

# Posouzení poruch tlakové stokové sítě městysu Křivoklát

## Průvodní a technická zpráva

Zpracovatel: **Vysoké učení technické v Brně**

**Fakulta stavební**

Veveří 331/95

602 00 Brno



Vypracoval: Ing. Jan Ručka, Ph.D.

Zadavatel: **Městys Křivoklát**

Křivoklát 93, 270 23 Křivoklát

IČ: 00243973

Datum zpracování: **listopad 2018**

## Obsah

Úvod.....	3
Stávající stav odkanalizování městyse Křivoklát.....	3
Vstupní podklady a informace .....	3
Posouzení tlakové stokové sítě městyse Křivoklát .....	4
Posouzení poruch tlakové stokové sítě městyse Křivoklát .....	15

## Úvod

Následující dokument vznikl v návaznosti na dříve zpracovaný text „Posouzení tlakové stokové sítě městysu Křivoklát“, který byl vyhotoven v červenci 2018 z podnětu neziskového občanského sdružení Náš Křivoklát, z.s. Předchozí práce posoudila tlakovou stokovou síť městysu Křivoklát (dále jen TSS), která měla/má být nově vybudována na základě projektové dokumentace z roku 2017. Také bylo provedeno porovnání nově navržené TSS s gravitační stokovou sítí (dále jen GSS), která byla vyprojektována v předchozím období v roce 2011.

Následující dokument na tuto práci úzce navazuje, plně respektuje a přebírá beze změn její text a nově doplňuje původní práci poslední kapitolou o výčet a popis závad, které se v minulosti vyskytly u tlakových stokových sítí, které byly navrženy v podobných podmínkách, jako je navržena TSS v Křivoklátě. Obě posouzení, předchozí i navazující, jsou záměrně spojena v jednom společném dokumentu tak, aby byla zachována návaznost dokumentu. Text je však členěn do logických kapitol, jejichž názvy nepochybně vypovídají o jejich obsahu.

## Stávající stav odkanalizování městyse Křivoklát

V současné době není na území Křivoklátu vybudována systematická stoková síť, která by odváděla odpadní vody ze všech nemovitostí do čistírny odpadních vod (dále jen ČOV). Stoková síť je v současnosti v provozu pouze v části městyse a odpadní voda je sváděna do stávající ČOV. Nemovitosti, které na tuto kanalizaci napojeny nejsou, jsou napojeny do jednotlivých žump, septiků a domovních ČOV. Nově má být celé území městyse odvodněno tlakovou stokovou sítí, kde každá nemovitost bude napojena do vlastní malé domovní čerpací stanice (dále jen DČS). Splaškové odpadní vody budou novou tlakovou stokovou sítí svedeny do centrální ČOV. K tomuto účelu byla v roce 2017 zpracována projektová dokumentace tlakové kanalizace, která byla předmětem „Posouzení tlakové stokové sítě městysu Křivoklát“ z července 2018.

## Vstupní podklady a informace

**Tlaková stoková síť:** pro posouzení byla dodána projektová dokumentace pro provádění stavby (DPS) „Křivoklát – kanalizace a vodovod“, 09/2017. Elektronická verze projektové dokumentace byla součástí zadávací dokumentace veřejné zakázky ev. č.: Z2017-026861 s názvem „Křivoklát - vodovod a kanalizace“. Zadavatel veřejné zakázky: Vodohospodářské sdružení obcí západních Čech, IČO: 47700521, se sídlem Studentská 328/64, 36007 Karlovy Vary. Zpracovatelem DPS je firma „Ing. Jan Šinták – I.P.R.E.“, IČ: 11386096, Kolová 2, 362 01 Kolová.

**Gravitační stoková síť:** pro posouzení byla dodána rovněž projektová dokumentace pro provádění stavby (DPS) „Vodovody a kanalizace Křivoklátsko – Podprojekt č. 07 – Křivoklát vodovod, Křivoklát kanalizace a ČOV“, 08/2011. Zpracovatelem DPS je „Projekční sdružení Křivoklátsko vedoucí partner sdružení PROVOD – inženýrská společnost s.r.o. & Ing. Jan Šinták I.P.R.E.“.

## Posouzení tlakové stokové sítě městysu Křivoklát

(Původní text „Posouzení tlakové stokové sítě městysu Křivoklát“, Ručka, VUT v Brně, 7/2018)

Cílem tohoto dokumentu je posouzení vhodnosti odkanalizování Křivoklátu systémem tlakové splaškové kanalizace a porovnání vhodnosti odkanalizování Křivoklátu systémem gravitační a tlakové kanalizace vzhledem ke geografickému profilu odvodňovaného území. V rámci posouzení byly, po dohodě se zadavatelem, formulovány odpovědi na čtyři níže uvedené otázky zadavatele:

- (1) Posouzení sklonových poměrů v trase navržené tlakové kanalizace, zda je sklon dostatečný pro návrh gravitační kanalizace;
- (2) Stanovení průtoků a počtu souběžně sepnutých čerpadel v jednotlivých hlavních větvích navržené tlakové kanalizace dle připojovaných nemovitostí v Křivoklátu,
- (3) Výpočet pracovních tlaků v nejnižších místech každé větve tlakové kanalizace s ohledem výlučně na dosažení vysokých provozních tlaků.
- (4) Posouzení možnosti vzniku podtlaků v potrubí.

Výstupem posouzení je tato textová zpráva.

V rámci tohoto posouzení byly vypracovány odpovědi na čtyři níže uvedené otázky zadavatele:

**Otázka č. 1:** *Posouzení sklonových poměrů v trase navržené tlakové kanalizace, zda je sklon dostatečný pro návrh gravitační kanalizace;*

Posouzení bylo provedeno na základě situace stavby a podrobných podélných profilů jednotlivých stok tlakové kanalizace, které obsahuje projekt TSS.

