.5.2	Trasa č. 2 – Vyhníly kal do uskladňovací nádrže	25
2.5.3	Trasa č. 3 – Vyhníly kal do odvodnění	31
2.5.4	Trasa č. 4 – Přebytný kal z dosazovacích nádrží.....	38
2.5.5	Trasa č. 5 – Zahuštěný sekundární kal	43
2.5.6	Trasa č. 6 – Směsný kal do vyhnívací nádrže	50
2.5.7	Trasa č. 7 – Čerpání fugátu v objektu SO4000 a SO2300	58
2.5.8	Trasa č. 8 – Čerpání kondenzátu.....	63
2.5.9	Trasa č. 9 – Čerpání fugátu potrubím v kolektoru.....	72
2.5.10	Trasa č. 10 – Zahuštěný primární kal.....	77
2.6	Seznam odborné literatury	77
3	HYDRAULICKÉ VÝPOČTY TRUBNÍ TRASY PROVOZNÍ VODY	79
3.1	Hydraulické výpočty ČS 1400A	80
3.2	Hydraulické výpočty ČS 1400C	81
3.2.1	Stávající stav potřeb provozní vody	81
3.2.2	Souběh potřeb provozní vody v průběhu výstavby	84
3.2.3	Výhledový stav potřeby provozní vody.....	87
4	HYDRAULICKÉ VÝPOČTY ROZVODU PITNÉ VODY	89
4.1	Popis hydraulických výpočtů rozvodu pitné vody.....	89
4.1.1	Stávající dimenze napojovacího potrubí	89
4.2	Hydraulické výpočty rozvodu pitné vody s hydranty	93
4.3	Hydraulické posouzení hydrantu v trubním rozvodu užitkové vody.....	98
5	SEZNAM OBRÁZKŮ	103
6	SEZNAM TABULEK	104
7	SEZNAM PŘÍLOH.....	105

1 VSTUPNÍ ÚDAJE

1.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE

ČOV Brno Modřice se používá k čištění odpadních vod, které jsou přiváděny z Brna a blízkého okolí jednotnou kanalizací, viz B Souhrnná zpráva. Hydraulické výpočty se zabývaly jednak čerpáním kalů, které v rámci čistírenského provozu vznikají, a dále čerpáním provozní vody, resp. rozvodem vody pitné.

1.1.1 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY TRUBNÍCH TRAS PRO DOPRAVU KALŮ

Hydraulické výpočty se zabývaly čerpáním kalů, které v rámci čistírenského provozu vznikají. Aby se specifikovaly základní fyzikální parametry kalu, které jsou k posouzení systému čerpadlo – výtlačné potrubí nezbytné, provedlo se reometrické měření vzorků kalů. V následujících kapitolách budou uvedeny hlavní výsledky a doporučení.

1.1.2 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY TRUBNÍCH TRAS PROVOZNÍ VODY

Hlavním cílem hydraulických výpočtů systému provozní vody bylo posouzení stávajících čerpacích stanic ČS 1400A a ČS 14 00C. Obě čerpací stanice byly posouzeny nejen pro stávající požadavky na čerpání provozní vody, nýbrž rovněž pro výhledové požadavky (i s ohledem na průběh výstavby). Hlavní výsledky a doporučení jsou uvedeny v následujících kapitolách.

1.1.3 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY TRUBNÍ TRASY PITNÉ VODY

Hlavním cílem hydraulických výpočtů systému trubního rozvodu pitné vody bylo posouzení tlakových poměrů, které jsou požadovány v napojovacím uzlu stávajícího distribučního vodovodního řadu. Kromě toho se výpočet zabývá posouzením hydraulické funkce vnějších hydrantů. Hlavní výsledky a doporučení jsou uvedeny v samostatné kapitole.

2 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY ČERPÁNÍ KALŮ

K hydraulickému výpočtu čerpání čistírenských kalů je třeba znát jejich tokové vlastnosti. Po dohodě s provozovatelem zpracovatel navrhl, aby byly v definovaných místech odebrány vzorky jednotlivých typů kalů a u těchto vzorků se zjistila hustota a reologické parametry. Vlastní odběry vzorků a reometrické měření bylo provedeno ve spolupráci s prof. Ing. Dr. V. Matouškem ve dnech 6., 7. a 9.6.2022. U vzorků byla v laboratoři ČOV Brno Modřice určena rovněž sušina, viz níže.

2.1 PROVEDENÍ ODBĚRU VZORKŮ A REOMETRICKÉ MĚŘENÍ

K reometrickému měření byly vybrány následující typy kalů:

- Zahuštěný primární kal (**ZPK**) – gravitačně zahuštěný kal s předpokládaným obsahem sušiny až 8 %. V textu se rovněž používá označení ZPRiK,
- Směsný kal (**SK**) – čerpaný z homogenizační směšovací jímky do vyhnívacích nádrží, předpokládaný obsah sušiny až 8 %,
- Zahuštěný přebytečný sekundární biologický kal (**ZSK**) – zahuštěný odstředivkou s předběžně neznámým obsahem sušiny,
- Vyhnílý kal (**VK**) odváděný z vyhnívacích nádrží s předpokládaným obsahem sušiny 6 %,
- Odvodněný vyhnílý kal (**OK**), odvodněný odstředivkami a čerpaný do sušárny kalu, předpokládaný obsah sušiny až 25 % (určení reologických parametrů přichází v úvahu jen, pokud bude možné reometrické měření vůbec provést).

Vzorky kalů byly odebírány v různých objektech v rámci kalového hospodářství ČOV. Odběrná místa byla zvolena tak, aby byla zajištěna co možná největší homogenita vzorků např. za čerpadly, viz Obrázek 1. Vzorky vyhnílého kalu byly odebírány ze tří vyhnívacích nádrží, odtud označení vzorků VK1, VK2 a VK3.



Obrázek 1: Odběrná místa ZPK (vlevo nahoře), SK (vpravo nahoře), ZSK (vlevo dole), VK3 (vpravo dole).

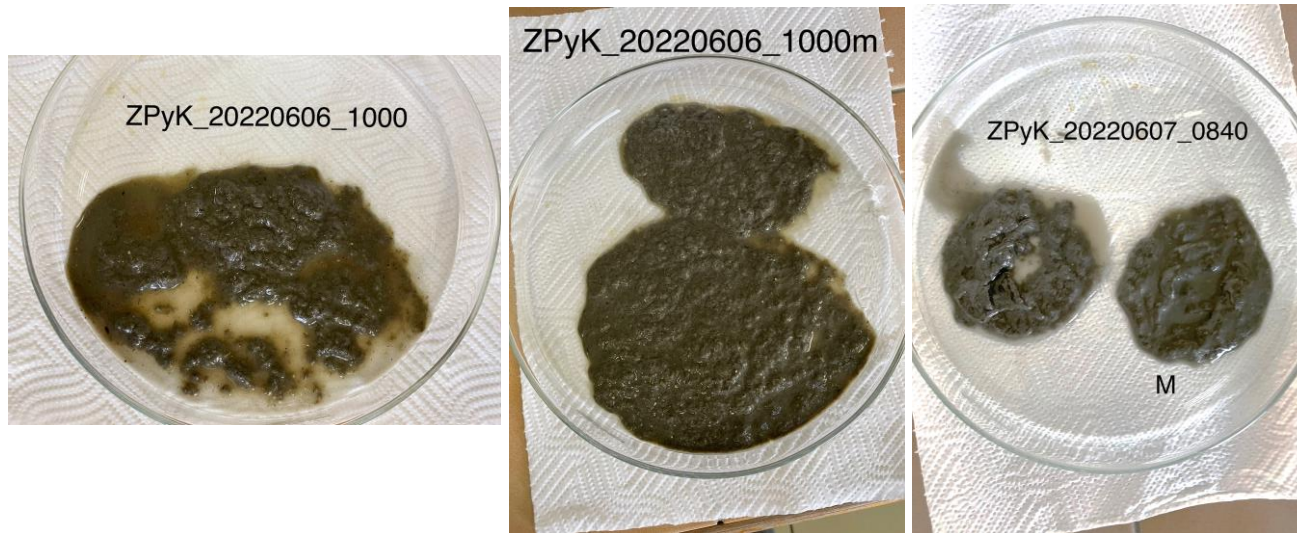
Vzorky zájmových kalů byly odebírány a proměřovány v průběhu 3 dnů (6., 7. a 9.6. 2022). Datum a čas odběru je součástí identifikačního označení vzorku (viz Tabulka 1). Každý odebraný a proměřený vzorek byl následně předán do laboratoře ČOV k určení obsahu sušiny. Výsledky tohoto měření jsou uvedeny, viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Seznam odebraných vzorků a výsledky určení jejich obsahu sušiny laboratoří ČOV.

Kal	Vzorek	Sušina	Sušina
(zkr.)	(čas odběru)	(g/l)	(hm. %)
ZPK	20220606_1000	61.6	
ZPK	20220607_0840	72.4	
ZPK	20220609_0945	54.0	
SK	20220606_1130	51.0	
SK	20220606_1230	53.4	
SK	20220606_1315	45.0	
SK	20220609_1030	53.4	
ZSK	20220607_0945		5.2
ZSK	20220609_0850		5.4
VK3	20220606_1400	38.6	
VK2	20220606_1450	38.0	
VK1	20220606_1530	38.2	
VK2	20220609_1110	39.6	
OK	20220607_1110		24.1

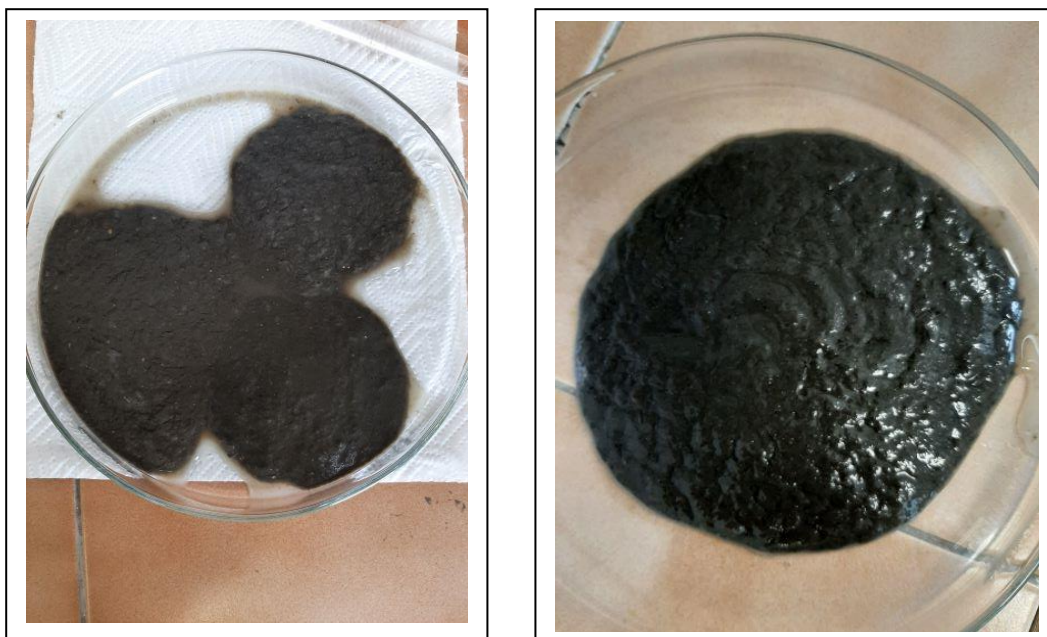
Vizuálním pozorováním vzorků (typicky po nalití na skleněnou laboratorní misku, viz. pořízené fotografie vzorků Obrázek 2 až Obrázek 5, a při jejich následném rozmývání pod tekoucí vodou) byly pozorovány následující vlastnosti vzorků kalů.

Zahuštěný primární kal (**ZPK**, Obrázek 2) při vylévání z odběrné lahve na misku nevytákal spojitě, ale spíše vypadal v chuchvalcích. Byl tedy velmi nehomogenní a jeho chuchvalce měly tendenci se na misce odštěďovat od kapalné fáze (vody). Zároveň ale nebyly ve vzorcích kalů pozorovány v registrovatelném množství zrna písku, vlasy či jiné zjevné nerozpustné nečistoty. Pro potřeby reometrických měření byly některé vzorky následně rozmixovány ručním mixerem, tyto vzorky jsou také zachyceny na fotografiích, viz Obrázek 2. Měření obsahu sušiny u jednotlivých vzorků prokázalo relativně velkou míru variability tohoto parametru v čase, neboť hodnoty obsahu sušiny se u vzorků odebíraných v různých časech poměrně významně lišily, viz Tabulka 1.



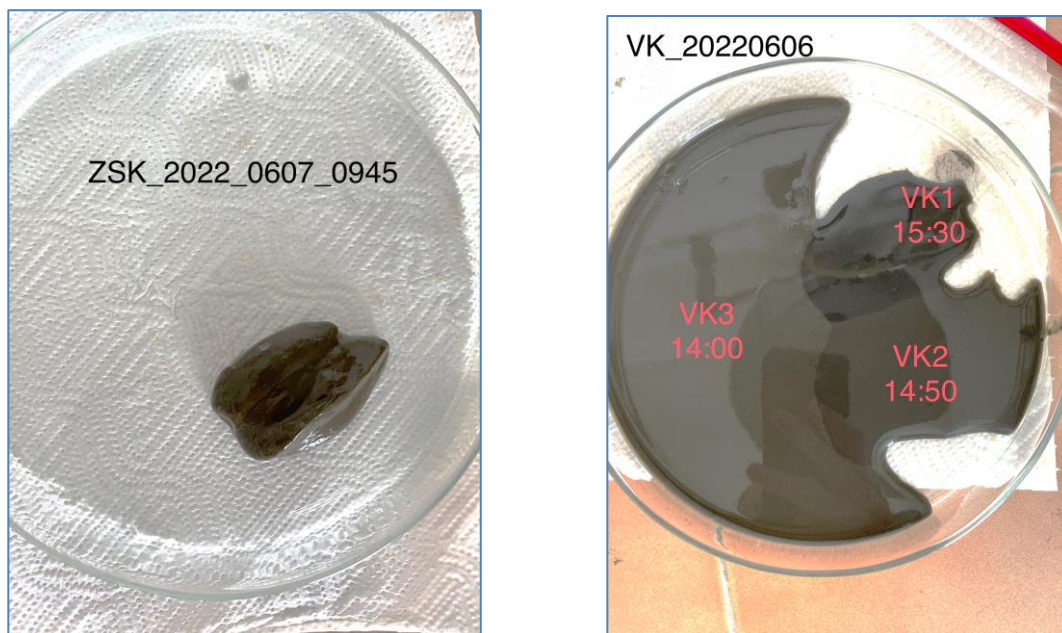
Obrázek 2: Zahuštěný primární kal ZPK – vzorek 20220606_1000 odebraný (vlevo) a mixovaný (uprostřed); vzorek 20220607_0840 odebraný a mixovaný (vpravo).
(foto D. Kolář, Sweco Hydroprojekt)

Směsný kal **SK** (Obrázek 3) jevil podobnou strukturu jako ZPK, ačkoliv míra jeho nehomogenity se zdála menší než u ZPK.



Obrázek 3: Směsný kal SK – 3 vzorky z 20220606 (vlevo), 1 vzorek z 20220607 (vpravo).

Zahuštěný směsný kal **ZSK** byl velmi rozdílný od ZPK a SK. Vizuálním pozorováním se jevil jako velmi homogenní, jemný a bez viditelných příměsí. Zároveň byl velmi vazký, z lahve vytékal jen s dopomocí, na misce držel tvar a neroztékal se (foto vpravo viz Obrázek 4).



Obrázek 4: Zahuštěný sekundární kal ZSK (vlevo), vyhníly kal VK – 3 vzorky z 20220606 (vpravo) (foto D. Kolář, Sweco Hydroprojekt).

Vyhníly kal **VK** měl opět jiný charakter. Byl opět velmi homogenní a jemný, ale na rozdíl od ZSK byl mnohem tekutější, při nalévání se choval jako středně vazký olej (foto vpravo viz Obrázek 4).

Ovodněný kal **OK** byl extrémně zahuštěný, na odběrném místě byl vytlačován ve formě pastovitého hada, který se v odběrné nádobě rozpadal. Po vyklepání na misku vytvářel hroudy, viz Obrázek 5.



Obrázek 5: Odvodněný kal OK (foto D. Kolář, Sweco Hydroprojekt).

2.2 VÝSLEDKY URČENÍ HUSTOTY KALOVÉ SMĚSI

Hustota kalové směsi odebraných vzorků byla určena z měřeného objemu vzorku v odměrném válci (kapacita 1 litr) a z jeho hmotnosti určené na digitální váze (viz Tabulka 2). U vzorků kalu ZSK, které netvořily ve válci samovolně rovnou hladinu, byla hodnota měřeného objemu zatížena zvýšenou nejistotou. U vzorku kalu OK, který pro míru zahuštění nevykazoval tokové vlastnosti, nebylo možné zajistit, aby samovolně zcela vyplnil objem odměrného válce. Proto nemohlo být měření hustoty provedeno.

Tabulka 2: Určení hustoty kalové směsi odebraných vzorků.

Kkal	Vzorek	Válec	Válec+kal	Objem kal	Hustota
(zkr.)	(čas odběru)	(g)	(g)	(ml)	(kg/m³)
ZPK	20220606_1000	0	991.92	1000	991.92
ZPK	20220607_0840	0	1002.23	1000	1002.23
ZPK	20220609_0945	0	983.55	1000	983.55
SK	20220606_1130	0	987.17	1000	987.17
SK	20220606_1230	0	991.70	1000	991.7
SK	20220606_1315	0	991.22	1000	991.22
SK	20220609_1030	0	994.15	1000	994.15
ZSK	20220607_0945	731.71	1715.95	970	1014.68
ZSK	20220609_0850	731.29	1747.46	1000	1016.17
VK3	20220606_1400	0	942.48	1000	942.48
VK2	20220606_1450	0	960.13	1000	960.13
VK1	20220606_1530	0	958.76	1000	958.76
VK2	20220609_1110	0	957.52	1000	957.52
OK	20220607_1110	-	-	-	-

2.3 VÝSLEDKY URČENÍ REOLOGICKÝCH PARAMETRŮ VZORKŮ KALŮ

Reogramy vzorků kalů (viz Obrázek 6 až Obrázek 9) byly získány měřením v rotačním viskozimetru Haake VT550 s konfigurací dvou souosých válců za použití rotoru MV s vroubkovaným povrchem. Měření a sběr dat byl řízen softwarem RheoWin. Vyhodnocení a analýza naměřených dat byla provedena v tabulkovém procesoru MS Excel a vedla k získání hodnot reologických parametrů vzorků kalů, viz Tabulka 3.

Tabulka 3: Určení reologických parametrů odebraných vzorků.

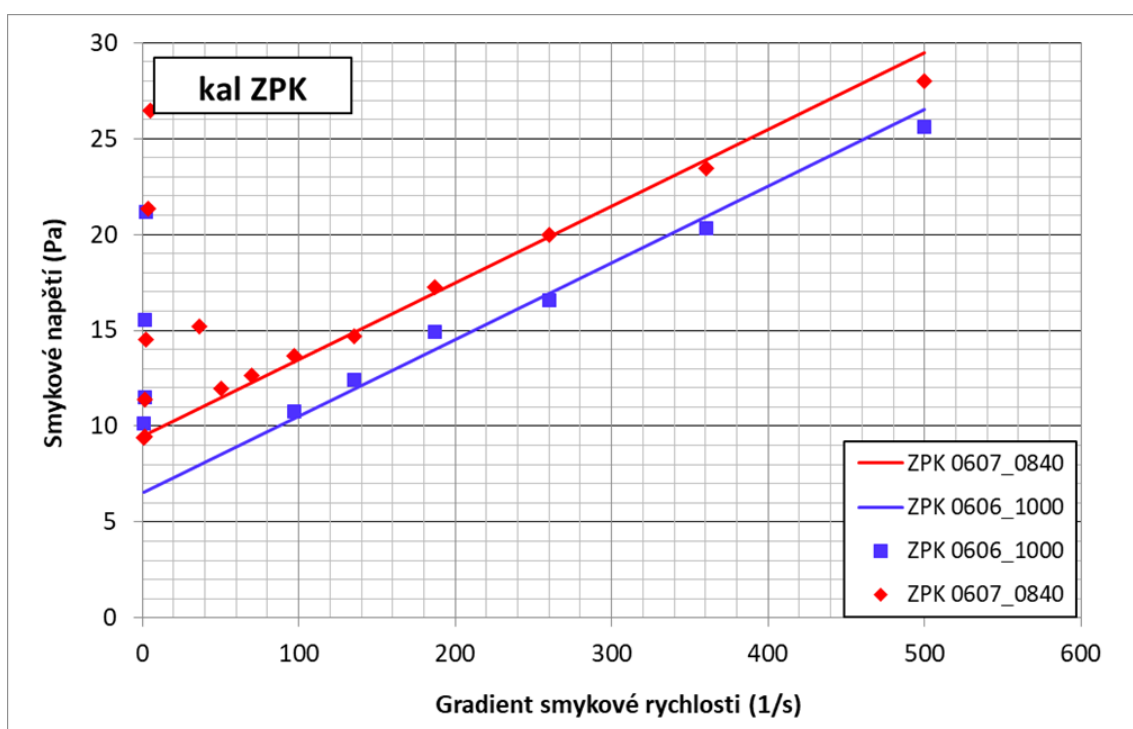
Kal	Vzorek	Sušina	Sušina	τ_y	K	n
(zkr.)	(čas odběru)	(g/l)	(hm. %)	(Pa)		
ZPK	20220606_1000	61.6		6.5	0.04	1.00
ZPK	20220607_0840	72.4		9.5	0.04	1.00
ZPK	20220609_0945	54.0		-	-	-
SK	20220606_1130	51.0		5.0	0.30	0.70
SK	20220606_1230	53.4		4.0	0.25	0.70
SK	20220606_1315	45.0		4.0	0.25	0.70
SK	20220609_1030	53.4		8.5	0.35	0.70
ZSK	20220607_0945		5.2	45	4.00	0.40
ZSK	20220609_0850		5.4	55	4.00	0.40
VK3	20220606_1400	38.6		2.0	0.30	0.58
VK2	20220606_1450	38.0		1.3	0.30	0.58
VK1	20220606_1530	38.2		1.6	0.30	0.58
VK2	20220609_1110	39.6		3.0	0.30	0.58
OK	20220607_1110		24.1	-	-	-

Legenda (reologické parametry): τ_y = počáteční napětí, K = součinitel konsistence, n = index toku

Měření byla prováděna za teplot vzorků kolem 20°C v rozsahu hodnot gradientu smykové rychlosti (jednotka 1/s) od jedné do řádově stovek, což odpovídá rozsahu hodnot relevantních pro posouzení poměrů při proudění v průmyslových potrubích dle Rabinowitsch-Mooneyho transformace. U odvodněného kalu **OK** nebylo kvůli jeho vlastnostem možné reometrické měření provést.

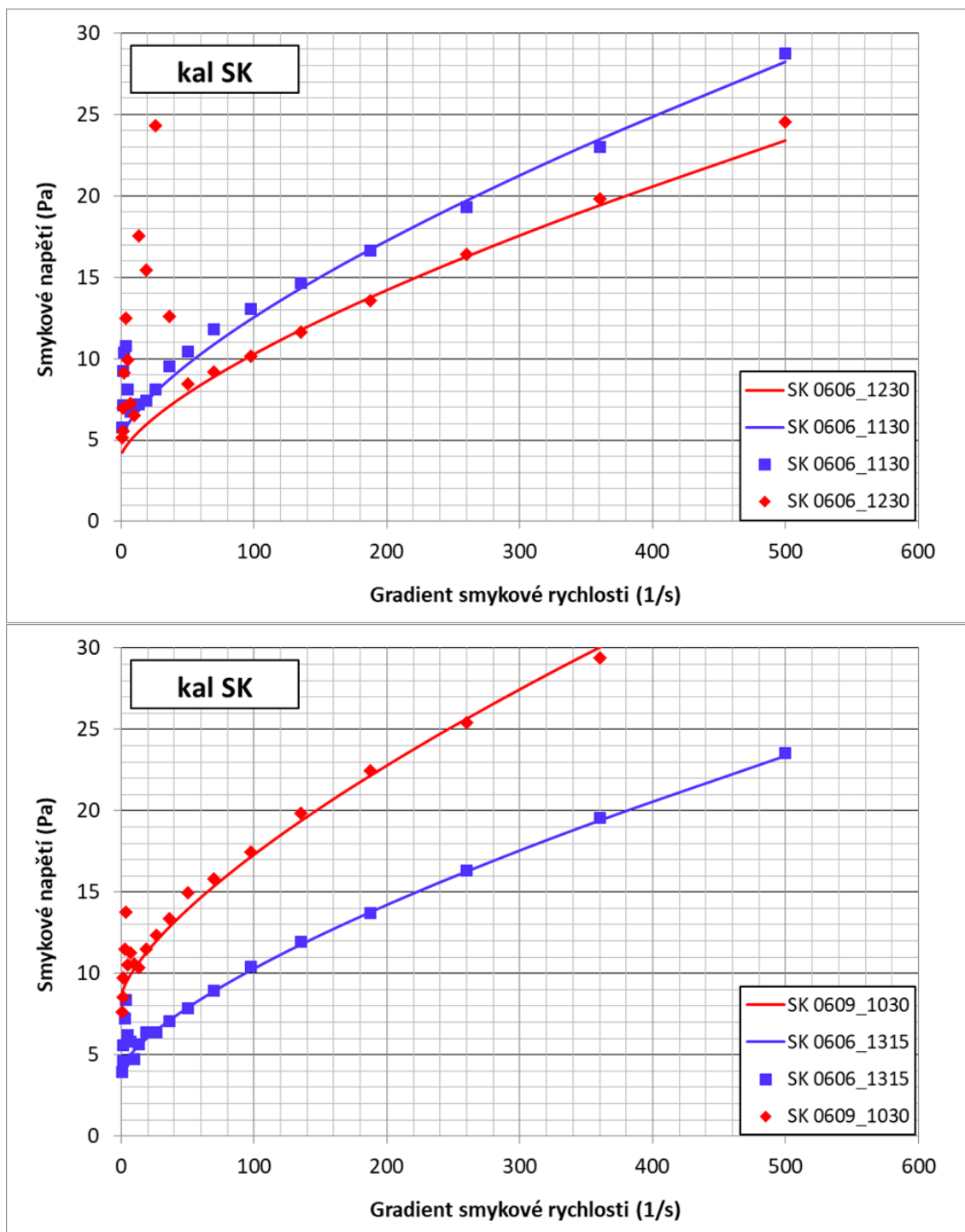
Obtížně proveditelná byla i měření se vzorky primárního kalu **ZPK**, a to kvůli vysoké míře jejich nehomogenity. V důsledku této nehomogenity docházelo při některých měřeních ve šterbině mezi souosými válci viskozimetru k ulpívání chuchvalců kalu na stěně rotujícího válce, což ovlivnilo, či dokonce znemožnilo měření. Proto byla vedle testování originálních odebraných vzorků ZPK také prováděna měření homogenizovaných vzorků. Ty byly získány rozmixováním originálního vzorku pomocí ručního tyčového mixeru. Při testování mixovaných vzorků bylo dbáno, aby vzorky neobsahovaly vzduchové bubliny případně vzniklé při mixování vzorku. Porovnání výsledků reometrických měření mixovaných a originálních vzorků ukázalo rozumnou shodu, pokud bylo umožněno získáním spolehlivých hodnot u originálního vzorku alespoň v omezeném rozsahu měřených smykových rychlostí. Proto jsou v této zprávě u kalu ZPK prezentovány výsledky měření mixovaných vzorků. V případě jednoho vzorku (ZPK_20220609_0945) selhávala měření jak u originálních, tak u mixovaných vzorků, neboť se míru nehomogenity nepodařilo dostatečně snížit ani mixováním. Výsledky proto nebyly pro tento vzorek získány. Skutečnost, že ani

mixováním nebyly žádné vzorky zcela homogenizovány, ukazují výsledky měření vzorků na nižších otáčkách válce (gradient smykové rychlosti menší než 50 1/s, Obrázek 6), kde jsou pozorovány velké fluktuace měřeného smykového napětí. Ty se nevyskytují na vyšších otáčkách válce. Je zajímavé, že výsledky nehomogenního ZPK kalu ukazují na chování nejspíše popsatelné newtonským dvouparametrickým reologickým modelem (binghamské chování), zatímco homogenní kaly vykazují výrazně tříparametrické chování, jak ukazuje Tabulka 3, bude tento poznatek diskutován níže. Pro ZPK je tedy index toku $n = 1$ a konstanta K udává hodnotu binghamské viskozity. Na rozdíl od binghamské viskozity se hodnota počátečního napětí zdá být citlivou na obsah sušiny. Přestože by bylo potřeba více dat pro potvrzení trendu, počáteční napětí se zdá nezanedbatelně růst s rostoucím obsahem sušiny. Z praktického hlediska je tato informace důležitá. U zahuštěného primárního kalu dochází v průběhu provozu k podstatným změnám vlastností kalu v závislosti na podmínkách, a proto je potřeba také počítat s významnou variabilitou hodnot reologických parametrů, zejména počátečního napětí.



Obrázek 6: Reogramy vzorků kalu ZPK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.

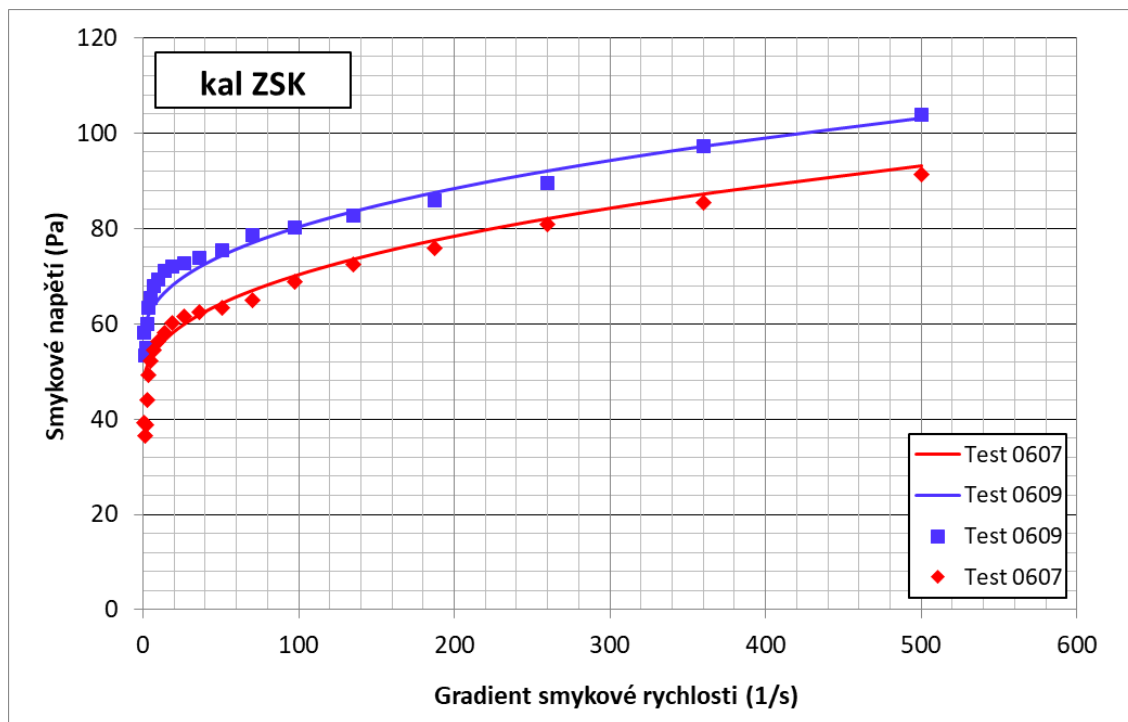
Měření kalu **SK** také vykazovala nestability v oblasti nízkých otáček válce rotačního viskozimetru, byla však menší než u ZPK, neboť míra nehomogenity SK byla menší než u ZPK. Naměřené body reogramů již není vhodné proložit přímkami, a tedy popsat Binghamovým modelem. Látka je tříparametrická (hodnoty tří konstant Herschel-Bulkleyova modelu jsou uvedeny, viz Tabulka 3. Čtyři odebrané vzorky SK sice vykazují podobné hodnoty obsahu sušiny (až na jeden případ, který se výrazněji odlišuje), ale změřené reogramy se odlišují podstatně výrazněji, viz Obrázek 7. Všechny vzorky lze popsat společnou hodnotou indexu toku $n = 0.70$, ale součinitel konzistence K a počáteční napětí τ_y vykazují různé hodnoty. Ze zjednodušeného pohledu hodnocení podle „míry“ vazkosti se SK zdá být podobně vazký jako ZPK.



Obrázek 7: Reogramy vzorků kalu SK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.

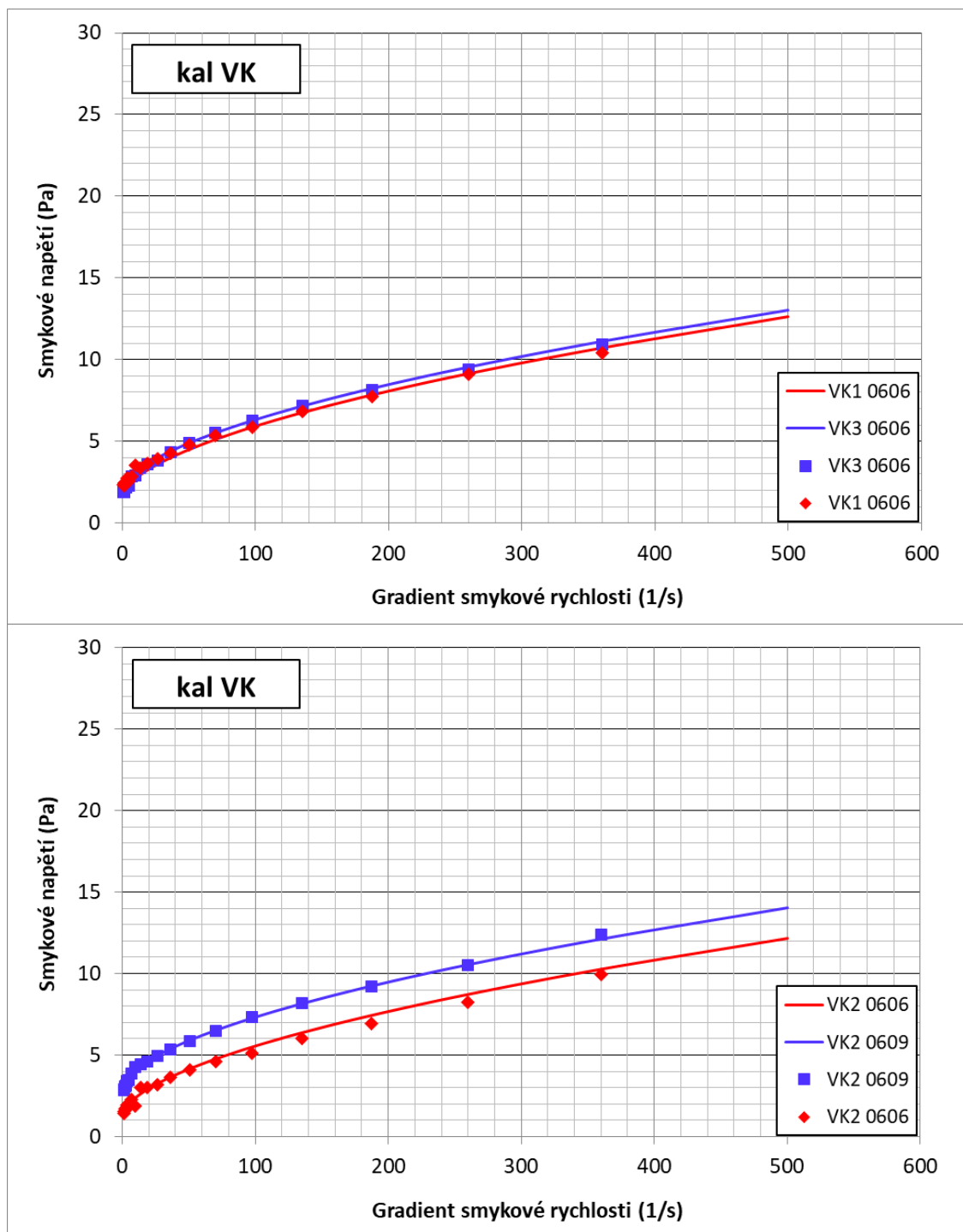
Významně vyšší míru vazkosti vykazuje zahuštěný sekundární (biologický) kal **ZSK**. Ta se projevuje zejména vysokými hodnotami počátečního napětí, viz Obrázek 8, které jsou řádově vyšší než u SK a ZPK. I u ZSK se jeví počáteční napětí růst citelně s narůstajícím obsahem sušiny, viz Tabulka 3, i když se musí vzít v úvahu malý rozsah hodnot sušiny u testovaných vzorků a celkově malý počet vzorků. Testované vzorky lze pokrýt stejnými hodnotami K a n ($K = 4.0$, $n =$

0.4). Nízká hodnota n poukazuje na silně tříparametrickou povahu reogramu tohoto kalu. Opakovaná měření stejného vzorku (typicky měření spuštěno hned po ukončení prvního měření) ukázala, že ZSK je tixotropní, má tedy tendenci řídnout v čase. Reogramy, viz Obrázek 8, jsou výsledkem prvních měření vzorků a tixotropii nezohledňují.



Obrázek 8: Reogramy vzorků kalu ZSK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.

Vyhnilý kal **VK** je podobný kalu ZSK svou homogenností a ukazuje také stejné reologické trendy, ačkoliv hodnoty počátečního napětí jsou podstatně nižší než u ZSK. Ve shodě se ZSK je třeba u VK proložit měřené reogramy tříparametrickým (Herschel-Bulkley) modelem, viz Obrázek 9, počáteční napětí je závislé na hmotnosti sušiny, viz Tabulka 3, a všechny naměřené reogramy lze proložit stejnými hodnotami K a n ($K = 0.3$, $n = 0.58$). Na rozdíl od ZSK vyhnilý kal VK téměř nevykazoval tixotropní chování.



Obrázek 9: Reogramy vzorků kalu VK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.

2.4 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ URČENÍ REOLOGICKÝCH PARAMETRŮ

V ČOV Brno-Modřice byly u čtyř zájmových kalů měřením odebraných vzorků zjištěny následující veličiny: obsah sušiny v kalu, hustota kalové směsi a reologické parametry kalové směsi. Použitými metodami nemohla být určena hustota a reologie odvodněného kalu **OK**.

Testované vzorky čistírenských kalů se ukázaly z reologického hlediska velmi různorodé, jak svou vnitřní strukturou, tak zjištěnými hodnotami reologických parametrů. Velmi homogenními kaly jsou **ZSK** (zahuštěný sekundární kal) a **VK** (vyhnílý kal), přičemž oba vykazují neneutonské chování s počátečním napětím popsatelné tříparametrickým reologickým modelem typu Herschel-Bulkley. V případě obou kalů je počáteční napětí velmi citlivé na hodnotu obsahu sušiny v kalu. **ZSK** je nejvazčí ze všech čtyř testovaných kalů a jeho počáteční napětí dosahuje hodnot kolem 55 Pa. Na rozdíl od jiných kalů je **ZSK** také nezanedbatelně tixotropický.

Další dva kaly – zahuštěný primární kal **ZPK** a směsný kal **SK** – jsou heterogenní a vytvářejí chuchvalce, které ztěžují reologickou charakterizaci kalové směsi měřením v rotačním viskozimetru. Nicméně i pro tyto kaly byly reologické parametry určeny, přičemž u **SK** byl zjištěn tříparametrický typ neneutonského chování s hodnotou indexu toku blíže 1 než u homogennějších kalů. U nejvíce heterogenního kalu **ZPK** byl index toku stanoven na rovný 1 a tokové chování tak popsatelné dvou-parametrickým Binghamovým modelem. Hodnoty počátečního napětí dosahují hodnot pod 10 Pa.

Při uvažování návrhových reologických parametrů jednotlivých kalů pro potřeby výpočtu jejich proudění a čerpání, viz Tabulka 4, je třeba vzít v úvahu, že hodnoty těchto parametrů jsou citlivé na obsah sušiny a mohou se tedy významně měnit v průběhu provozu společně se sušinou v čerpaném kalu.

Tabulka 4: Souhrnná tabulka výsledků měření.

Kal	Vzorek	Hustota	Sušina	Sušina	τ_y	K	n
(zkr.)	(čas odběru)	(kg/m ³)	(g/l)	(hm. %)	(Pa)		
ZPK	20220606_1000	991.9	61.6		6.5	0.04	1.00
ZPK	20220607_0840	1002.2	72.4		9.5	0.04	1.00
ZPK	20220609_0945	983.6	54.0		-	-	-
SK	20220606_1130	987.2	51.0		5.0	0.30	0.70
SK	20220606_1230	991.7	53.4		4.0	0.25	0.70
SK	20220606_1315	991.2	45.0		4.0	0.25	0.70
SK	20220609_1030	994.2	53.4		8.5	0.35	0.70
ZSK	20220607_0945	1014.7		5.2	45	4.00	0.40
ZSK	20220609_0850	1016.2		5.4	55	4.00	0.40
VK3	20220606_1400	942.5	38.6		2.0	0.30	0.58
VK2	20220606_1450	960.1	38.0		1.3	0.30	0.58
VK1	20220606_1530	958.8	38.2		1.6	0.30	0.58
VK2	20220609_1110	957.5	39.6		3.0	0.30	0.58
OK	20220607_1110	-		24.1	-	-	-

Legenda (reologické parametry): τ_y = počáteční napětí, K = součinitel konsistence, n = index toku

2.5 HYDRAULICKÝ VÝPOČET TRUBNÍCH TRAS

V rámci předkládaného projektu se projekčně řeší všechny nové trasy ať již k čerpání kalů, nebo provozní či pitné vody. Základní topologické informace byly převzaty z 3D výkresů trubených tras a rovněž tak okrajové podmínky, tj. hladina na sací straně čerpadel, resp. na konci výtlačného řadu.

V rámci hydraulických výpočtů se řeší systém čerpadlo a výtlačné potrubí. Materiál trubených tras vychází z požadovaných standardů a v rámci hydraulických výpočtů se ověřovaly navržené dimenze potrubí (při hydraulických výpočtech se musí používat vnitřní průměr potrubí D_v). Výsledkem hydraulických výpočtů je určení provozního bodu čerpadla neboli potvrzení, že zvolené čerpadlo splní požadované provozní parametry. Výsledky hydraulických výpočtů se potom staly podkladem k technickým specifikacím ve strojně-technologické části.

Přehled tras, u kterých bylo možné vycházet z předpokladu proudění newtonské kapaliny (vody) ukazuje Tabulka 5. Je třeba podotknout, že směsi v trubených trasách při čerpání kalů vykazovaly na základě reometrického měření nenewtonské chování, viz Tabulka 6.

Tabulka 5: Seznam trubených tras s newtonským charakterem čerpaného média.

Označení trasy	Název trasy	Poznámka
TRASA 4	Přebytečný kal z dosazovacích nádrží	Kal vločkovitého charakteru, nízká sušina
TRASA 7	Fugát	Newtonské chování
TRASA 8	Kondenzát	Newtonské chování
TRASA 9	Fugát	Newtonské chování

K hydraulickým výpočtům proudění nenewtonských suspenzí se použily doporučené vztahy z odborné literatury, viz Seznam použité literatury. Ukázka základních vztahů je uvedena v člancích:

Havlik_Sovak_11_2017.pdf

Havlik_Sovak_12_2017.pdf

Havlik_Sovak_1_2018.pdf

Tabulka 6: Seznam trubicích tras pro čerpání kalů – reologické parametry a hustota se použily z reometrického měření.