**STOKA „A“** PE100 RC dn63x5,8 SDR11 DL. 325,5 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce nepříznivě směrem od ČOV. Po celé délce stoky „A“ má však terén dostatečný sklon pro vybudování gravitační stoky, avšak v opačném směru. Celou stoku „A“ by tedy bylo možno vybudovat gravitační s gravitačními přípojkami, na jejím konci (staničení 0,3611) umístit čerpací stanici odpadních vod a následně vodu čerpat menším PE výtlačkem směrem k ČOV a na nejvyšším místě výtlaček vyústit do gravitačního potrubí.

**STOKA „AA“** PE100 RC dn63x5,8 SDR11 DL. 309,0 m – po celé délce se terén skloňuje směrem k ČOV. Tlaková stoka by mohla být v celé délce nahrazena gravitační stokou. Na nejvyšším místě je navržen vzdušník.

**STOKA „AA-1“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 34 m – terén v trase stoky je rovinatý. Gravitační stoku by zde bylo možno navrhnout jen za cenu dalšího zahloubení stoky oproti terénu navíc cca o 50 cm v místě napojení do stoky „AA“ tak, aby bylo dosaženo požadovaného sklonu stoky.

**STOKA „AB“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 387 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. Od staničení 0,2440 po napojení na stoku A je však průměrný sklon terénu pouze 0,78%. Gravitační stoka by zde mohla být navržena pouze za cenu dalšího zahloubení stoky

oproti terénu navíc cca o 1,7 m v místě napojení do stoky „A“. Je předmětem následné ekonomické rozvahy, zda by se jednalo celkově o hospodárnější řešení, zejména s ohledem na těžitelnost zemin, případně výskyt podzemní vody. Ekonomické posouzení nebylo předmětem zadání tohoto posouzení. Z hlediska ČSN 75 6101 by se však jednalo o technicky přijatelné řešení. Na nejvyšším místě je navržen vzdušník.

**STOKA „AB1“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 40 m – terén v trase stoky se skloňuje nepříznivě opačným směrem od ČOV. S ohledem na krátkou délku stoky by bylo jistě možné zde vybudovat stoku gravitační, nicméně pouze za cenu dalšího zahloubení stoky oproti terénu navíc cca o 1,7 m v místě napojení do stoky „AB“. S ohledem na nízký sklon terénu v trase stoky AB toto zahloubení nelze na krátké trase následně kompenzovat. Navazující část stoky AB by proto musela být kvůli stoce AB1 také zahloubena navíc o 1,7 m v délce 246 m. Je předmětem následné ekonomické rozvahy, zda by se jednalo celkově o hospodárnější řešení, zejména s ohledem na těžitelnost zemin, případně výskyt podzemní vody. Ekonomické posouzení nebylo předmětem zadání tohoto posouzení. Předběžně se jeví návrh gravitační stoky v tomto úseku jako méně nevýhodný nežli tlaková stoka.

**STOKA „B“** PE100 RC dn se po trase mění SDR11 DL. 1 212 m – dodaný podélný profil stoky „B“ v DPS není dobře čitelný. Spodní okraj výkresu je oříznutý tak, že není dobře čitelné staničení stoky. Celkové převýšení stoky mezi nevyšším místem (staničení 1,2120) a ČOV (staničení 0,000) je 105 m. Terén v trase stoky převážně klesá a sklonové poměry jsou výhodné pro návrh gravitační stoky. V úseku staničení od 0,9300 do 1,0000 je na trase stoky „B“ lokální deprese s krátkým protispádem terénu, kterou by v případě návrhu gravitační stoky bylo možno překonat krátkým zahloubením stoky na úseku asi 60 metrů délky do hloubky výkopu nejvýše cca 4 m. Tuto krátkou terénní nerovnost lze tedy překonat větším zahloubením stoky stále v rámci požadavků ČSN 75 6101 a nebylo by třeba navrhovat zde přečerpání. Zhruba 80 metrů před ČOV terén mírně stoupá, což by v případě návrhu gravitační stoky vedlo k zahloubení stoky na přítoku do ČOV a nutnosti vybudovat čerpací stanici pro odpadní vody ze stoky B, tzn. nebylo by možné ji napojit do tlakové stoky „D“, jak předpokládá aktuální verze DPS. Na stoce B jsou navrženy celkem dva vzdušníky.

**STOKA „BG“** PE100 RC dn63 a dn50 SDR11 DL. 200 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BF-2“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 42 m – terén v trase stoky od napojení do stoky „B“ po staničení 0,020 má příznivý sklon směrem k ČOV. Od staničení 0,020, kde je terénní zlom, má však mírný sklon opačným směrem pryč od ČOV. S ohledem na krátkou délku stoky by bylo možné v celé délce stoky BF-2 vybudovat stoku gravitační, nicméně pouze za cenu mírného zahloubení stoky oproti terénu navíc cca o 0,3 m v místě staničení 0,020. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BE“** PE100 RC dn63 a dn50 SDR11 DL. 291 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. Od staničení 190 po napojení na stoku „B“ je však průměrný sklon terénu pouze 0,43%. Gravitační stoka by zde mohla být navržena pouze za cenu dalšího zahloubení stoky oproti terénu navíc cca o 1,9 m v místě napojení do stoky „B“. Je předmětem následné

---

ekonomické rozvahy, zda by se jednalo celkově o hospodárnější řešení, zejména s ohledem na těžitelnost zemin, případně výskyt podzemní vody. Ekonomické posouzení nebylo předmětem zadání tohoto posouzení. Z hlediska ČSN 75 6101 by se však jednalo o přijatelné řešení. Na nejvyšším místě je navržen vzdušník.

**STOKA „BE-1“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 144 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BF“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 154 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BF-1“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 26 m – terén v trase stoky má převážně nepříznivý sklon směrem pryč od ČOV. S ohledem na krátkou délku stoky by bylo možné v celé délce stoky BF-1 vybudovat stoku gravitační, nicméně pouze za cenu mírného zahloubení stoky oproti terénu. Hloubka výkopu v místě napojení na stoku BF by potom byla 3 metry, což je běžná hloubka výkopu.