Datu a hod.	Označení kalu	Označení	VL	Jedn.	Hustota (kg/m ³)	Označení trasy
06.06.2022	Vyhníly kal z VN1	VK1	38,6	g/l	942,5	TRASA 1
06.06.2022	Vyhníly kal z VN2	VK2	38,6	g/l	957,5	TRASA 1
06.06.2022	Vyhníly kal z VN2 do uskladňovací nádrže	VK2-USKL	38,6	g/l	957,5	TRASA 2
06.06.2022	Vyhníly kal z VN3 do odvodnění	VK3-ODVOD.	38,6	g/l	957,5	TRASA 3
06.06.2022	Zahuštěný sekundární = biologický kal	ZSK	38,6	5,40%	1016,2	TRASA 5
20220609_1030	Směsný kal do VN	SK-do VN	53,4	g/l	994,2	TRASA 6
ZPyK- 20220606- 10,00	Zahuštěný primární kal	ZPRiK	(-)	g/l	991,9-1002,2	TRASA 10

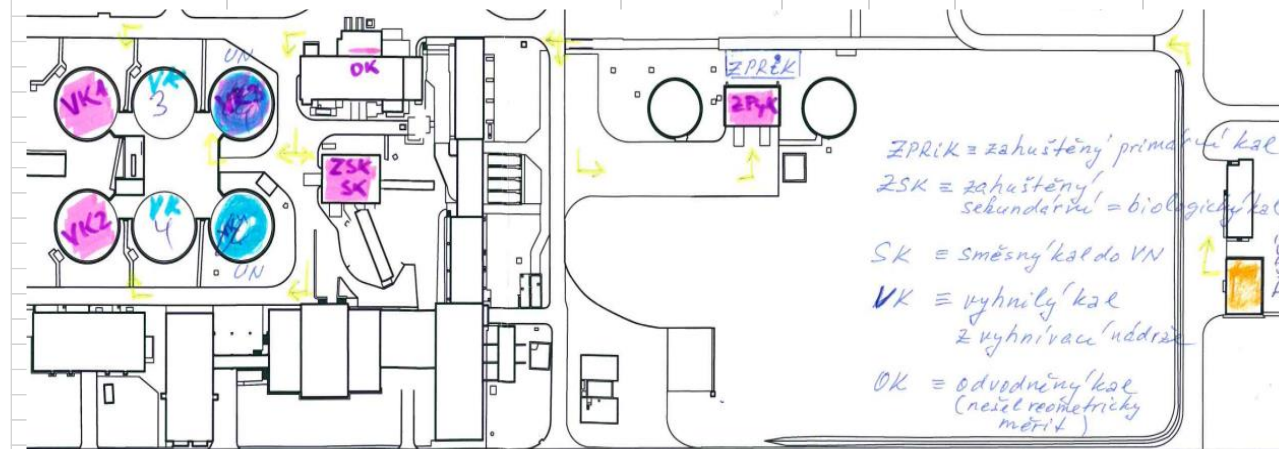
ZPyK = Přesněji ZPRiK = zahuštěný primární kal

SK = Směsný kal do VN

VK = vyhníly kal z VN číslo např. 1

ZSK = Zahuštěný sekundární = biologický kal

OK = odvodňovaný kal = reometricky neměřitelný !!!

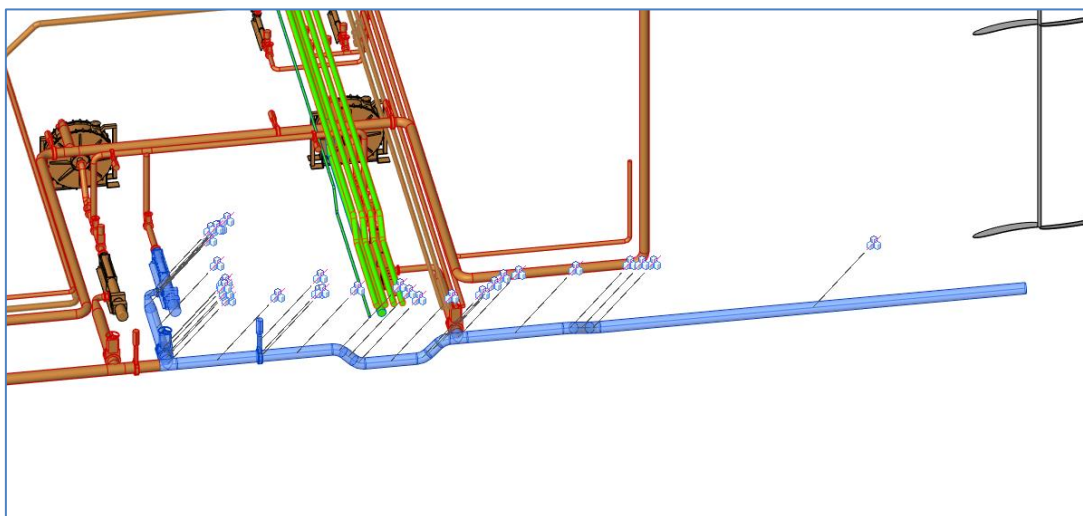


2.5.1 TRASA č. 1 – VYHNILÝ KAL S TEPELNÝM VÝMĚNÍKEM

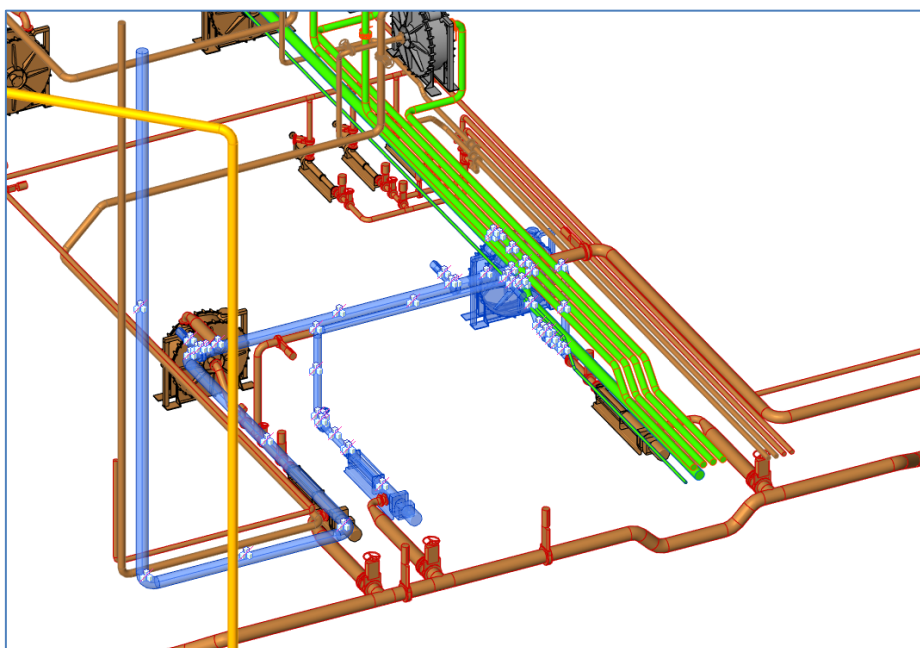
Jde o nejnejpříznivější případ trasy pro čerpání vyhnílého kalu (VK) z vyhnívací nádrže přes tepelný výměník zpět do vyhnívací nádrže. Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 10, jednotlivé dílčí části jsou nadepsány v textu.

Poznámka: U všech tras jsou použity k simulačním výpočtům „modelové“ parametry strojů a zařízení. Podrobněji jsou uvedeny ve specifikacích strojně-technologické části.

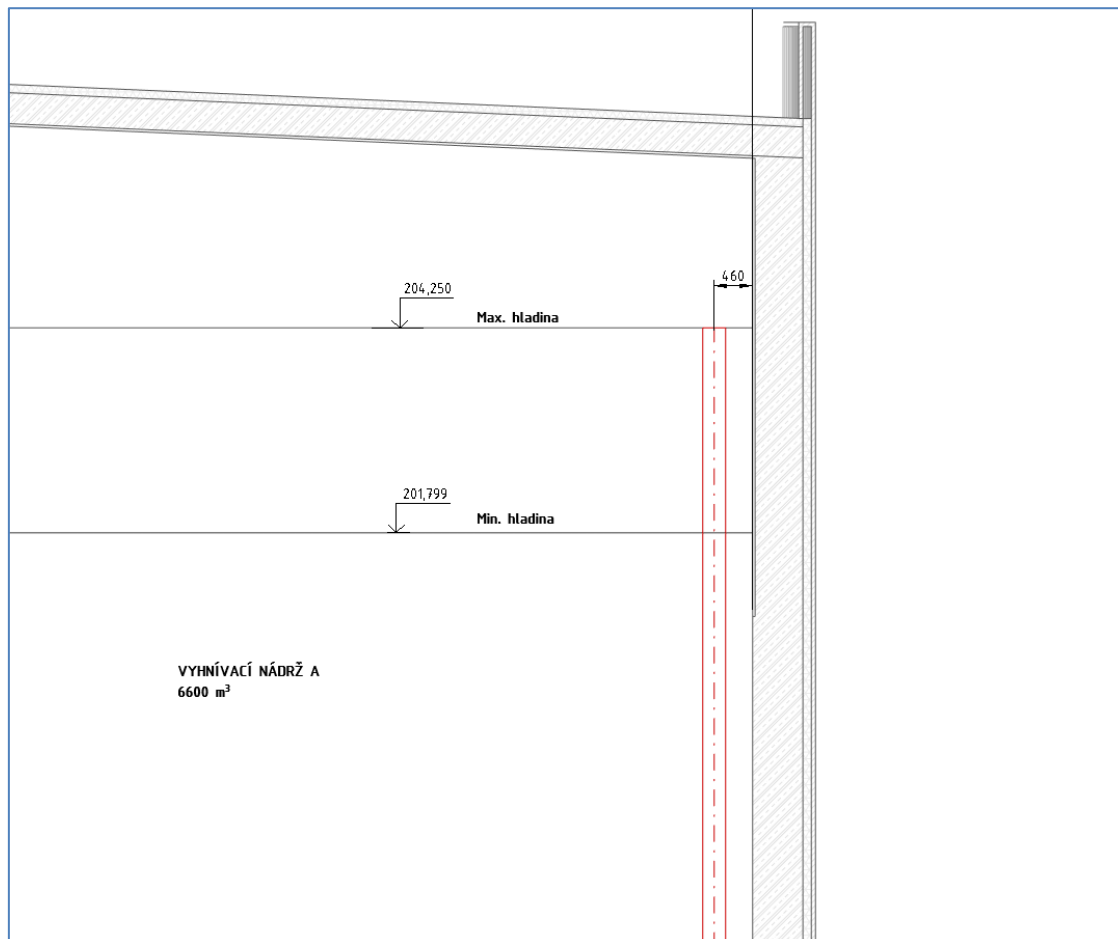
Sací strana čerpadel.



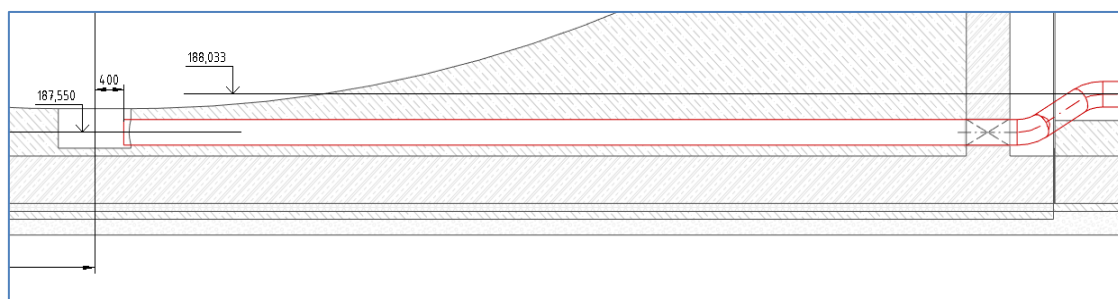
Výtlačný řad.



Výtlačné potrubí a maximální a minimální výška hladiny v nádrži.



Umístění sání z nádrže.



Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

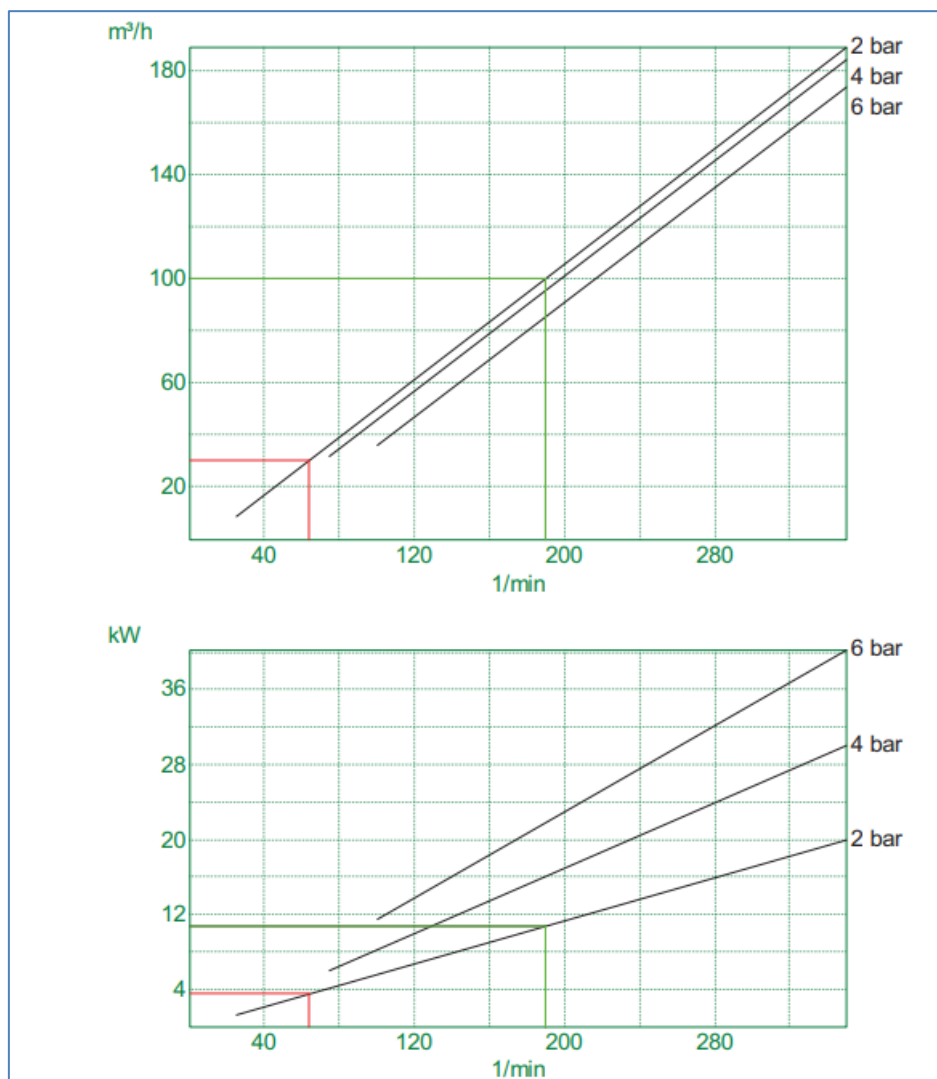
Výměník – tlaková ztráta (modelové údaje).

$Q = 53 \text{ m}^3/\text{h} = 14,72 \text{ l/s}$

		Hot side	Cold side
Heat load	kW	183.4	
Flowrate	m ³ /h	53.0	53.0
Inlet temperature	°C	40.00	35.00
Outlet temperature	°C	36.99	38.00
Pressure drop	kPa	95.18	70.87

Požadavky na vřetenové čerpadlo.

PROVOZNÍ PODMÍNKY		
Kapalina		směsný kal - recirkulace VN
Variabilní průtok		
Průtokové množství: min / nom / max	m ³ /h	220
Výtláčná výška v provozním bodě při maximálním průtoku	m	30
Mechanické údaje		
Typ připojení - sání	type, ND, NP	DN150 / PN16 , DIN2501
Typ připojení - výtlak	type, ND, NP	DN150 / PN16 , DIN2501



Obrázek 10: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 1 – vyhníly kal z vyhnívací nádrže.

Parametry potrubí, které bylo navrženo pro tuto trasu, ukazuje Tabulka 7 a

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Tabulka 8. Výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Tabulka 9 a souhrnně Příloha č. 1.

Tabulka 7: Parametry potrubí pro trasu č. 1.

LINE TAG Number	DN (TE)	Vnitřní průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V1 - sání	100	108	Korozivzdorná ocel	0,07	Kal vyhnílý
V1 - sání	100	108	Korozivzdorná ocel	24,9	Kal vyhnílý
V1 - výtlač	100	108	Korozivzdorná ocel	12,54	Kal vyhnílý
V1 - výtlač	100	108	Korozivzdorná ocel	34,67	Kal vyhnílý

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Tabulka 8: Parametry tvarovek pro trasu č. 1.

LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V1 - sání	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	1
V1 - sání	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	6
V1 - sání	Redukce excentrická	100	100	80	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	1
V1 - sání	T-kus	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	2
V1 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	5
V1 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	3
V1 - výtlač	Redukce centrická	100	100	80	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	1
V1 - výtlač	T-kus	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	2
V1 - výtlač	T-kus	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	2

Tabulka 9: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 1.

Označení	hustota	r_f	K	n	Q	Dv	L	Vsk	Vkrit	Režim	Tauo	Lambda	Zt	Zm	Hg	VYM1	VYM2	SUMZ
	(kg/m ³)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
VK1	942,5	2	0,3	0,58														
TRASA 1	Sací				12,5	0,108	25	1,36	1,53	L	7,303	0,0333	0,69	0,12				
	Výtlač 1				12,5	0,108	12,54	1,36	1,53	L	7,303	0,0333	0,346	0,65				
	Výtlač 2				12,5	0,108	34,67	1,36	1,53	L	7,303	0,0333	0,957	0,16				
	SUMA												1,993	0,93	2,45	0	7	12,37

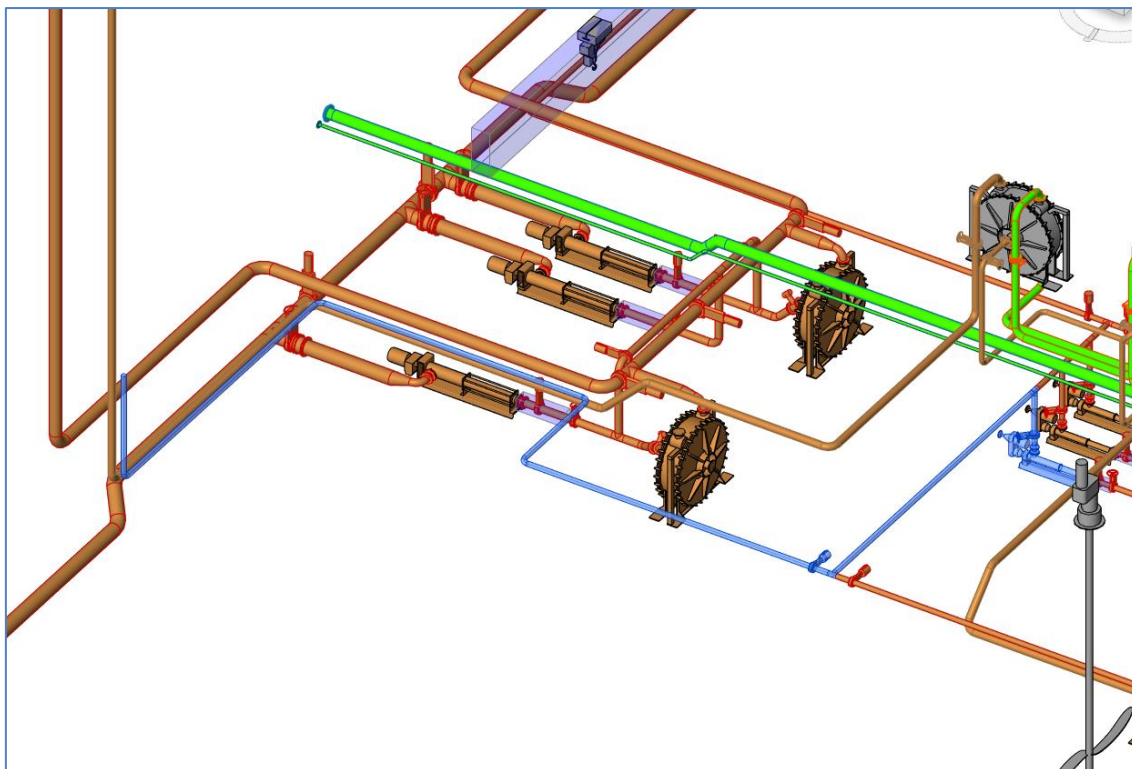
LEGENDA																		
Dv (m)	vnitřní průměr potrubí									Lambda				součinitel tření				
L (m)	délka potrubí									Zt (m)				ztráty třením				
Vsk (m/s)	skutečná průřezová rychlost									Zm (m)				ztráta místními ztrátami				
Vkrit (m/s)	kritická rychlost									Hg (m)				geodetická dopravní výška				
Režim	režim proudění L = laminární									VYM 2 (m)				ztráta ve výměníku tepla				
Tauo (Pa)	tečné napětí u stěny									SUM Z (m)				suma všech ztrát				

Z výsledků je patrné, že je třeba požadovat dopravní výšku čerpadla $H_c = 12,37$ m, pro VK2 jde o hodnotu a $H_c = 12,82$ m. Navržené modelové čerpadlo v předepsané sestavě tyto požadavky splňuje, viz Technické specifikace ve strojně-technologické části. Návrhový průtok celou trasou se uvažoval vzhledem k výměníku hodnotou 45 m³/hod.

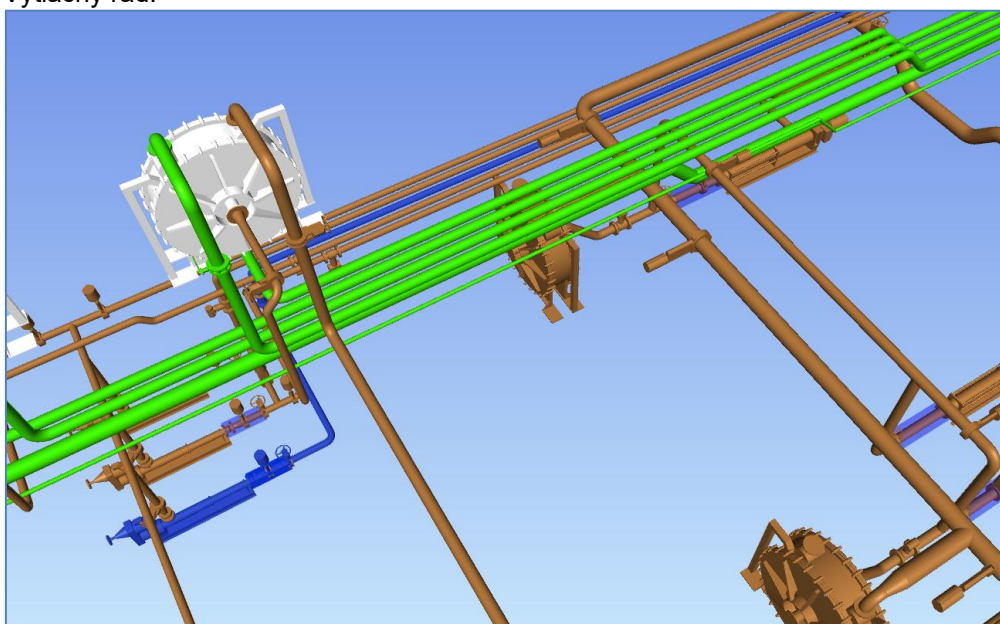
2.5.2 TRASA č. 2 – VYHNILÝ KAL DO USKLADŇOVACÍ NÁDRŽE

Jde o případ čerpání vyhnílého kalu (VK) z vyhnívací nádrže VN2 do vyrovnávací nádrže. Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 11, jednotlivé dílčí části jsou nadepsány v textu.

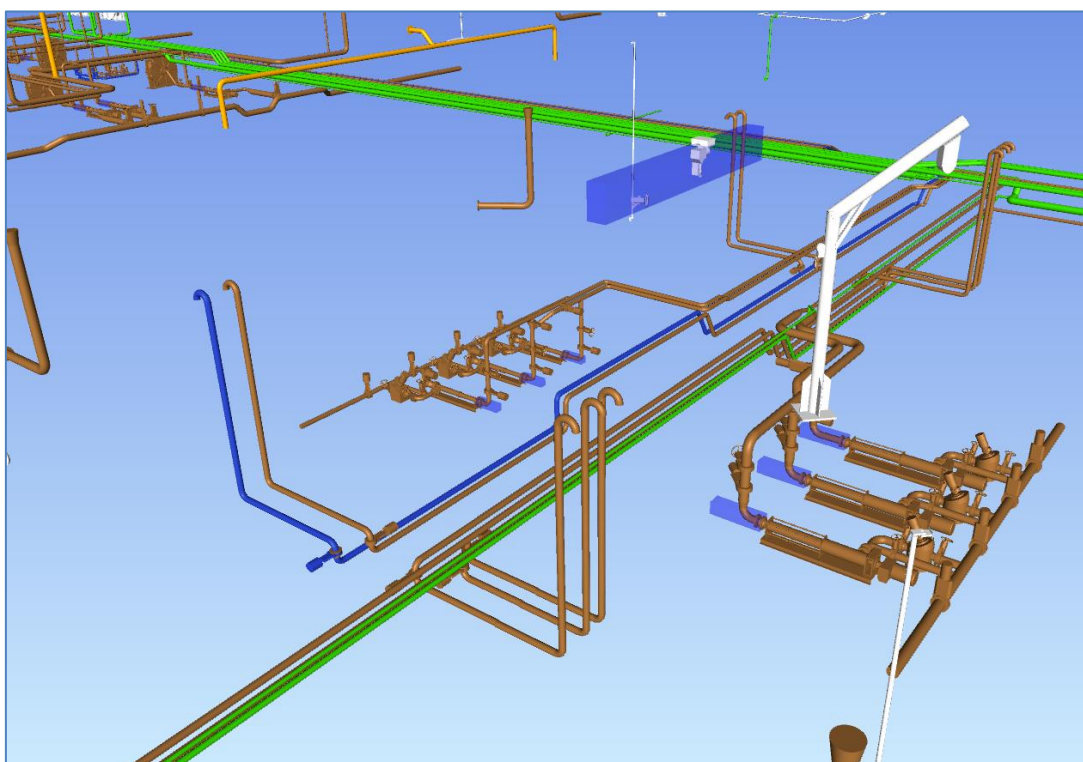
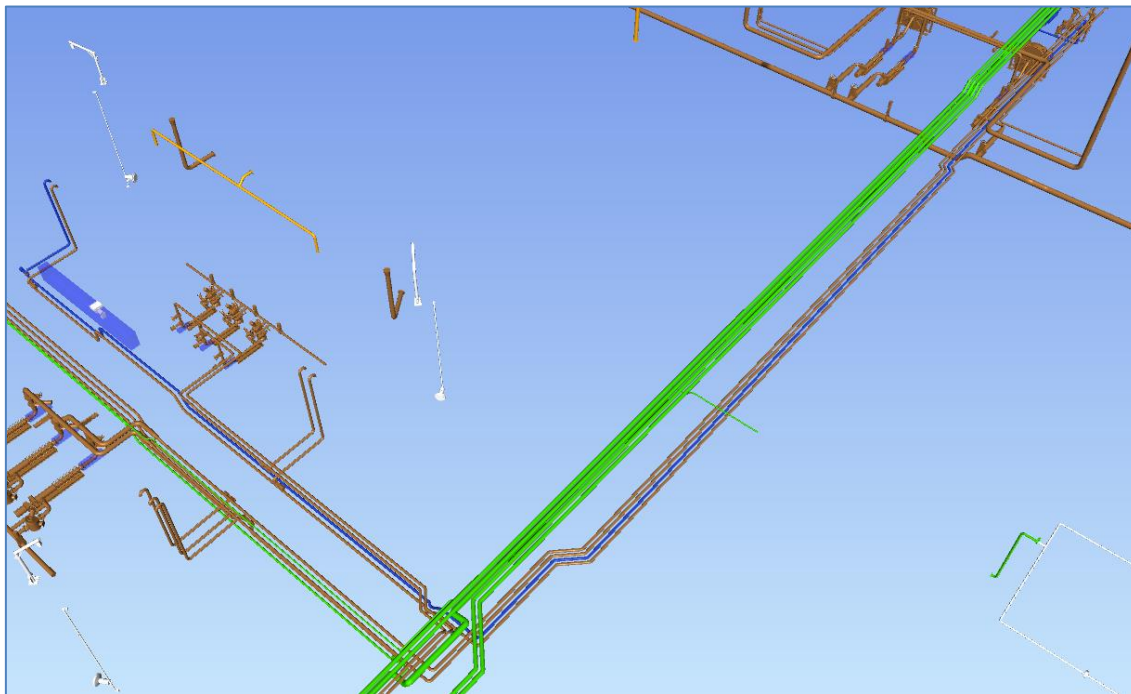
Sací strana čerpadel.



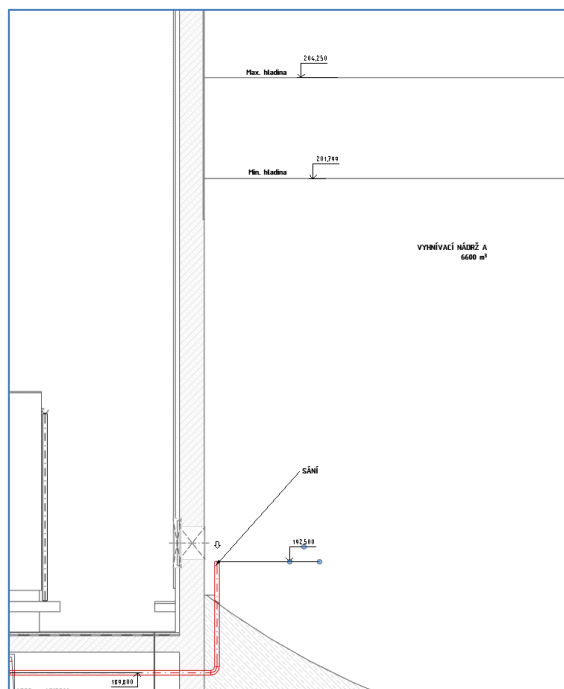
Výtlačný řad.



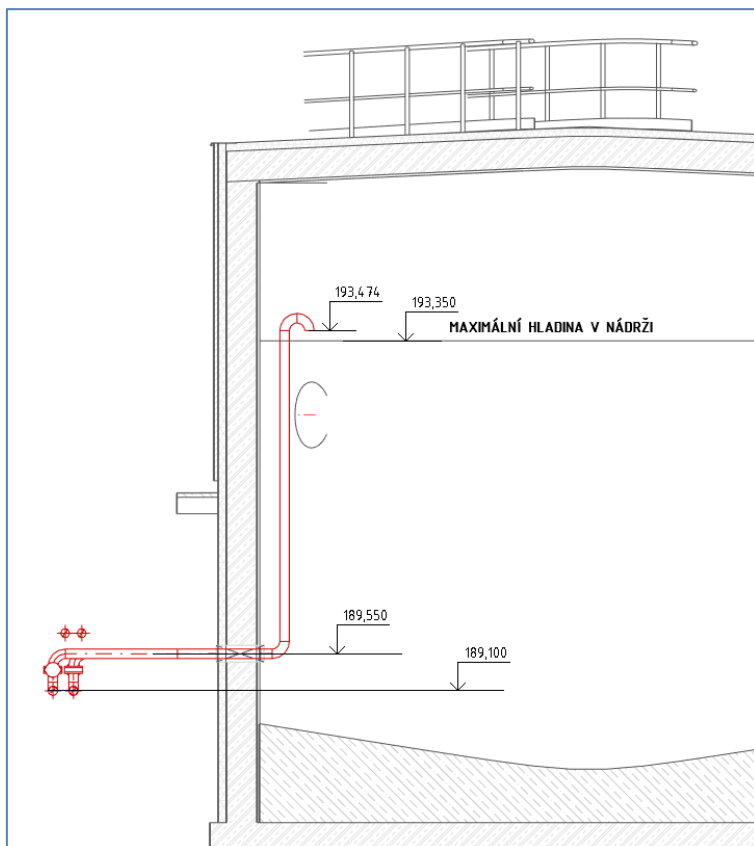
Další části výtlačného řadu.



Maximální a minimální výška hladiny ve vyrovnávací nádrži ZSK.



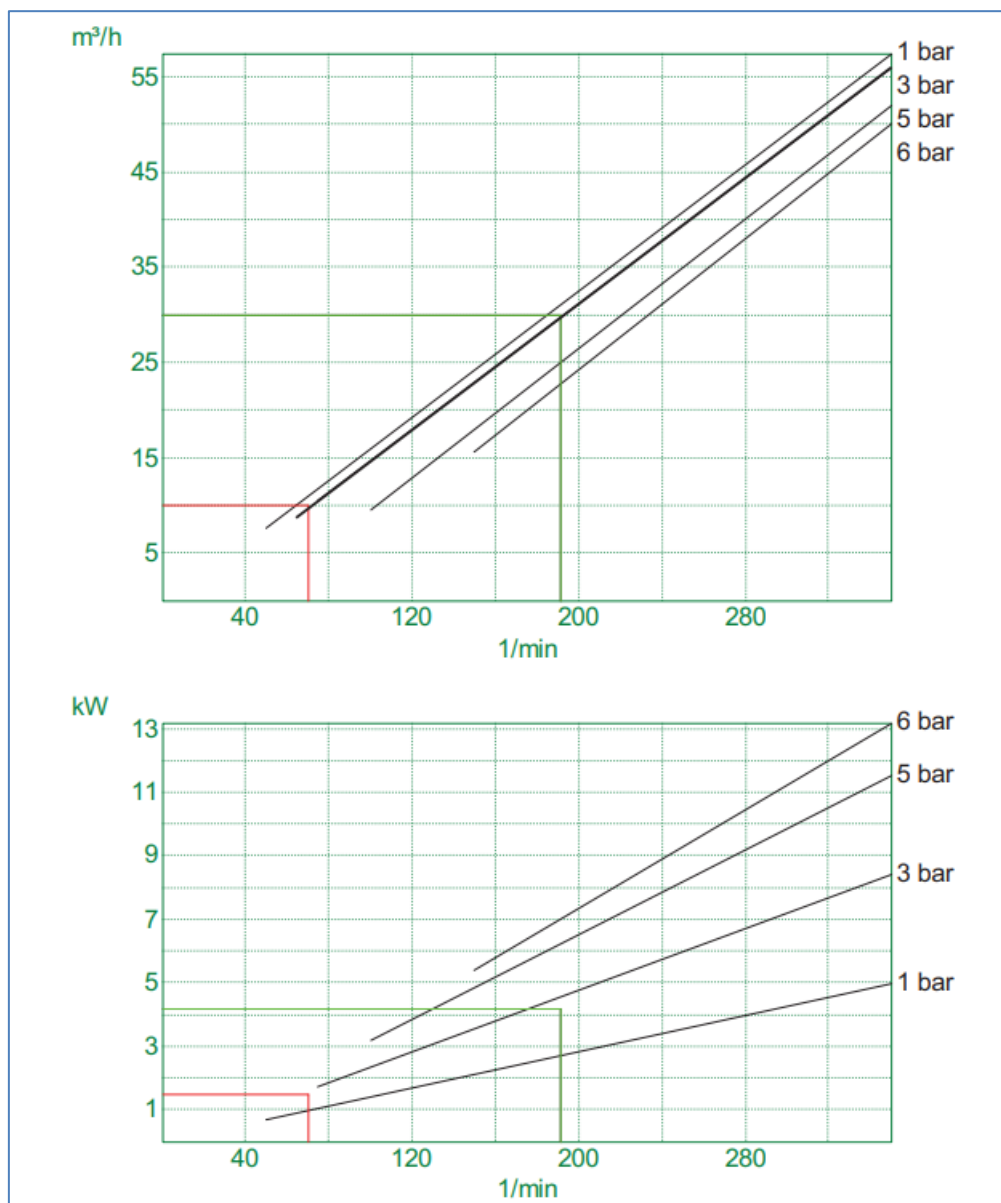
Zaústění výtlačného řadu.



Vřetenové čerpadlo

PROVOZNÍ ÚDAJE		
Hydraulický provozní bod		
Variabilní průtok		
Průtokové množství: min / jmen / max	m ³ /h	35
Výtlačná výška v provozním bodě při maximálním průtoku	mWC	10
Maximální výtlač čerpadla s nabízeným velikostí motoru	m	
Rychlost otáčení rotoru se požaduje: nom / max	min-1	max 200
Otáčky rotoru a aktuální frekvence na průtoku min	min-1 / Hz	70 min-1 / 50 Hz
Otáčky rotoru a aktuální frekvence při jmenovitém průtoku	min-1 / Hz	191 min-1 / 50 Hz
Otáčky rotoru a aktuální frekvence při maximálním průtoku	min-1 / Hz	191 min-1 / 50 Hz
Max. tlak na sání	m	
Rozběhový krouticí moment	Nm	270
Provozní krouticí moment	Nm	205

Průtok jedním čerpadlem $Q = 15 \text{ m}^3/\text{hod} = 4,16 \text{ l/s}$.



Obrázek 11: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 2 – vyhníly kal z vyhnívací nádrže do nádrže uskladňovací.

Parametry potrubí, které bylo navrženo pro tuto trasu, ukazuje Tabulka 10 až Tabulka 13. Výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Tabulka 14 a souhrnně Příloha č. 1.

Tabulka 10: Parametry potrubí pro trasu č. 2 – první část.

Výpočet Potrubí								
LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V2 - sání	Potrubí	4300	100	108	114	Korozivzdorná ocel	35,43	Kal vyhníly
V2 - výtlač (v SO4300)	Potrubí	4300	100	108	114	Korozivzdorná ocel	20,02	Kal vyhníly

Tabulka 11: Parametry tvarovek pro trasu č. 2 – první část.

Výpočet_Tvarovka							
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V2 - sání	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	4
V2 - sání	Redukce excentrická	80	80	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	1
V2 - sání	T-kus	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	2
V2 - výtlač (v SO4300)	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	3
V2 - výtlač (v SO4300)	Redukce excentrická	80	80	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	1
V2 - výtlač (v SO4300)	T-kus	100	100	100	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	1

Tabulka 12: Parametry potrubí pro trasu č. 2 – druhá část.

Výpočet_Potrubí								
LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V2 - výtlač (SO4800, 4200, 4500)	Potrubí	4800	100	108	114	Korozivzdorná ocel	76,22	Kal vyhníly

Tabulka 13: Parametry tvarovek pro trasu č. 2 – druhá část.

Výpočet_Tvarovka								
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V2 - výtlač (SO4800, 4200, 4500)	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	8
V2 - výtlač (SO4800, 4200, 4500)	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	60,00°	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	2
V2 - výtlač (SO4800, 4200, 4500)	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	45,00°	Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	9
V2 - výtlač (SO4800, 4200, 4500)	T-kus	100	100	100		Korozivzdorná ocel	Kal vyhníly	1

Tabulka 14: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 2.

Označení	hustota	τ_y	K	n	Q	Dv	L	Vsk	Vkrit	Režim	Tauo	Lambda	Zt	Zm	Hg	VYM1	VYM2	SUMZ
(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
VK2-USKL	957,5	3	0,3	0,58														
TRASA 2	Sací				9,72	0,108	35,53	1,059	1,64	L	7,854	0,059	1,052	0,9				
	Výtlač 1				9,72	0,108	20,02	1,059	1,64	L	7,854	0,059	0,594	0,68				
	Výtlač 2				9,72	0,108	76,22	1,059	1,64	L	7,854	0,059	2,262	1,355				
	SUMA												3,908	2,935	-8,33	0	7	5,51

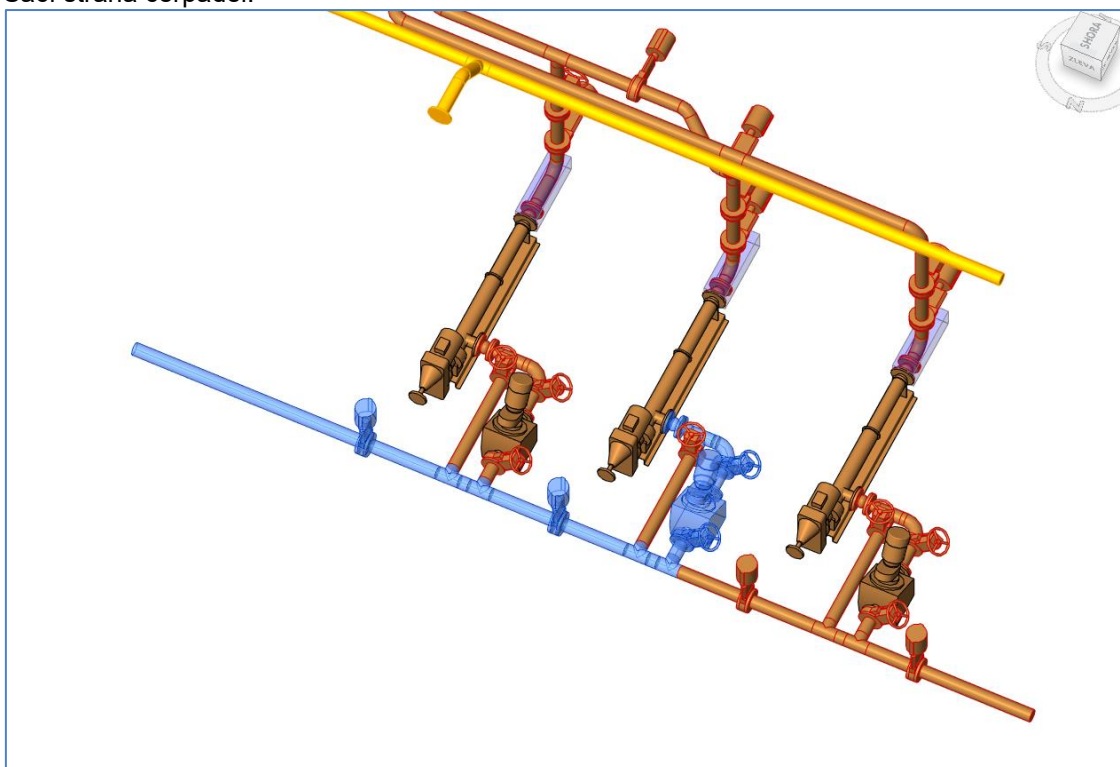
LEGENDA																		
Dv (m)	vnitřní průměr potrubí					Lambda					součinitel tření							
L (m)	délka potrubí					Zt (m)					ztráty třením							
Vsk (m/s)	skutečná průřezová rychlost					Zm (m)					ztráta místními ztrátami							
Vkrit (m/s)	kritická rychlost					Hg (m)					geodetická dopravní výška							
Režim	režim proudění L = laminární					VYM 2 (m)					ztráta ve výměníku tepla							
Tauo (Pa)	tečné napětí u stěny					SUM Z (m)					suma všech ztrát							

Z výsledků je patrné, že je třeba požadovat dopravní výšku čerpadla $H_c = 5,51$ m. Navržené čerpadlo v předepsané sestavě tyto požadavky splňuje, viz Technické specifikace ve strojně-technologické části.

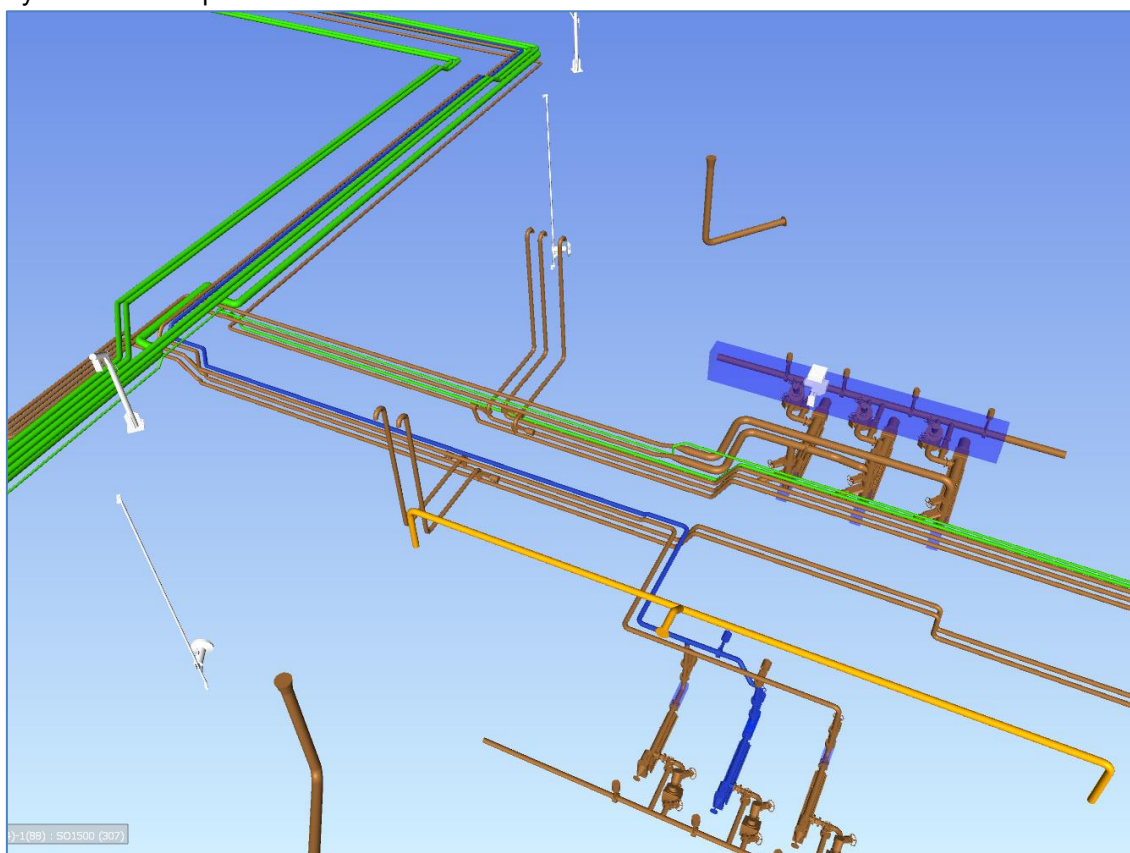
2.5.3 TRASA č. 3 – VYHNILÝ KAL DO ODVODNĚNÍ

Jde o nejnepříznivější trasu pro případ čerpání vyhnílého kalu (VK) z vyrovnávací nádrže do nádrže v objektu zahuštění vyhnílého kalu. Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 12, jednotlivé dílčí části jsou nadeepsány v textu.