**STOKA „BD“** PE100 RC dn63 a dn50 SDR11 DL. 368,8 m – od napojení na stoku „B“ po staničení 0,1601 se terén v trase stoky skloňuje příznivě směrem k ČOV. V tomto úseku by bylo možné navrhnout gravitační stoku. V nejvyšším místě stoky na staničení 0,1601 je navržen vzdušník a od tohoto místa dále až do konce stoky je sklon terénu opačný, nepříznivě směrem pryč od ČOV, ale dostatečný pro vybudování gravitační stoky, avšak v opačném směru. Na konci stoky „BD“ na staničení 0,3688 by bylo možné umístit čerpací stanici odpadních vod a následně vodu čerpat menším PE výtlačkem směrem k ČOV a na nejvyšším místě výtlač vyústit do gravitačního potrubí.

**STOKA „BC“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 62,8 m – terén v celé trase stoky má nepříznivý sklon směrem pryč od ČOV. S ohledem na krátkou délku stoky by bylo možné v celé délce stoky „BC“ vybudovat stoku gravitační se sklonem směrem k ČOV, nicméně pouze za cenu většího zahloubení stoky oproti terénu. Hloubka výkopu v místě napojení na stoku B by potom byla 4,5 metru, což je hloubka výkopu, která je stále v souladu s ustanovením ČSN 75 6101. Toto zahloubení by bylo možné na trase stoky „B“ následně v poměrně krátkém úseku kompenzovat. Je předmětem následné ekonomické rozvahy, zda by se jednalo celkově o hospodárnější řešení, zejména s ohledem na těžitelnost zemin, případně výskyt podzemní vody. Ekonomické posouzení nebylo předmětem zadání tohoto posouzení.

**STOKA „BB“** PE100 RC dn75 a dn63 a dn50 SDR11 DL. 477,4 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

---

**STOKA „BB-1“** PE100 RC dn63 a dn50 SDR11 DL. 405,3 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BB-1-1“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 49,9 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BB-1-2“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 22,8 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BB-2“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 113,0 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. Průměrný sklon terénu je 3,0%. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „BB-3“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 182,0 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. Průměrný sklon terénu je 4,4%. V celé délce je možno navrhnout gravitační stoku. Na nejvyšším místě stoky je navržen vzdušník.

**STOKA „V“** PE100 RC dn125x11.4 SDR11 DL. 226,0 m – terén v trase stoky se skloňuje v celé délce příznivě směrem k ČOV. Na trase však kříží a podchází koryto Rakovnického potoka, což je řešeno úplnou shybkou. Na konec stoky je napojen kanalizační výtlač z obce Městečko. O množství odpadních vod a jejich jakosti neuvádí dodaná projektová dokumentace informace. Proto je obtížné posoudit zcela objektivně, zda by bylo vhodné stoku „V“ budovat jako gravitační nebo ji ponechat jako tlakovou. Z dostupných informací a zkušeností zpracovatele posouzení se jeví jako výhodnější navrhnout stoku „V“ jako tlakovou z následujících důvodů: (1) Průměrný sklon terénu v trase stoky „V“ je pouze 0,4%, což není dostatečné s ohledem na zajištění samočisticí schopnosti gravitační stoky; (2) na trase potrubí je úplná shybka, kterou by bylo nutno pravidelně proplachovat. Při tlakovém režimu proudění je vyšší pravděpodobnost, že bude propláchnuta přirozeně; (3) v místě vyústění odpadních vod z tlakové kanalizace z Městečka do gravitační stoky hrozí riziko vzniku zápachu - sirovodík. Z těchto důvodů se jeví jako výhodnější ponechat stoku „V“ jako tlakovou kanalizaci.

**STOKA „C“** PE100 RC dn160 a dn125 SDR11 DL. 518,0 m – platí obdobně jako pro stoku „V“. Sklon terénu je pouze 0,4%, na trase je křížení potoka úplnou shybkou. Stoka převádí vodu ze stoky „V“ a z napojeného kanalizačního výtlačku z Městečka. V tomto případě se jeví technicky výhodnější tlaková kanalizace.

**STOKA „CA“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 482,7 m – sklon terénu je nepříznivý pro návrh gravitační stoky. Ve staničení 0,261 je výrazné terénní vyvýšení, které by gravitační stoka překonávala

jen za cenu výrazného zahloubení. Stoka „CA“ se navíc napojuje do stoky „C“, kterou doporučuji ponechat v tlakovém režimu, v místě před shybkou. Stoku „CA“ je výhodnější ponechat v tlakovém režimu a řešit ji jako tlakovou kanalizaci.

**STOKA „D“** PE100 RC dn160 a dn75 a dn63 a dn50 SDR11 DL. 1 518,0 m – terén má proměnlivý sklon, celkově však stoka stoupá a z nejbližšího místa do ČOV překonává výškový rozdíl celkem 8 m. Po trase stoka překonává 3 horizonty, kde jsou navrženy vzdušníky, a jednou kříží potok úplnou shybkou. V tomto případě je tlaková kanalizace vhodným řešením.

**STOKA „DA“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 65,2 m – terén v trase stoky je rovinný. Gravitační stoku by zde bylo možno navrhnout jen za cenu mírného zahloubení stoky. Hloubka výkopu v místě napojení na stoku „D“ by pak byla 3 metry. Protože ale stoku „D“ doporučuji ponechat v tlakovém režimu, musela by být na konci stoky „DA“ umístěna čerpací stanice odpadních vod. Z technického hlediska je proto přínos přechodu na gravitační stoku diskutabilní. Je předmětem následné ekonomické rozvahy, zda by se jednalo celkově o hospodárnější řešení, zejména s ohledem na těžitelnost zemin, případně výskyt podzemní vody. Ekonomické posouzení nebylo předmětem zadání tohoto posouzení.