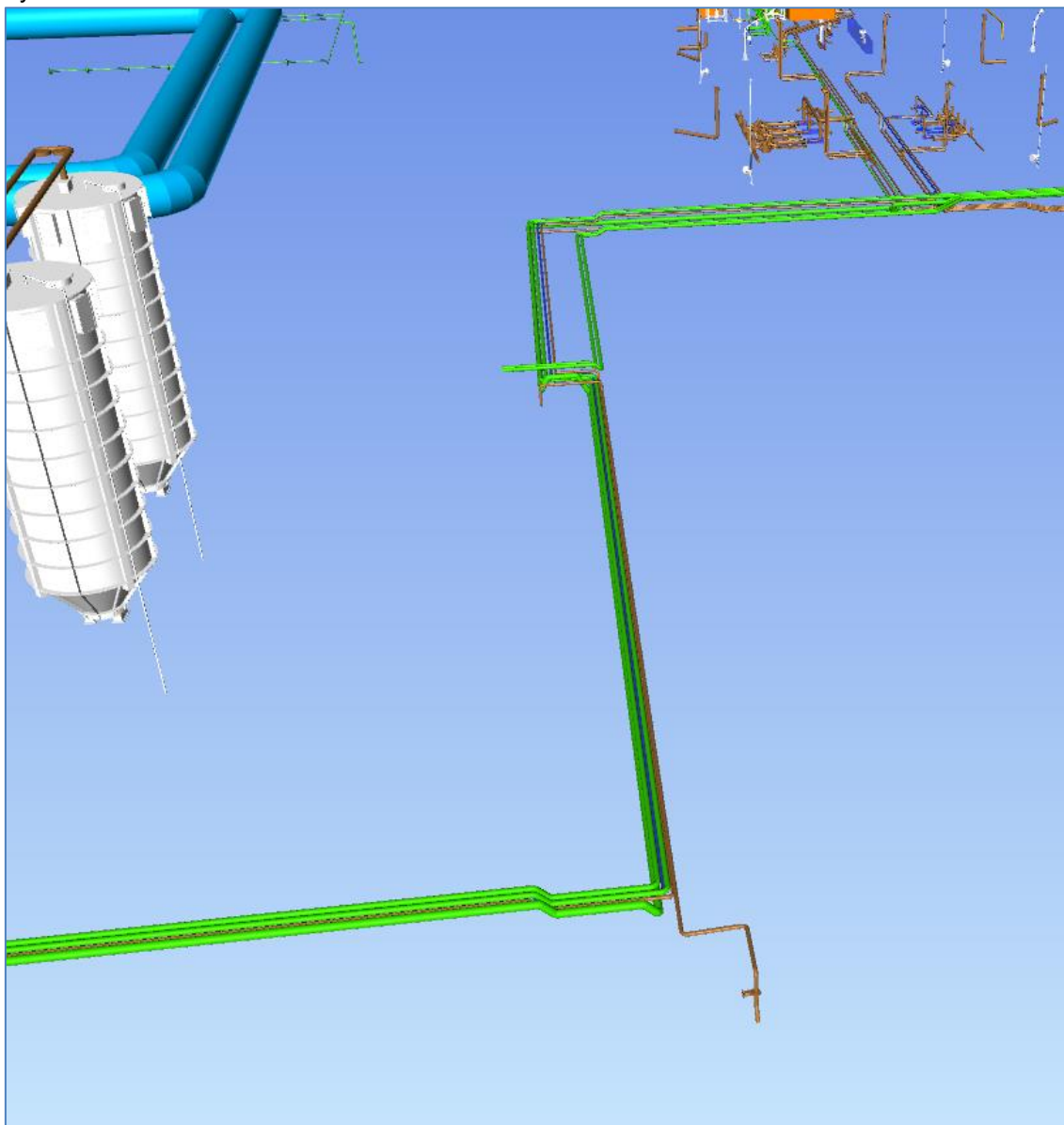
Sací strana čerpadel.



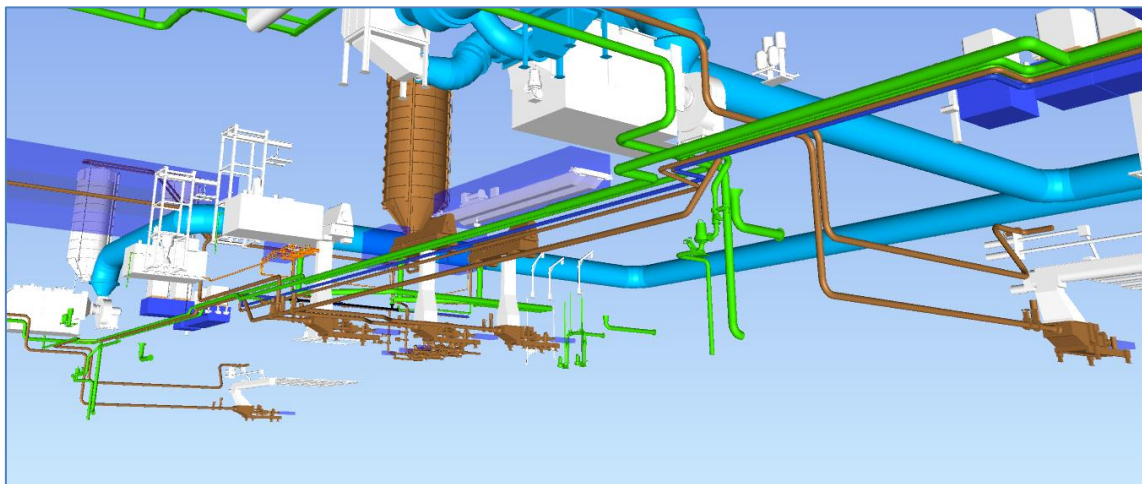
Výtlačná trasa – první část.



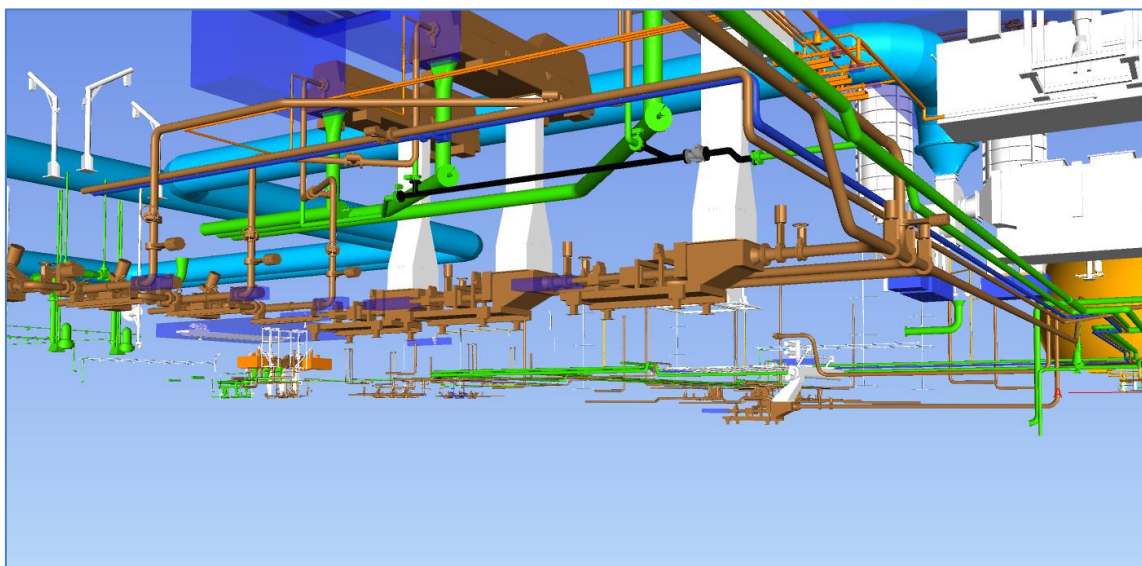
Výtlačná trasa – druhá část.



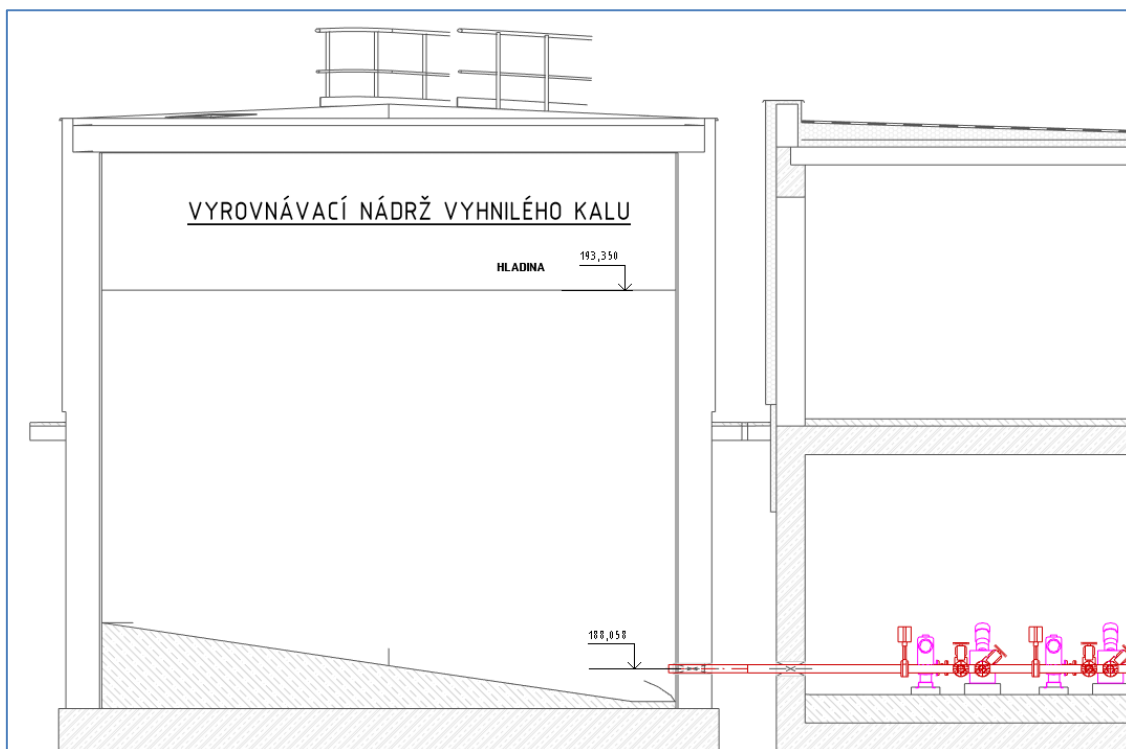
Výtlačná trasa – třetí část.



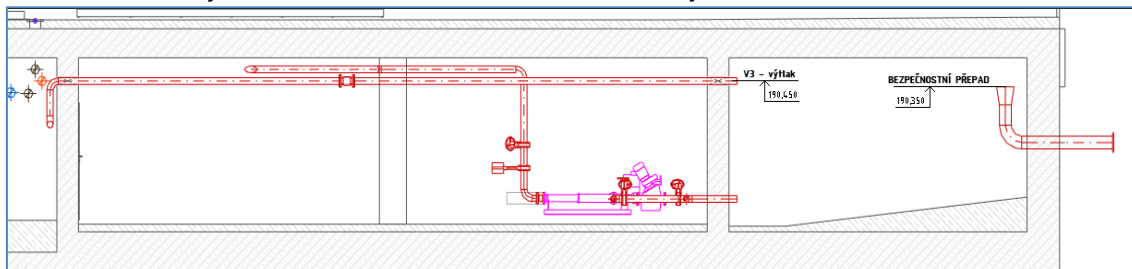
Výtlačná trasa – čtvrtá část.



Sací potrubí a maximální a minimální výška hladiny ve vyhnívací nádrži.



Zaústění konce výtlačného řadu do nádrže u Odvodnění vyhnílého kalu:



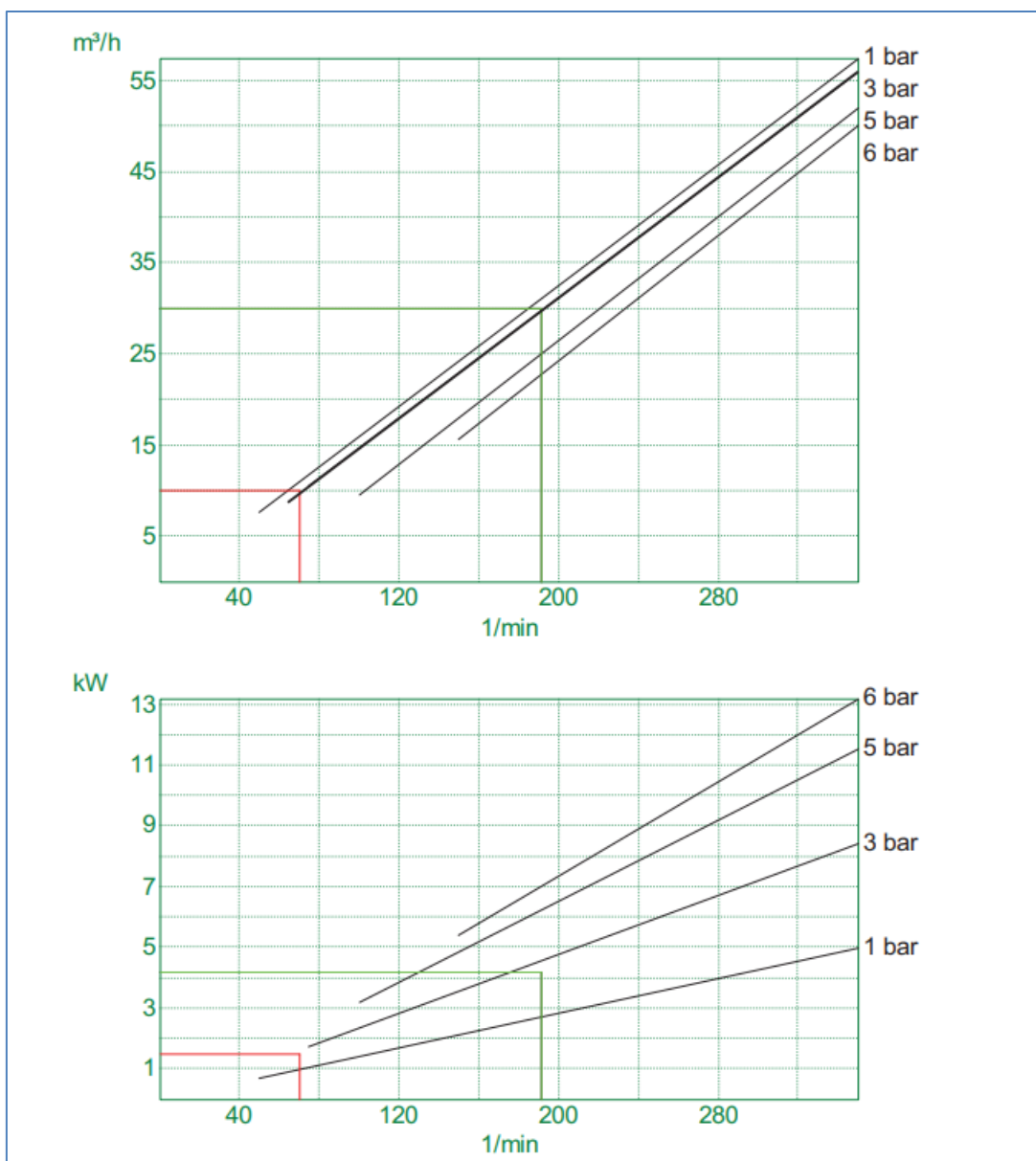
Vřetenové čerpadlo

TECHNICKÁ SPECIFIKACE		
SPECIFIKACE DODAVATELE ZAŘÍZENÍ		
Počet jednotek:	3	
Jednotek v provozu :	3	
PID tag(y) :	0302[A-C]_PO100A	
Popis	Jednotka	Podmínky dodavatele
PROVOZNÍ PODMÍNKY		
Kapalina		
Původ		vyhnílý kal
Rozsah teplot	°C	
Konzistence		
Hustota	kg/m3	
Obsah pevných částic	g/l	
pH		
Předčištěno česlemi s průlinou	mm	
Abrazivní činidla		
Chloridy	mg/l Cl-	

PROVOZNÍ ÚDAJE		
Hydraulický provozní bod		
Variabilní průtok		
Průtokové množství: min / jmen / max	m ³ /h	35
Výtlačná výška v provozním bodě při maximálním průtoku	mWC	10
Maximální výtlač čerpadla s nabízeným velikosti motoru	m	

Průtok čerpadlem $Q = 35 \text{ m}^3/\text{hod} = 9,72 \text{ l/s}$ (bude se uvažovat $Q = 8,3 \text{ l/s}$).

Mechanické údaje		
Typ připojení - sání	type, ND, NP	DN150 / PN16, DIN2501
Typ připojení - výtlač	type, ND, NP	DN150 / PN16, DIN2501



Obrázek 12: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 3 – vyhníly kal z vrovňovací nádrže do místa odvodnění kalu.

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Parametry potrubí, které bylo navrženo pro tuto trasu, ukazuje Tabulka 15 až Tabulka 18. Výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Tabulka 19 a souhrnně Příloha č. 1.

Tabulka 15: Parametry potrubí pro trasu č. 3 – první část.

LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V3 - sání	Potrubí	4200	100	108	114	Korozivzdorná ocel	5,63	Kal vyhnulý
V3 - výtlač	Potrubí	4200	100	108	114	Korozivzdorná ocel	7,19	Kal vyhnulý

Tabulka 16: Parametry tvarovek pro trasu č. 3 – první část.

Výpočet_Tvarovka								
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V3 - sání	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	1
V3 - sání	Redukce excentrická	100	100	80		Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	1
V3 - sání	T-kus	100	100	100		Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	5
V3 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	45,00°	Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	2
V3 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	3
V3 - výtlač	Redukce centrická	100	100	80		Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	1
V3 - výtlač	T-kus	100	100	100		Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	2

Tabulka 17: Parametry potrubí pro trasu č. 3 – druhá část.

Výpočet_Potrubí								
LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V3 - výtlač	Potrubí	4600	100	108	114	Korozivzdorná ocel	167,5	Kal vyhnulý

Tabulka 18: Parametry tvarovek pro trasu č. 3 – druhá část.

Výpočet_Tvarovka								
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V3 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal vyhnulý	6

Tabulka 19: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 3.

Označení	hustota	r_y	K	n	Q	Dv	L	Vsk	Vkrit	Režim	Tauo	Lambda	Zt	Zm	Hg	VYM1	VYM2	SUMZ
	(kg/m ³)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
VK3-ODVOD.	957,5	3	0,3	0,58														
TRASA 3	Sací				8,3	0,108	5,63	0,906	1,64	L	7,487	0,076	0,16	0,18				
	Výtlač 1				8,3	0,108	7,19	0,906	1,64	L	7,487	0,076	0,2	0,71				
	Výtlač 2				8,3	0,108	167,5	0,906	1,64	L	7,487	0,076	4,74	1,06				
	SUMA												5,1	1,95	-2,9	0	0	4,15

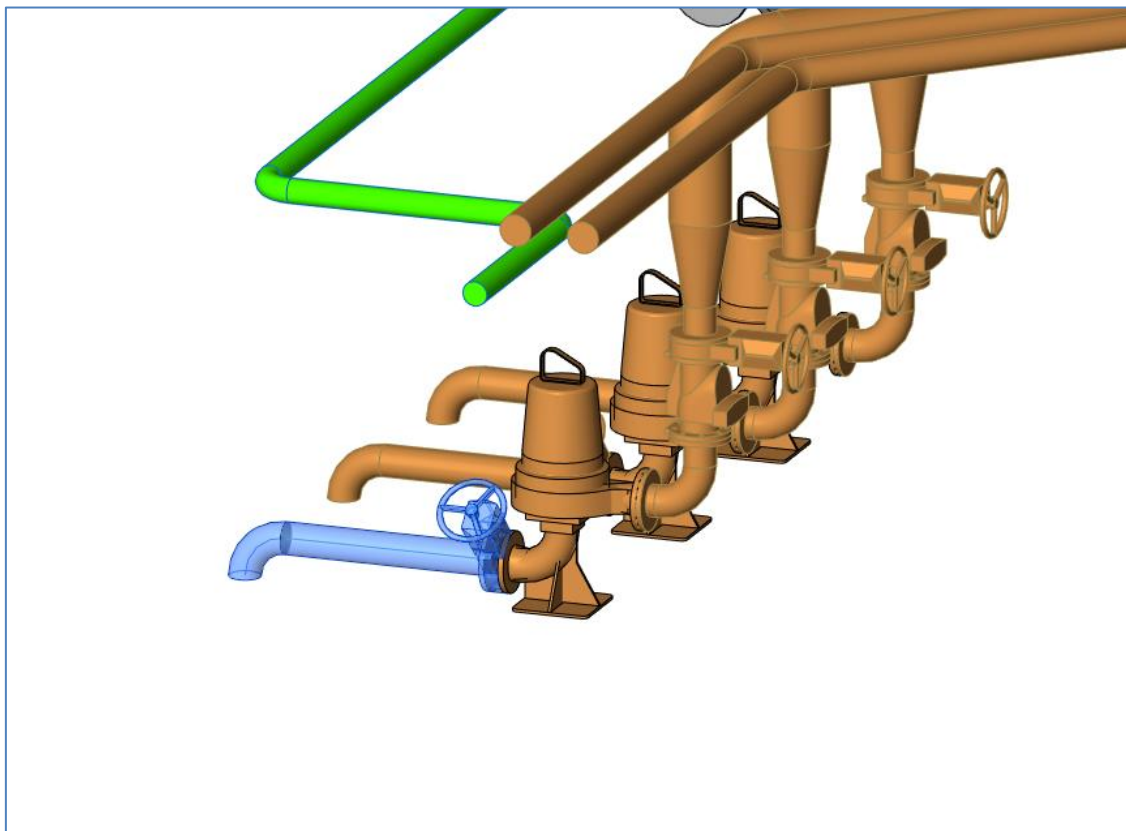
LEGENDA								
Dv (m)	vnitřní průměr potrubí				Lambda		součinitel tření	
L (m)	délka potrubí				Zt (m)		ztráty třením	
Vsk (m/s)	skutečná průřezová rychlost				Zm (m)		ztráta místními ztrátami	
Vkrit (m/s)	kritická rychlost				Hg (m)		geodetická dopravní výška	
Režim	režim proudění L = laminární				VYM 2 (m)		ztráta ve výměníku tepla	
Tauo (Pa)	tečné napětí u stěny				SUM Z (m)		suma všech ztrát	

Z výsledků je patrné, že je třeba požadovat dopravní výšku čerpadla $H_c = 4,15$ m. Navržené čerpadlo v předepsané sestavě tyto požadavky splňuje, viz Technické specifikace ve strojně-technologické části.

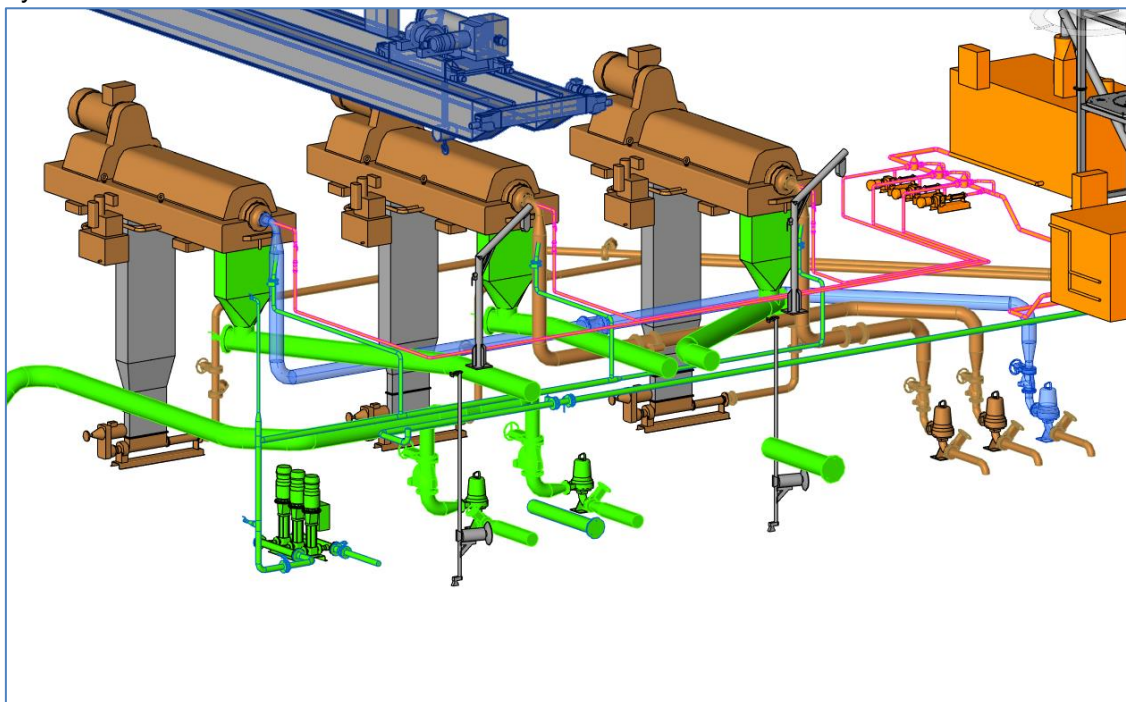
2.5.4 TRASA č. 4 – PŘEBYTEČNÝ KAL Z DOSAZOVACÍCH NÁDRŽÍ

Jde o nejnepříznivější trasu pro případ čerpání přebytečného kalu (vločkovitý kal z dosazovacích nádrží) na odstředivky zahuštění. Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 13, jednotlivé dílčí části jsou nadepsány v textu.

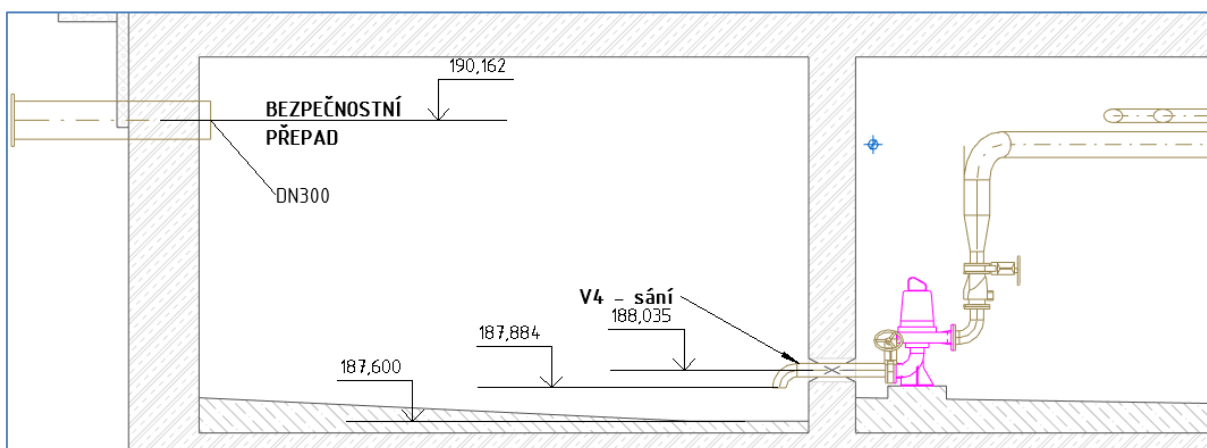
Sací strana čerpadel.



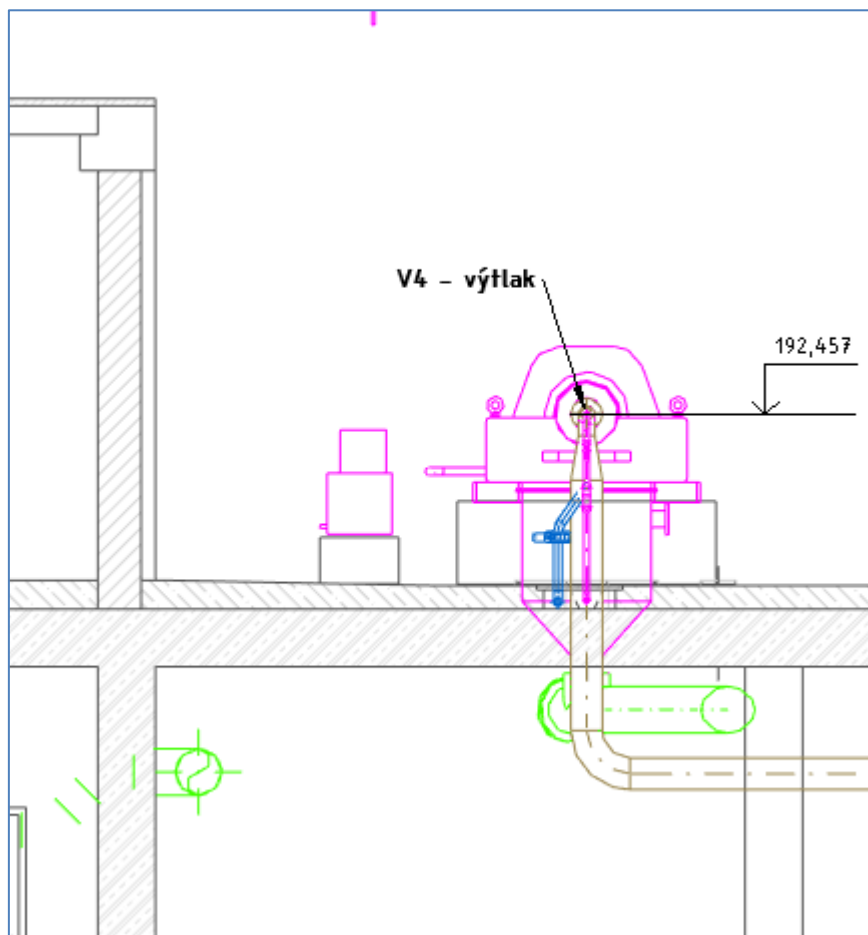
Výtlačná trasa.



Sací potrubí a maximální, resp. minimální, výška hladiny ve vyháněvací nádrži.



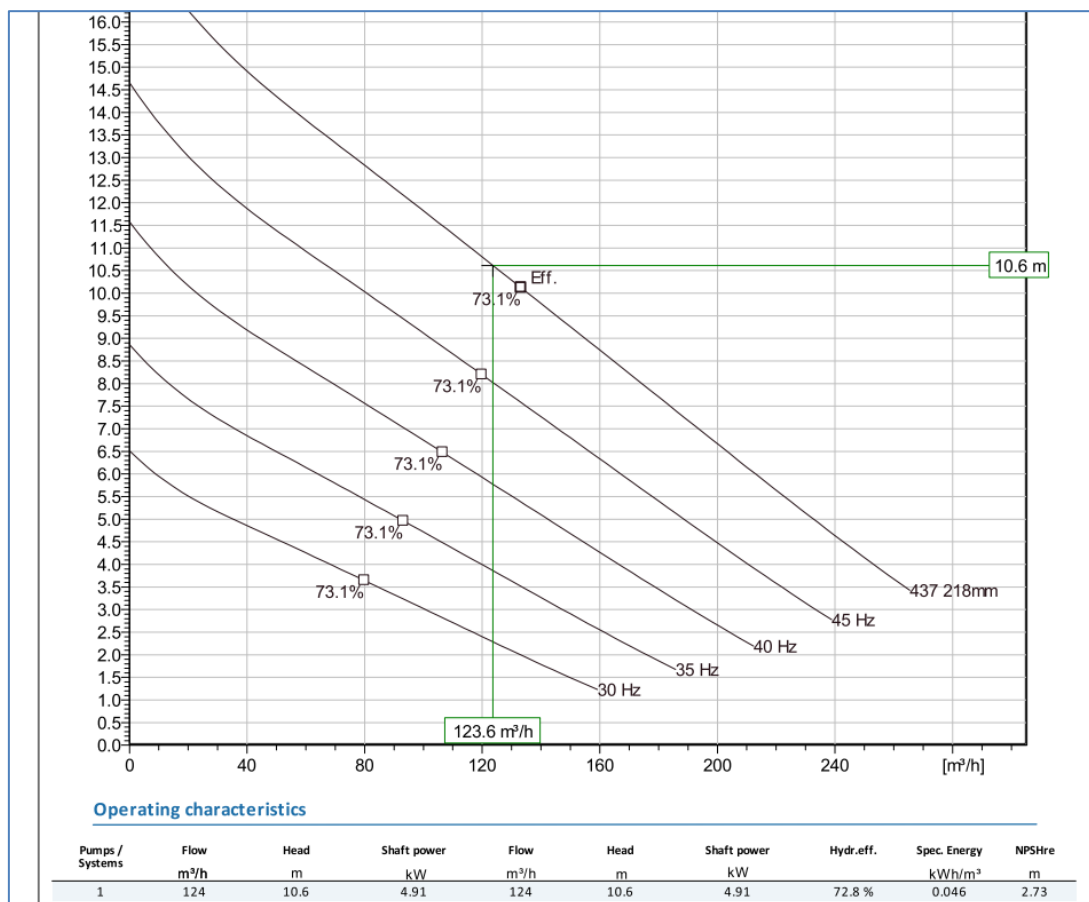
Zaústění konce výtlačného řadu do nádrže u Odvodnění vyhnílého kalu.



Čerpadlo

PROVOZNÍ ÚDAJE		
Hydraulický provozní bod		
Variabilní průtok		
Průtokové množství: min / jmen / max	m ³ /h	35
Výtlačná výška v provozním bodě při maximálním průtoku	mWC	10
Maximální výtlač čerpadla s nabízeným velikostí motoru	m	

Mechanické údaje		
Typ připojení - sání	type, ND, NP	DN150 / PN16, DIN2501
Typ připojení - výtlač	type, ND, NP	DN150 / PN16, DIN2501



Obrázek 13: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 4 – přebytečný kal z dosazovacích nádrží.

Průtok $Q = 123,6 \text{ m}^3/\text{hod} = 34,3 \text{ l/s}$ (bude se uvažovat maximální průtok jedním čerpadlem $Q = 40 \text{ l/s}$). Parametry potrubí, které bylo navrženo pro tuto trasu, ukazuje Tabulka 20 a Tabulka 21. Výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Obrázek 14. Pro maximální průtok $Q = 40 \text{ l/s}$ se požaduje dopravní výška čerpadla $4,08 \text{ m}$, což lze s navrženým čerpadlem docílit s frekvenčním měničem při otáčkách cca 85% ($n = 42,5 \text{ Hz}$). Navržené čerpadlo v předepsané sestavě tyto požadavky splňuje, viz Technické specifikace ve strojně-technologické části.

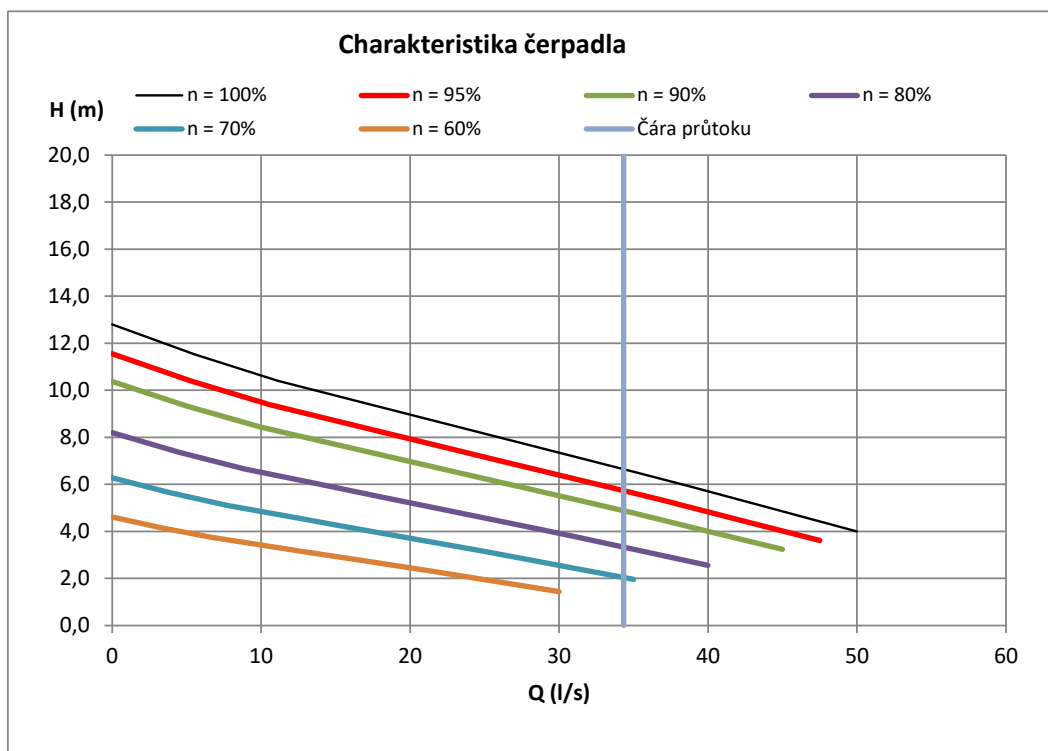
Tabulka 20: Parametry potrubí pro trasu č. 4.

LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V4 - sání	Potrubí	4000	100	108	114	Korozivzdorná ocel	0,76	Kal přebytečný
V4 - výtlač	Potrubí	4000	100	108	114	Korozivzdorná ocel	0,37	Kal přebytečný
V4 - výtlač	Potrubí	4000	200	213	219	Korozivzdorná ocel	14,25	Kal přebytečný

Tabulka 21: Parametry tvarovek pro trasu č. 4.

LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHĚL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V4 - sání	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal přebytečný	1
V4 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal přebytečný	2
V4 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	200	200	200	45,00°	Korozivzdorná ocel	Kal přebytečný	1
V4 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	200	200	200	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal přebytečný	2
V4 - výtlač	Redukce centrická	100	100	200		Korozivzdorná ocel	Kal přebytečný	1
V4 - výtlač	Redukce centrická	200	200	100		Korozivzdorná ocel	Kal přebytečný	1

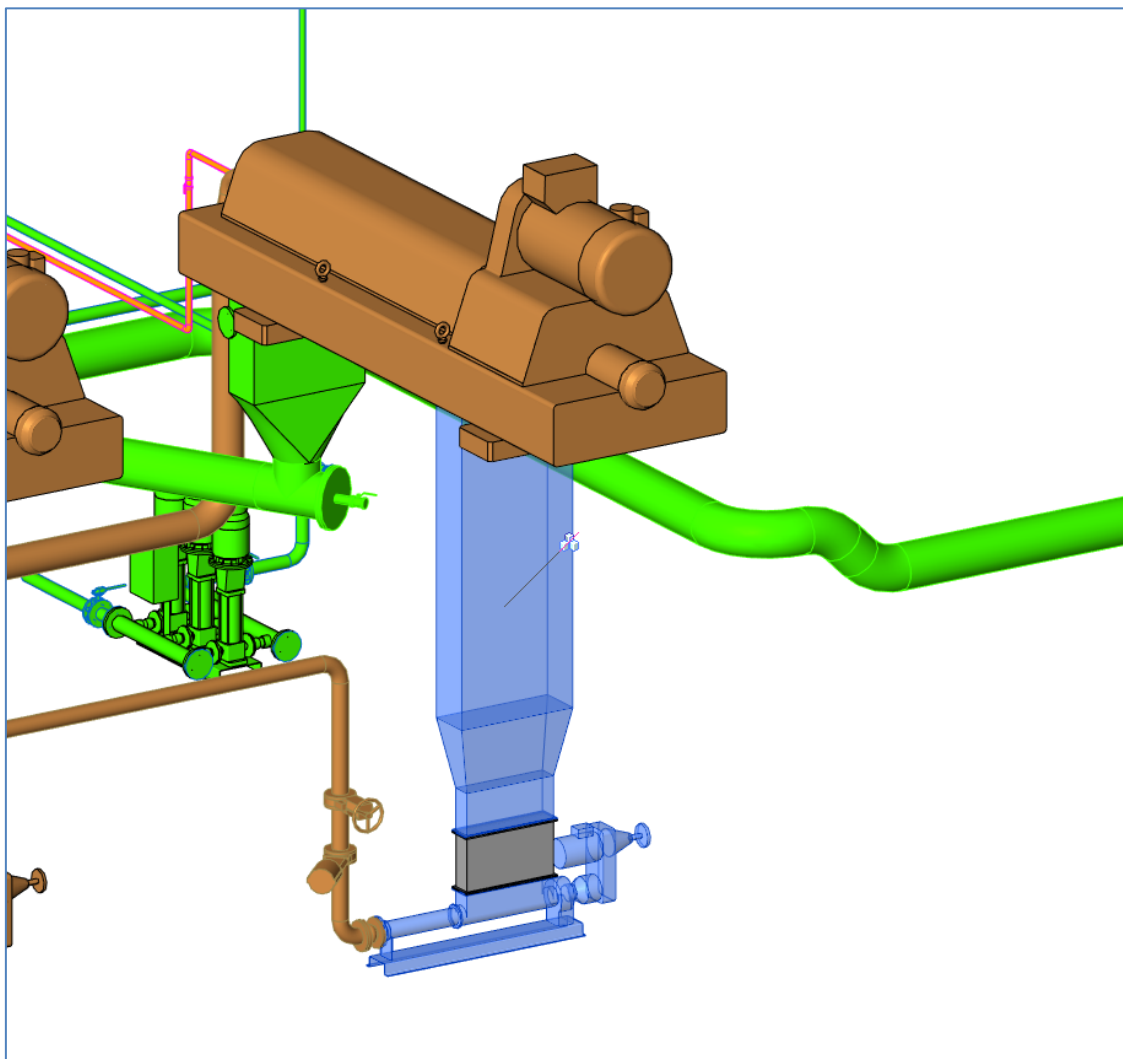
VYPOČTENÝ PROVOZNÍ BOD		
Ztráty třením	0,169 m	
Místní ztráty	0,449 m	
Zadaná Hg	3,460 m	Jedno čerp.
Parametry PB	Hč (m)	Qč (l/s)
	4,08 m	40,00



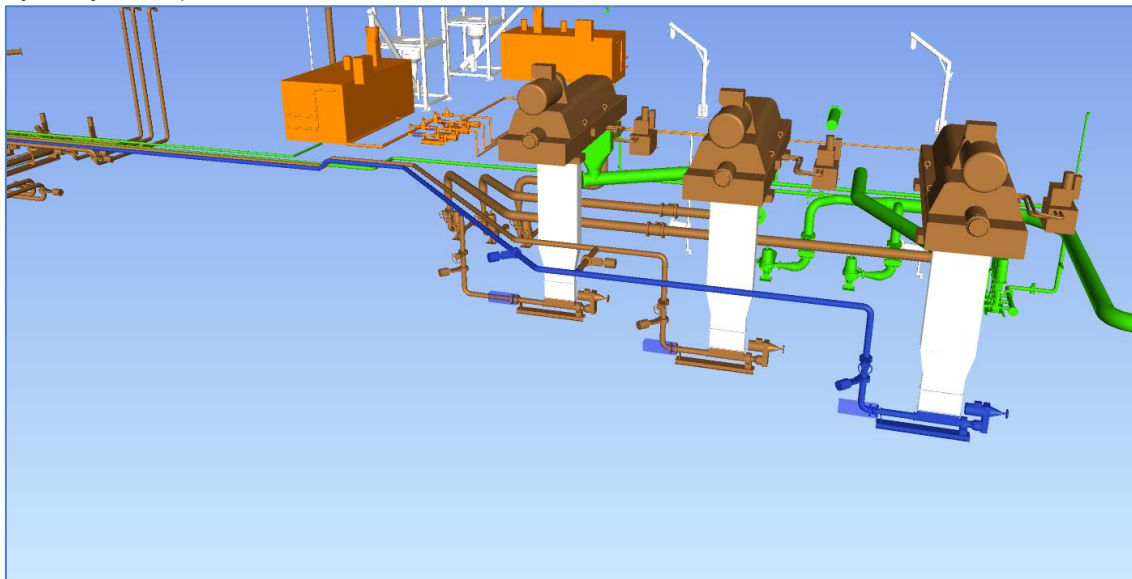
Obrázek 14: Určení provozního bodu čerpadla pro trasu č. 4.

2.5.5 TRASA č. 5 – ZAHUŠTĚNÝ SEKUNDÁRNÍ KAL

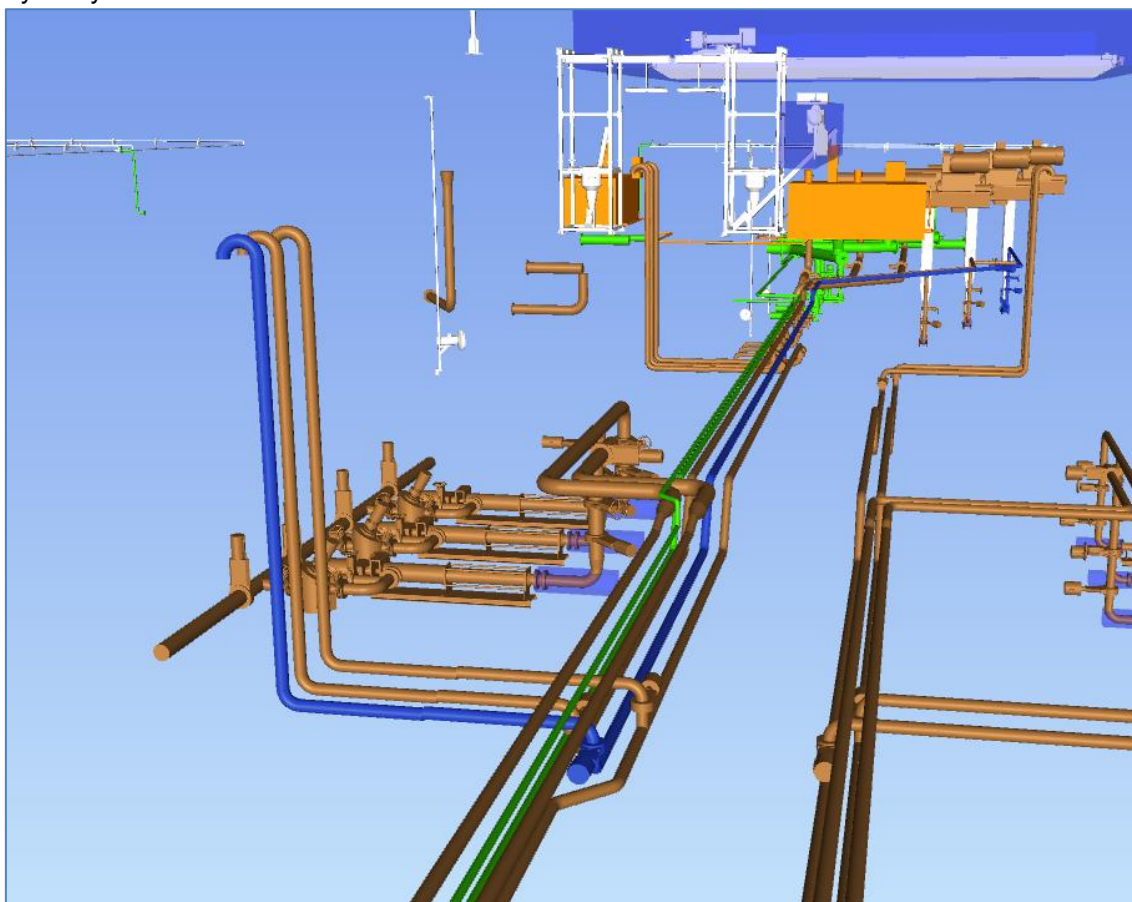
Jde o nejnejpříznivější trasu pro případ čerpání přebytečného zahuštěného biologického kalu (ZSK) do vyrovnávacích nádrží (sací strana čerpadel se nachází pod odstředivkou). Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 15, jednotlivé dílčí části jsou nadepsány v textu. Sací strana čerpadla.



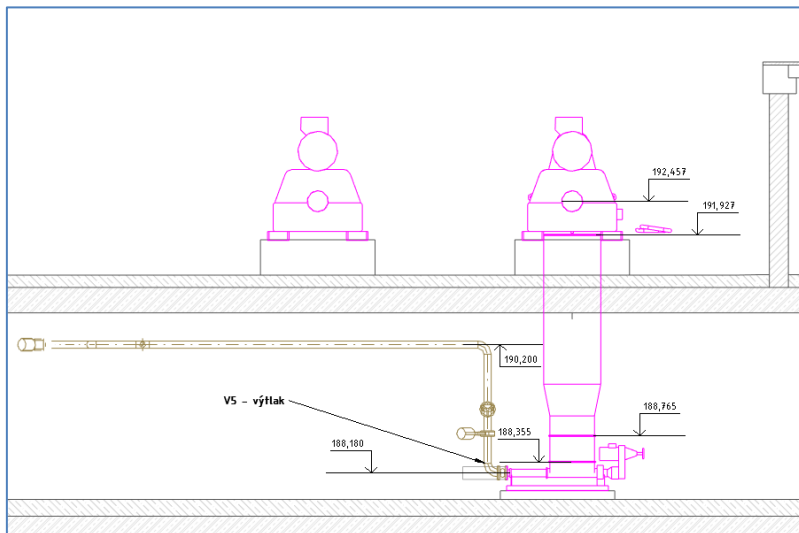
Výtlačný řad – první část.



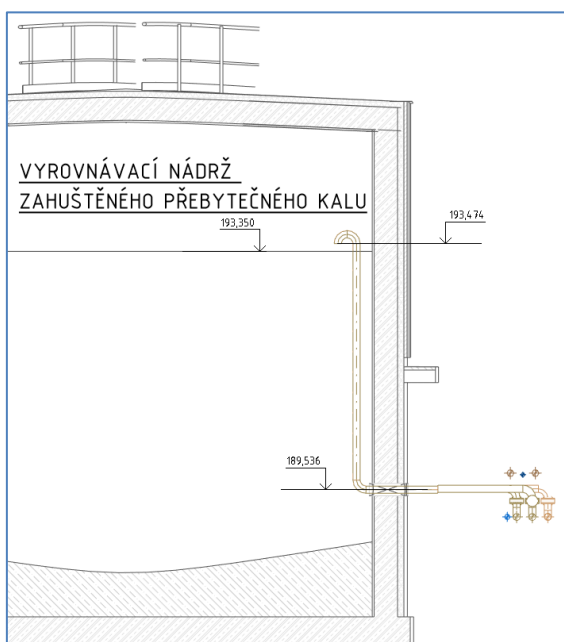
Výtlačný řad – druhá část.



Sací potrubí a maximální, resp. minimální, výška hladiny ve vyrovnávací nádrži ZSK:



Zaústění výtlačného řadu do volna v nádrži.

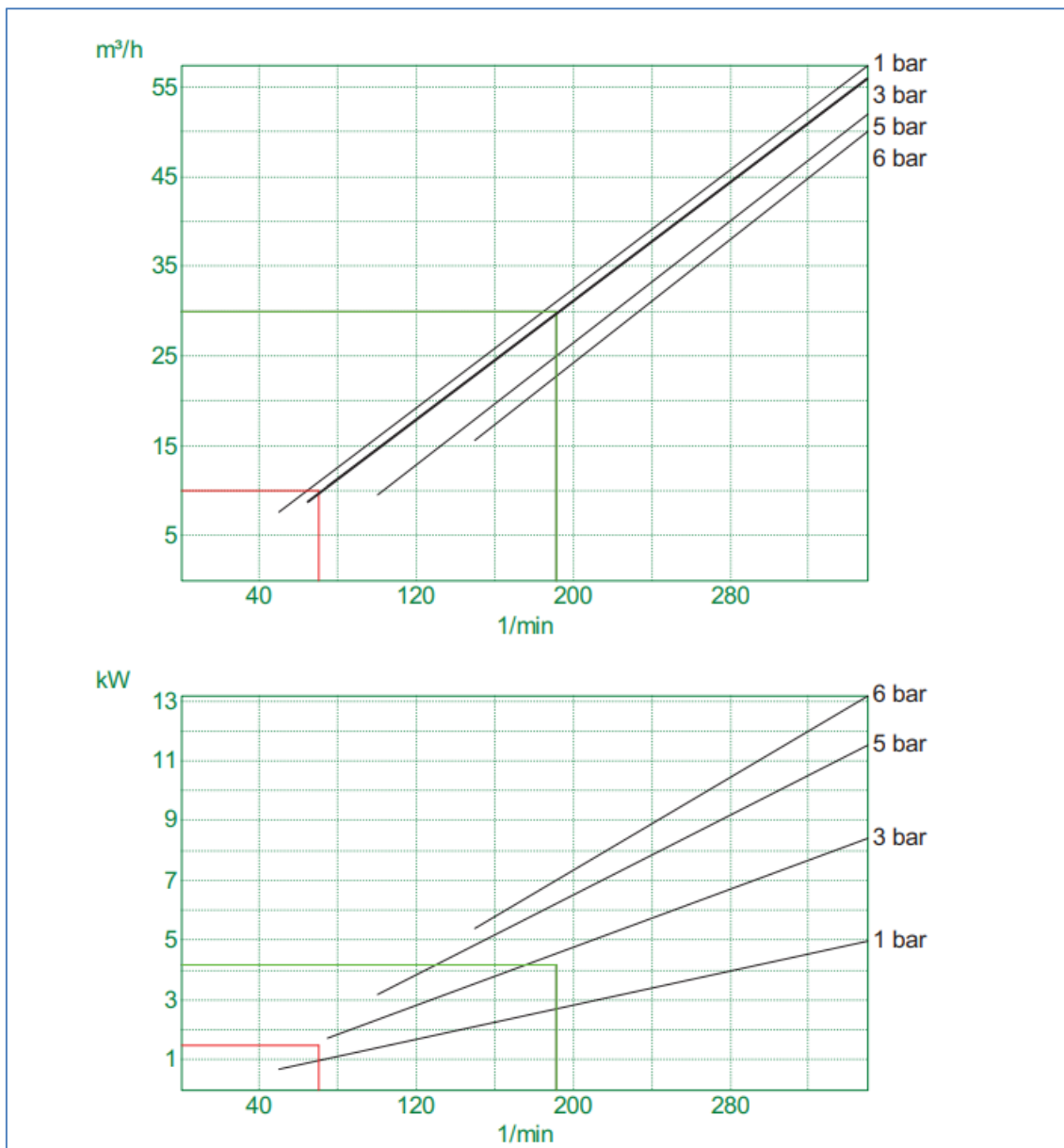


Vřetenové čerpadlo.

TECHNICKÁ SPECIFIKACE		
SPECIFIKACE DODAVATELE ZAŘÍZENÍ		
Počet jednotek:	3	
Jednotek v provozu :	3	
PID tag(y) :	0302[A-C] PO100A	
Popis	Jednotka	Podmínky dodavatele
PROVOZNÍ PODMINKY		
Kapalina		
Původ		zahuštěný přebytečný kal
Rozsah teplot	°C	
Konzistence		
Hustota	kg/m ³	
Obsah pevných částic	g/l	
pH		
Předčištěno česlemi s průlinou	mm	
Abrazivní činidla		
Chloridy	mol/l Cl ⁻	

PROVOZNÍ ÚDAJE		
Hydraulický provozní bod		
Variabilní průtok		
Průtokové množství: min / jmen / max	m ³ /h	15
Výtlačná výška v provozním bodě při maximálním průtoku	mWC	10
Maximální výtlač čerpadla s nabízeným velikostí motoru	m	
Rychlost otáčení rotoru se požaduje: nom / max	min-1	max 200
Otáčky rotoru a aktuální frekvence na průtoku min	min-1 / Hz	70 min-1 / 50 Hz
Otáčky rotoru a aktuální frekvence při jmenovitém průtoku	min-1 / Hz	191 min-1 / 50 Hz
Otáčky rotoru a aktuální frekvence při maximálním průtoku	min-1 / Hz	191 min-1 / 50 Hz
Max. tlak na sání	m	
Rozběhový krouticí moment	Nm	270
Provozní krouticí moment	Nm	205

Průtok Q = 15 m³/hod = 4,16 l/s.



Obrázek 15: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 5 – přebytečný zahuštěný kal do vyrovnávacích nádrží.

Parametry potrubí, které bylo navrženo pro tuto trasu, ukazuje Tabulka 22 a

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Tabulka 23. Výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Tabulka 24 a souhrnně Příloha č. 1.

Tabulka 22: Parametry potrubí pro trasu č. 5.

Výpočet_Potrubí								
LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V5 - výtlač	Potrubí	4000	100	108	114	Korozivzdorná ocel	50,05	Kal zahuštěný přebytný

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Tabulka 23: Parametry tvarovek pro trasu č. 5.

Výpočet Tvarovka								
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V5 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	45,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný přebytný	4
V5 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	60,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	2
V5 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný přebytný	7
V5 - výtlač	T-kus	100	100	100		Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný přebytný	3

Tabulka 24: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 5.

Označení	hustota	τ_y	K	n	Q	Dv	L	Vsk	Vkrit	Režim	Tauo	Lambda	Zt	Zm	Hg	VYM1	VYM2	SUMZ
	(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
ZSK	1016,2	55	4	0,4	4,16	0,108												
TRASA 5	Sací						0	0,45		L	0	0	0	0				
	Výtlač 1						50,05	0,45	5,17	L	80,859	3,0869	15,29	6,65				
	Výtlač 2									L								
	SUMA												15,29	6,65	4,7	0	0	26,64

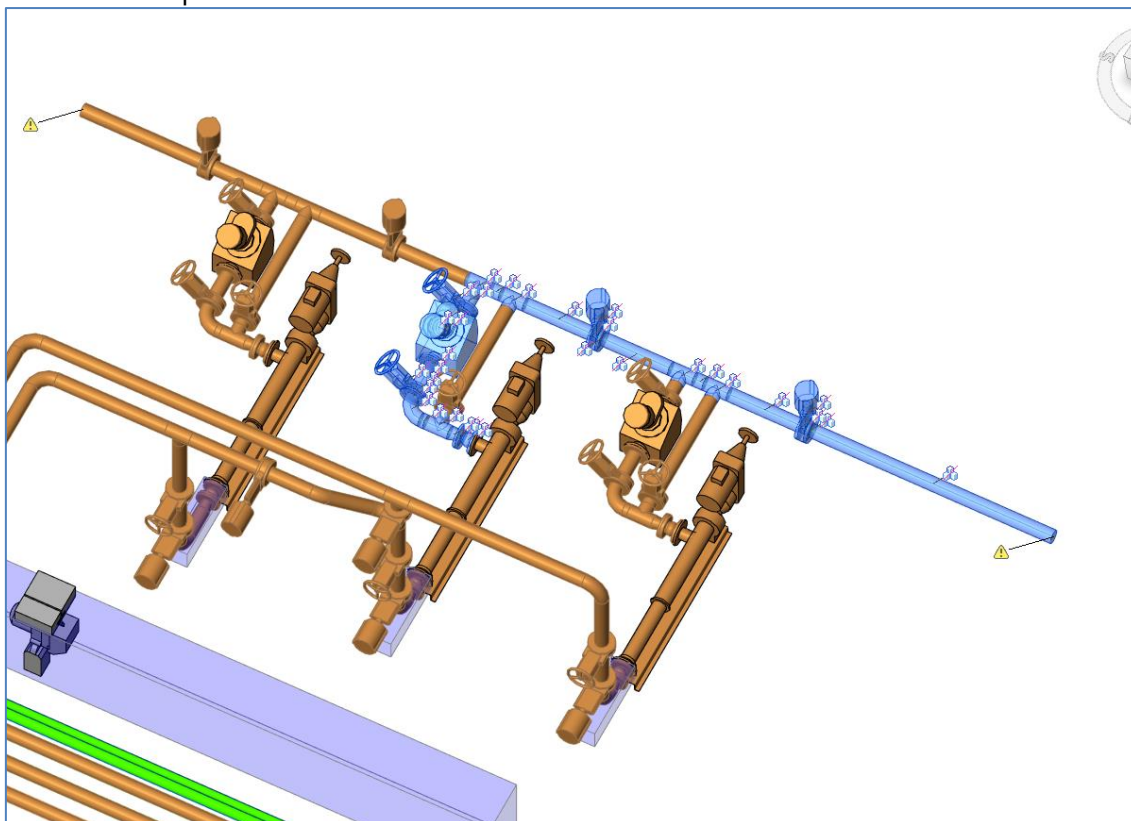
LEGENDA																		
Dv (m)	vnitřní průměr potrubí							Lambda		součinitel tření								
L (m)	délka potrubí							Zt (m)		ztráty třením								
Vsk (m/s)	skutečná průřezová rychlost							Zm (m)		ztráta místními ztrátami								
Vkrit (m/s)	kritická rychlost							Hg (m)		geodetická dopravní výška								
Režim	režim proudění L = laminární							VYM 2 (m)		ztráta ve výměníku tepla								
Tauo (Pa)	tečné napětí u stěny							SUM Z (m)		suma všech ztrát								

Z výsledků je patrné, že je třeba požadovat dopravní výšku čerpadla $H\check{c} = 26,64$ m. Navržené čerpadlo v předepsané sestavě tyto požadavky splňuje, viz Technické specifikace ve strojně-technologické části.

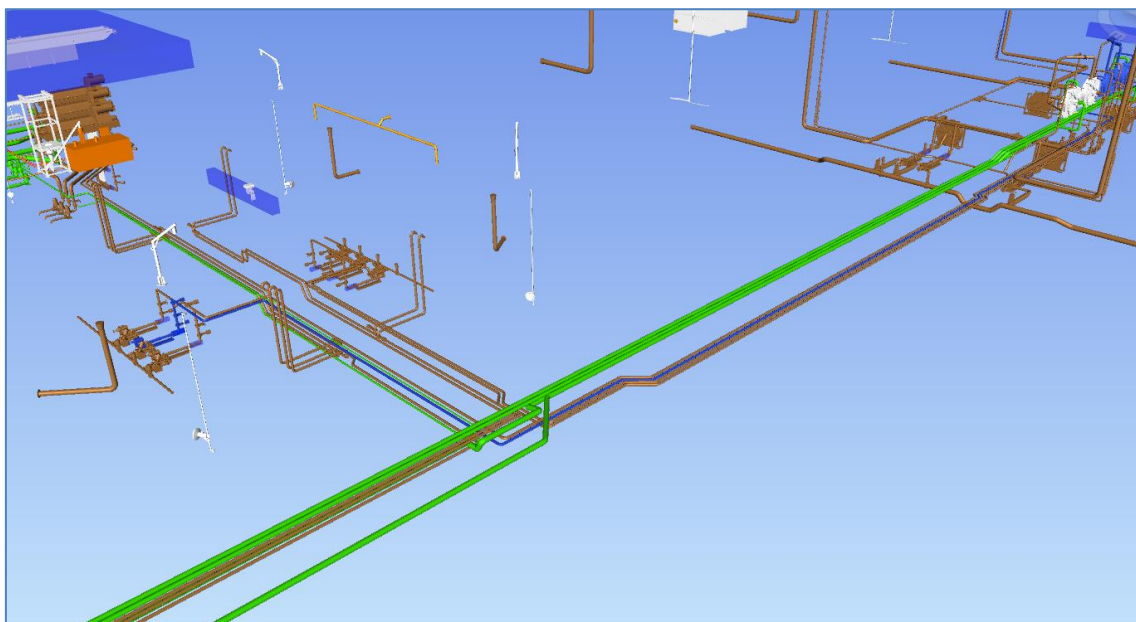
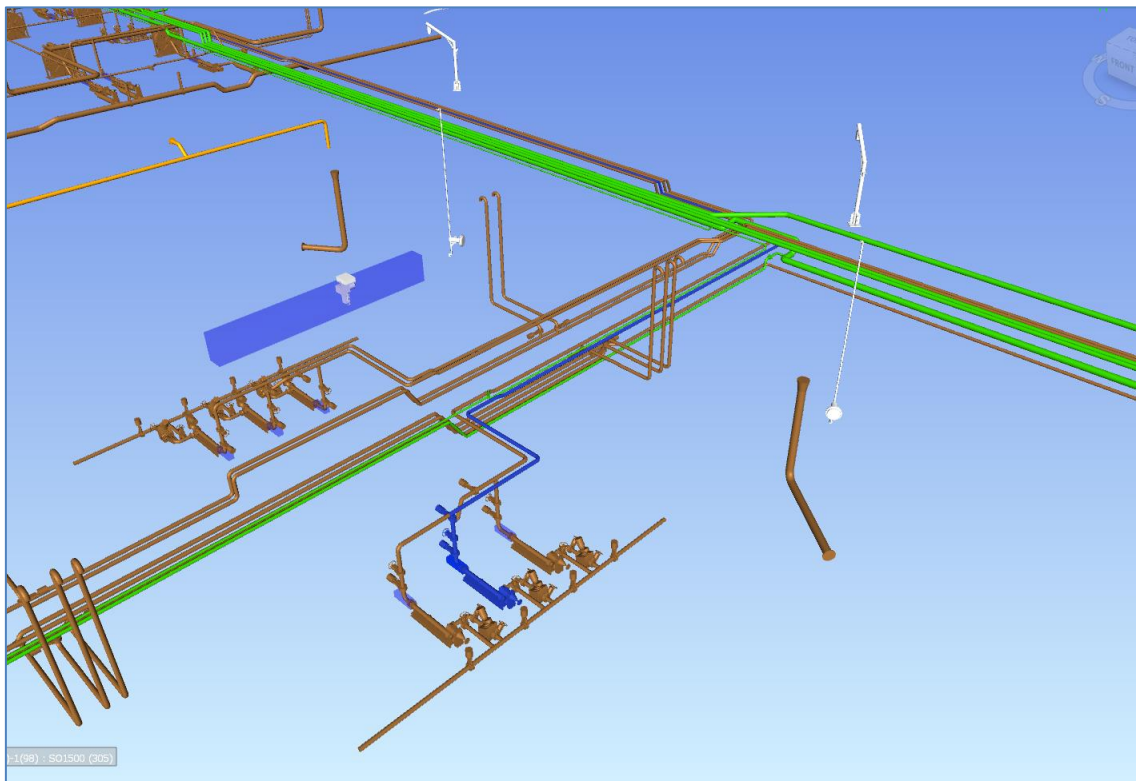
2.5.6 TRASA č. 6 – SMĚSNÝ KAL DO VYHNÍVACÉ NÁDRŽE

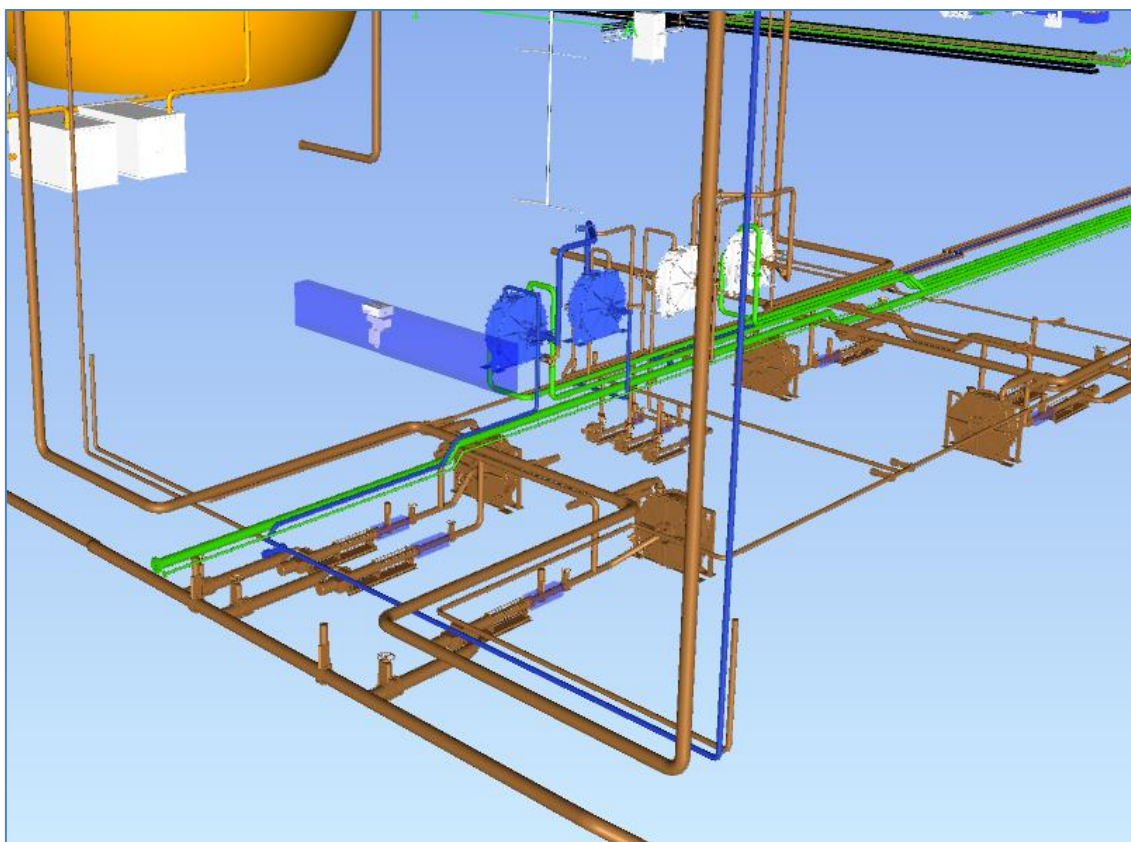
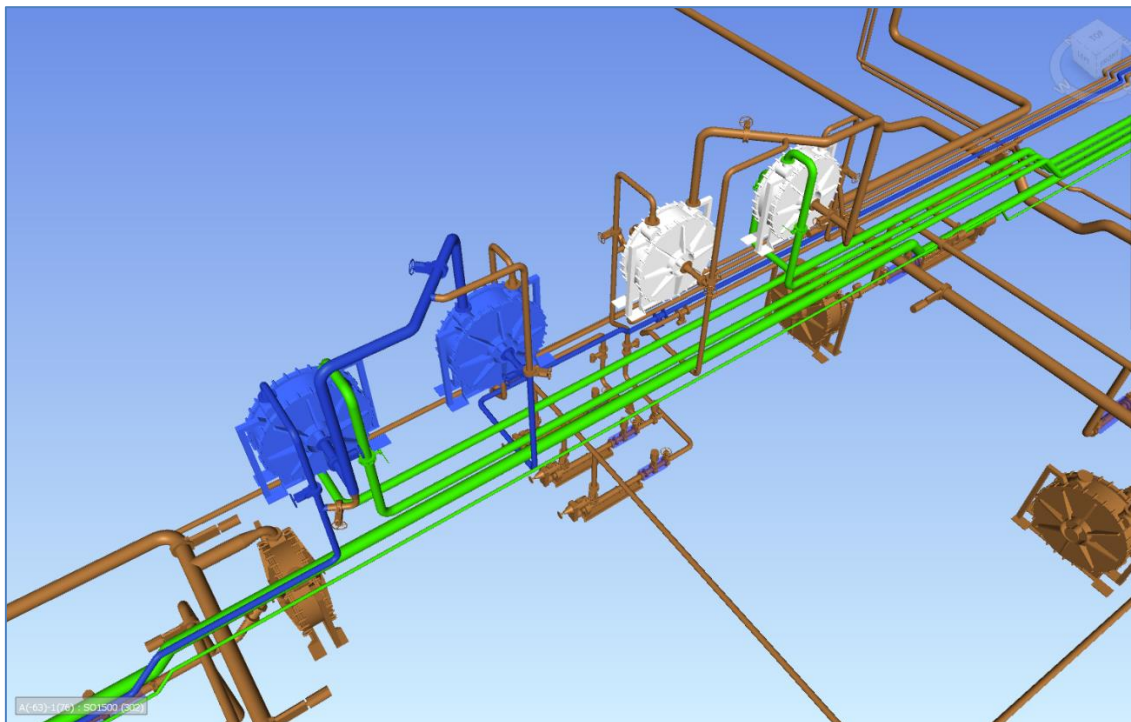
Jde o nejnejpříznivější trasu pro případ čerpání přebytečného zahuštěného kalu (SK) z vyrovnávacích nádrží do vyhnívacích nádrží. Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 16, jednotlivé dílčí části jsou nadepsány v textu.

Sací strana čerpadla.

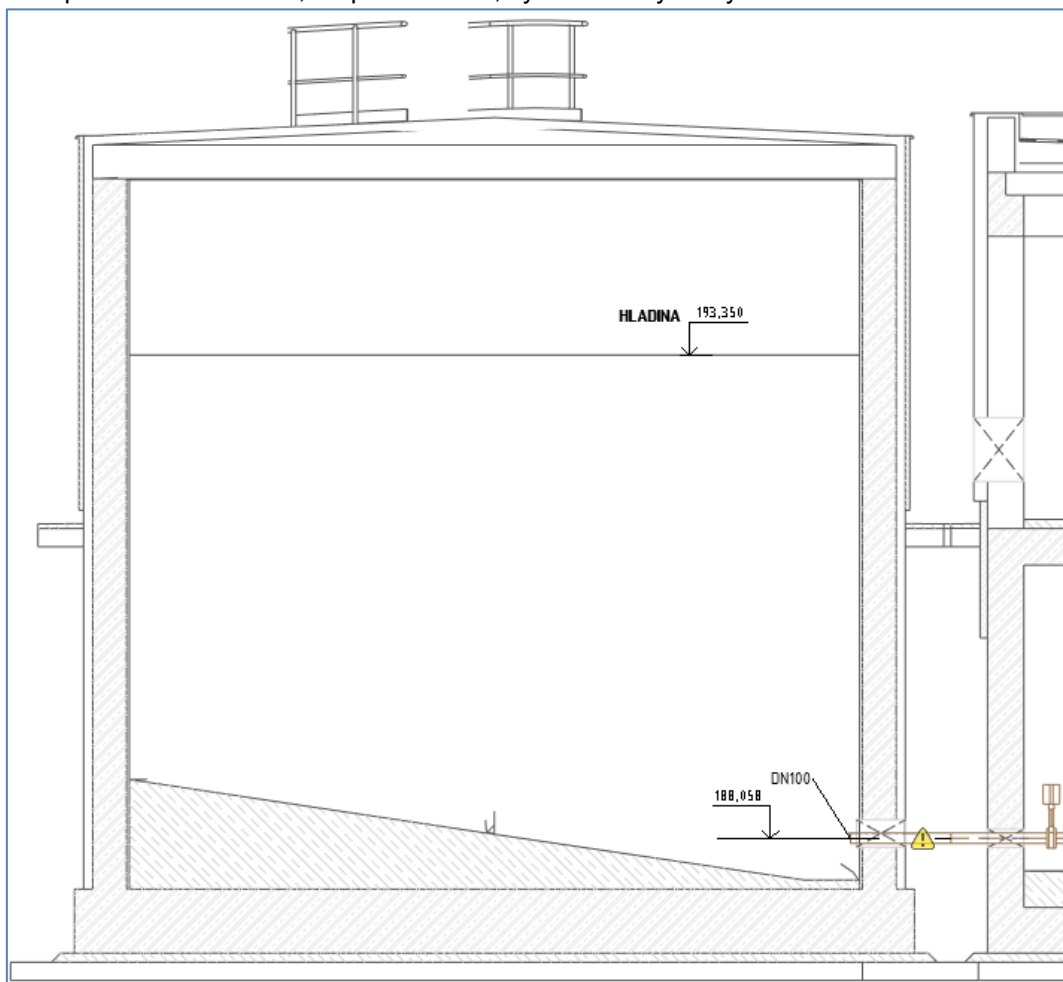


Výtlačný řad.

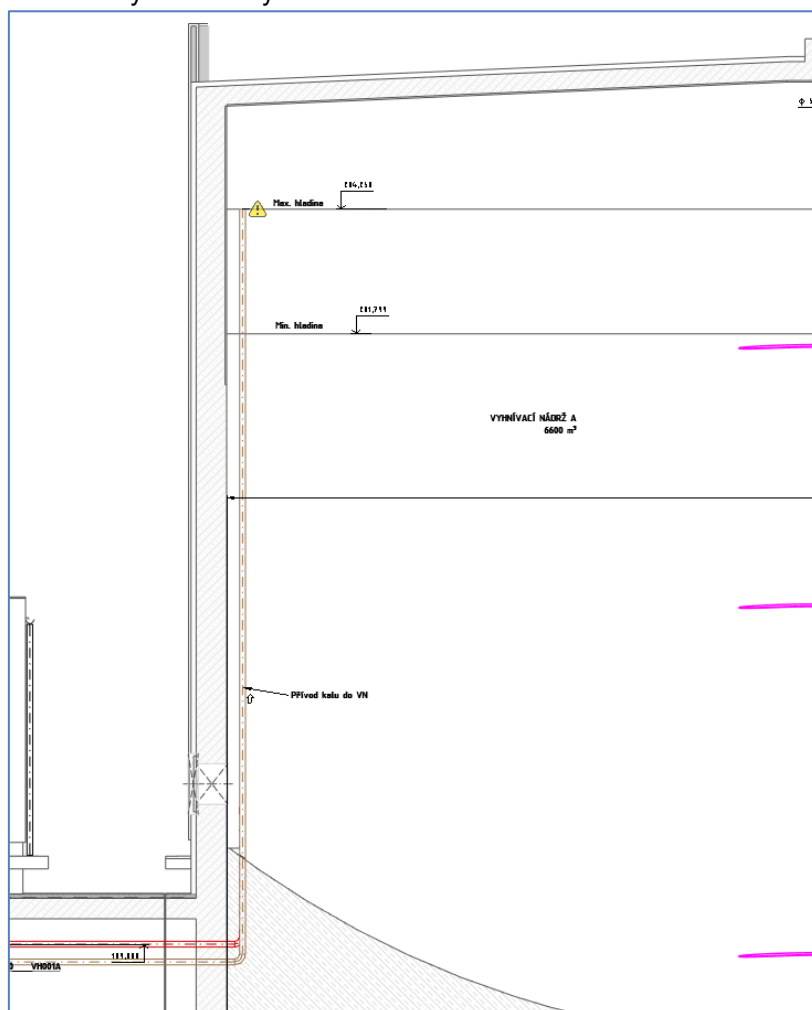




Sací potrubí a maximální, resp. minimální, výška hladiny ve vyhřívací nádrži.



Zaústění výtlačku do Vyhňivací nádrže:



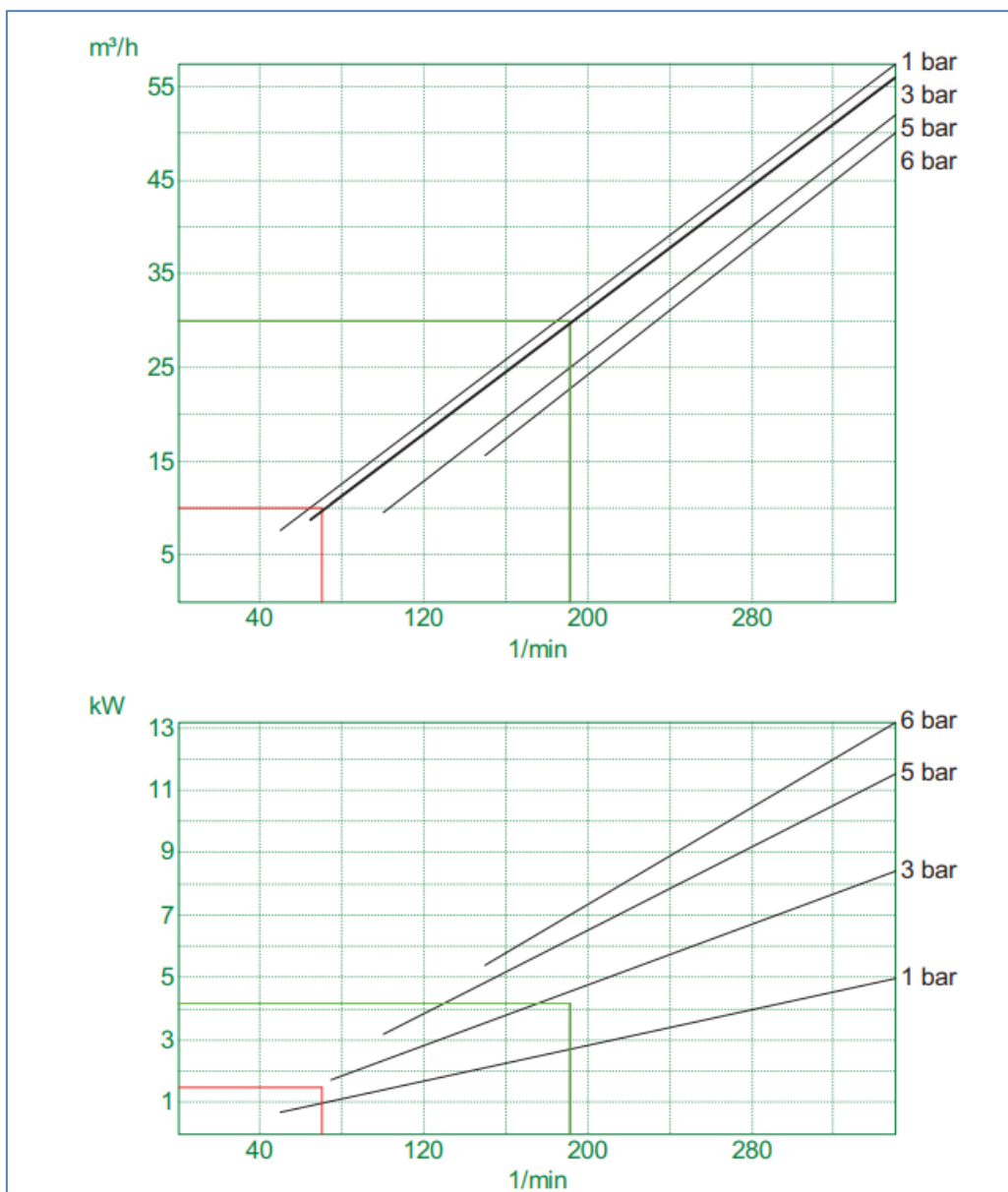
Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Vřetenové čerpadlo

TECHNICKÁ SPECIFIKACE		
SPECIFIKACE DODAVATELE ZÁŘIZENÍ		
Počet jednotek:	3	
Jednotek v provozu :	3	
PID tag(y) :	0302[A-C] PO100A	
Popis	Jednotka	Podmínky dodavatele
PROVOZNÍ PODMÍNKY		
Kapalina		
Původ		směsný kal
Rozsah teplot	°C	
Konzistence		
Hustota	kg/m ³	
Obsah pevných částic	g/l	
pH		
Předčištěno česlemi s průlinou	mm	
Abrazivní činidla		
Chlorydy	mg/l Cl-	
Provozní údaje		
Operační čas	h/d - h/y	24h/d
Startů za hodinu	nb/h	20
Variabilní průtok	ano / ne	ano
Typ regulace	manuální / automatické	automatické
Typ pohonu čerpadla	motor s převodovkou / variabilní převodový motor	motor s převodovkou
Měníč kmitočtu nebo softstartér		DOL

Provozní údaje

PROVOZNÍ ÚDAJE		
Hydraulický provozní bod		
Variabilní průtok		
Průtokové množství: min / jmen / max	m ³ /h	30
Výtláčná výška v provozním bodě při maximálním průtoku	mWC	30
Maximální výtlak čerpadla s nabízeným velikostí motoru	m	
Rychlost otáčení rotoru se požaduje: nom / max	min-1	max 200
Otáčky rotoru a aktuální frekvence na průtoku min	min-1 / Hz	70 min-1 / 50 Hz
Otáčky rotoru a aktuální frekvence při jmenovitém průtoku	min-1 / Hz	191 min-1 / 50 Hz
Otáčky rotoru a aktuální frekvence při maximálním průtoku	min-1 / Hz	191 min-1 / 50 Hz
Max. tlak na sání	m	
Rozběhový krouticí moment	Nm	270
Provozní krouticí moment	Nm	205



Obrázek 16: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 6 – přebytečný zahuštěný kal z vyrovnávacích do vyhnívacích nádrží.

Výměník tepla

Požaduje se celkový maximální průtok do výměníku čerpadlem $Q = 53 \text{ m}^3/\text{h} = 14,72 \text{ l/s}$. Průtok čerpadlem se předpokládá $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h} = 8,3 \text{ l/s}$.

Ztráta na horké straně $95,18 \text{ kPa} = 9,5 \text{ m}$

Ztráta na studené straně $70,87 \text{ kPa} = 7 \text{ m}$

Průtok $Q_{\text{max}} = 53 \text{ m}^3/\text{hod} = 14,72 \text{ l/s}$

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Parametry potrubí, které bylo navrženo pro tuto trasu, ukazuje Tabulka 25 až Tabulka 28. Výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Tabulka 29 a souhrnně Příloha č. 1.

Tabulka 25: Parametry sacího potrubí pro trasu č. 6.

LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V6 - sání	Potrubí	4200	100	108	114	Korozivzdorná ocel	5,61	Kal zahuštěný směsný

Tabulka 26: Parametry tvarovek sacího pro trasu č. 6.

LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V6 - sání	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	1
V6 - sání	Redukce excentrická	100	100	80		Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	1
V6 - sání	T-kus	100	100	100		Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	5

Tabulka 27: Parametry výtlačného potrubí pro trasu č. 6.

LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V6 - výtlač	Potrubí	4300	100	108	114	Korozivzdorná ocel	131,21	Kal zahuštěný směsný
V6 - výtlač	Potrubí	4300	150	162	168	Korozivzdorná ocel	6,97	Kal zahuštěný směsný

Tabulka 28: Parametry tvarovek výtlačného pro trasu č. 6.

LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V6 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	15,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	2
V6 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	45,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	9
V6 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	10
V6 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	45,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	1
V6 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	90,00°	Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	2
V6 - výtlač	Redukce centrická	100	100	80		Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	1
V6 - výtlač	Redukce centrická	150	150	100		Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	2
V6 - výtlač	T-kus	100	100	100		Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	5
V6 - výtlač	T-kus	150	150	<různý>		Korozivzdorná ocel	Kal zahuštěný směsný	2

Tabulka 29: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 6.

Označení	<i>hustota</i> (kg/m ³)	<i>τ_y</i> (Pa)	<i>K</i> (Pa.s)	<i>n</i> (-)	<i>Q</i> (l/s)	<i>Dv</i> (m)	<i>L</i> (m)	<i>Vsk</i> (m/s)	<i>Vkrit</i> (m/s)	<i>Režim</i> (-)	<i>Tauo</i> (Pa)	<i>Lambda</i> (-)	<i>Zt</i> (m)	<i>Zm</i> (m)	<i>Hg</i> (m)	<i>VYM1</i> (m)	<i>VYM2</i> (m)	<i>SUMZ</i> (m)
SK-do VN	994,2	8,5	0,35	0,7														
TRASA 6	Sací				8,3	0,108	5,61	0,906	2,74	L	17,717	0,17367	0,376	1,653				
	Výtlač 1				8,3	0,162	6,97	0,903	2,45	L	13,261	0,6581	0,233	0,729				
	Výtlač 2				8,3	0,108	131,21	0,906	2,74	L	17,717	0,17367	8,78	5,43				
	SUMA												9,389	7,812	10,9	7	7	42,1

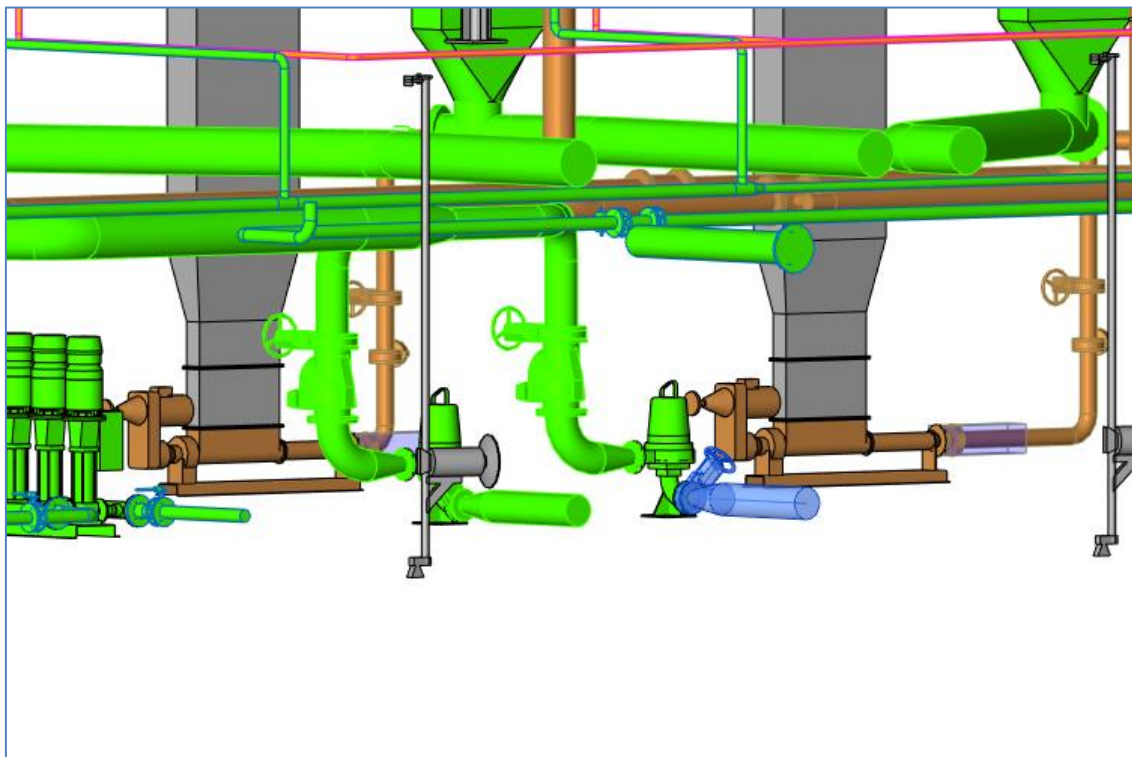
LEGENDA																		
Dv (m)	vnitřní průměr potrubí							Lambda		součinitel tření								
L (m)	délka potrubí							Zt (m)		ztráty třením								
Vsk (m/s)	skutečná průřezová rychlost							Zm (m)		ztráta místními ztrátami								
Vkrit (m/s)	kritická rychlost							Hg (m)		geodetická dopravní výška								
Režim	režim proudění L = laminární							VYM 2 (m)		ztráta ve výměníku tepla								
Tauo (Pa)	tečné napětí u stěny							SUM Z (m)		suma všech ztrát								

Z výsledků je patrné, že je třeba požadovat dopravní výšku čerpadla H_č = 42,1 m. Navržené čerpadlo v předepsané sestavě tyto požadavky splňuje, viz Technické specifikace ve strojně-technologické části.