**STOKA „DB“** PE100 RC dn50x4,6 SDR11 DL. 82,0 m – terén v celé trase stoky se svažuje příznivě směrem k ČOV. V celé délce stoky by bylo možno navrhnout gravitační stoku. Protože ale stoku „D“ doporučuji ponechat v tlakovém režimu, musela by být na konci stoky „DB“ umístěna čerpací stanice odpadních vod. Z technického hlediska je proto přínos přechodu na gravitační stoku diskutabilní. Je předmětem následné ekonomické rozvahy, zda by se jednalo celkově o hospodárnější řešení, zejména s ohledem na těžitelnost zemin, případně výskyt podzemní vody. Ekonomické posouzení nebylo předmětem zadání tohoto posouzení.

**Závěrečné shrnutí k otázce č. 1:** Detailní popis technického řešení jednotlivých stok je podrobně popsán výše v předchozím textu. Společně lze konstatovat, že území, které odvodňují stoky A a B, je dostatečně sklonité a že v podstatě jejich délce lze vybudovat gravitační kanalizaci namísto navrhované kanalizace tlakové. Tuto skutečnost jednoznačně dokládá také projektová dokumentace gravitační kanalizace z roku 2011, která celé území, které tlakové stoky A a B odvodňují (celkem 137 ks čerpadel v jednotlivých domovních čerpacích jímkách), řeší gravitační stokovou sítí a pro přečerpání odpadní vody navrhuje pouze dvě centrální čerpací stanice ČSOV1 a ČSOV2 s párem čerpadel pro vyšší spolehlivost provozu. Navíc navrhovaná gravitační Stoka B navazuje na již dokončenou část stoky B, která je realizována k parkovišti osobních automobilů a autobusů návštěvníků hradu. Tuto existující část stokové sítě tedy projekt GSS respektuje a využívá, zatímco projekt TSS v tomto úseku nevhodně navrhuje duplicitní stavbu nového tlakového potrubí. Také je důležité zmínit, že stoka B překonává výrazný výškový rozdíl 105 m a gravitační kanalizace je zde optimálním a zcela správným řešením první volby ve smyslu ust. ČSN EN 1671 a ČSN 75 6101.



**Otázka č. 2:** Stanovení průtoků a počtu souběžně sepnutých čerpadel v jednotlivých hlavních větvích navržené tlakové kanalizace dle připojovaných nemovitostí v Křivoklátu.

Stanovení průtoků a odhad počtu souběžně spuštěných čerpadel je prvotní úlohou hydraulické analýzy tlakové stokové sítě. Tyto parametry byly stanoveny celkem pro čtyři uzávěrové profily, v souladu se zadáním posouzení. Jedná se o konce stok A, B, C a D. Pro stanovení budoucích průtoků byl využit empirický model průtoků, který je zpracovatelem posouzení dlouhodobě vyvíjen, mimo jiné také v rámci řešeného projektu aplikovaného výzkumu TA ČR Alfa IV. ev. číslo: TA04010023 s názvem „Inteligentní řízení provozu tlakových stokových sítí“. Tento model využívá pro stanovení průtoků teorii počtu pravděpodobnosti a je postupně rozvíjen a zpřesňován o data, která jsou získávána dlouhodobým měřením průtoků na stávajících tlakových stokových sítích.

Vstupní informace pro výpočet průtoků a tlaků: předložená projektová dokumentace TSS neobsahuje hydrotechnické výpočty. Specifická produkce odpadních vod  $99 \text{ l}\cdot\text{os}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$  byla proto stanovena dle Přílohy č. 12 k vyhlášce č. 428/2001 Sb. Z předložené dokumentace také nelze dohledat počet obyvatel v jednotlivých částech městysu. Následující výpočet proto předpokládá, na základě předchozích zkušeností zpracovatele posouzení, průměrně 3 obyvatele na jednu kanalizační přípojku. Čerpadla vřetenová objemová čerpadla dle předložené projektové dokumentace TSS AQ-spol: AQ 06/400 SZ, Noria: LUCA-100-16-N1, N3, H max = 100 m, Q max = 0,8 l/s, řezací zařízení, přetlakový pojišťovací ventil, kulová zpětná klapka v litinovém těle osazená svisle.

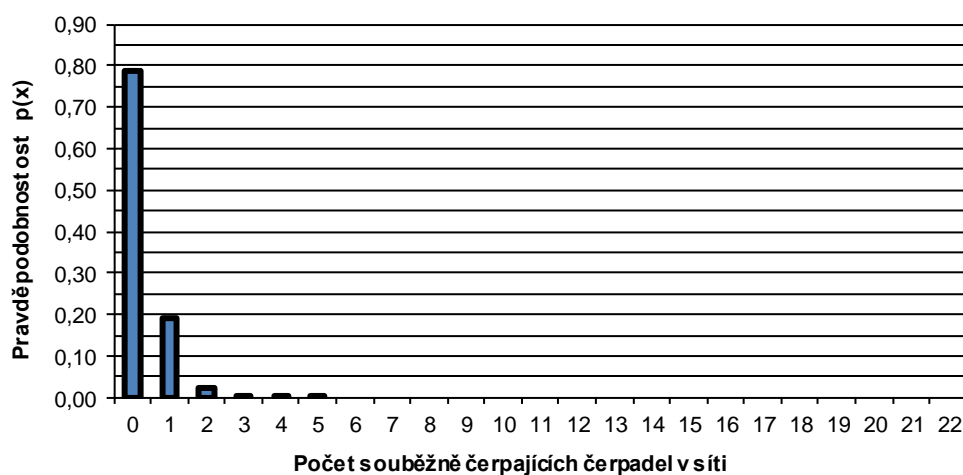
**STOKA A** – uzávěrovým profilem je místo napojení do stoky B

**Zadání:**

Spec. produkce odp. vod na obyvatele	0,099	$\text{m}^3\cdot\text{os}^{-1}\cdot\text{den}^{-1}$
Počet domovních čerpacích stanic	24	ks
Počet připojených obyvatel	72	osob
Počet obyvatel / 1 ČS	3,0	osob
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti $k_{h,\text{max}}$	6,3	--

**Výpočet - běžný provoz - průtoky v uzávěrovém profilu:**

Průměrný denní průtok $Q_p$	0,08	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$	7,10	$\text{m}^3\cdot\text{den}^{-1}$
Maximální hodinový průtok dle ČSN 75 6101	0,52	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$		
Maximální hodinový průtok dle ATV	0,54	$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$		
Empirický maximální objem při hod. špičce	0,59	$\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$		

**Pravděpodobnost počtu souběžně spuštěných čerpadel v síti v době špičky**

V době večerní špičky průtoků odpadních vod, tj. v době mezi 20 a 22 hodinou, nebudou v celém povodí stoky „A“ s pravděpodobností 99,7% současně spuštěna více než dvě čerpadla současně.