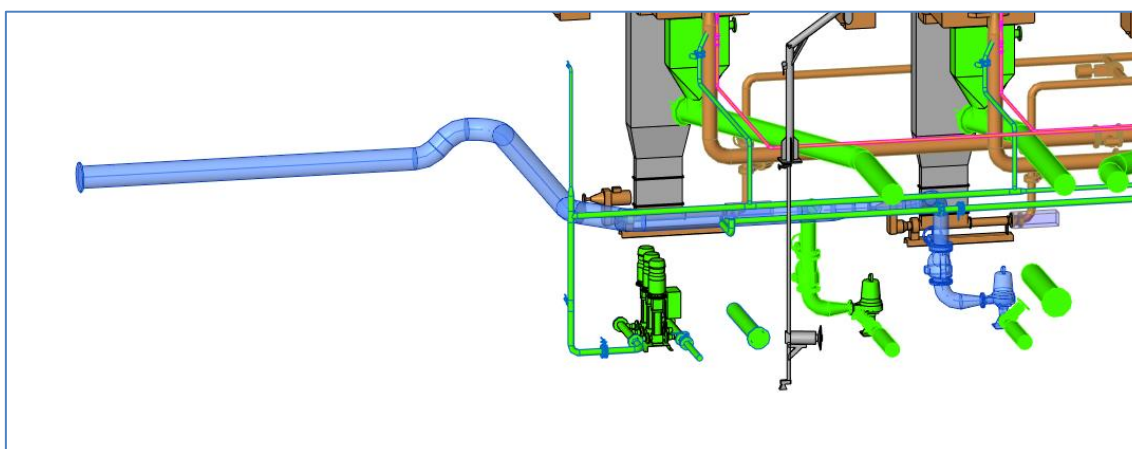
2.5.7 TRASA č. 7 – ČERPÁNÍ FUGÁTU V OBJEKTU SO4000 A SO2300

Jde o čerpání kalové vody (fugátu) v objektu v SO4000 (první část) a v objektu SO2300 (druhá část). Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 17, jednotlivé dílčí části jsou nadepsány v textu.

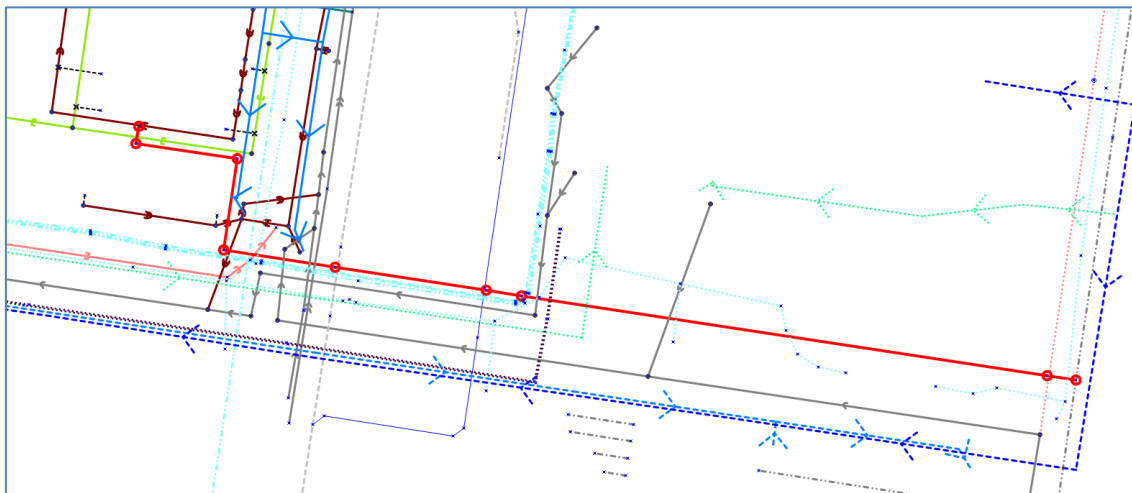
Sací strana čerpadla.



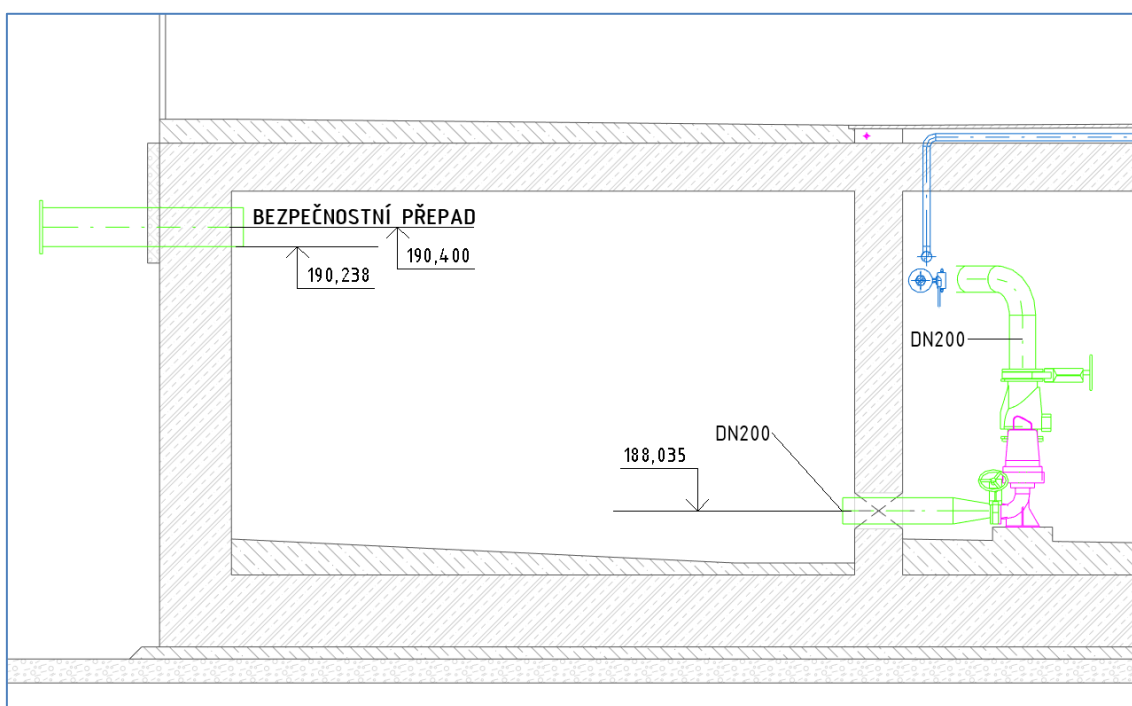
Výtlačný řad – první část.



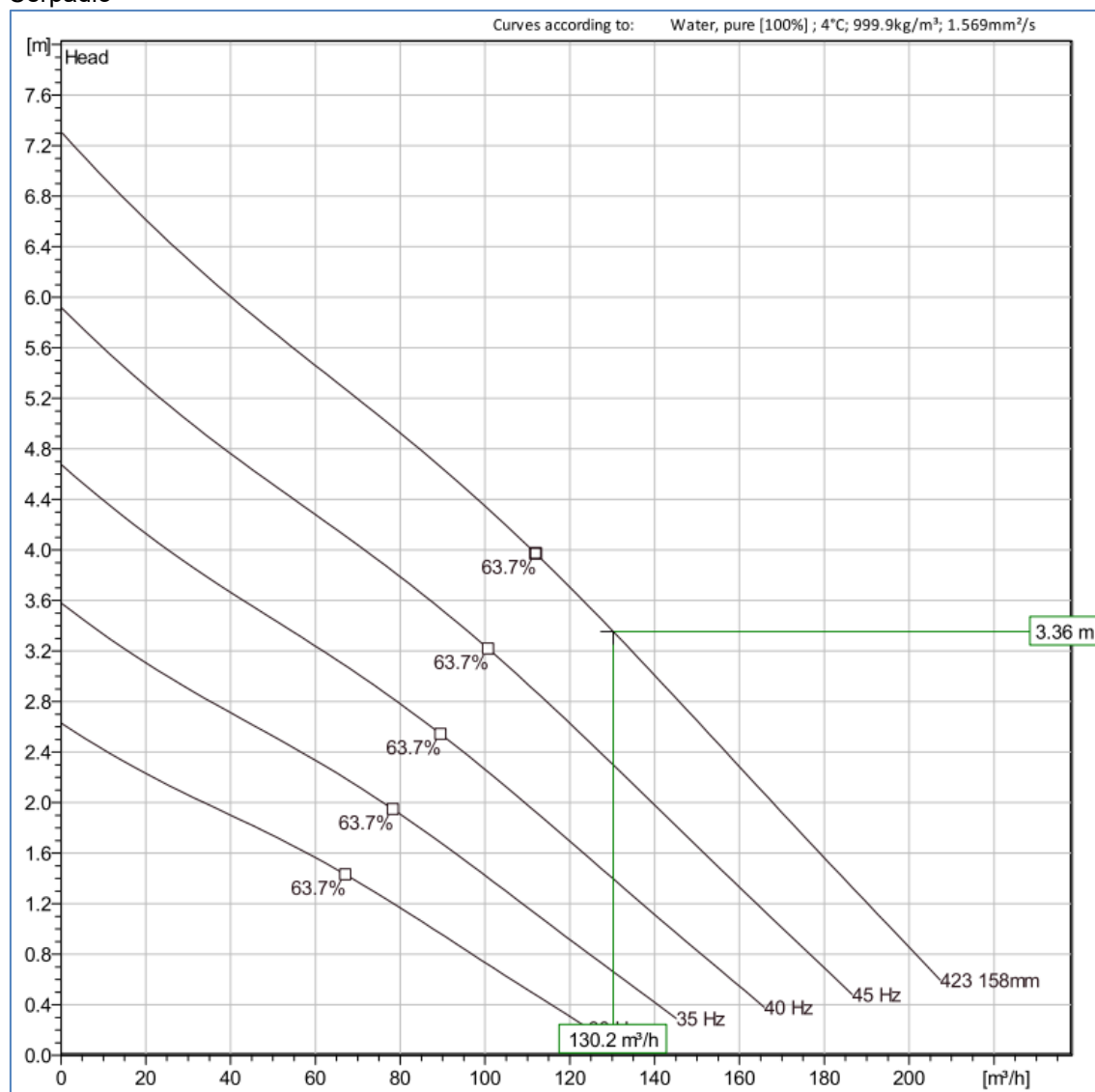
Výtlačný řad – druhá část.



Sací potrubí a maximální, resp. minimální, výška hladiny ve vyhnívací nádrži.



Čerpadlo



Obrázek 17: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 7 – čerpání fugátu.

Parametry potrubí, které bylo navrženo pro tuto trasu, ukazuje pro první část Tabulka 30 a Tabulka 31, pro druhou část jsou parametry potrubí uvedeny v textu.

Tabulka 30: Parametry sacího potrubí pro trasu č. 7.

Výpočet_Potrubí								
LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V7 - sání	Potrubí	4000	200	213	219	Korozivzdorná ocel	0,92	Voda kalová (fugát, filtrát)
V7 - výtlač=tvarovka	Potrubí	4000	200	213	219	Korozivzdorná ocel	1,56	Voda kalová (fugát, filtrát)
V7 - výtlač 1	Potrubí	4000	300	318	324	Korozivzdorná ocel	12,66	Voda kalová (fugát, filtrát)

Tabulka 31: Parametry tvarovek sacího pro trasu č. 7.

Výpočet_Tvarovka									
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet	Ksi_VH
V7 - sání	Redukce centrická	100	100	200		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1	
V7 - výtlač 1	Koleno 3D (R=1,5DN)	200	200	200	45,00°	Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1	
V7 - výtlač 1	Koleno 3D (R=1,5DN)	200	200	200	90,00°	Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	2	
V7 - výtlač 1	Koleno 3D (R=1,5DN)	300	300	300	45,00°	Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	4	
V7 - výtlač 1	Koleno 3D (R=1,5DN)	300	300	300	90,00°	Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1	
V7 - výtlač 1	Redukce centrická	100	100	200		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1	
V7 - výtlač 1	Redukce centrická	200	200	300		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1	
V7 - výtlač 1	T-kus	300	300	200		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1	

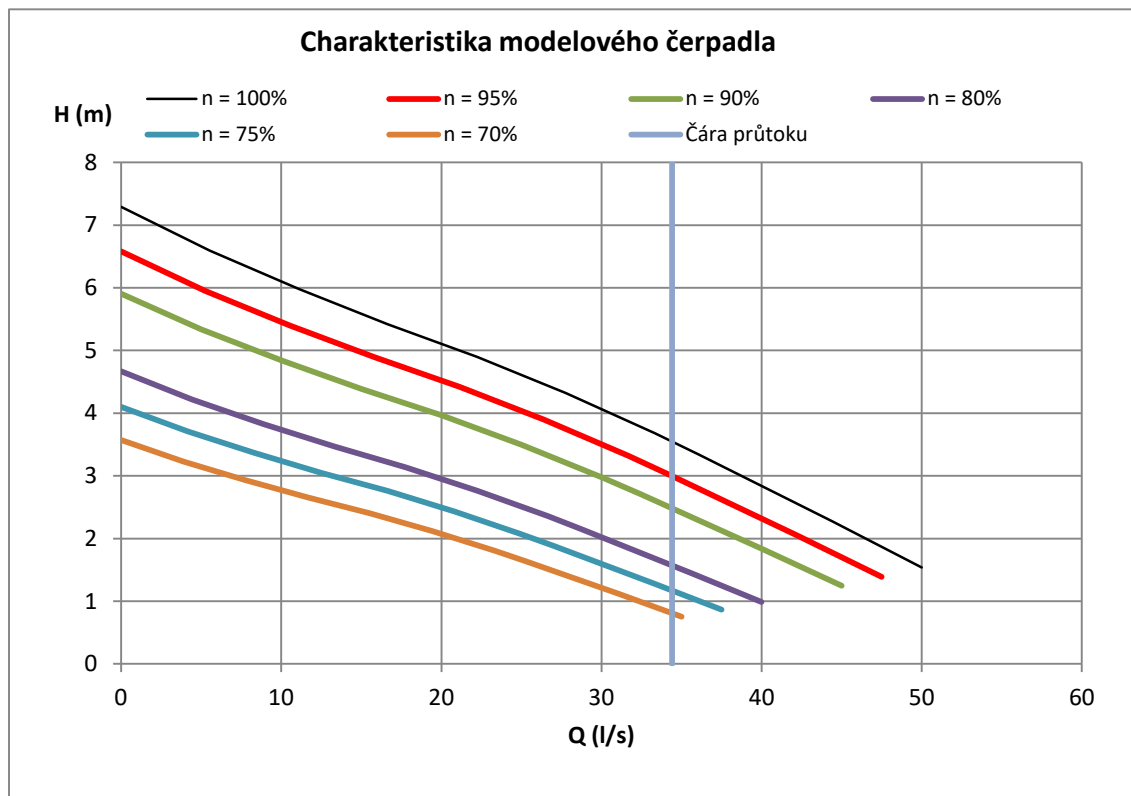
VÝTLČNÝ ŘAD – druhá část, d355 PE, tj. Dv = 312,8 mm

L = 156,9 m

Kolena směrová: 3x 90°, lomy výškové: 1x 90°.

Požadovaný provozní bod je uveden níže a následně výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Obrázek 18. Z výsledku je patrné, že průtok $Q = 123,6 \text{ m}^3/\text{hod} = 34,4 \text{ l/s}$ vyžaduje dopravní výšku čerpadla cca 1,27 m, což lze zvoleným čerpadlem při použití frekvenčního měniče splnit pro provozní otáčky o něco nižší než 80 % ($n = 40 \text{ Hz}$).

VÝPOČTENÝ PROVOZNÍ BOD			
Ztráty třením	0,170 m		
Místní ztráty	0,097 m		
Zadaná Hg	1,000 m	Jedno čerp.	
Parametry PB	Hč (m)		Qč (l/s)
	1,27 m		34,40



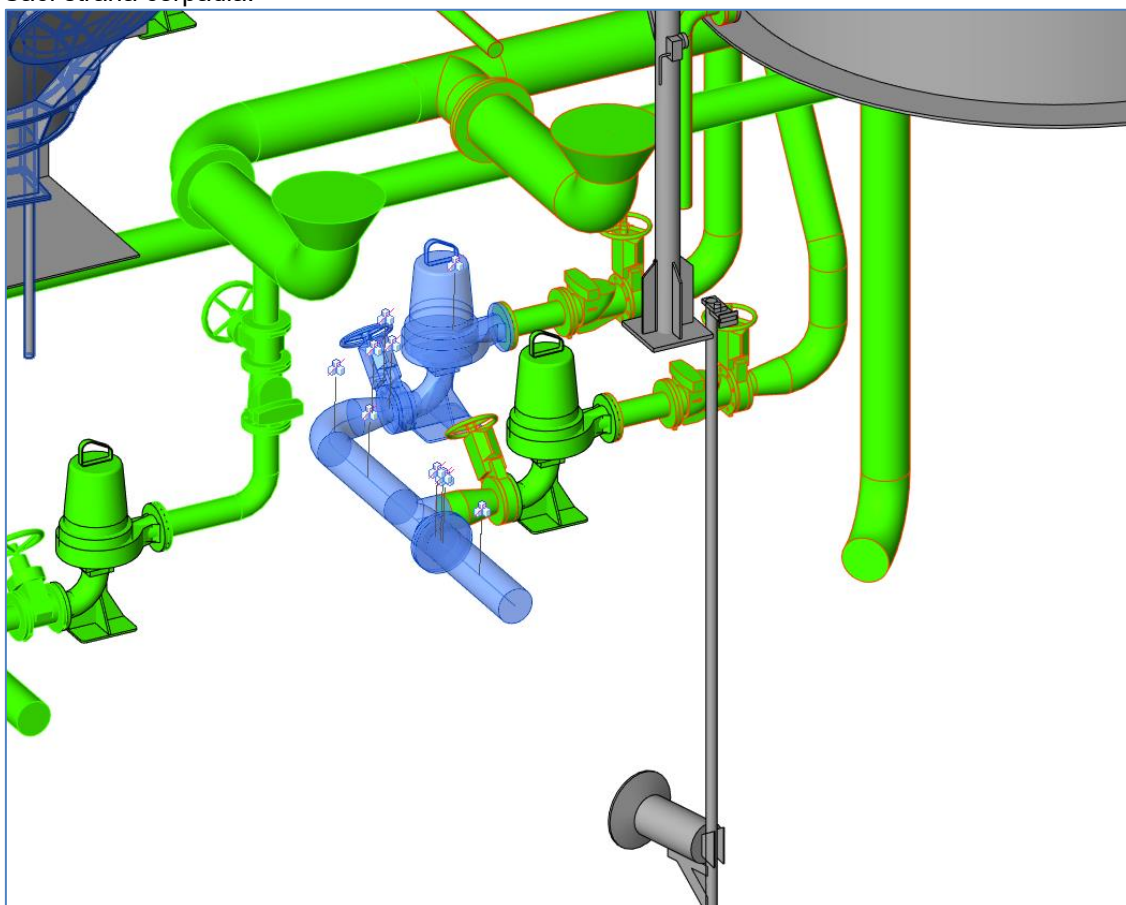
Obrázek 18: Určení provozního bodu modelového čerpadla pro trasu č. 7 – čerpání fugátu.

2.5.8 TRASA č. 8 – ČERPÁNÍ KONDENZÁTU

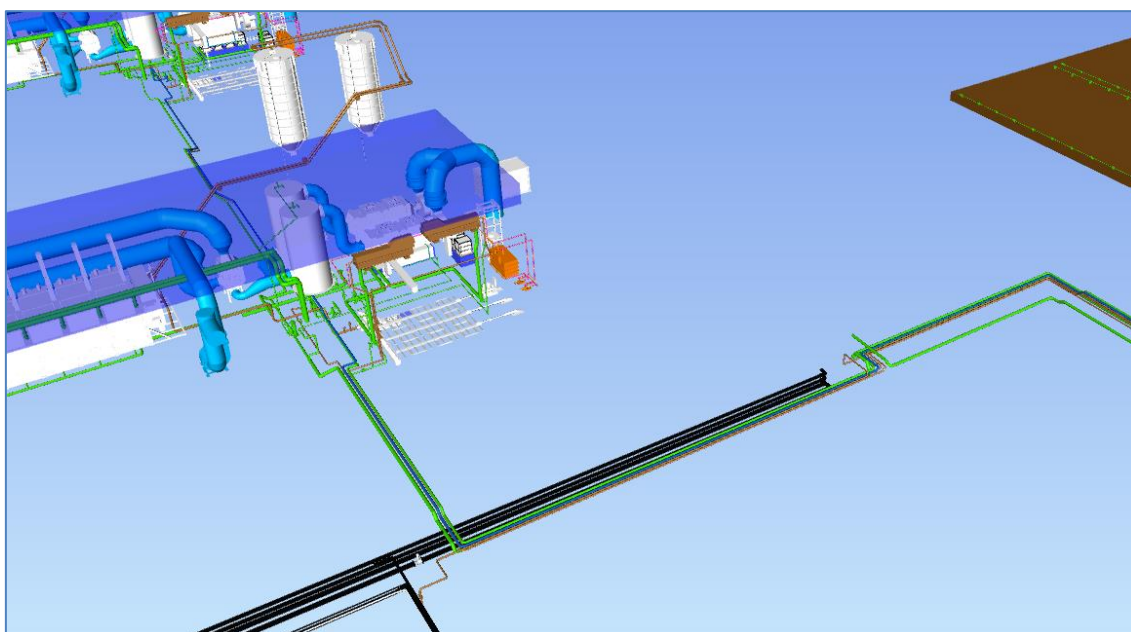
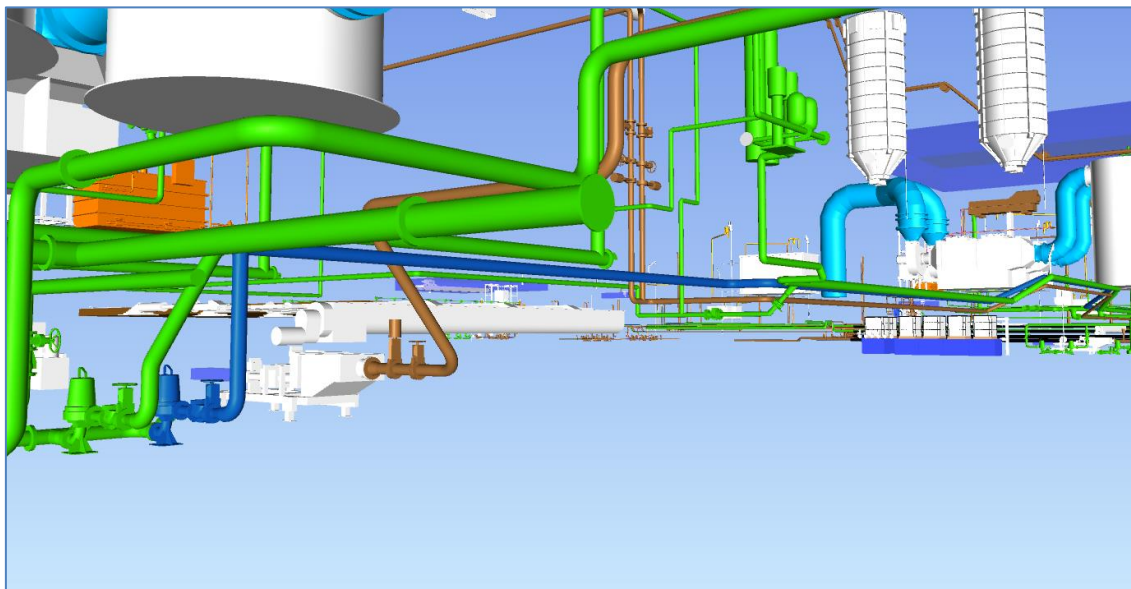
Jde o nejnejpříznivější trasu pro čerpání kondenzátu z jímky u sušárny kolektorem na předeheřev kalu do výměníku u VN a zpět kolektorem přes spojovací potrubí do kanalizace. Protože za výměníky se kondenzát odvádí do kanalizace jednou trasou ze dvou výměníků, tak v běžném provozním stavu bude v této části trasy dvojnásobný průtok.

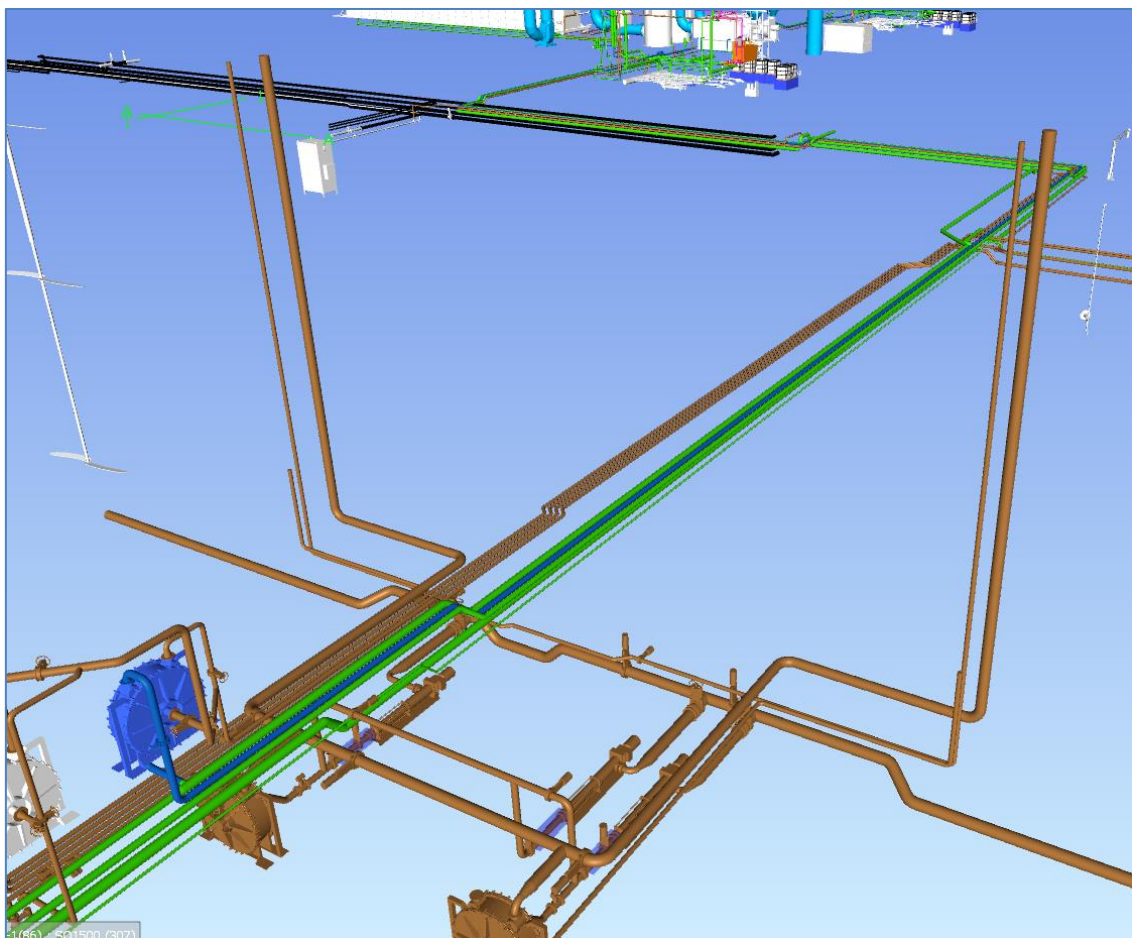
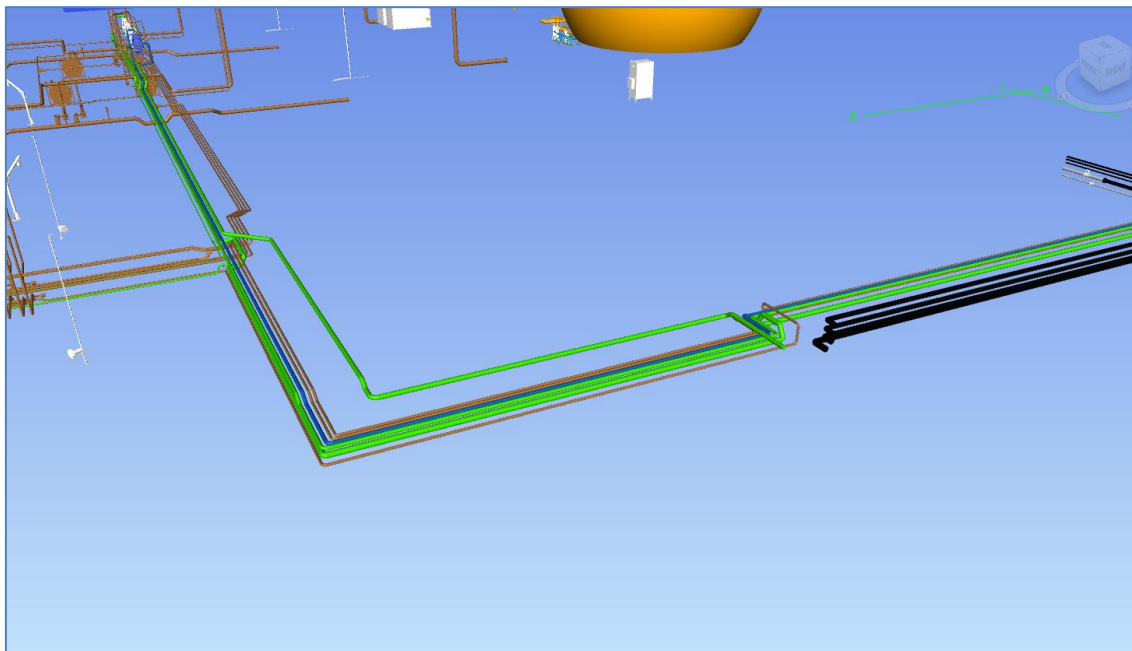
Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 17, jednotlivé dílčí části jsou nadešány v textu.

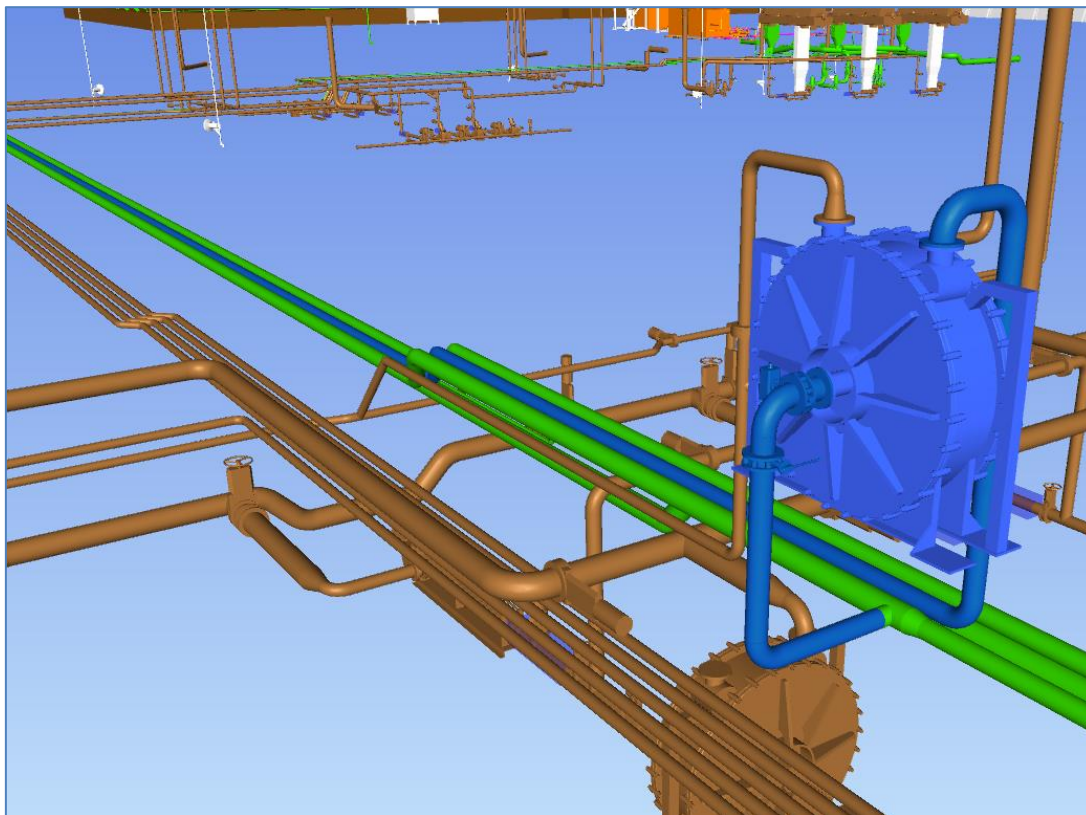
Sací strana čerpadla.



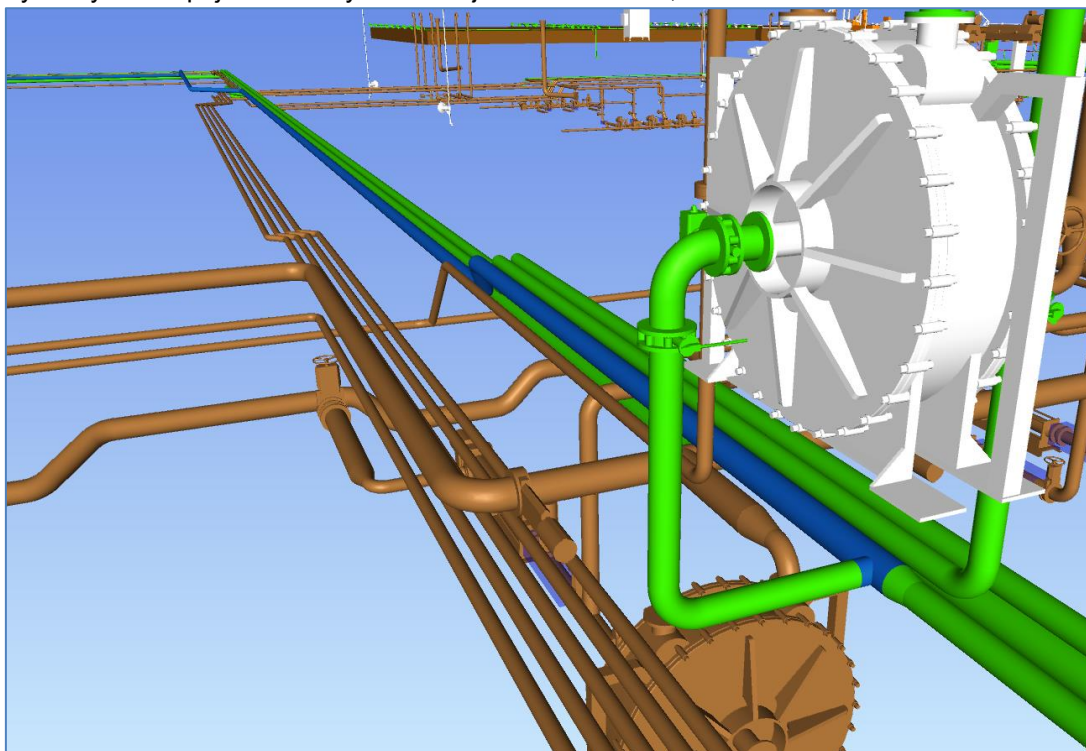
Výtlačný řad v objektech SO4702, 4800, 4701, 4800, 4300.

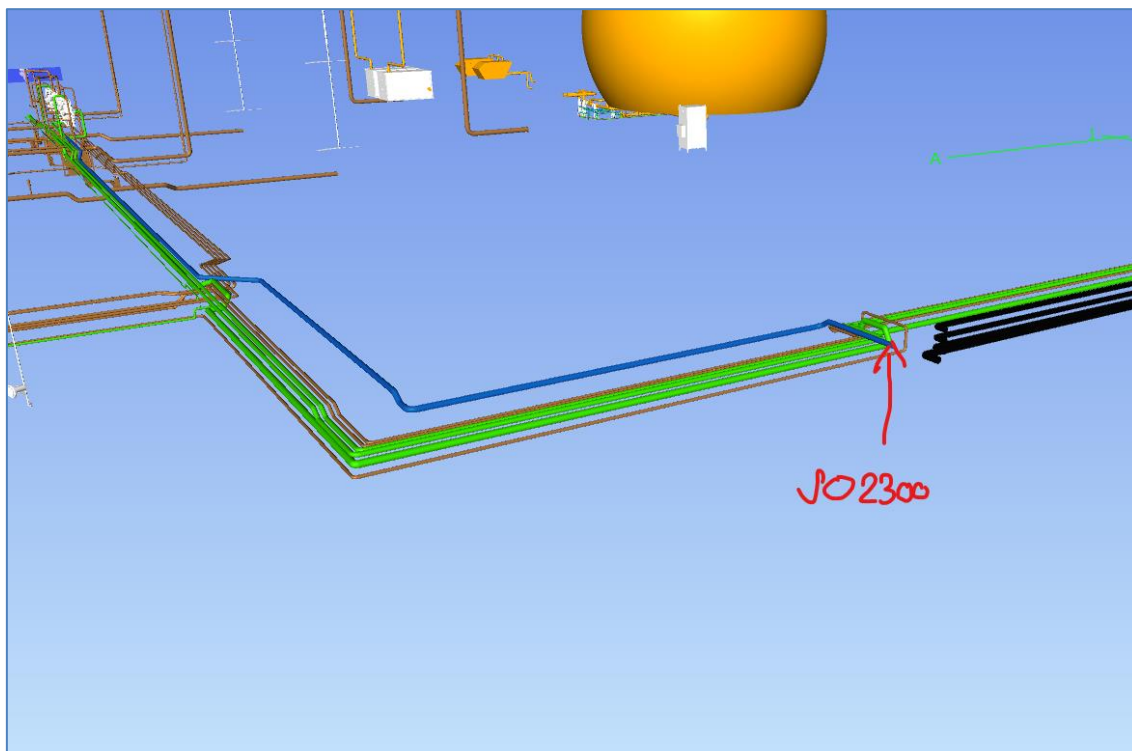




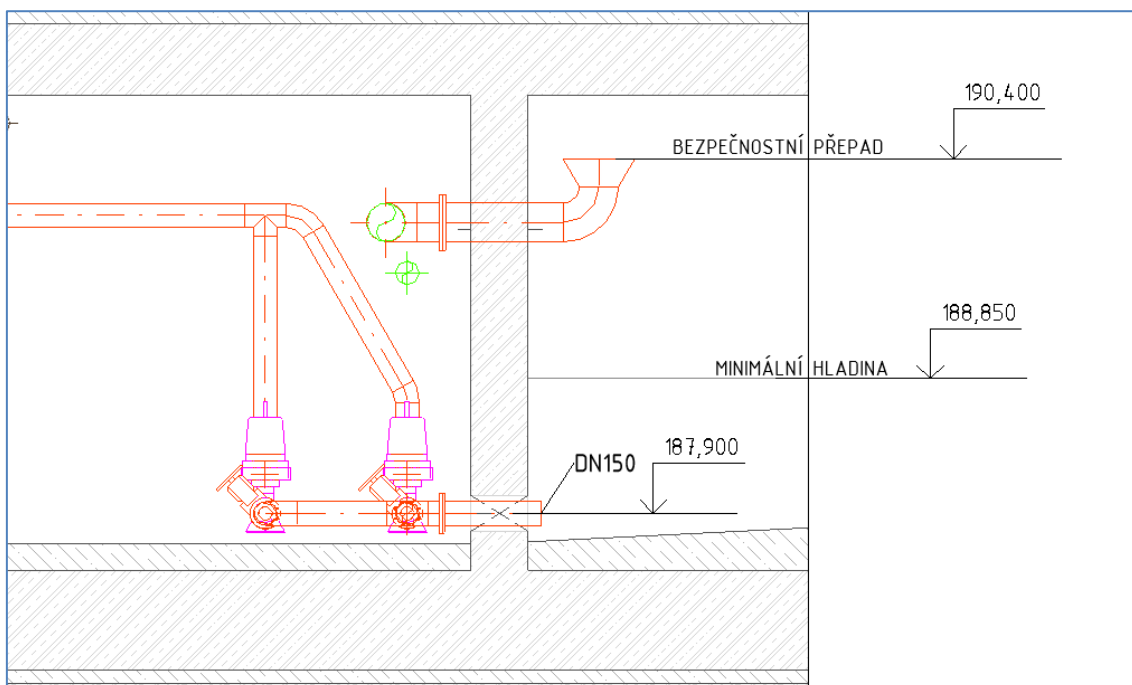


Výtlačný řad - spojení dvou výtlačků v objektech SO 4300, SO 4800 a část v SO 2300.



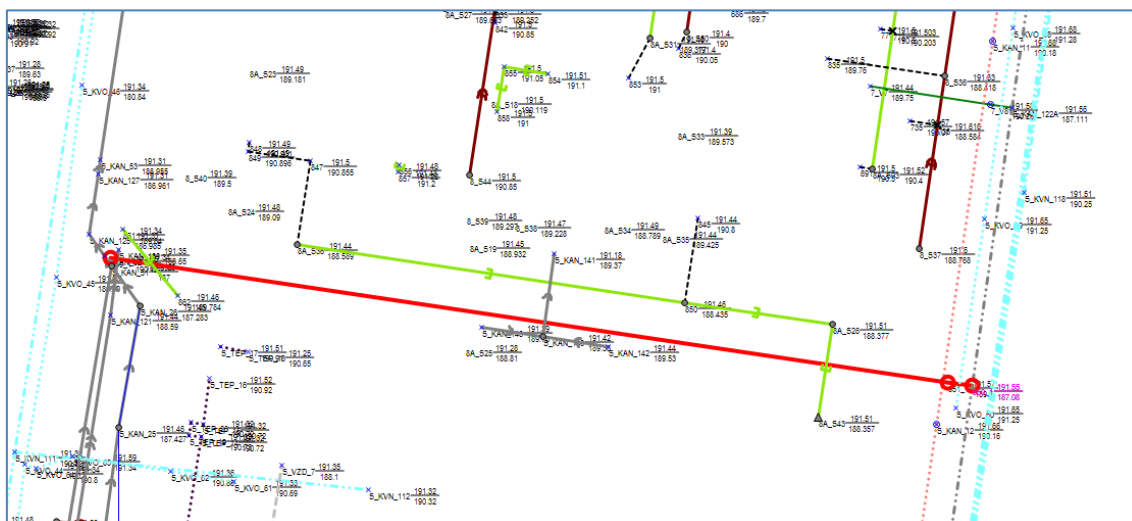
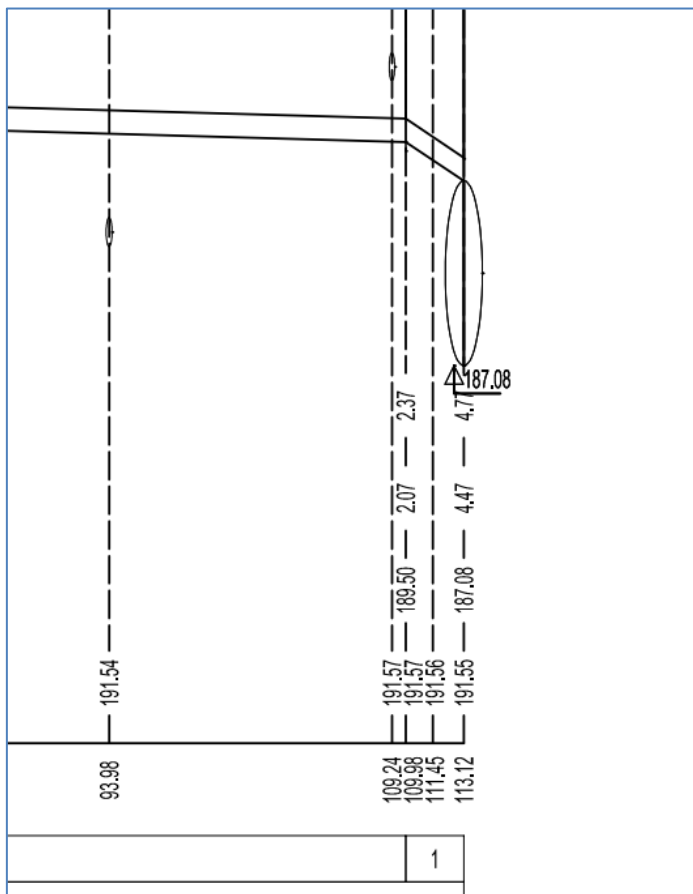


Sací strana čerpadel.



VÝTLAČNÝ ŘAD – druhá část, d250 PPE, tj. $D_v = 220,4$ mm.

L = 113,2 m

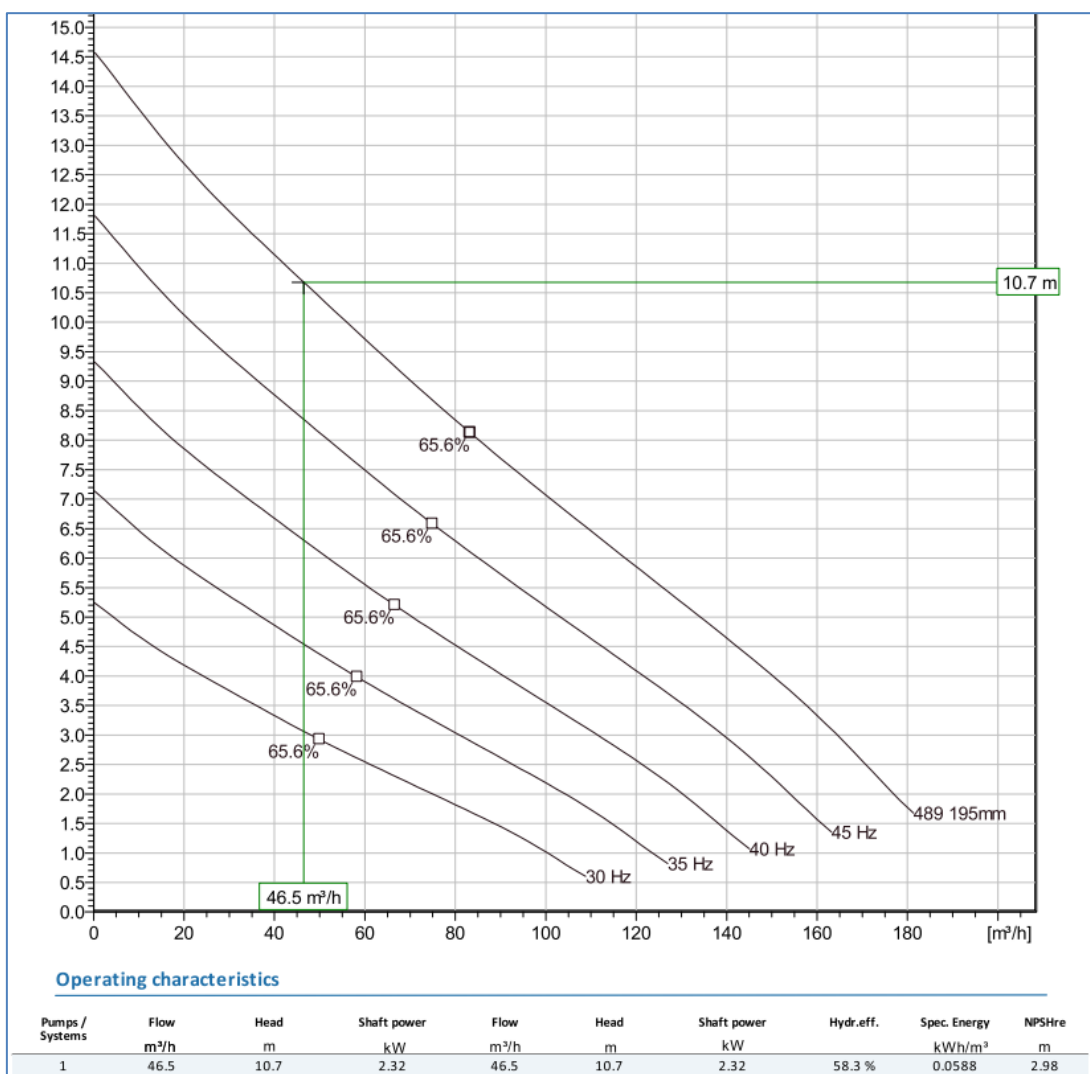


Tepelný výměník

$Q = 53 \text{ m}^3/\text{hod} = 14,72 \text{ l/s}$.

		Hot side	Cold side
Heat load	kW	183.4	
Flowrate	m ³ /h	53.0	53.0
Inlet temperature	°C	40.00	35.00
Outlet temperature	°C	36.99	38.00
Pressure drop	kPa	95.18	70.87
Shear Stress	Pa	223.82	23.14
Surface margin	%	16.24	
Fouling factor	m ² *K/kW	0.06	0.06

Čerpadlo



Obrázek 19: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 8 – čerpání kondenzátu.

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Parametry potrubí v první části trasy ukazuje Tabulka 32 a Tabulka 33, parametry potrubí ve druhé části trasy jsou uvedeny v textu.

Tabulka 32: Parametry sacího potrubí pro trasu č. 8.

Výpočet_Potrubí								
LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V8 - sání	Potrubí	4702	150	162	168	Korozivzdorná ocel	1,39	Voda topná
V8 - výtlač	Potrubí	4702	100	108	114	Korozivzdorná ocel	0,31	Voda topná
V8 - výtlač	Potrubí	4300	150	162	168	Korozivzdorná ocel	227,53	Voda topná

Tabulka 33: Parametry tvarovek sacího pro trasu č. 8.

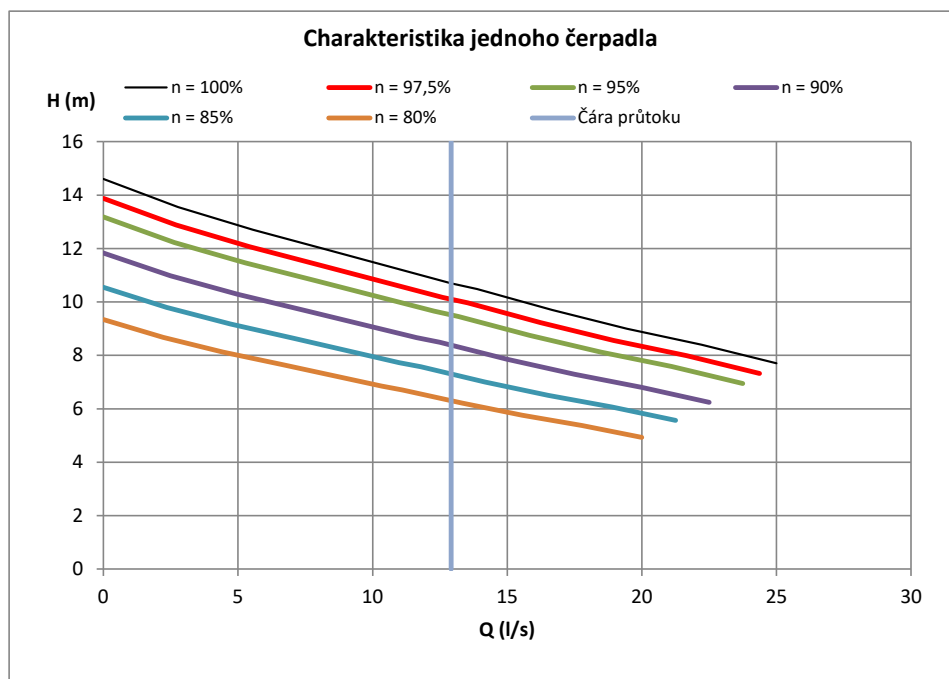
Výpočet_Tvarovka								
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V8 - sání	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	90,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	1
V8 - sání	Redukce centrická	150	150	100		Korozivzdorná ocel	Voda topná	1
V8 - sání	T-kus	150	150	150		Korozivzdorná ocel	Voda topná	1
V8 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	15,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	1
V8 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	30,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	2
V8 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	45,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	12
V8 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	90,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	13
V8 - výtlač	Redukce centrická	100	100	150		Korozivzdorná ocel	Voda topná	1
V8 - výtlač	T-kus	150	150	150		Korozivzdorná ocel	Voda topná	1
V8 - výtlač II. spojení dvou výtlačů	Koleno 3D (R=1,5DN)	200	200	200	30,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	3
V8 - výtlač II. spojení dvou výtlačů	Koleno 3D (R=1,5DN)	200	200	200	45,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	4
V8 - výtlač II. spojení dvou výtlačů	Koleno 3D (R=1,5DN)	200	200	200	90,00°	Korozivzdorná ocel	Voda topná	2
V8 - výtlač II. spojení dvou výtlačů	T-kus	200	200	150		Korozivzdorná ocel	Voda topná	1

VÝTLAČNÝ ŘAD – druhá část, d250 PPE, tj. Dv = 220,4 mm.

L = 113,2 m

Výsledky hydraulických výpočtů ukazuje Obrázek 20. Z výsledku je patrné, že průtok Q = 46,5 m³/hod = 12,92 l/s vyžaduje dopravní výšku čerpadla cca 8,71 m, což lze zvoleným čerpadlem při použití frekvenčního měniče splnit pro provozní otáčky cca 95 % (n = 47,5 Hz).

VÝPOČTENÝ PROVOZNÍ BOD			
Ztráty třením	1,291 m		
Místní ztráty	0,271 m		
Výměník	7,000		
Zadaná Hg	0,150 m	Jedno čerp.	
Parametry PB	Hč (m)	Qč (l/s)	
	8,71 m	12,92	

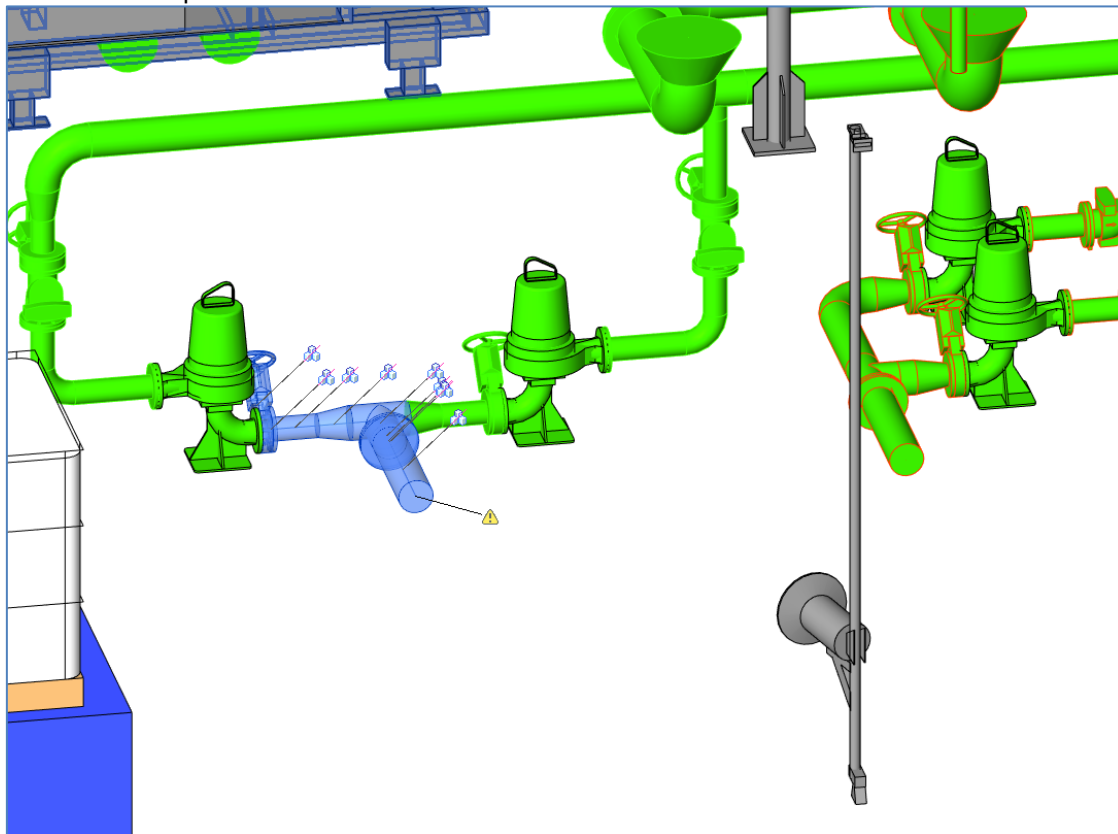


Obrázek 20: Určení provozního bodu čerpadla pro trasu č. 8 – čerpání kondenzátu.

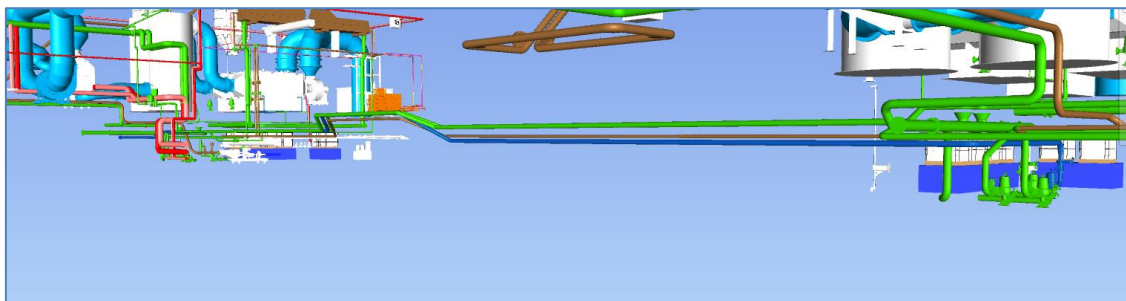
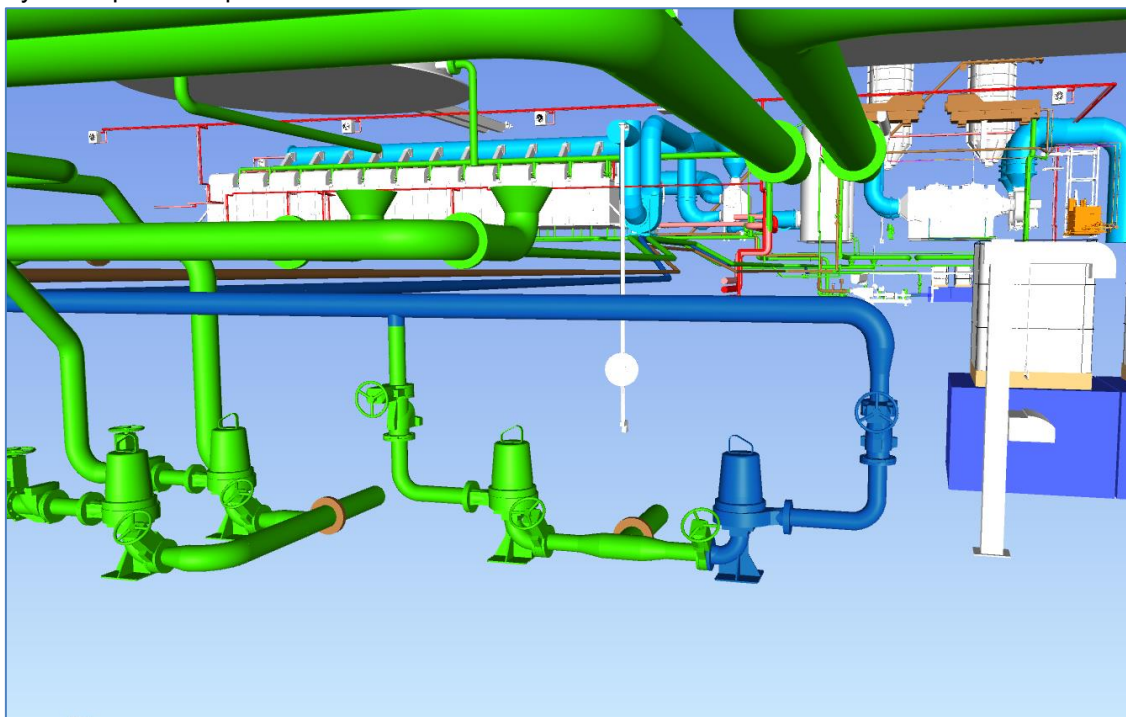
2.5.9 TRASA č. 9 – ČERPÁNÍ FUGÁTU POTRUBÍM V KOLEKTORU

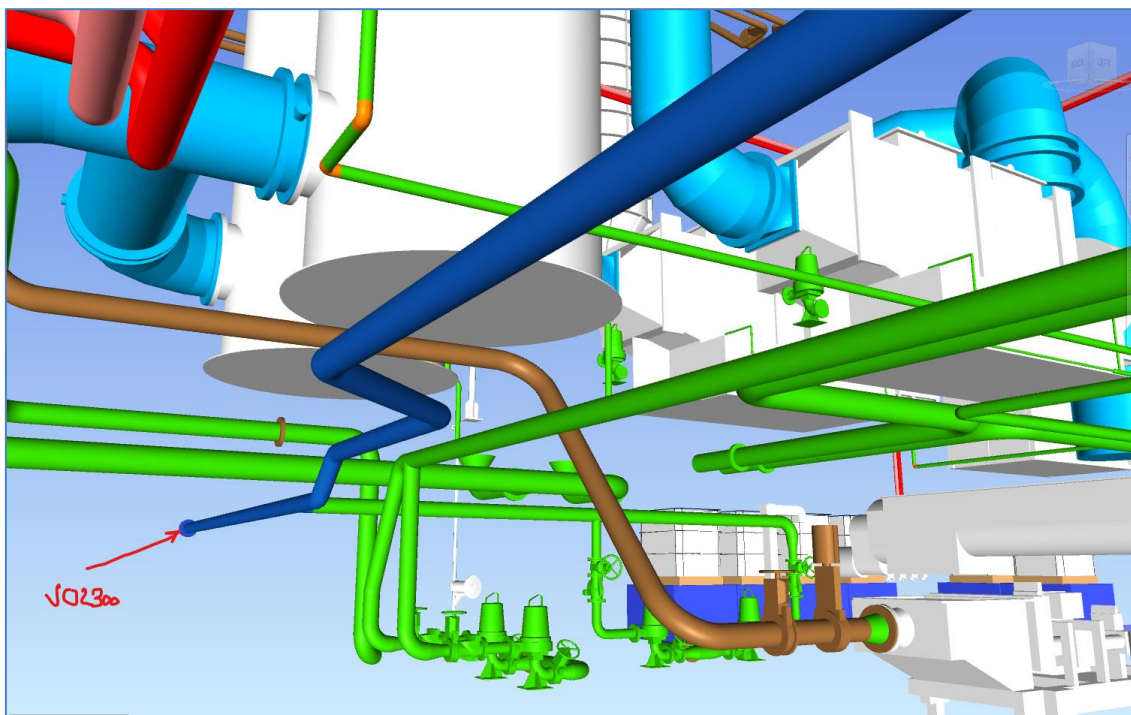
Jde o nejnejpříznivější trasu pro čerpání kalové vody (fugátu) pro odvodnění z jímky u sušárny kolektorem přes spojovací potrubí před AN. Vstupní podklady a parametry uvádí souhrnně Obrázek 21, jednotlivé dílčí části jsou nadešly v textu.

Sací strana čerpadla.

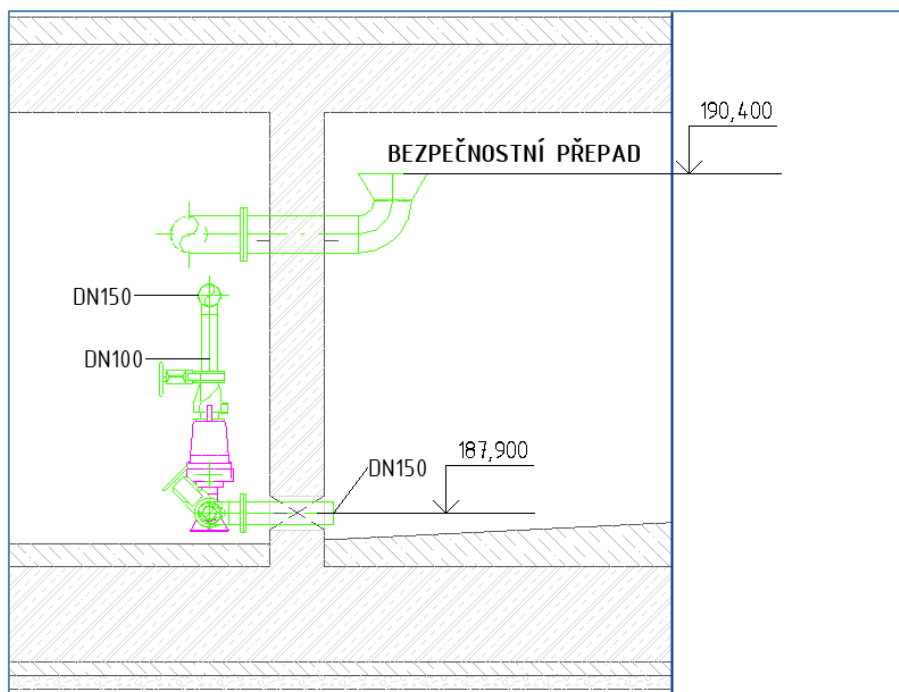


Výtlačné potrubí – první část.





Sací potrubí a maximální, resp. minimální, výška hladiny ve vyhánvací nádrži.

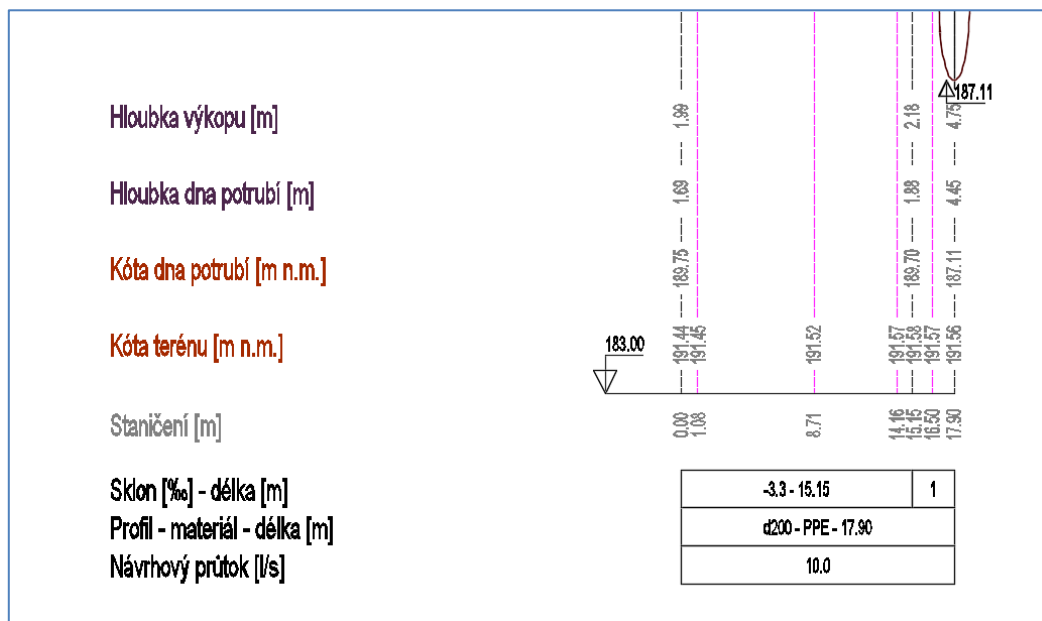


Výtlačné potrubí v objektu SO4000, částečně v SO2300 – druhá část.

D200 PE, tj. Dv = 176,2 mm

L = 15,15 m

Konec výtlačku na kótě 187,11 m.



Obrázek 21: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 9 – čerpání fugátu.

Parametry potrubí uvádí Tabulka 34 a Tabulka 35. Parametry druhé části výtlačného řadu jsou uvedeny v textu.

Tabulka 34: Parametry potrubí pro trasu č. 9 – první část.

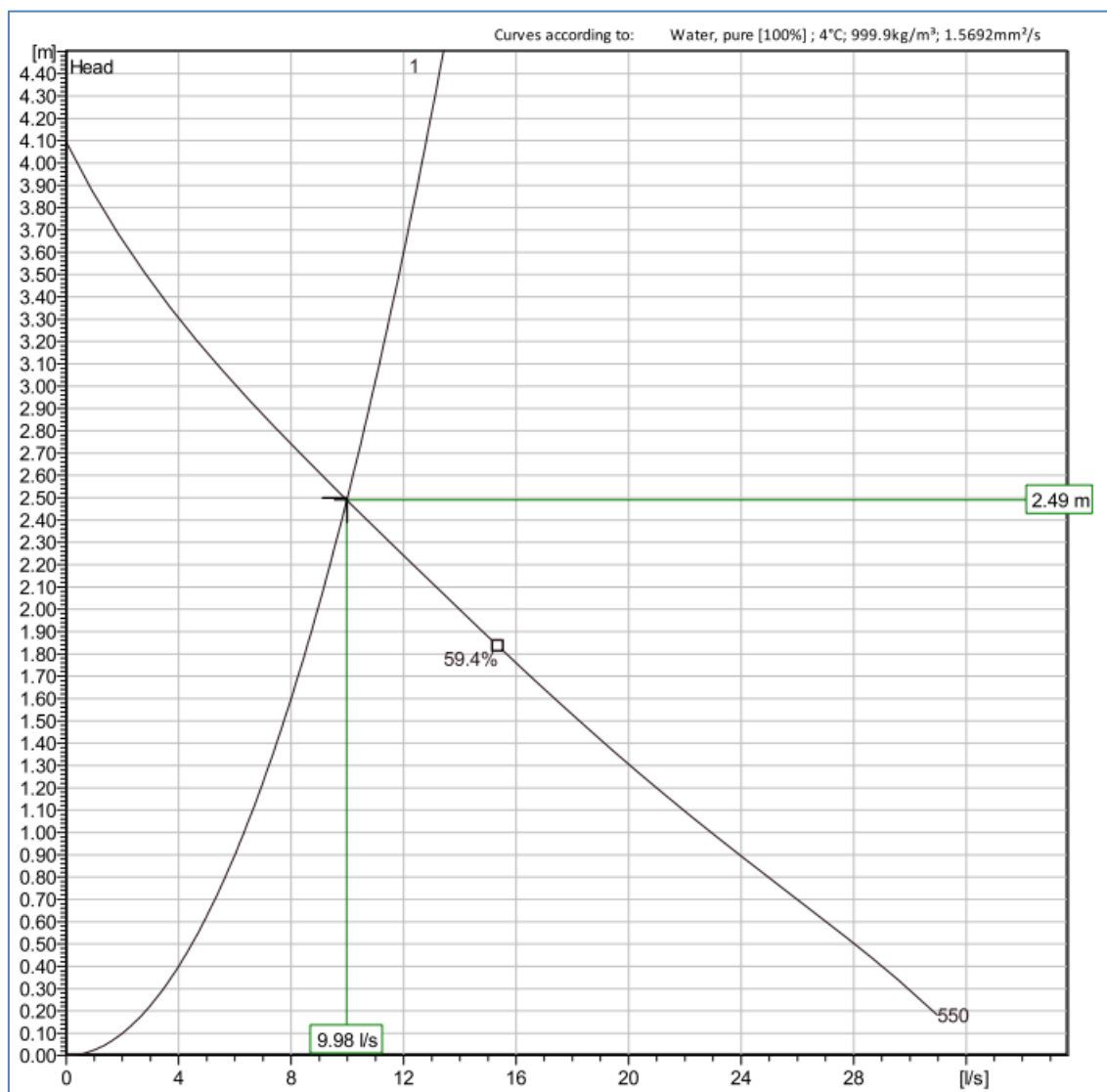
Výpočet_Potrubí								
LINE TAG Number	Popis	CISLO_SO (TE)	DN (TE)	Vnitřní průměr	Vnější průměr	MATERIAL (TE)	Délka [m]	TYP_MEDIA (TE)
V9 - sání	Potrubí	4701	100	108	114	Korozivzdorná ocel	0,22	Voda kalová (fugát, filtrát)
V9 - sání	Potrubí	4701	150	162	168	Korozivzdorná ocel	0,73	Voda kalová (fugát, filtrát)
V9 - výtlač	Potrubí	4701	100	108	114	Korozivzdorná ocel	0,78	Voda kalová (fugát, filtrát)
V9 - výtlač	Potrubí	4701	150	162	168	Korozivzdorná ocel	72,1	Voda kalová (fugát, filtrát)

Tabulka 35: Parametry tvarovek potrubí pro trasu č. 9 – první část.

Výpočet_Tvarovka								
LINE TAG Number	Popis	DN (TE)	DN1 (TE)	DN2 (TE)	UHEL (TE)	MATERIAL (TE)	TYP_MEDIA (TE)	Počet
V9 - sání	Redukce centrická	150	150	100		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1
V9 - sání	T-kus	150	150	150		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1
V9 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	100	100	100	90,00°	Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1
V9 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	45,00°	Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	8
V9 - výtlač	Koleno 3D (R=1,5DN)	150	150	150	90,00°	Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	4
V9 - výtlač	Redukce centrická	100	100	150		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1
V9 - výtlač	T-kus	150	150	100		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1
V9 - výtlač	T-kus	150	150	150		Korozivzdorná ocel	Voda kalová (fugát, filtrát)	1

Výtlačné potrubí v objektu SO4000, částečně v SO2300 – druhá část.
D200 PE, tj. $D_v = 176,2$ mm
 $L = 15,15$ m
Konec výtlačku na kótě 187,11 m.

U modelového čerpadla je pro $Q = 129,9 \text{ m}^3/\text{hod} = 9,98 \text{ l/s}$ dopravní výška čerpadla $H_b = 2,49$ m. Doporučuje se např. zvolit čerpadlo se zabudovaným frekvenčním měničem, který umožní nastavit požadovaný provozní bod, viz též Technické specifikace ve strojně-technologické části.



Obrázek 22: Určení provozního bodu čerpadla pro trasu č. 9 – čerpání fugátu.

2.5.10 TRASA č. 10 – ZAHUŠTĚNÝ PRIMÁRNÍ KAL

Trasa pro zahuštěný primární kal (ZPRiK) je nově vedena od místa napojení stávající trasy. Protože tato nová část je v porovnání se stávající částí od místa napojení kratší, předpokládá se využití stávající čerpací techniky, která vyhovuje.

2.6 SEZNAM ODBORNÉ LITERATURY

- Czaban, S., 1987. Determination of parameters of hydraulic transport in pipelines for rheostable diphas mixtures. Agriculture University, Wroclaw, Poland, (in Polish).
- Govier, G.W., Aziz, K., 1972. The Flow of Complex Mixtures in Pipes, van Nostrand-Reinhold.
- Edwards, M.F., Smith, R., 1980. The Turbulent flow of non-Newtonian fluids in the absence of anomalous wall effects. Journal of Non-Newtonian Fluids Mechanics, 7, 403-407.
- Eissenberg, D.M., Bogue, D.C., 1964. Velocity profiles of Thoria Suspensions in Turbulent Pipe Flow, AIChE J., 10, 723.
- Hanks, R.W., 1978. Low Reynolds number turbulent pipeline flow of pseudohomogeneous slurries. Proc. Hydrotransport 5, Hannover, paper C2, 23-34.
- Havlik, V., 1991. Friction factor for turbulent flow of homogeneous non-Newtonian suspensions in pipes. XXIV IAHR Congress, Madrid, C011-C020.
- Havlik, V. ENGINEERING DESIGN OF NON-NEWTONIAN HOMOGENEOUS SLURRIES – THEORY AND PRACTICE. Proceedings of the International Conference TSS 2017, Prague, September 11-15. Page 97-104.
- Havlik, V. Laminární proudění homogenních neneutonských suspenzí, Časopis Sovak č. 11/2017, str.12/352 – 15/355.
- Havlik, V. Změna režimu proudění homogenních neneutonských suspenzí, Časopis Sovak č. 12/2017, str.10/382 – 13/385.
- Havlik, V. Turbulentní proudění homogenních neneutonských suspenzí, Časopis Sovak č. 1/2018, str.10/10 – 13/13.
- Heywood, N.I., Cheng, D.C.-H., 1984. Comparison of methods for predicting head loss in turbulent pipe flow of non-Newtonian fluids. Trans Inst M C, Vol 6, No 1, Jan - May 1984.
- Houdková, L., 2012. Laboratory determination of selected properties of activated and return activated sludge. ECSM, 2012 – 3rd European Conference on Sludge Management Leon, Spain.
- Chilton, R.A., Stainsby, R., 1998. Pressure loss equations for laminar and turbulent non-Newtonian pipe flow. Journal of Hydraulic Engineering May 1998.
- Lazarus, J.H., Slatter, P.T., 1988. A Method for the Rheological Characterisation of Tube Viscosity Data. Journal of Pipelines, 7, pp.165 – 176.
- Metzner, A.B. a Reed, J.C., 1955. Flow of Non-Newtonian Fluids – Correlation of the Laminar, Transition, and Turbulent-Flow Regions, AIChE Journal 1 (4), pp. 434-440.
- Mooney, M., Explicit formulas for slip and fluidity, J. Rheology, 2, 210 ff., 1931.
- Rabinowitsch, B., Ueber die Viscositat und Elastizitat von Solen, Zeitschrift physik. Chem., A145, 1ff, 1929.
- Ryan, N.W. Johnson, M.M., 1959. Transition from laminar to turbulent flow in pipes. AIChE Journal, 5 433-435.
- Slatter, P.T., 1995. The Turbulent Flow of Non-newtonian Slurries in Pipes. Proceedings of 8th Transport & Sedimentation of Solid Particles, Prague, Czech Republic, paper A3 -1.
- Wilson, K.C., and Thomas, A.D., 1985. A new Analysis of the Turbulent Flow of Non-Newtonian Fluids, Canad. Jour. Chem. Engng. Vol. 63, pp 539 - 546, Aug. 1985.
- Thomas, A.D. Wilson, K.C., 1987. New Analysis of Non-Newtonian Turbulent Flow - Yield-Power-Law Fluids. Canad. Jour. Chem. Engng. Vol.67, pp 335 -338, April 1987.
- Wilson, K.C., Addie, G.R., Sellgren, A. Clift, R., 1997. Slurry Transport Using Centrifugal Pumps. 2nd ed., Chapman & Hall, ISBN 0 7514 0408 X.

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Resistance Coefficients for Non-Newtonian Flows in Pipe Fittings. Veruscha Fester, Paul Slatter and Neil Alderman.
© BHR Group.

Sludge Pumping System Losses Dr Mick Dawson, Dr Nigel Heywood, Dr Nick Brown BHR Group, Cranfield, UK.

Waste & Wastewater Pumping © BHR 2019.

Friction Loss of Pipe Bends and Fittings in Laminar non-Newtonian Flow L.J.W. Graham, L. Pullum, J. Wu. An IFPS.
Symposium Presentation, 2014.

K čerpání provozní vody se v současné době používají dvě čerpací stanice, viz Obrázek 23. První ČS 1400A čerpá vyčištěnou vodu ze žlabu na odtoku z ČOV Modřice do nádrže v objektu SO 1400C, viz Obrázek 24, druhá čerpací stanice ČS 1400C k jednotlivým zařízením kalového hospodářství.



3.1 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY ČS 1400A

U stávajících čerpadel ČS 1400A byla při prohlídce na místě provedena zkouška jejich provozu. Jde o 3 ks čerpadel (FLYGT), viz Obrázek 25, která čerpají do společného výtlaku DN 250.



Obrázek 25: Nádrže v objektu SO 1400A.

V běžném stavu je v provozu jedno čerpadlo, případně dvě paralelně zapojená čerpadla. Provoz všech tří čerpadel není běžně používán. V rámci terénního šetření byly na průtokoměru ověřeny níže uvedené hodnoty průtoků při čerpání provozní vody.

- 1 ks čerpadlo je průtok cca 136 m³/hod = 37,77 l/s
- 2 ks čerpadel je průtok cca 178 m³/hod = 49,44 l/s
- 3 ks čerpadel je průtok cca 204 m³/hod = **56,66 l/s**



Obrázek 26: Čerpaný průtok z ČS 1400A.

Z projekčních podkladů byly určeny následující okrajové podmínky pro ČS S01400A:

S01400A

- Osa čerpadel S01400A: 187,92 m n. m.
- Vnitřní výtlak: Nerezové potrubí DN250.
- Venkovní výtlak: PE-HD d315/DN257,8 mm.
- Hladina v odtokovém žlabu: 191,64 m n. m.
- Výška výtoku do volna S01400C: 190,60 m n. m.

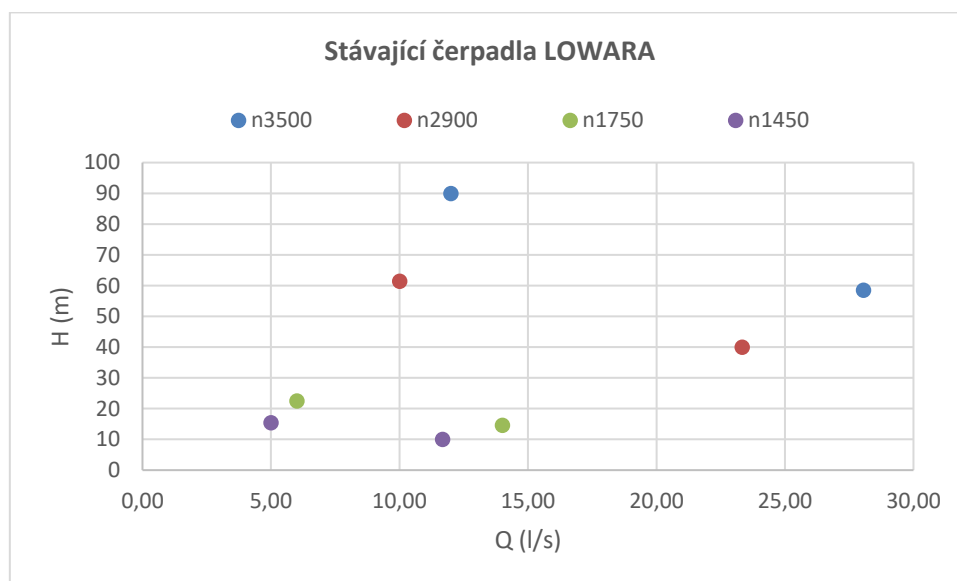
Výše uvedené charakteristiky čerpadel byly vloženy do simulačního modelu. Ten za výše uvedených okrajových podmínek prokázal, že stávající čerpadla jsou schopna dopravit „maximální průtok“ $Q_{\max} = 56,66 \text{ l/s}$. Lze proto stávající čerpadla zachovat. Níže budou uvedeny průtokové scénáře pro ČS 1400C.

3.2 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY ČS 1400C

ČS 1400C musí zvládnout jak souběh potřeby provozní vody pro stávající, resp. nové objekty v průběhu výstavby, tak nový stav po rekonstrukci.

3.2.1 STÁVAJÍCÍ STAV POTŘEB PROVOZNÍ VODY

Dle sdělení provozovatele stávající čerpadla, viz Obrázek 27, již nesplňují v požadované míře průtokové a zejména tlakové požadavky pro rozvod provozní vody.



Obrázek 27: Stávající čerpadla v ČS 1400C.



LOWARA			
VIA LOMBARDA 14 36075 MONTECCHIO MAGGIORE (VI) - ITALY			
Pump FHS 50 - 250/224			
Cod. 102270970			
n	P2	Q	H
2900	14,7	36 · 84	61,5 · 40
1450	1,84	18 · 42	15,4 · 10
3500	25,9	43,2 · 101	90 · 58,5
1750	3,24	21,6 · 50,4	22,5 · 14,6
l/min	kW	m³/h	m
Date 20110718	No 02910	MADE IN ITALY	

Např. v sušičce kalu B se požaduje přetlak 3 bar, v sušičce kalu A 4 bar a v místě strojního zahuštění přebytečného kalu rovněž 4 bar. Simulační výpočty potvrdily poznatky provozovatele, viz Tabulka 36. Nejen, že průtok nedosahuje maximálního čerpaného průtoku z ČS 1400A (56,66 l/s), ale nejsou splněny požadavky přetlaků.

Tabulka 36: Výsledky posouzení ČS 1400C pro stávající čerpadla.

Scénář	Označení	Q stálé (l/s)	Q - běžný provoz (l/s)	SUMQ (l/s)	2xČ/REZ	3xČ/REZ	CURVE	REF TLAK 10- V40/3bar	REF TLAK 10- V38/4bar	Poznámka
B)	SC1-3xn2900	44,44	0	44,44	NE	0,12	n2900	nesplněn	nesplněn	Při SUM Q = 44,44 l/s
A)	SC1-3xn3500-VarQ1	44,44	35,5	79,94		NE	n3500			při ztrátě na filtru 2 m zvládne Qmax = 48 l/s!!
A)	SC1-3xn3500-VarQ2	12,5	35,5	48		59,48	n3500	splněn	splněn	při ztrátě na filtru 2 m, SUM Qmax = 48 l/s!!
A)	SC1-3xn2900-VarQ2	12,5	35,5	48		26,96	n2900	nesplněn	nesplněn	při ztrátě na filtru 2 m, SUM Qmax = 48 l/s!!
A)	SC1-2xn2900-VarQ2	12,5	35,5	48	12,66		n2900	nesplněn	nesplněn	při ztrátě na filtru 2 m, SUM Qmax = 48 l/s!!
A)	SC1-2xn2900-VarQ3	12,5	40,5	53	7,73		n2900	0,7	1	při ztrátě na filtru 2 m, SUM Qmax = 53 l/s!!
A)	SC1-2xn2900-VarQ4	23,61	40,5	64,11	NE		n2900			při ztrátě na filtru 2 m, SUM Qmax = 64,11 l/s!!
A)	SC1-3xn3500-VarQ4	23,61	40,5	64,11		23,07	n3500	2,3	2,5	při ztrátě na filtru 2 m, SUM Qmax = 64,11 l/s!!
B2)	SC3-2xn3500-VarQ4	48,05	35,5	83,55		NE	n3500			zvládl by pouze 52 l/s
B2)	SC3-2xn3500-VarQ5	48,05	20,5	68,55		NE	n3500			zvládl by pouze 52 l/s
LEGENDA										
SUM Q		označuje součet stálých (kontinuálních) průtoků a průtoků periodicky požadovaných pouze po určité omezenou dobu provozu								
2xČ/REZ		2 čerpadla v provozu. REZ označuje pro požadovaný průtok rezervu v m v.sl.								
3xČ/REZ		3 čerpadla v provozu. REZ označuje pro požadovaný průtok rezervu v m v.sl.								
CURVE		zadaná charakteristika v simulačním modelu								
REF TLAK		přetlak (bar) požadovaný v definovaných místech u objektů s odběry. 10-V40 je označení takového uzlu								

Z provedených simulačních výpočtů lze učinit následující závěry:

- 1) Stávající čerpadla již nesplňují provozní požadavky. Dle sdělení provozovatele je charakteristika čerpadla oproti teoretické křivce posunuta o 10 m níže. Tím nemohou být splněny požadavky na tlakové poměry v trubním rozvodu (jde o požadavky přetlaků před nejdůležitějšími objekty s odběry provozní vody).
- 2) Výsledky simulačních výpočtů poznatky provozovatele potvrdily. Příkladem dobrého provozního stavu jsou parametry **v prvním řádku tabulky**. Ovšem pro celkový průtok SUMQ = 44,44 l/s musí být v provozu 3 čerpadla. Požadované tlakové poměry však splněny nejsou.

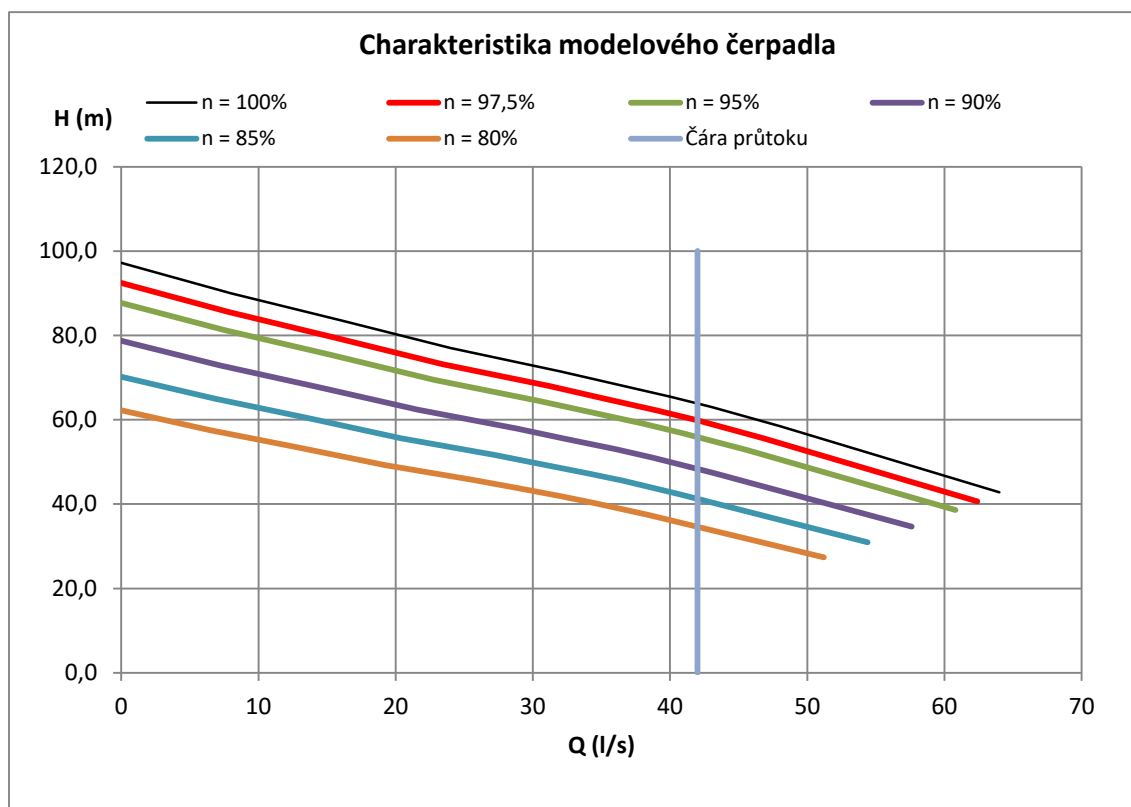
Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

- 3) Simulační výpočty ukazují, že není možný souběh praní filtru a plnohodnotná dodávka provozní vody do všech objektů, kde se předpokládá periodická spotřeba vody jenom po určitý omezený časový úsek.
- 4) Stávající čerpadla je třeba nahradit novými, viz následující kapitola.