**STOKA B** – uzávěrovým profilem je napojení do stoky „D“ před ČOV, výpočet zahrnuje také odpadní vodu a čerpadla z povodí stoky „A“, která se do ní napojuje

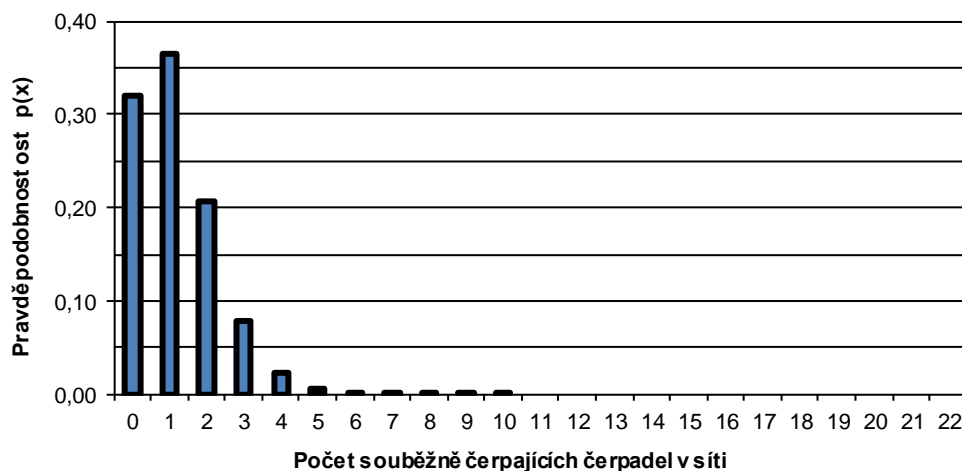
### Zadání:

Spec. produkce odp. vod na obyvatele	0,099	$\text{m}^3 \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$
Počet domovních čerpacích stanic: "A" 24 ks + "B" 89 ks	113	ks
Počet připojených obyvatel	339	osob
Počet obyvatel / 1 ČS	3,0	osob
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti $k_{h,max}$	4,05	--

### Výpočet - běžný provoz - průtoky v uzávěrovém profilu:

Průměrný denní průtok $Q_p$	0,39	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$	33,43	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$
Maximální hodinový průtok dle ČSN 75 6101	1,57	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$		
Maximální hodinový průtok dle ATV	2,54	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$		
Empirický maximální objem při hod. špičce	2,76	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		

### Pravděpodobnost počtu souběžně spuštěných čerpadel v síti v době špičky



V době večerní špičky průtoků odpadních vod, tj. v době mezi 20 a 22 hodinou, nebe v celém povodí stok „A“ a „B“ s pravděpodobností 99,7% současně spuštěno více než pět čerpadel současně.

**STOKA C** – uzávěrovým profilem je napojení do stoky „D“

**Zadání:**

Spec. produkce odp. vod na obyvatele	0,099	$\text{m}^3 \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$
Počet domovních čerpacích stanic	23	ks
Počet připojených obyvatel	69	osob
Počet obyvatel / 1 ČS	3,000	osob
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti $k_{h,max}$	6,4	--

**Výpočet - běžný provoz - průtoky v uzávěrovém profilu:**

Průměrný denní průtok $Q_p$	0,08	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$	6,80	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$
Maximální hodinový průtok dle ČSN 75 6101	0,50	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$		
Maximální hodinový průtok dle ATV	0,52	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$		
Empirický maximální objem při hod. špičce	0,56	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		

**POZOR!** Jedná se pouze o průtoky odpadních vod, které jsou vyvolány čerpáním 23 ks čerpadel v povodí stoky „C“. K těmto průtokům je nezbytné připočítat ještě tranzitní průtok odpadních vod z Městečka, který do tlakové stokové sítě vstupuje na konci stoky „V“. Dodaná projektová dokumentace TSS tyto informace neuvádí, a proto do tohoto výpočtu tyto tranzitní průtoky z Městečka nebyly započítány.

**Pravděpodobnost počtu souběžně spuštěných čerpadel v síti v době špičky**



V době večerní špičky průtoků odpadních vod, tj. v době mezi 20 a 22 hodinou, nebudou v celém povodí stoky „C“ s pravděpodobností 99,7% současně spuštěna více než dvě čerpadla současně.

**STOKA D** – uzávěrovým profilem je úsek na stoce „D“ bezprostředně před soutokem stok „D“ a „C“ před ČOV

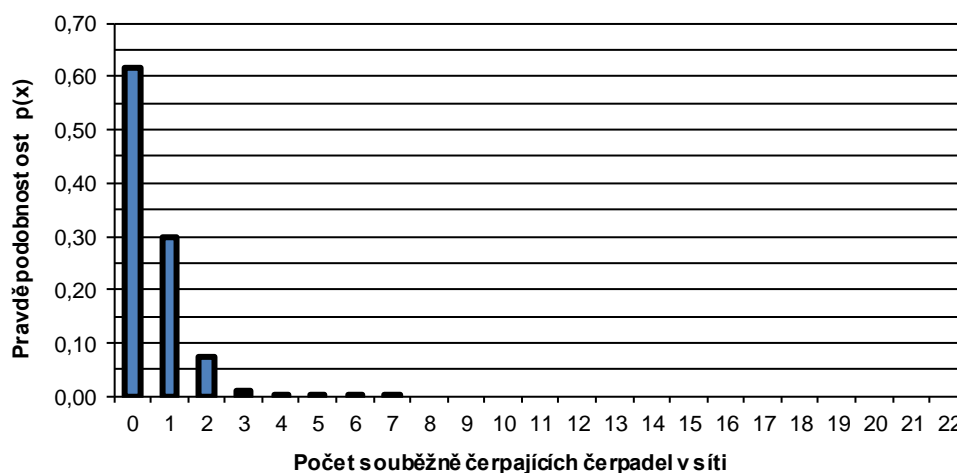
**Zadání:**

Spec. produkce odp. vod na obyvatele	0,099	$\text{m}^3 \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$
Počet domovních čerpacích stanic: "D" celkem 51 - 3 za soutoke	48	ks
Počet připojených obyvatel	144	osob
Počet obyvatel / 1 ČS	3,0	osob
Součinitel maximální hodinové nerovnoměrnosti $k_{n,max}$	6,7	--

**Výpočet - běžný provoz - průtoky v uzávěrovém profilu:**

Průměrný denní průtok $Q_p$	0,16	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$	14,20	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$
Maximální hodinový průtok dle ČSN 75 6101	1,11	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$		
Maximální hodinový průtok dle ATV	1,08	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$		
Empirický maximální objem při hod. špičce	1,17	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		

**Pravděpodobnost počtu souběžně spuštěných čerpadel v síti v době špičky**



V době večerní špičky průtoků odpadních vod, tj. v době mezi 20 a 22 hodinou, nebudou v celém povodí stoky „D“ s pravděpodobností 99,7% současně spuštěna více než tři čerpadla současně.

**Otázka č. 3:** *Výpočet pracovních tlaků v nejnižších místech každé větve tlakové kanalizace s ohledem výlučně na dosažení vysokých provozních tlaků.*

Nejvyšší pracovní tlaky se v tlakové stokové síti objevují v době nejvyšších průtoků, což bývá obvykle v době večerní špičky odtoku odpadních vod v čase mezi 20 a 22 hodinou večer. V rámci odpovědi na otázku č. 2 byly tyto průtoky stanoveny k uzávěrovému profilu každé ze stok A, B, C a D. Hydraulickým výpočtem byly stanoveny ztráty třením po délce při rychlostech proudění v potrubí, které tyto průtoky vyvozují, a následně byla v podélných profilech jednotlivých stok vytipována místa, kde budou pracovní tlaky na nejvyšší úrovni. Pracovní tlak čerpadla je dán rozdílem úrovně čáry hydrodynamického tlaku (HD tlak) a polohy potrubí.

**Stoka A** – nejvyšší přetlak v místě, kde je do potrubí napojena přípojka, bude ve staničení 0,2265 stoky „A“, kde je do potrubí napojeno čerpadlo z přípojky č.p. 264. Nejvyšší HD tlak při večerní špičce průtoků zde bude 0,15 MPa, běžný provozní tlak během dne zde bude 0,10 MPa.

**Stoka B** - nejvyšší přetlak v místě, kde je do potrubí napojena přípojka, bude ve staničení 0,3519 stoky „BD“, kde je do potrubí napojeno čerpadlo z přípojky č.p. 193. Nejvyšší HD tlak zde bude 0,18 MPa, běžný provozní tlak zde bude 0,15 MPa.

**Stoka C** – pracovní tlaky ve stoce „V“, „C“ a „CA“ nelze stanovit výpočtem ani přibližně odhadnout, protože na konci stoky „V“ je napojen kanalizační výtlak z lokality Městečko, který bude tlakové poměry v těchto stokách výrazně ovlivňovat. Množství odpadních vod ani tlakové poměry v tomto výtlaku z Městečka projektová dokumentace neuvádí.

**Stoka D** – je sice také tlakově spojená se systémem tlakových stok C, CA a V a bude tlakově ovlivněna přítokem z Městečka, soutok stok C a D je ale již relativně blízko bodu vyústění do ČOV, kde je atmosférický tlak. V místě vyústění potrubí na ČOV se předpokládá volný výtok vody z potrubí. Proto lze alespoň přibližně odhadovat pracovní tlaky po trase stoky D. Nejvyšší přetlak v místě, kde je do potrubí napojena přípojka, bude ve staničení 1,5177 stoky „D“, kde je do potrubí napojeno čerpadlo z přípojky č. p. 115. Nejvyšší HD tlak zde bude 0,32 MPa, běžný provozní tlak zde bude 0,15 MPa.

**Přetlakové pojišťovací ventily:** dle předložené projektové dokumentace TSS mají být všechny jímky vystrojeny mimo jiné také přetlakovým pojišťovacím ventilem, který zajistí, že v potrubí nemůže dojít k překročení definovaného tlaku.