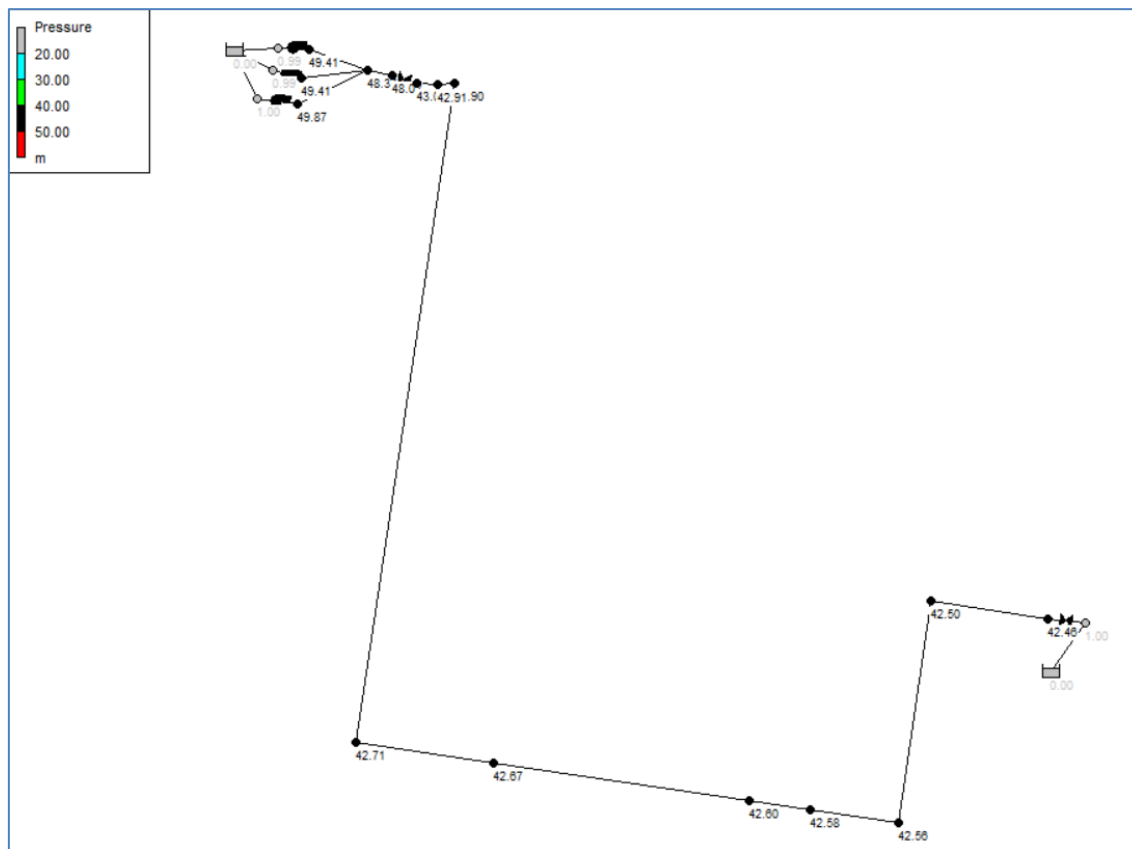
Je třeba rozlišovat odběry kontinuální, které se musí čerpat neustále, a periodické, které se používají jen po určitou omezenou dobu a s předepsanou frekvencí. Legenda uvedená pod tabulkou charakterizuje právě tyto periodické odběry. Pro výhledový stav platí žlutě označené periodické odběry b) až e).

Nově bylo zvoleno modelové čerpadlo a jeho charakteristiky byly převzaty do simulačního modelu. Předpokládá se, že čerpadla (2 + 1) budou zapojena paralelně, resp. provozována tak, aby provozní požadavky byly splněny **při souběžném použití dvou čerpadel**.

Protože se požaduje čerpadlo s frekvenčním měničem, změnu základní charakteristiky ukazuje Obrázek 29. Charakteristiky byly vloženy do simulačního modelu. Výsledky hydraulického výpočtu pro maximální hodnotu okamžité potřeby vody $Q = 63 \text{ l/s}$ a při paralelním provozu dvou čerpadel ukazuje Obrázek 30. Simulační model prokázal, že pro maximální potřeby vody $Q = 63 \text{ l/s}$ jsou požadované přetlaky pro dvě paralelně zapojená čerpadla s otáčkami $n = 85 \%$ ($42,5 \text{ Hz}$) splněny.



Obrázek 29: Charakteristika jednoho nového čerpadla pro ČS 1400C.



Obrázek 30: Výsledky hydraulického výpočtu souběhu potřeby provozní vody pro nová čerpadla z ČS 1400C.

3.2.3 VÝHLEDOVÝ STAV POTŘEBY PROVOZNÍ VODY

Průtokové scénáře pro potřeby provozní vody v novém (výhledovém) stavu postupně ukazují Tabulka 38 Tabulka 42 Tabulka 42.

Tabulka 38: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 1.

1											
Označení	Scénář					Proplach					
ČS1400C	A)					str. zah.					
ID/Sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Název	Sušárna kalu	Praní pisku	Oplach pěny	Praní filtru	Proplachovací klapky na dešťové zdrži	Náhodný souběh	SUMA Q	2xčerp	Curve	REF TLAK	REF TLAK
Typ porovozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodický	Periodický	Periodický				10-V40/3bar	10-V38/4bar
Q (l/s)	12,5	3	2,5	25	0	11,11	54,11	Ano	NT_85	44,7	44,6
Prací cyklus	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	70 s	Mimo špičku, 14 l/s	Periodický					
Interval praní	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	15 - 90 min	Po dešti	Periodický					
Poznámky	Pračka pisku a pěna = 11,11 l/s. SUMA Q = 54,11 l/s										

Tabulka 39: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 2.

2											
Označení	Scénář					Sušárna					
ČS1400C	A)					kalu					
ID/Sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Název	Sušárna kalu	Praní pisku	Oplach pěny	Praní filtru	Proplachovací klapky na dešťové zdrži	Náhodný souběh	SUMA Q	2xčerp	Curve	REF TLAK	REF TLAK
Typ porovozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodický	Mimo špičku, 14 l/s	Periodický				10-V40/3bar	10-V38/4bar
Q (l/s)	12,5	3	2,5	0	0	20,83	38,83	Ano	NT_80	42,27	43,45
Časová náročnost	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Četnost provozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Poznámky	Pračka pisku a pěna = 5,5 l/s, BEZ filtru, konstantní odběr 12,5 l/s + náhodný souběh + 20,83 l/s. SUMA Q = 38,83 l/s. !! Tento souběh je hlediska tlaků možný										

Tabulka 40: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 3.

3											
Označení	Scénář										
ČS1400C	A)										
ID/Sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Název	Sušárna kalu	Praní pisku	Oplach pěny	Praní filtru	Proplachovací klapky na dešťové zdrži	Náhodný souběh	SUMA Q	2xčerp	Curve	REF TLAK	
Typ porovozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodický	Mimo špičku, 14 l/s	Periodický				10-V38/4bar	
Q (l/s)	12,5	3	2,5	25	0	0	43	Ano	NT_80	41,8	
Časová náročnost	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Četnost provozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Poznámky	Pračka pisku a pěna = 5,5 l/s, Fitr = 25 l/s, ztráta na filtru 2 m, konstantní odběr 12,5 l/s. SUMA Q = 43 l/s										

Tabulka 41: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 4.

4											
Označení	Scénář					Proplach a sušárna					
ČS1400C	A)										
ID/Sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Název	Sušárna kalu	Praní písku	Oplach pěny	Praní filtru	Sušička kalu B	Náhodný souběh	SUMA Q	2xčerp	Curve	REF TLAK	REF TLAK
Typ porovozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodický	Periodický	Periodický				10-V40/3bar	10-V38/4bar
Q (l/s)	12,5	3	2,5	0	20,83	11,11	49,94	Ano	NT_85	43,37	44,8
Časová náročnost	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Četnost provozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Poznámky	Pračka písku a pěna = 5,5 l/s, BEZ filtru, konstantní odběr 12,5 l/s + náhodný souběh biofiltry 11,11 l/s + 20,83 l/s. SUMA Q = 49,94 l/s. !! Tento souběh z hlediska tlaků je možný										

Tabulka 42: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 5.

5											
Označení	Scénář					Proplach str. zah.					
ČS1400C	A)										
ID/Sloupec	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Název	Sušárna kalu	Praní písku	Oplach pěny	Praní filtru	Sušička kalu B	Náhodný souběh	SUMA Q	2xčerp	Curve	REF TLAK	REF TLAK
Typ porovozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodický	Periodický	Periodický				10-V40/3bar	10-V38/4bar
Q (l/s)	12,5	3	2,5	20	20,83	11,11	69,94	Ano	NT_90	43,86	45,29
Časová náročnost	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Četnost provozu	Kontinuální	Kontinuální	Kontinuální	Periodická	Periodická	Periodická					
Poznámky	Pračka písku a pěna = 5,5 l/s, Filtr = 20 l/s, ztráta na filtru 2 m, konstantní odběr 12,5 l/s + náhodný souběh biofiltry 11,11 l/s a Sušička B 20_83 l/s. SUMA Q = 69,94 l/s je o něco vyšší než stávající hodnota Q _{max} = 56,66 l/s										

Z provedených simulačních výpočtů nového (výhledového) stavu lze učinit následující závěry:

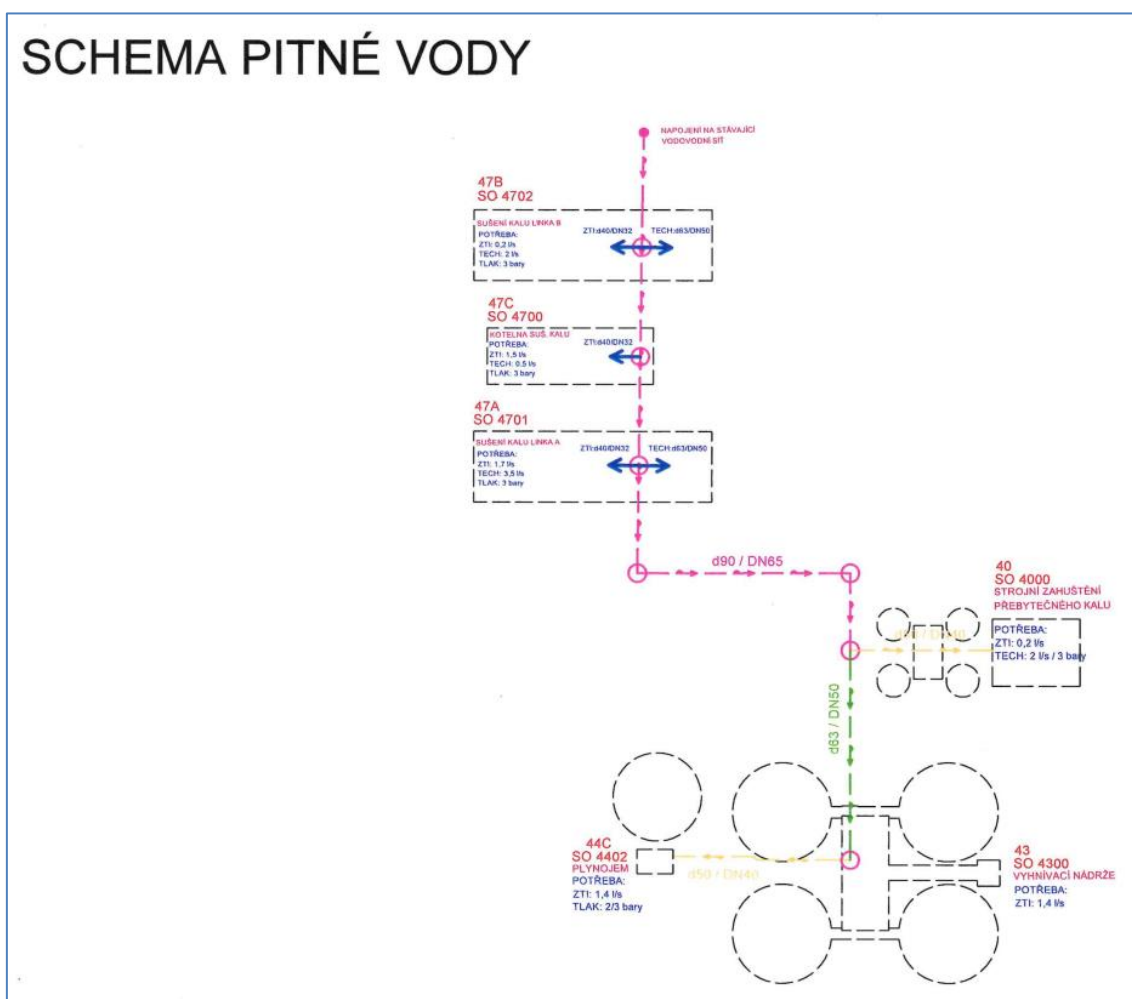
- Nově navržená modelová čerpadla (2 + 1) zvládají všechny výhledové provozní stavy. Provozní otáčky jsou ve výše uvedených tabulkách uvedeny pod označením Curve, např. NT_95 označuje otáčky 95 % (47,5 Hz).
- Ve všech průtokových scénářích byly splněny požadavky minimálních přetlaků, viz REF TLAK. Uzel 10-V40 označuje sušičku kalu B (tlak 3 bar), uzel 10-V38 sušičku kalu B (tlak 4 bar). Pro představu se uvádí, že 1 bar = 100 000 Pa, tj. 10,2 m v.sl. pro teplotu vody T = 15°C, hustotu 999,1 kg/m³.
- Nová potřeba vody se nepředpokládá vyšší než hodnota stávajícího maximálního čerpaného průtoku Q_{max} = 56,66 l/s. Nová čerpadla by bez problému zvládla i vyšší celkový odběr Q = 69,94 l/s, viz Tabulka 42. Čerpání vyššího průtoku, než Q_{max}, by bylo v ČS 1400C možné (nádrže mají akumulací objem). Pokud by se v budoucnosti objevil tento požadavek jako trvalý, museal by se čerpadla v ČS 1400A rovněž vyměnit.
- Do provozního řádu ČS 1400C je třeba začlenit požadavek, že kontinuální odběry Q_{kont} = 18 l/s (sušárna kalu, praní písku, oplach pěny) lze kombinovat pouze s některými obdběry periodickými, viz Tabulka 38Tabulka 42Tabulka 42. U periodických odběrů Q_{period} jde zejména o praní filtru, proplach strojního zahuštění, sušička kalu B a plnění proplachovacích klapků na dešťové zdrži. Lze říct, že k hodnotě Q_{kont} = 18 l/s lze přidat pouze takovou kombinaci periodických odběrů, aby se celkový požadavek na odběr maximálně rovnal hodnotě Q_{max} = 56,66 l/s.

4 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY ROZVODU PITNÉ VODY

4.1 POPIS HYDRAULICKÝCH VÝPOČTŮ ROZVODU PITNÉ VODY

4.1.1 STÁVAJÍCÍ DIMENZE NÁPOJOVACÍHO POTRUBÍ

Návrh dimenzí a posouzení rozvodu pitné vody bylo založeno na technologickém schématu, viz Obrázek 31. Vlastní rozvod pitné vody se realizuje z napojovacího místa, tj. ze stávajícího vodovodního řadu, který má dimenzi d110 (Dv = 90 mm), viz Obrázek 31.



Obrázek 31: Schéma rozvodu pitné vody.

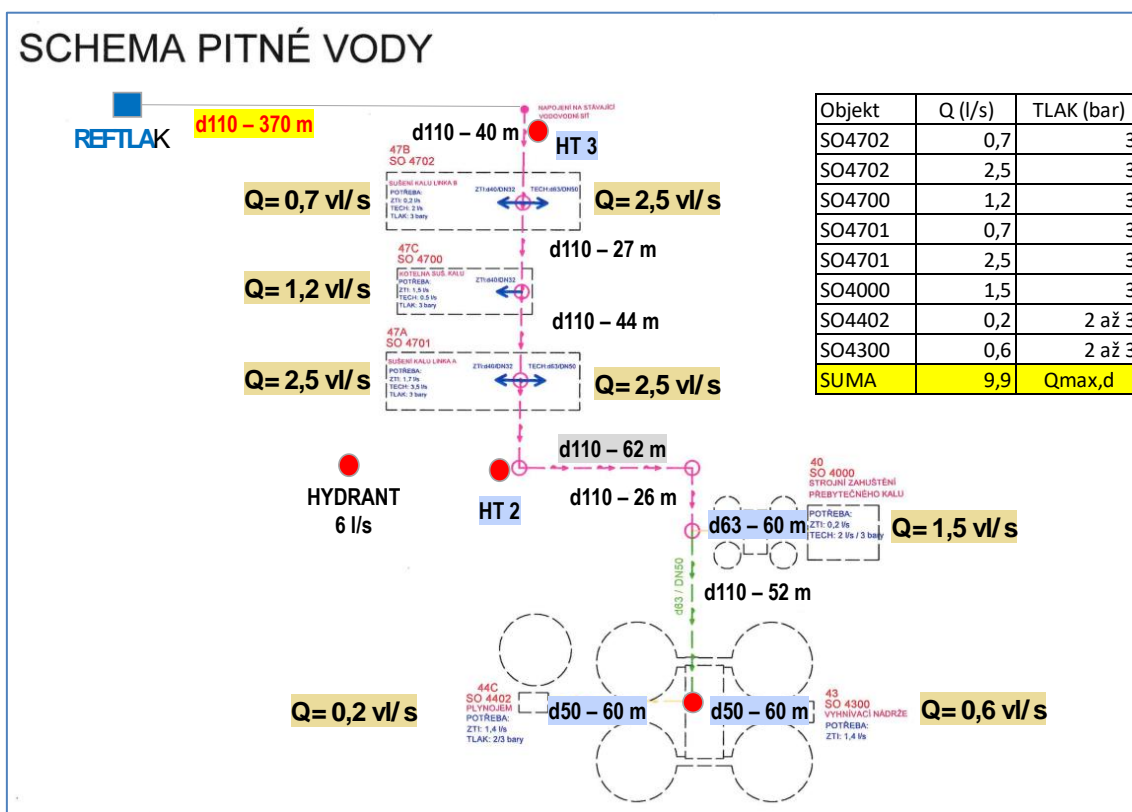
Rozvodná síť pitné vody byla schematizována svými uzly s polohovou výškou. Po zadání dílčích délek a stávajících dimenzí z výrobní řady PEHD (PE100) potrubí ukazuje Tabulka 43 průřezové rychlosti. Je však třeba podotknout, že kromě ustáleného stavu pro požadovanou maximální denní potřebu vody $Q_{\max,d} = 9,9$ l/s, viz Obrázek 32, je třeba ještě zvážit určité kolísání potřeby vody v průběhu dne, což se uvažilo na základě znalostí z obdobných projektů. Běžné rychlosti v trubních rozvodech se doporučují v rozmezí 0,6 až 1 m/s, pro maximální průtok $Q_{\max,d} = 9,9$ l/s vychází průřezová rychlost $V = 1,56$ m/s. Čím větší je průřezová rychlost v potrubí, tím v rozvodu pitné vody dochází k větším ztrátám tření. Tato skutečnost rovněž ovlivňuje, spolu

s požadovanými přetlaky u jednotlivých objektů, hodnotu přetlakové výšky v napojovacím místě, resp. v referenčním uzlu, viz níže.

Tabulka 43: Vliv dimenzí potrubí na průřezové rychlosti - potrubí pitné vody.

KALKULAČKA Výrobní program PEHD PE 100 SDR 11							
V = 1m							
d	t	Dv	S	Q	Zadaný Q	Skutečná rychlost	Poznámka
(mm)	(mm)	(mm)	(m2)	(l/s)	(l/s)	(m/s)	
140	12,7	114,6	0,0103	10,31	9,90	0,96	Maximální denní odběr Q _{max,d}
125	11,4	102,2	0,0082	8,20	9,90	1,21	Maximální denní odběr Q _{max,d}
110	10	90	0,0064	6,36	9,90	1,56	Maximální denní odběr Q _{max,d}
63	5,8	51,4	0,0021	2,07	1,50	0,72	Rozvody do nejvzdálenějších objektů
50	4,6	40,8	0,0013	1,31	0,60	0,46	Rozvody do nejvzdálenějších objektů
Poznámka: V = 1 m, v tomto sloupci jsou uvedeny průtoky při průřezové rychlosti V = 1 m/s							
Žluté je vyznačena stávající dimenze vodovodního řadu							

Lze konstatovat, že v jednotlivých objektech se požaduje přetlak 3 bar, viz Obrázek 31. Je třeba podotknout, že rozvod pitné vody z počátečního uzlu na hranici areálu ČOV (označení REFTLAK) je proveden k napojovacímu místu vlastního rozvodu pitné vody řadem d110 o poměrně dlouhé délce 370 m. Posuzované stávající dimenze potrubí, délky úseků a rekapitulaci odběrů pitné vody po jednotlivých objektech ukazuje Obrázek 32.

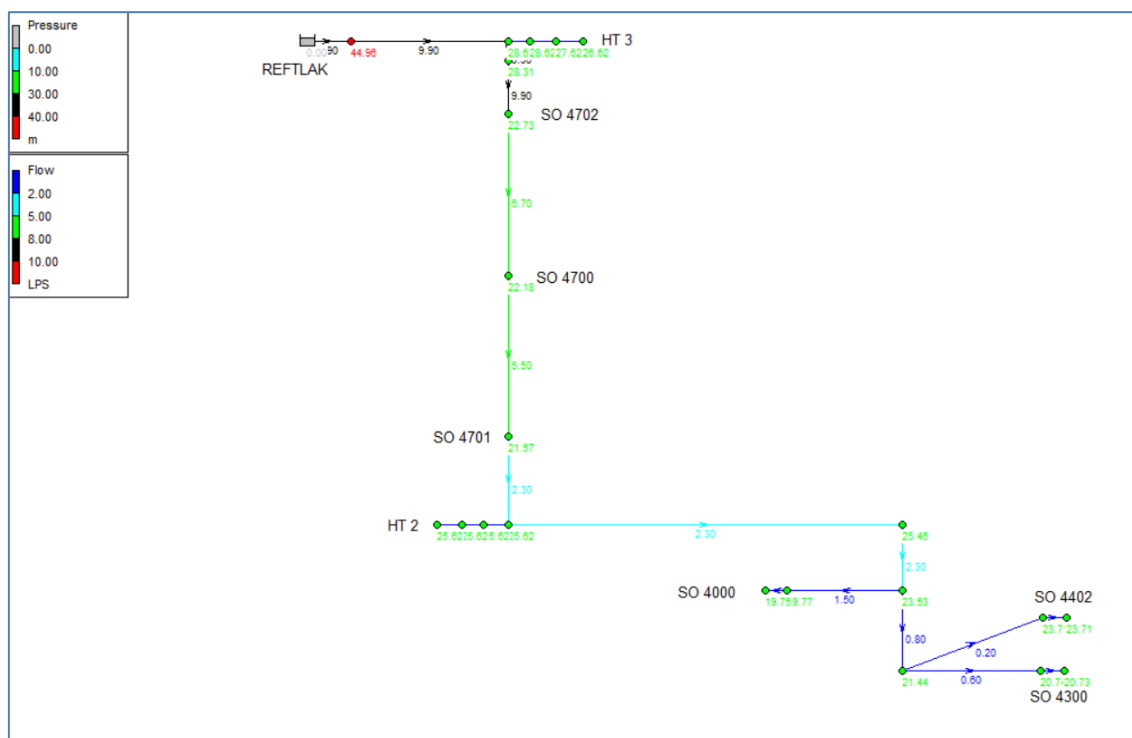


Obrázek 32: Schéma rozvodu pitné vody se stávajícími dimenzemi, délkami a potřebou pitné vody.

Nejprve se prováděly simulační výpočty ustáleného stavu pro maximální denní odběry 9,9 l/s, viz Obrázek 33. Pokud by přetlaková výška v počátečním uzlu (REFTLAK) byla dle sdělení

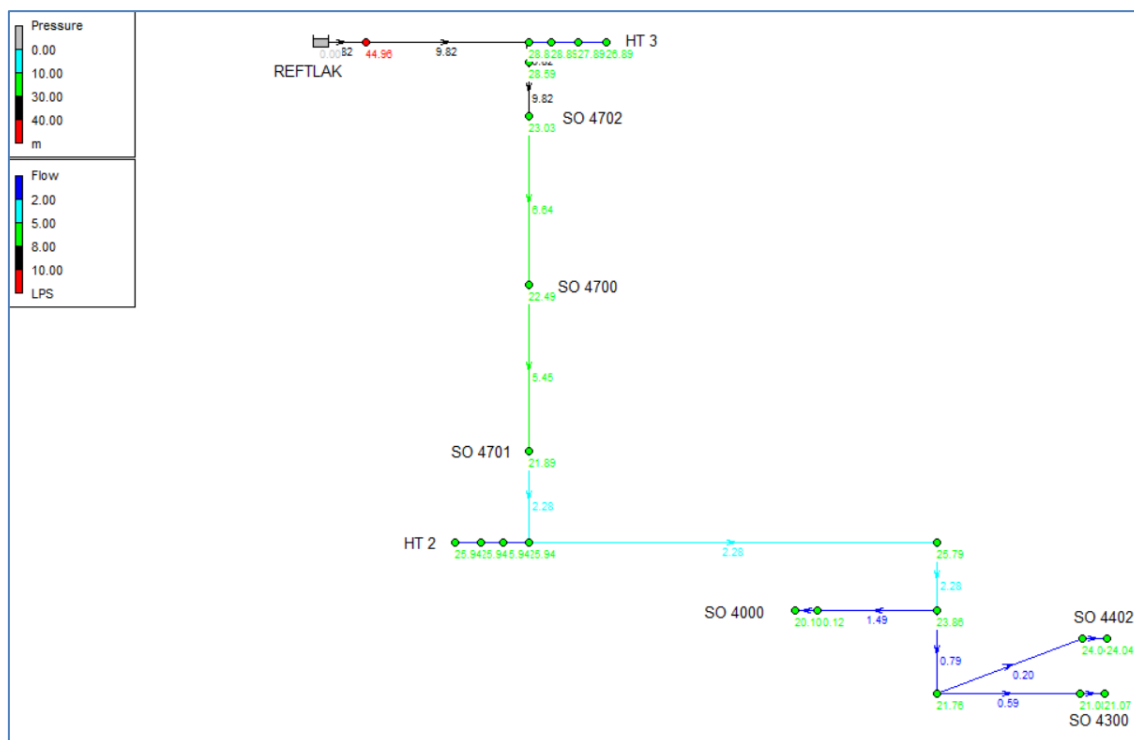
provozovatele 4,5 bar, pak by požadavek na přetlak 3 bar v nejvzdálenějším objektu SO 4300 beze zbytku splněn nebyl. Byl by k dispozici přetlak o něco větší než 2 bar.

Podrobnější výsledky hydraulických výpočtů pro kvaziustálé proudění, při kterém nastává $Q_{\max,d}$ pouze jednou denně po poměrně krátkou dobu (předpokládá se v 8 hodin ráno), ukazuje ve formě tematické mapy Obrázek 34.

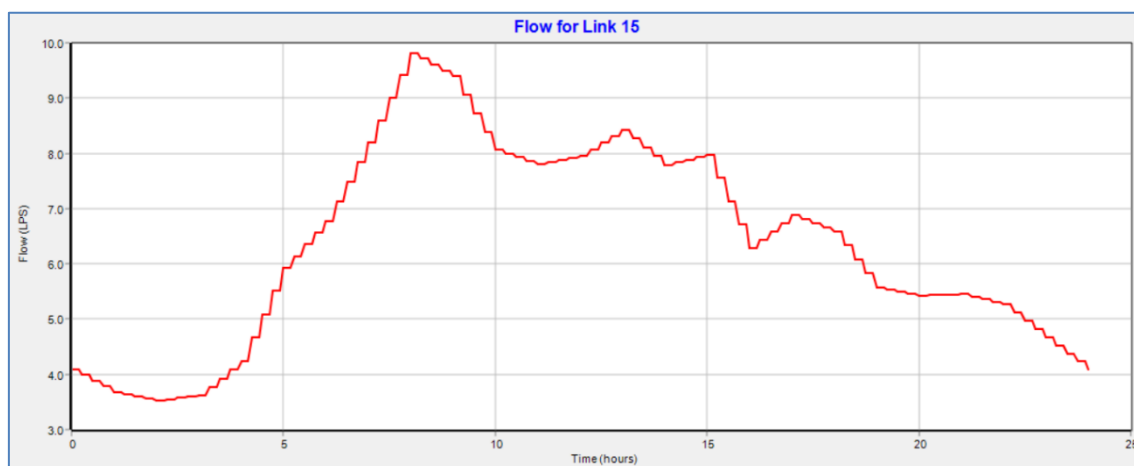


Obrázek 33: Výsledky hydraulického výpočtu rozvodů pitné vody v ustáleném stavu pro $Q_{\max,d}$.

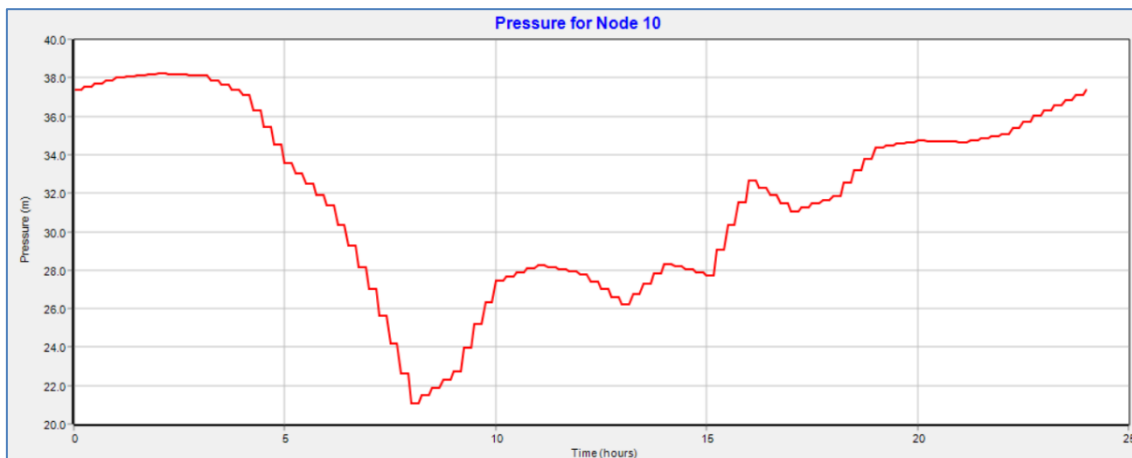
Nejdůležitějším a rozhodujícím posouzením hydraulických poměrů v rozvodu pitné vody je právě tzv. kvaziustálé proudění, při kterém se zohledňuje změna odběrů vody v průběhu dne. K typické změně odběrů v průběhu dne se použily údaje z obdobných projektů. Výsledky hydraulických výpočtů kvaziustálého proudění (Extended Period Simulation, EPS) v rozvodu pitné vody ukazuje pro případ výskytu maximálního odběru v 8 hodin Obrázek 34. Kolísání průtoku v přívodním potrubí od referenčního počátečního uzlu (REFTLAK) závislosti na potřebě vody v průběhu dne ukazuje Obrázek 35, kolísání tlaku v nejvzdálenějším objektu SO 4300 ukazuje Obrázek 36. Lze očekávat, že v průběhu maximálního odběru by byl přetlak jen cca 2,1 bar, ovšem to by trvalo pouze omezený čas (cca 1,5 hodiny). Jinak by přetlaky v objektech byly větší či rovny hodnotě 2,5 bar, což lze akceptovat. Původní požadavek na přetlaky v nejvzdálenějších objektech byl 2 až 3 bar.



Obrázek 34: Výsledky hydraulického výpočtu rozvodů pitné vody pro kvaziustálé proudění.



Obrázek 35: Přítok vody v přívodním potrubí d110 od počátečního uzlu (REFTLAK) - kolísání potřeby vody v průběhu dne.



Obrázek 36: Kolísání tlaku v nejvzdálenějším objektu SO 4300 v průběhu dne.

4.2 HYDRAULICKÉ VÝPOČTY ROZVODU PITNÉ VODY S HYDRANTY

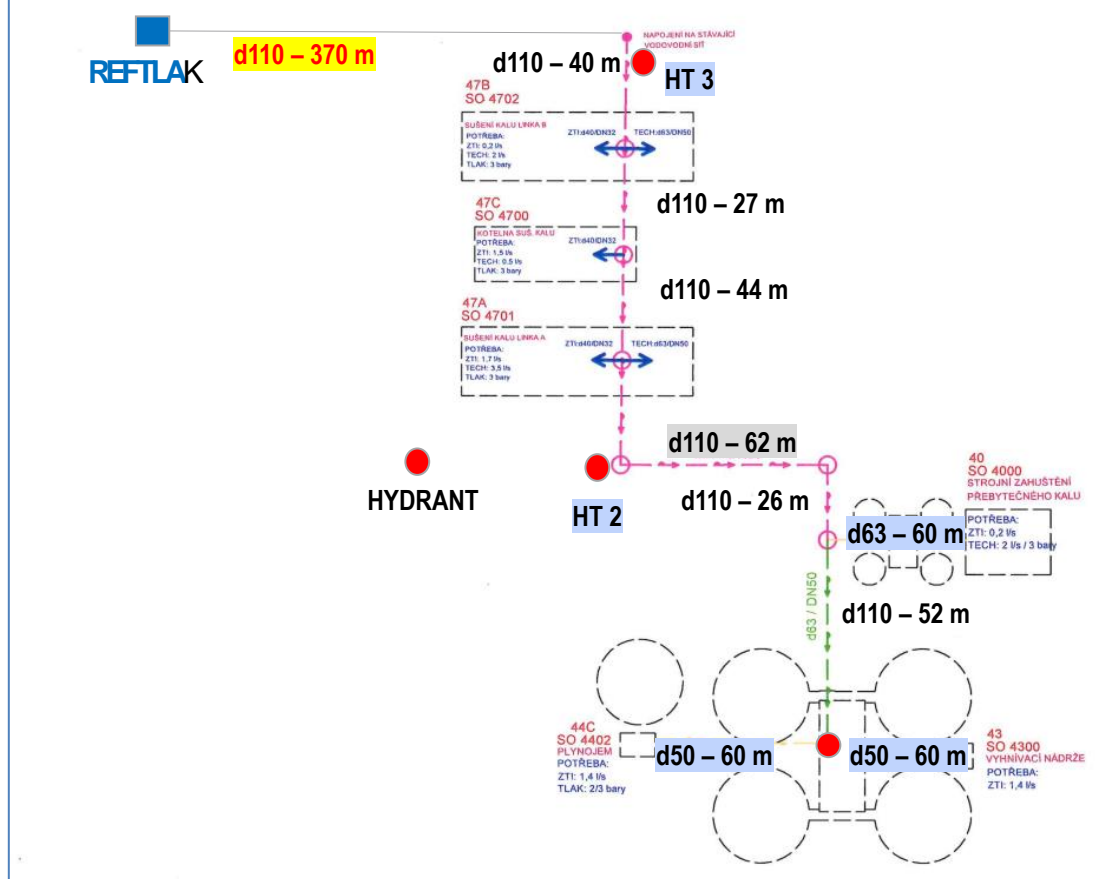
Ve zprávě D1.3.1 Technická zpráva PBŘ je uvedeno: „...pro posuzovaný objekt jsou a budou instalována vnější odběrná místa – stávající podzemní a nadzemní hydranty na potrubí s minimální dimenzí DN100. Tato stávající odběrná místa musí splnit minimální požadavek na dimenzi DN100 pro největší požární úsek s plochou do 500 m². Dále musí být splněna minimální vydatnost hydrantu **$Q = 6 \text{ l/s}$** , přetlak v síti musí být vždy minimálně 0,2 MPa (resp. 2 bar) a vzdálenost do 150 m od objektu, viz ČSN 73 0873.

Výše citovaná zpráva konstatuje, že vzdálenost a DN potrubí bude vyhovující – hodnoty jsou splněny pomocí stávajících hydrantů v okolí na potrubí s minimální DN 100. Dále je ve zprávě uvedeno, že požadované hodnoty přetlaku a vydatnosti se musí doložit platným dokladem při kolaudaci stavby.

Rozmístění stávajících hydrantů je patrné na výkresu situace, kde od každého objektu nebude překročena mez 150 m (vždy do 100 m) a další nebude od nejbližšího dále jak 150 m – **vyhovuje**.

Při hydraulickém posouzení nové trasy pitné vody s využitím simulačního modelu se zvažovalo umístění nového nadzemního hydrantu tak, aby byly splněny výše uvedené požadavky na dimenze, vzdálenosti a tlakové požadavky normy ČSN 73 0873, tj. v místě HT 2 a HT 3. Dále se předpokládalo, že hydrant musí zabezpečit požadavek potřeby vody **$Q = 6 \text{ l/s}$** na hašení požáru v jednom místě po dobu 30 minut. Schéma rozvodu pitné vody s umístěním nových hydrantů pro posouzení simulačním modelem ukazuje Obrázek 37.

SCHEMA PITNÉ VODY



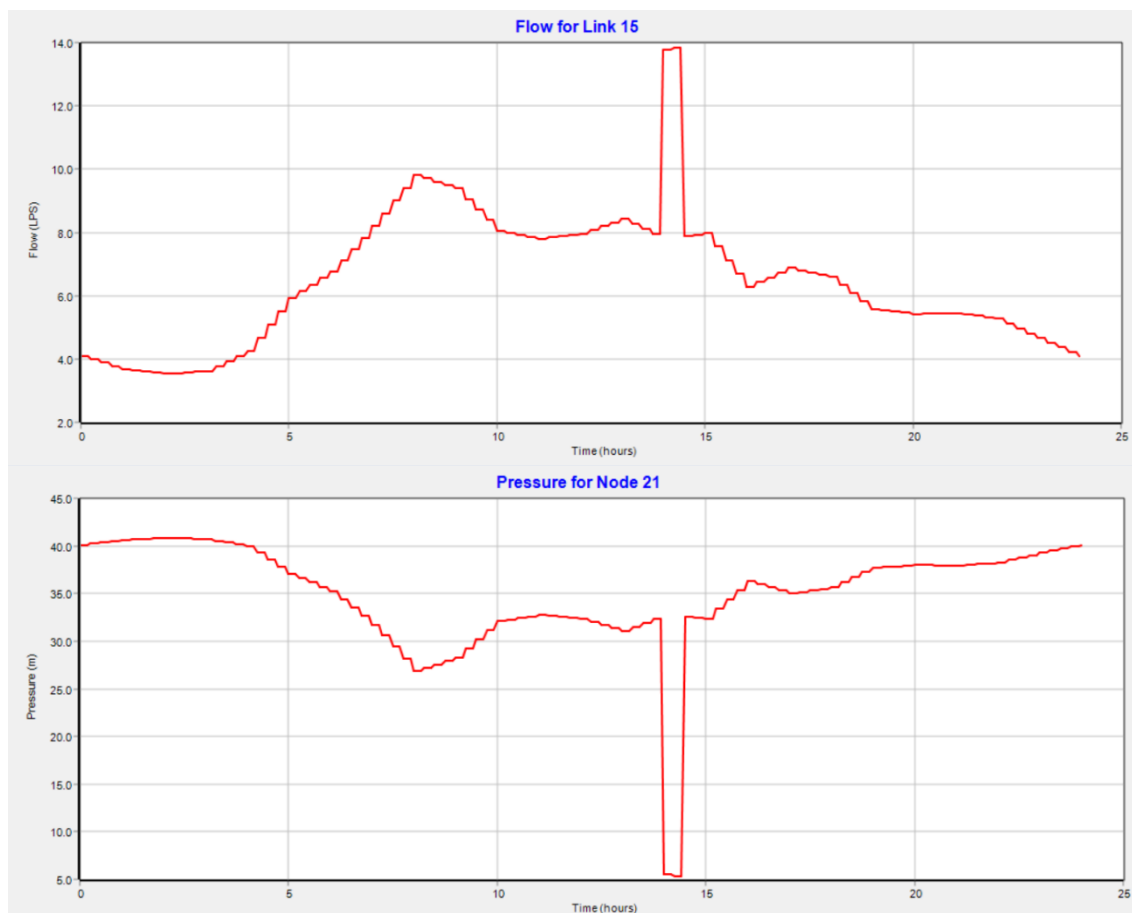
Obrázek 37: Předpokládané umístění hydrantů v rozvodu pitné vody.

Z hydraulického hlediska se pro požadovaný průtok hydrantem **6 l/s** prokáže splnění předepsaných tlakových poměrů, tj. přetlak v síti musí být vždy minimálně 0,2 MPa (resp. 2 bar, což je přibližně 20,4 m v.sl.).

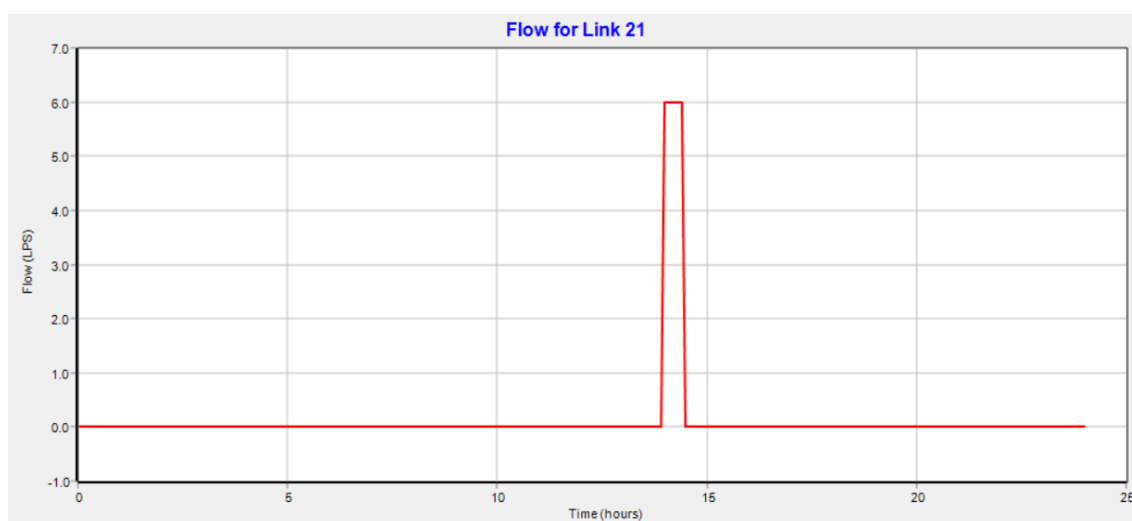
Výsledky simulačních výpočtů při otevření hydrantu HT3 ukazují Obrázek 38, který v horní části ukazuje změnu průtoku v přívodním potrubí průběhu dne (včetně výskytu požáru s hydrantem HT3), dolní obrázek ukazuje tlak v uzlu (odbočka k hydrantu). Pokud by se vyskytl požár, resp. pokud by k otevření hydrantu s průtokem $Q = 6 \text{ l/s}$ došlo v čase 14 – 14:30 hodin, viz Obrázek 39, maximální odběr do rozvodu pitné vody by dosáhl hodnoty cca 14 l/s. Již z tohoto výpočtu je patrné, že nelze umožnit souběh potřeb vody a výskytu požáru (otevření hydrantu), neboť by nebyly splněny tlakové požadavky na použití hydrantu, viz výše (nehledě na nesplnění požadovaných přetlaků v objektech). Proto se po konzultaci se zadavatelem bude předpokládat, že v případě výskytu požáru se nebude s požadavky na potřebu vody počítat (**zařízení budou vypnuta**).

Obrázek 40 ukazuje výsledky hydraulických výpočtů ve formě tematické mapy s průtoky a tlaky za předpokladu využití požadovaného odběru $Q = 6 \text{ l/s}$ při otevření hydrantu HT3 (ve 14:15 hod.). Tlak v nejvzdálenějším objektu SO 4402, resp. vliv hydrantu HT 3, ukazuje Obrázek 41. Minimální přetlak je větší než 33 m v.s., což s rezervou splňuje požadavek na přetlak 2 bar. Výsledky při otevření hydrantu HT 2 by byly obdobné. Lze proto konstatovat, že v obou místech lze hydrant

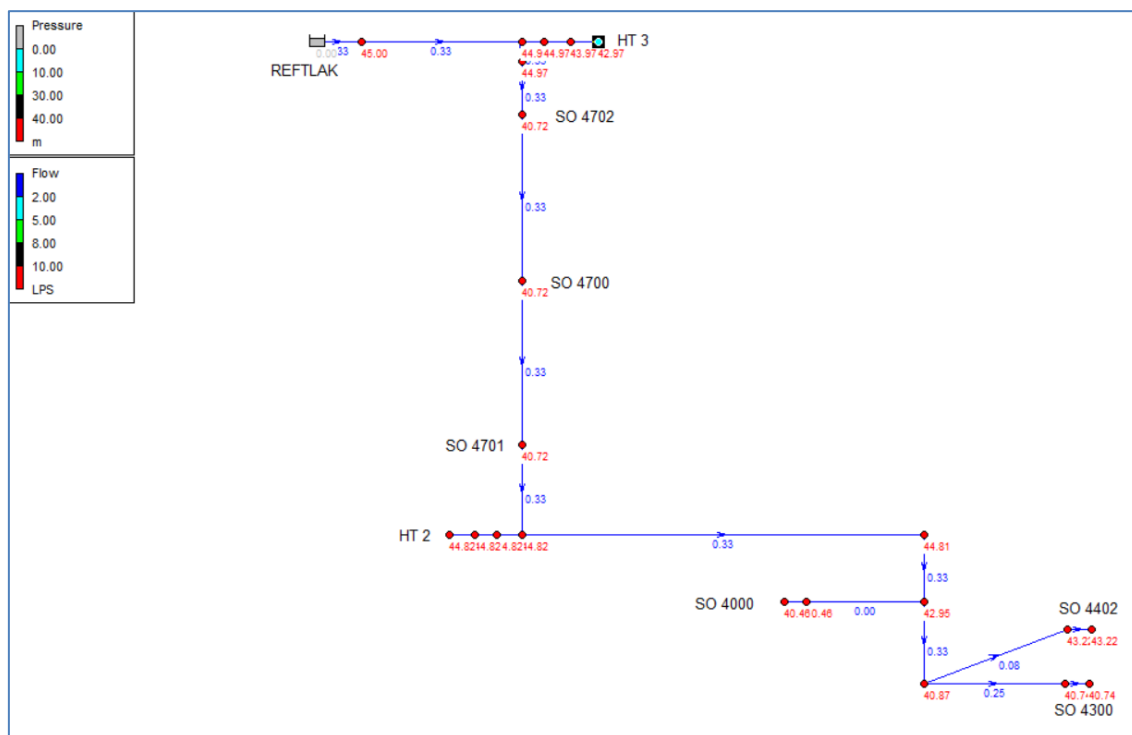
umístit a k hašení požáru použít. Přetlak v počátečním uzlu (REFTLAK) o hodnotě 4,5 bar je dostatečný.



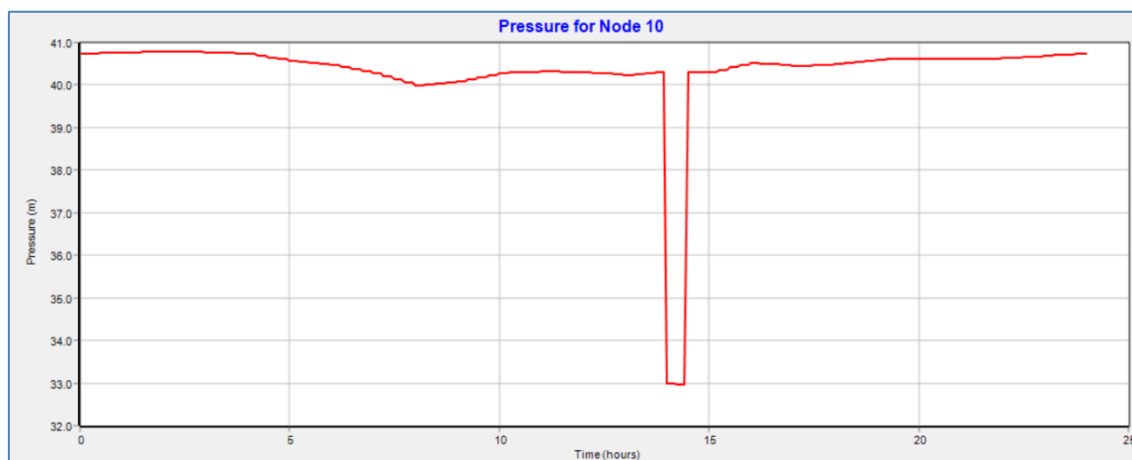
Obrázek 38: EPS proudění v připojovacím potrubí z distribučního řadu – průtok (horní obrázek), tlak (dolní obrázek) v provozu HT 3.



Obrázek 39: EPS proudění - průtok k hydrantu HT 3.



Obrázek 40: Tematická mapa - v provozu pouze hydrant HT 3 (odběry pitné vody vypnuty).



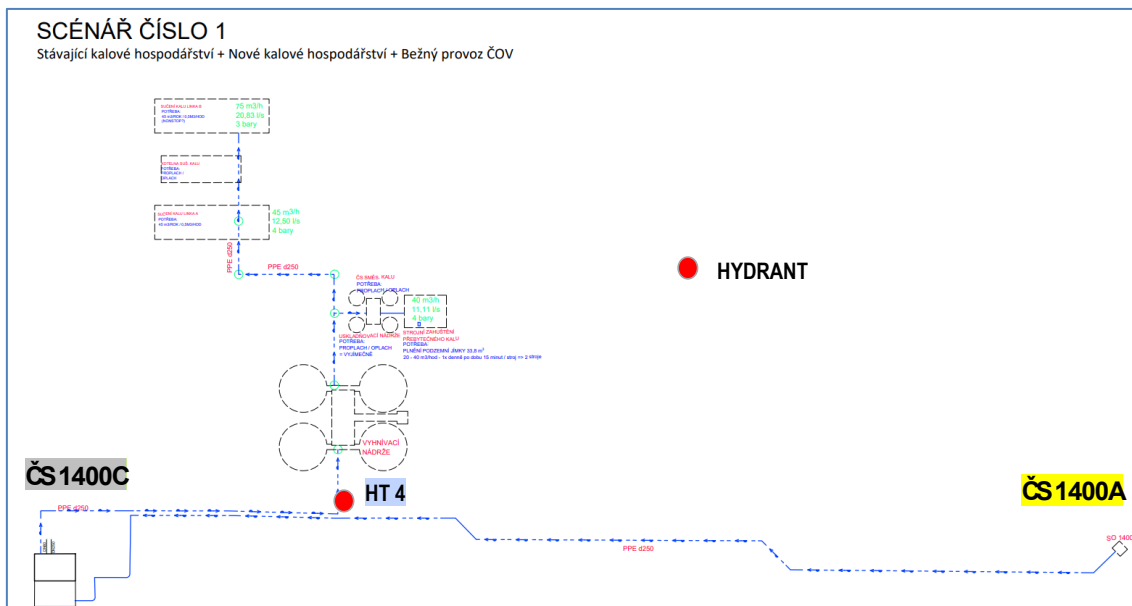
Obrázek 41: EPS proudění - tlak pro nejvzdálenější objekt SO 4300 – v provozu pouze HT 3.

Závěr a doporučení pro systém rozvodu pitné vody

- 1) Posouzení stávajících dimenzí rozvodu pitné vody d110 pro maximální potřebu vody prokázalo, že navržená trubní síť zajistí požadované odběry vody, avšak v průběhu maximálního odběru by byl přetlak v nejvzdálenějším objektu SO 4300 jen cca 2,1 bar. Díky skutečnosti, že by toto omezení tlaku trvalo relativně krátkou dobu (cca 1,5 hodiny) a jinak by přetlaky v objektech byly větší či rovny hodnotě 2,5 bar, lze toto řešení akceptovat. Již původní požadavek na přetlaky v nejvzdálenějších objektech SO 4402 a SO 4300 uváděl hodnotu 2 až 3 bar. Přetlak v počátečním uzlu (REFTLAK = 4,5 bar) je proto dostatečným.
- 2) V případě výskytu požáru lze samostatně využít oba hydranty HT3, resp. HT2, ovšem požaduje se (musí to být uvedeno v Provozním řádu), aby ostatní spotřeby pitné vody v objektech byly zastaveny a z vodovodní sítě by se odebíral pouze požadovaný průtok hydrantem $Q = 6 \text{ l/s}$. Požadovaný přetlak 2 bar je s rezervou splněn.
- 3) V navrženém systému pitné vody lze tedy využívat k hašení požáru oba hydranty, tj. buď **hydrant HT 3, nebo HT 2**. Oba hydranty zajistí v souladu s požární zprávou protipožární zabezpečení objektů SO 4702, SO 4700 a SO 4701. Zbývající objekty budou z hlediska protipožární ochrany zabezpečeny hydrantem umístěným na trubním systému užitkové vody, viz následující kapitola.

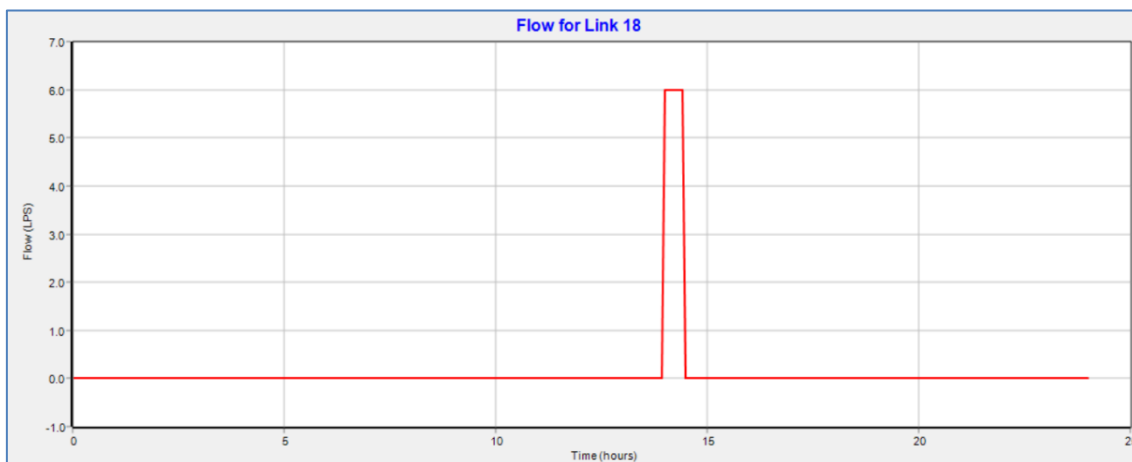
4.3 HYDRAULICKÉ POSOUZENÍ HYDRANTU V TRUBNÍM ROZVODU UŽITKOVÉ VODY

Na základě výše uvedené zprávy PBR se umístí jeden nový hydrant HT 4 v systému provozní vody na trase z ČS 1400C, viz Obrázek 42. Tento hydrant zajistí protipožární zabezpečení objektů biofiltrů, čerpací stanice smíšeného kalu a vyhnívacích nádrží (požadovaná vzdálenost do 150 m je splněna).

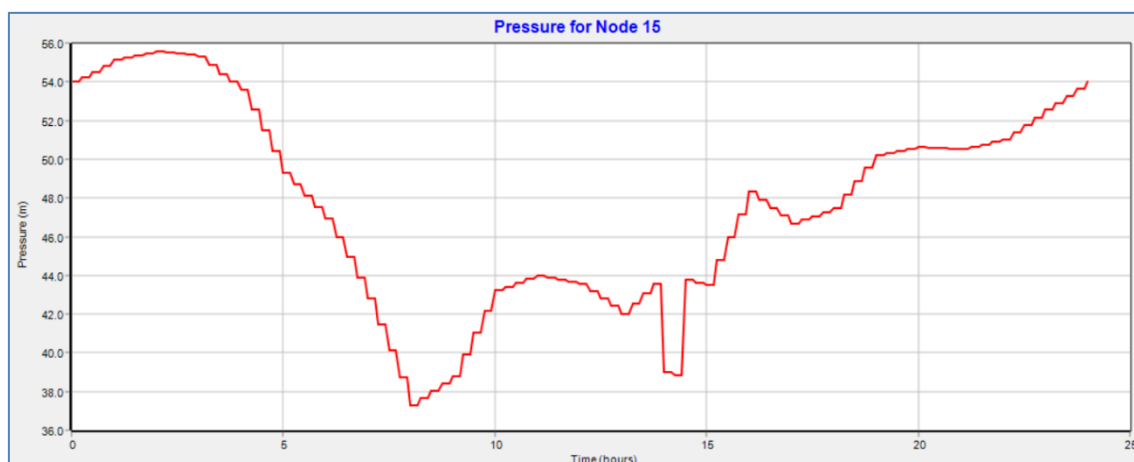


Obrázek 42: Umístění nového hydrantu HT 4 na trase z ČS 1400C v systému provozní vody.

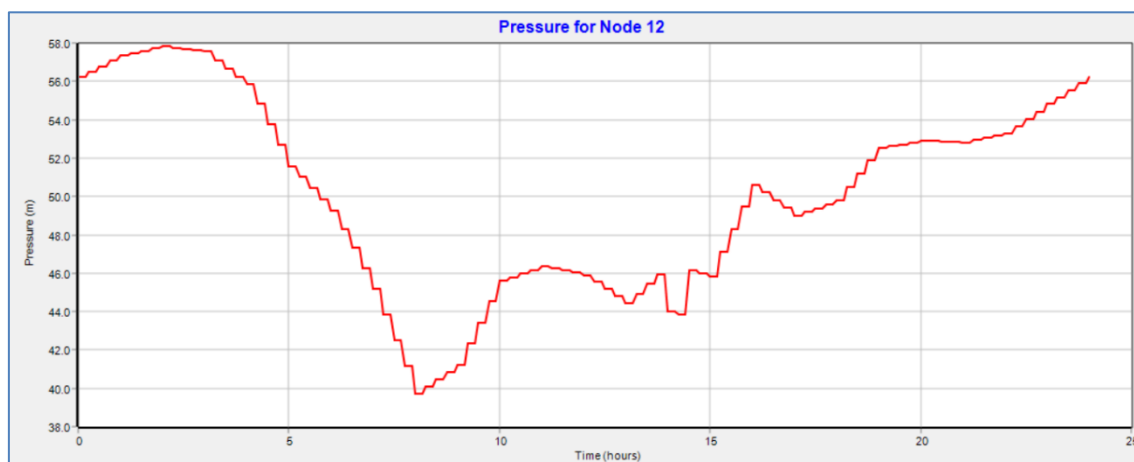
Jako jeden z nejnepříznivějších případů se uvažuje potřeba vody pro souběh stávajících a nových objektů, viz Tabulka 37. Okamžitá potřeba vody je 54,11 l/s. Výskyt požáru a otevření hydrantu HT 4 (DN 100) ukazuje ve formě průtoku, resp. tlaku, Obrázek 43, resp. Obrázek 44. Tlakové požadavky v hydrantu jsou splněny. Změna tlaku za filtrem (při jeho současném praní) ukazuje Obrázek 45.



Obrázek 43: Průtok v místě umístění hydrantu HT 4 – hašení požáru.



Obrázek 44: Změna tlaku v místě umístění hydrantu HT 4 – hašení požáru.



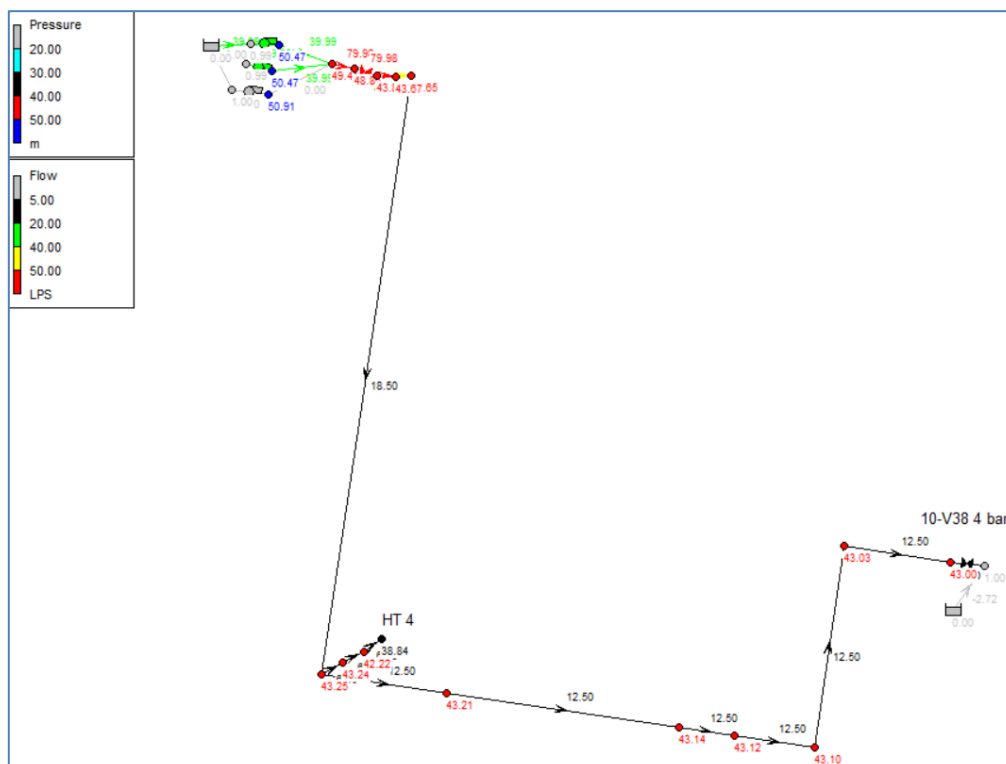
Obrázek 45: Změna tlaku v místě za filtrem – hydrant HT 4 je v provozu.

Požadavek na minimální přetlaky u vybraných objektů ukazuje v daném případě ve formě tematické mapy Obrázek 46 a Obrázek 47. Pokud by byla v provozu dvě paralelně zapojená čerpadla a provozní otáčky by byly $n = 90 \%$ (45 Hz), byl by splněn referenční tlak u biofiltru (uzel 10-V38) s předepsanou hodnotou 4 bar.

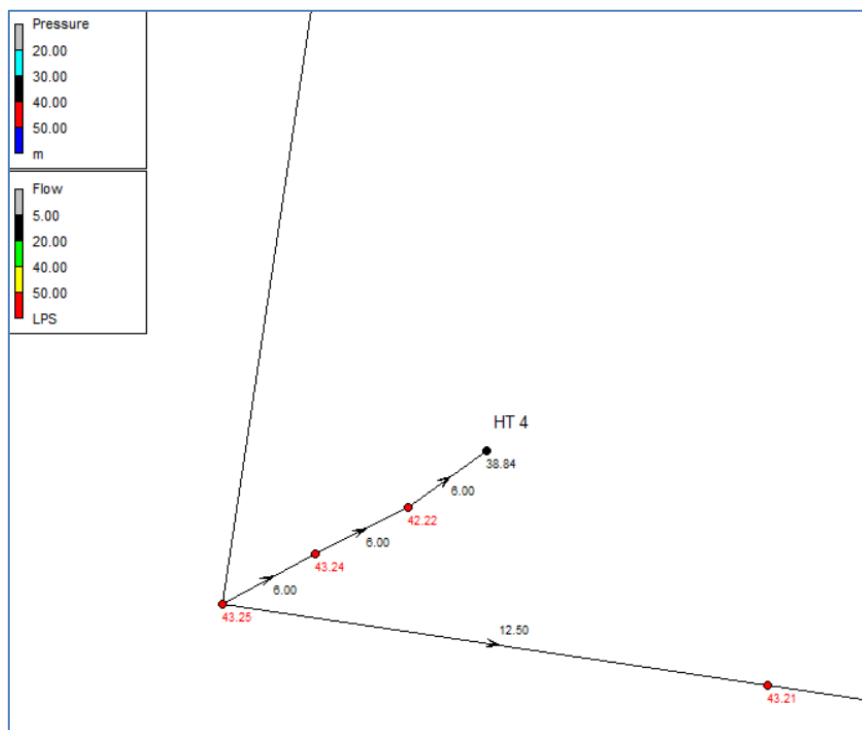
Závěry

Simulační výpočty prokázaly, že i v systému provozní vody, a to při nejnejpříznivějším souběhu provozu starých a nových provozů, viz Tabulka 37, bude nový hydrant HT 4 v souladu s požadavky zprávy PBR zabezpečovat svým průtokem 6 l/s protipožární ochranu přilehlých objektů, které se nacházejí do 150 m od hydrantu.

Záleželo by rovněž na čase v průběhu dne, kdy by k požáru došlo. V průběhu zkušebního provozu se doporučuje ověřit, jaké provozní otáčky čerpadel nastavit, aby v průběhu 30 minut hašení požáru byly rovněž splněny v objektech předepsané požadavky na přetlaky. Hašení požáru lze simulovat hydrantovou zkouškou, což se doporučuje. Díky charakteristice navržených čerpadel ještě v provozních otáčkách existuje rezerva a bylo by tak možné v případě výskytu požáru nastavit otáčky čerpadla např. na $n = 100\%$ (50 Hz). Druhou možností je v Provozním řádu předepsat, že v případě výskytu požáru se přeruší odběr periodických odběrů vody, buď jen těch největších, nebo všech.



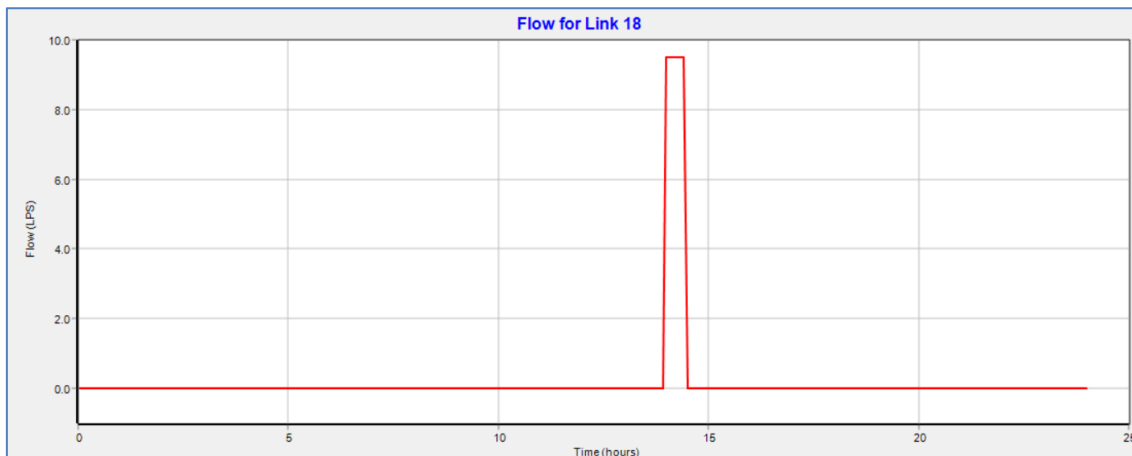
Obrázek 46: Tematická mapa s tlaky a průtoky pro umístění hydrantu HT 4 v systému provozní vody.



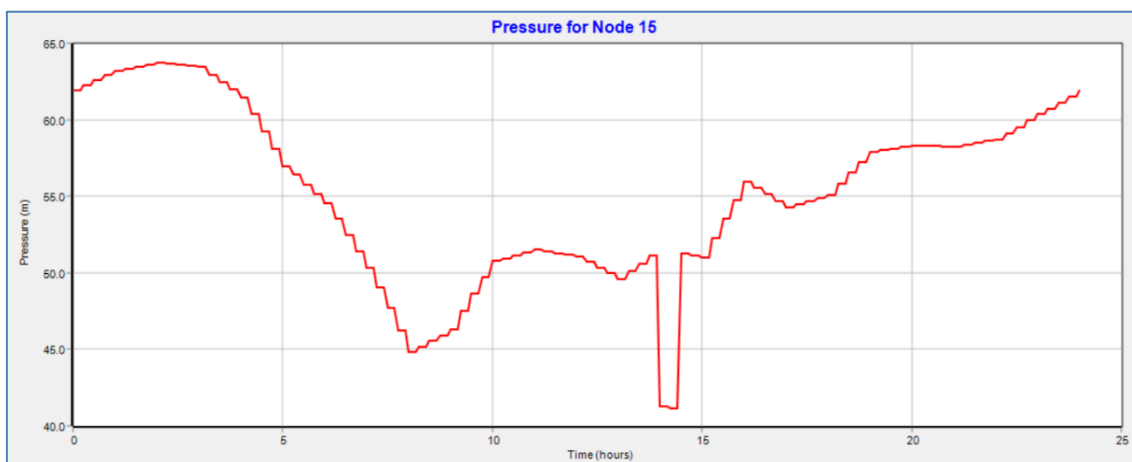
Obrázek 47: Podrobná tematická mapa s tlaky a průtoky pro umístění hydrantu HT 4 v systému provozní vody.

Poznámka

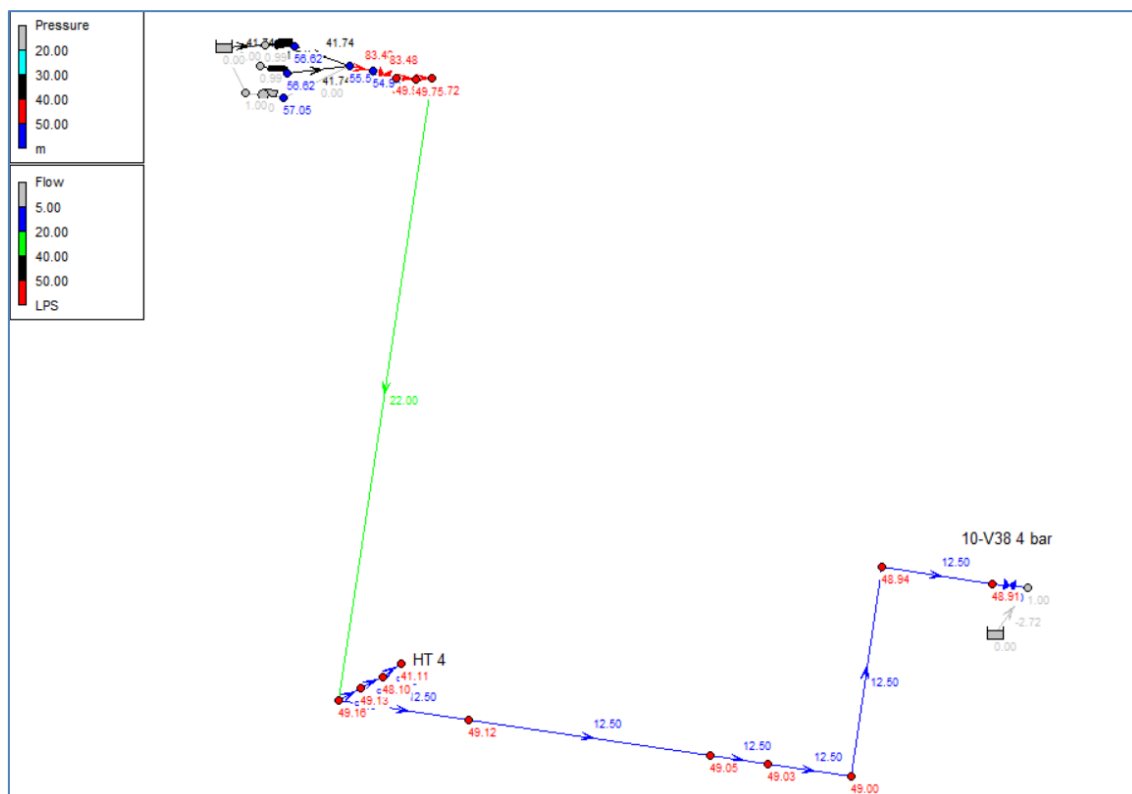
Na základě požadavku hasiče byl rovněž ověřen požadavek na průtok hydrantem $Q = 9,5 \text{ l/s}$. Modelová charakteristika každého ze dvou paralelně v provozu zapojených čerpadel se předpokládala na úrovni 47,5 Hz. Simulační výpočet prokázal, že hydrantem HT4 by k hašení požáru mohl vytékat průtok 9,5 l/s při splnění požadavku zprávy PBŘ zabezpečovat svým průtokem protipožární ochranu přilehlých objektů, které se nacházejí do 150 m od hydrantu, viz Obrázek 48 až Obrázek 50. Kromě toho požadovaný přetlak 4 bar je v objektu 10-V38 splněn, viz Obrázek 51.



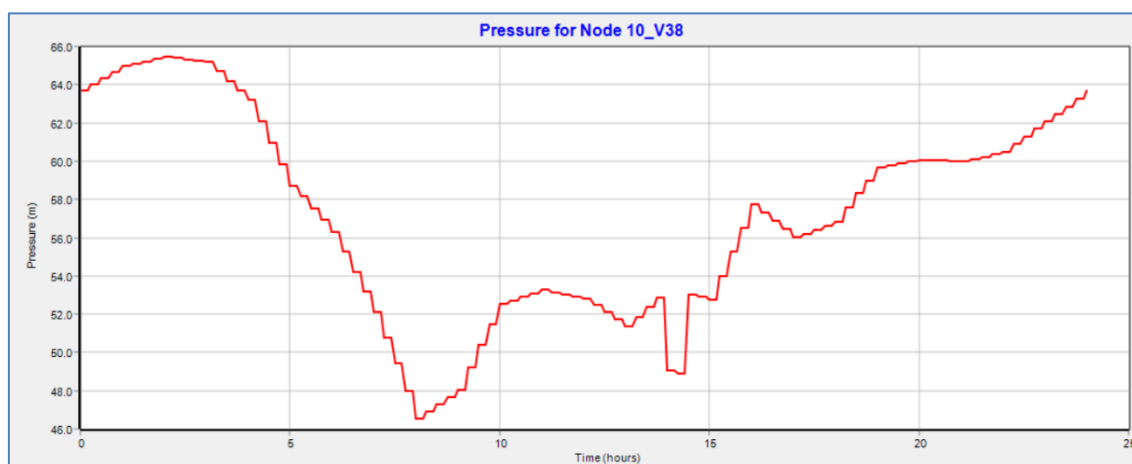
Obrázek 48: Změna průtoku v hydrantu hydrantu HT 4 – hašení požáru $Q = 9 \text{ l/s}$.



Obrázek 49: Změna tlaku v místě umístění hydrantu HT 4 – hašení požáru $Q = 9 \text{ l/s}$.



Obrázek 50: Tematická mapa s tlaky a průtoky pro umístění hydrantu HT 4 ($Q = 9,5 \text{ l/s}$) v systému provozní vody.



Obrázek 51: Průběh tlaku v objektu, kde jsou požadovány 4 bar.

5 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Odběrná místa ZPK (vlevo nahoře), SK (vpravo nahoře), ZSK (vlevo dole), VK3 (vpravo dole).	5
Obrázek 2: Zahuštěný primární kal ZPK – vzorek 20220606_1000 odebraný (vlevo) a mixovaný (uprostřed); vzorek 20220607_0840 odebraný a mixovaný (vpravo). (foto D. Kolář, Sweco Hydroprojekt)	7
Obrázek 3: Směsný kal SK – 3 vzorky z 20220606 (vlevo), 1 vzorek z 20220607 (vpravo).	8
Obrázek 4: Zahuštěný sekundární kal ZSK (vlevo), vyhnílý kal VK – 3 vzorky z 20220606 (vpravo) (foto D. Kolář, Sweco Hydroprojekt).	8
Obrázek 5: Odvodněný kal OK (foto D. Kolář, Sweco Hydroprojekt).	9
Obrázek 6: Reogramy vzorků kalu ZPK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.	12
Obrázek 7: Reogramy vzorků kalu SK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.	13
Obrázek 8: Reogramy vzorků kalu ZSK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.	14
Obrázek 9: Reogramy vzorků kalu VK. Legenda: body = měření, čára = proklad pomocí reologického modelu s parametry dle Tab. 3.	15
Obrázek 10: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 1 – vyhnílý kal z vyhnívací nádrže.	22
Obrázek 11: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 2 – vyhnílý kal z vyhnívací nádrže do nádrže uskladňovací.	29
Obrázek 12: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 3 – vyhnílý kal z vyrovnávací nádrže do místa odvodnění kalu.	36
Obrázek 13: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 4 – přebytečný kal z dosazovacích nádrží.	41
Obrázek 14: Určení provozního bodu čerpadla pro trasu č. 4.	42
Obrázek 15: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 5 – přebytečný zahuštěný kal do vyrovnávacích nádrží.	47
Obrázek 16: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 6 – přebytečný zahuštěný kal z vyrovnávacích do vyhnívacích nádrží.	56
Obrázek 17: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 7 – čerpání fugátu.	60
Obrázek 18: Určení provozního bodu modelového čerpadla pro trasu č. 7 – čerpání fugátu.	62
Obrázek 19: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 8 – čerpání kondenzátu.	69
Obrázek 20: Určení provozního bodu čerpadla pro trasu č. 8 – čerpání kondenzátu.	71
Obrázek 21: Souhrn vstupních podkladů pro trasu č. 9 – čerpání fugátu.	75
Obrázek 22: Určení provozního bodu čerpadla pro trasu č. 9 – čerpání fugátu.	76
Obrázek 23: Schéma čerpání provozní vody.	79
Obrázek 24: Nádrže v objektu SO 1400C.	79
Obrázek 25: Nádrže v objektu SO 1400A.	80
Obrázek 26: Čerpaný průtok z ČS 1400A.	80
Obrázek 27: Stávající čerpadla v ČS 1400C.	81
Obrázek 28: Potřeba provozní vody v objektech kalového hospodářství.	84
Obrázek 29: Charakteristika jednoho nového čerpadla pro ČS 1400C.	85
Obrázek 30: Výsledky hydraulického výpočtu souběhu potřeby provozní vody pro nová čerpadla z ČS 1400C.	86
Obrázek 31: Schéma rozvodu pitné vody.	89
Obrázek 32: Schéma rozvodu pitné vody se stávajícími dimenzemi, délkami a potřebou pitné vody.	90
Obrázek 33: Výsledky hydraulického výpočtu rozvodů pitné vody v ustáleném stavu pro $Q_{max,d}$.	91
Obrázek 34: Výsledky hydraulického výpočtu rozvodů pitné vody pro kvaziustálené proudění.	92
Obrázek 35: Přítok vody v přírodním potrubí d110 od počátečního uzlu (REFTLAK) - kolísání potřeby vody v průběhu dne.	92
Obrázek 36: Kolísání tlaku v nejvzdálenějším objektu SO 4300 v průběhu dne.	93
Obrázek 37: Předpokládané umístění hydrantů v rozvodu pitné vody.	94
Obrázek 38: EPS proudění v přípojovacím potrubí z distribučního řádu – průtok (horní obrázek), tlak (dolní obrázek) v provozu HT 3.	95
Obrázek 39: EPS proudění - průtok k hydrantu HT 3.	95
Obrázek 40: Tematická mapa - v provozu pouze hydrant HT 3 (odběry pitné vody vypnuty).	96
Obrázek 41: EPS proudění - tlak pro nejvzdálenější objekt SO 4300 – v provozu pouze HT 3.	96
Obrázek 42: Umístění nového hydrantu HT 4 na trase z ČS 1400C v systému provozní vody.	98
Obrázek 43: Průtok v místě umístění hydrantu HT 4 – hašení požáru.	98

Obrázek 44: Změna tlaku v místě umístění hydrantu HT 4 – hašení požáru.	99
Obrázek 45: Změna tlaku v místě za filtrem – hydrant HT 4 je v provozu.	99
Obrázek 46: Tematická mapa s tlaky a průtoky pro umístění hydrantu HT 4 v systému provozní vody.	100
Obrázek 47: Podrobná tematická mapa s tlaky a průtoky pro umístění hydrantu HT 4 v systému provozní vody.	100
Obrázek 48: Změna průtoku v hydrantu hydrantu HT 4 – hašení požáru $Q = 9 \text{ l/s}$.	101
Obrázek 49: Změna tlaku v místě umístění hydrantu HT 4 – hašení požáru $Q = 9 \text{ l/s}$.	101
Obrázek 50: Tematická mapa s tlaky a průtoky pro umístění hydrantu HT 4 ($Q = 9,5 \text{ l/s}$) v systému provozní vody.	102
Obrázek 51: Průběh tlaku v objektu, kde jsou požadovány 4 bar.	102

6 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Seznam odebraných vzorků a výsledky určení jejich obsahu sušiny laboratoří ČOV.	6
Tabulka 2: Určení hustoty kalové směsi odebraných vzorků.	10
Tabulka 3: Určení reologických parametrů odebraných vzorků.	11
Tabulka 4: Souhrnná tabulka výsledků měření.	16
Tabulka 5: Seznam trubních tras s newtonských charakterem čerpaného média.	17
Tabulka 6: Seznam trubních tras pro čerpání kalů – reologické parametry a hustota se použily z reometrického měření.	18
Tabulka 7: Parametry potrubí pro trasu č. 1.	23
Tabulka 8: Parametry tvarovek pro trasu č. 1.	24
Tabulka 9: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 1.	24
Tabulka 10: Parametry potrubí pro trasu č. 2 – první část.	29
Tabulka 11: Parametry tvarovek pro trasu č. 2 – první část.	29
Tabulka 12: Parametry potrubí pro trasu č. 2 – druhá část.	30
Tabulka 13: Parametry tvarovek pro trasu č. 2 – druhá část.	30
Tabulka 14: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 2.	30
Tabulka 15: Parametry potrubí pro trasu č. 3 – první část.	37
Tabulka 16: Parametry tvarovek pro trasu č. 3 – první část.	37
Tabulka 17: Parametry potrubí pro trasu č. 3 – druhá část.	37
Tabulka 18: Parametry tvarovek pro trasu č. 3 – druhá část.	37
Tabulka 19: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 3.	37
Tabulka 20: Parametry potrubí pro trasu č. 4.	41
Tabulka 21: Parametry tvarovek pro trasu č. 4.	41
Tabulka 22: Parametry potrubí pro trasu č. 5.	48
Tabulka 23: Parametry tvarovek pro trasu č. 5.	49
Tabulka 24: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 5.	49
Tabulka 25: Parametry sacího potrubí pro trasu č. 6.	57
Tabulka 26: Parametry tvarovek sacího pro trasu č. 6.	57
Tabulka 27: Parametry výtlačného potrubí pro trasu č. 6.	57
Tabulka 28: Parametry tvarovek výtlačného pro trasu č. 6.	57
Tabulka 29: Výsledky hydraulických výpočtů pro trasu č. 6.	57
Tabulka 30: Parametry sacího potrubí pro trasu č. 7.	61
Tabulka 31: Parametry tvarovek sacího pro trasu č. 7.	61
Tabulka 32: Parametry sacího potrubí pro trasu č. 8.	70
Tabulka 33: Parametry tvarovek sacího pro trasu č. 8.	70
Tabulka 34: Parametry potrubí pro trasu č. 9 – první část.	75
Tabulka 35: Parametry tvarovek potrubí pro trasu č. 9 – první část.	75
Tabulka 36: Výsledky posouzení ČS 1400C pro stávající čerpadla.	82
Tabulka 37: Souběh potřeby provozní vody v průběhu výstavby.	84
Tabulka 38: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 1.	87
Tabulka 39: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 2.	87
Tabulka 40: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 3.	87
Tabulka 41: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 4.	88

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.3 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE - HYDRAULICKÉ VÝPOČTY
S0 VŠEOBECNÉ SPECIFIKACE	DPS

Tabulka 42: Výsledky hydraulických výpočtů potřeby provozní vody – scénář 5.....	88
Tabulka 43: Vliv dimenzí potrubí na průřezové rychlosti - potrubí pitné vody.....	90

7 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Výsledky pro trubní trasy s kaly (formát *pdf)

PŘÍLOHA č. 1: Výsledky hydraulických výpočtů pro trubní systémy s čerpáním kalů.

HOT
side

COLD
side

Označení	<i>hustota</i>	τ_y	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>Dv</i>	<i>L</i>	<i>Vsk</i>	<i>Vkrit</i>	<i>Režim</i>	<i>Tauo</i>	<i>Lambda</i>	<i>Zt</i>	<i>Zm</i>	<i>Hg</i>	<i>VYM1</i>	<i>VYM2</i>	<i>SUMZ</i>
	(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
VK1	942,5	2	0,3	0,58														
TRASA 1	Sací				12,5	0,108	25	1,36	1,53	L	7,303	0,0333	0,69	0,12				
	Výtlačk 1				12,5	0,108	12,54	1,36	1,53	L	7,303	0,0333	0,346	0,65				
	Výtlačk 2				12,5	0,108	34,67	1,36	1,53	L	7,303	0,0333	0,957	0,16				
	SUMA												1,993	0,93	2,45	0	7	12,37
Označení	<i>hustota</i>	τ_y	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>Dv</i>	<i>L</i>	<i>Vsk</i>	<i>Vkrit</i>	<i>Režim</i>	<i>Tauo</i>	<i>Lambda</i>	<i>Zt</i>	<i>Zm</i>	<i>Hg</i>	<i>VYM1</i>	<i>VYM2</i>	<i>SUMZ</i>
	(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
VK2	957,5	3	0,3	0,58														
TRASA 1	Sací				12,5	0,108	25	1,36	1,65	L	8,524	0,0389	0,805	0,16				
	Výtlačk 1				12,5	0,108	12,54	1,36	1,65	L	8,524	0,0389	0,404	0,69				
	Výtlačk 2				12,5	0,108	34,67	1,36	1,65	L	8,524	0,0389	1,117	0,19				
	SUMA												2,326	1,04	2,45	0	7	12,82
Označení	<i>hustota</i>	τ_y	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>Dv</i>	<i>L</i>	<i>Vsk</i>	<i>Vkrit</i>	<i>Režim</i>	<i>Tauo</i>	<i>Lambda</i>	<i>Zt</i>	<i>Zm</i>	<i>Hg</i>	<i>VYM1</i>	<i>VYM2</i>	<i>SUMZ</i>
	(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
VK2-USKL	957,5	3	0,3	0,58														
TRASA 2	Sací				9,72	0,108	35,53	1,059	1,64	L	7,854	0,059	1,052	0,9				
	Výtlačk 1				9,72	0,108	20,02	1,059	1,64	L	7,854	0,059	0,594	0,68				
	Výtlačk 2				9,72	0,108	76,22	1,059	1,64	L	7,854	0,059	2,262	1,355				
	SUMA												3,908	2,935	-8,33	0	7	5,51
Označení	<i>hustota</i>	τ_y	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>Dv</i>	<i>L</i>	<i>Vsk</i>	<i>Vkrit</i>	<i>Režim</i>	<i>Tauo</i>	<i>Lambda</i>	<i>Zt</i>	<i>Zm</i>	<i>Hg</i>	<i>VYM1</i>	<i>VYM2</i>	<i>SUMZ</i>
	(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
VK3-ODVOD.	957,5	3	0,3	0,58														
TRASA 3	Sací				8,3	0,108	5,63	0,906	1,64	L	7,487	0,076	0,16	0,18				
	Výtlačk 1				8,3	0,108	7,19	0,906	1,64	L	7,487	0,076	0,2	0,71				
	Výtlačk 2				8,3	0,108	167,5	0,906	1,64	L	7,487	0,076	4,74	1,06				
	SUMA												5,1	1,95	-2,9	0	0	4,15
Označení	<i>hustota</i>	τ_y	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>Dv</i>	<i>L</i>	<i>Vsk</i>	<i>Vkrit</i>	<i>Režim</i>	<i>Tauo</i>	<i>Lambda</i>	<i>Zt</i>	<i>Zm</i>	<i>Hg</i>	<i>VYM1</i>	<i>VYM2</i>	<i>SUMZ</i>
	(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
ZSK	1016,2	55	4	0,4	4,16	0,108												
TRASA 5	Sací						0	0,45		L	0	0	0	0				
	Výtlačk 1						50,05	0,45	5,17	L	80,859	3,0869	15,29	6,65				
	Výtlačk 2									L								
	SUMA												15,29	6,65	4,7	0	0	26,64
Označení	<i>hustota</i>	τ_y	<i>K</i>	<i>n</i>	<i>Q</i>	<i>Dv</i>	<i>L</i>	<i>Vsk</i>	<i>Vkrit</i>	<i>Režim</i>	<i>Tauo</i>	<i>Lambda</i>	<i>Zt</i>	<i>Zm</i>	<i>Hg</i>	<i>VYM1</i>	<i>VYM2</i>	<i>SUMZ</i>
	(kg/m3)	(Pa)	(Pa.s)	(-)	(l/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(-)	(Pa)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
SK-do VN	994,2	8,5	0,35	0,7														
TRASA 6	Sací				8,3	0,108	5,61	0,906	2,74	L	17,717	0,17367	0,376	1,653				
	Výtlačk 1				8,3	0,162	6,97	0,403	2,45	L	13,261	0,6581	0,233	0,729				
	Výtlačk 2				8,3	0,108	131,21	0,906	2,74	L	17,717	0,17367	8,78	5,43				
	SUMA												9,389	7,812	10,9	7	7	42,1

LEGENDA

- Dv (m)

L (m)

Vsk (m/s)

Vkrit (m/s)

Režim

Tauo (Pa)
- vnitřní průměr potrubí

délka potrubí

skutečná průřezová rychlost

kritická rychlost

režim proudění L = laminární

tečné napětí u stěny
- Lambda

Zt (m)

Zm (m)

Hg (m)

VYM 2 (m)

SUM Z (m)
- součinitel tření

ztráty třením

ztráta místními ztrátami

geodetická dopravní výška

ztráta ve výměníku tepla

suma všech ztrát