**Otázka č. 4:** *Posouzení možnosti vzniku podtlaků v potrubí tlakové stokové sítě.*

Dle předložené projektové dokumentace TSS mají být všechna nejvyšší místa potrubí osazena speciálním automatickým zavzdušňovacím a odvzdušňovacím ventilem pro odpadní vodu. Počet navržených ventilů dle DPS TSS je nedostatečný. V sestupných částech stok, kde se „čerpá z kopce“, bude docházet ke vzniku podtlaků v potrubí a ventily navržené stávajícím projektem nebudou schopny tyto podtlaky dostatečně efektivně eliminovat. Např. u stoky B je v dlouhém sestupném úseku stoky od staničení 0,080 po staničení 0,930 osazen pouze jeden automatický ventil. Dle našich zkušeností z jiných existujících tlakových kanalizací, kde se rovněž „čerpá z kopce“, je schopnost ventilu přísávat do potrubí vzduch omezená vzdáleností, dimenzí potrubí a také drobným „zvlněním“ jeho nivelety při stavbě. Nelze v žádném případě očekávat, že tento ventil osazený na horizontu terénu na staničení 0,930 dokáže zabránit vzniku podtlaku např. v místě přípojky od hradu, která je od něj řádově 700 metrů vzdálená. Konkrétně v místě, kde je napojena přípojka hradu, budou vznikat v potrubí krátkodobé výrazné podtlaky. Bude docházet k rychlým pulsacím tlaků a přechodům z tlaku do podtlaku v závislosti na pohybu vody v potrubí. Dokud budou čerpadla nová a jejich vnitřní vložky kolem vřeten budou v dobrém technickém stavu a dokonale těsné, nebude se tento podtlak pravděpodobně nijak projevovat, nebude zvenčí pozorovatelný. Po určité době provozu kanalizace (dle zkušeností zpracovatele posouzení 7 až 10 let provozu) však může dojít k (náhodnému) mechanickému poškození vnitřní výstelky, ve které se vřeteno čerpadla pohybuje, a vzniklou netěsností začne do potrubí pronikat voda z čerpací jímky pouze vlivem přetlaku atmosférického tlaku vzduchu na hladinu v jímce. Voda bude do potrubí z jímky přísávána. S tím jsou spojeny dva následné negativní jevy: (1) do potrubí tlakové stoky, kde bude podtlak a bude se chovat jako násoska, začne z čerpací jímky pronikat odpadní voda nesoucí sebou pevné části a vlákna, které nebudou rozmělněny řezacím zařízením čerpadla. Bude totiž docházet k postupnému vysávání vody z jímky, aniž by čerpadlo sepnulo. S tím je spojeno následné riziko ucpávání tlakové kanalizace tímto materiálem. (2) Při vzniku podtlaku v potrubí a současné netěsnosti vložky kolem vřetene může docházet k cyklickému nadzvedávání a dosedání do sedla (bouchání) koule ve zpětné klapce. Časem dojde

k deformaci těsnící koule a zpětná klapka přestane těsnit. Následně může docházet nejen k vysávání jímky vlivem podtlaku, ale také k jejímu zpětnému plnění vlivem netěsné zpětné klapky.

Podtlak v potrubí tlakové kanalizace je negativní jev, jehož vzniku se má, dle ustanovení ČSN EN 1671, preventivně předcházet. Počet automatických ventilů není dle předložené dokumentace dostatečný k tomu, aby zabránil vzniku podtlaků v sestupných větvích stok.

**Závěr:** Morfologie terénu v povodích stok A a B není optimální pro dlouhodobě spolehlivé provozování tlakové stokové sítě v té podobě, jak je navržena předloženým projektem TSS. Zásadním technickým problémem, který se přibližně po sedmi až deseti letech provozu začne postupně projevovat nahodile na jednotlivých čerpacích jímkách na sestupných větvích stok, bude vznik podtlaku a s ním spojené následné jevy. V těchto sestupných úsecích stokové sítě je gravitační stoka, z hlediska poruchovosti, spolehlivosti provozu stokové sítě, její údržby i spotřeby elektrické energie na její provoz, lepším řešením.

## Posouzení poruch tlakové stokové sítě městysu Křivoklát

Následující kapitola doplňuje dříve zpracované „Posouzení tlakové stokové sítě městysu Křivoklát“ z července 2018 o výčet a popis závad, které se v minulosti vyskytly u tlakových stokových sítí, které byly navrženy v podobných podmínkách, jako je navržena TSS v Křivoklátě. Jedná se zejména o morfologii terénu, která není v převážné většině území pro tlakovou kanalizaci optimální, viz text předchozí kapitoly.

Posouzení poruch vychází z předchozích zkušeností zpracovatele v problematice tlakových stokových sítí. V rámci projektu Technologické agentury České republiky č.: TA04010023 s názvem „Inteligentní řízení tlakových stokových sítí“, jehož odpovědným řešitelem byl Ing. Ručka, byl po dobu tří let monitorován provoz několika TSS v ČR. Následující posouzení je tedy obrazem zkušeností z jiných, podobně navržených TSS s přihlédnutím ke konkrétní situaci v městysi Křivoklátě a k předložené projektové dokumentaci.

### Poruchy tlakových stokových sítí

Poruchy tlakových stokových sítí, resp. jejich jednotlivých prvků a částí lze obecně rozdělit následovně:

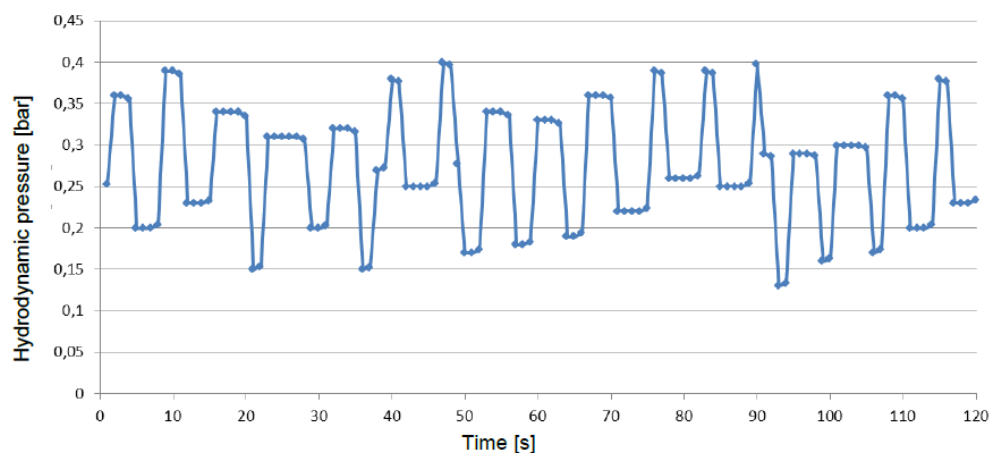
- (1) Poruchy, které vznikají přirozeně **vlivem stárnutí** a opotřebení materiálů a zařízení (např. poruchy motorů čerpadel, opotřebení oběžných kol a řezacích mechanismů čerpadel, koroze elektorinstalace, poruchy snímačů v čerpacích jímkách, atd.);
- (2) Poruchy zapříčiněné **dodatečným vnějším zásahem** do systému (např. neodborná manipulace s technologickým vstrojením jímky, poškození potrubí vlivem stavebních prací v blízkosti potrubí);
- (3) Poruchy způsobené **nedostatečnou údržbou** (např. zanedbané čištění čerpacích jímek, zanesení či zablokování senzorů, poruchy čerpadel vlivem nedostatečného čištění, atd.)
- (4) Poruchy způsobené **nesprávným návrhem** tlakové stokové sítě (např. ucpávání potrubí, zpětný nátok vody do čerpacích jímek a cyklické čerpání, nerovnoměrných chod čerpadel vlivem pulsace tlaku v potrubí, klepání zpětných klapek).

V případě TSS, která je navržena v Křivoklátě, je zásadním technickým problémem, resp. nebezpečím, kterému je nutno preventivně zabránit, podtlak v potrubí tlakové stokové sítě. Převážná část území, která odvodňují stoky A a B, jsou v dostatečném sklonu pro návrh gravitačních stok. Budou-li zde přesto vybudovány stoky tlakové, bude většina délky sítě ohrožena vznikem podtlaku v potrubí. Podrobněji byla tato problematika popsána výše v textu předchozí kapitoly v rámci otázky č. 4.

Pro prevenci vzniku podtlaku a následných nežádoucích jevů, které jsou podtlakem způsobeny, je nezbytné navrhnout na TSS **vhodné armatury** a rozmístit je **správně na síti** a **v dostatečném počtu**. Těmito armaturami jsou: (1) automatické odvzdušňovací a zavzdušňovací ventily, a (2) zpětné klapky v domovních čerpacích jímkách.

### **Automatické odvzdušňovací a zavzdušňovací ventily (AOV)**

V potrubí TSS je běžně přítomno podstatné množství plynů, které se do něj dostávají z části z atmosféry při čerpání, z části v potrubí vznikají biologickými procesy. Tyto plyny tvoří tzv. pytle, které se drží v nejvyšších místech potrubí. Plynové pytle zužují profil potrubí a způsobují výrazné hydraulické ztráty. Prouděním vody v potrubí jsou pytle strhávány a způsobují pulzace tlaku. Při nevhodném výškovém uspořádání potrubí a absenci dostatečného množství automatických odvzdušňovacích a zavzdušňovacích ventilů (AOV), mohou tyto plynové pytle způsobit trvalé provozní problémy. Patří mezi ně pulsace tlaku a nerovnoměrnost chodu čerpadel. Tyto jevy sekundárně způsobují nedostatečnou hydraulickou kapacitu potrubí a zkrácení životnosti čerpadel, viz Obr. 1. K odvzdušnění potrubí se musí použít armatury s plně automatickou funkcí.



**Obr. 1** Měření pulsací hydrodynamického tlaku za odstředivým čerpadlem při zavzdušněném potrubí  
 Funkce automatického zavzdušnění je rovněž mimořádně důležitá. Vyjma přesně definovaných úseků potrubí je v tlakové kanalizaci vznik podtlaku nežádoucím jevem a je nezbytné jej eliminovat. K tomu slouží automatické zavzdušňovací ventily, které mohou mít zároveň také funkci automatického odvzdušnění. Takový ventil potom plní současně funkci automatického odvzdušnění i zavzdušnění současně podle toho, jaký je aktuálně režim v potrubí. Je-li v potrubí podtlak oproti atmosférickému tlaku, ventil dovolí přisátí vzduchu do potrubí, a naopak. Při vzniku podtlaku v potrubí tlakové kanalizace, který není eliminován AOV, dochází k přisávání odpadní vody z domovních čerpacích jímek bez toho, aby se rozběhlo čerpadlo a rozřezalo pevné části v odpadní vodě. Jedná-li se o odstředivá čerpadla, pak je odpadní voda z jímky přisávána kolem odstředivého kola čerpadla a unáší sebou také nerozštěpené pevné části z odpadní vody (hrubé nečistoty a vláknité částice), které se následně usazují v potrubí a mohou způsobit jeho ucpaní, viz Obr. 2.



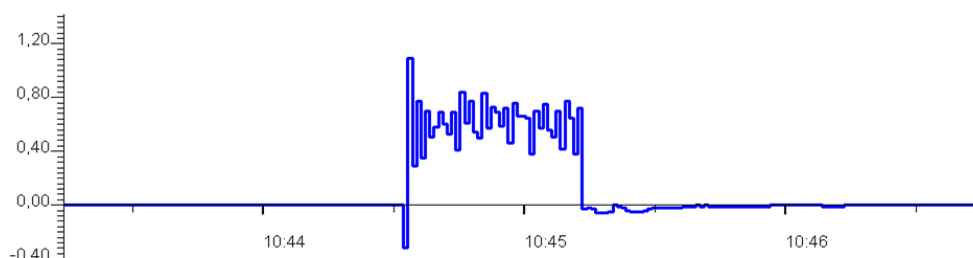


**Obr. 2** Materiál z potrubí tlakové kanalizace, které se ucpalo vlivem kombinace podtlaku a nedostatečných proplachovacích rychlostí

Nerozmělněné pevné částice z odpadní vody mohou také snížit těsnost zpětné klapky, která následně propouští vodu z potrubí zpět do jímky. K tomuto přísávání začne u odstředivých čerpadel docházet ihned po uvedení tlakové stokové sítě do provozu. U vřetenových objemových čerpadel až po určité době, řádově po několika letech provozu, kdy dojde k opotřebení vnitřní pružné vložky, která obepíná vřeteno čerpadla, a vznikne netěsnost. Vysoká hodnota podtlaku může vést ke vzniku rázů, vibracím a hluku, mechanickému poškození zpětné klapky (klepání, hlasité bouchání), vzniku netěsností a protékání odpadní vody zpět do čerpací jímky. Pozorováním existujících TSS se prokázalo následující: (1) v každém nejvyšším místě potrubí má být osazen AOV (případně od/zavzdušňovací trouba), výjimky mohou nastat, ale vyžadují zkušenost a hydraulický výpočet; (2) Ventil musí být skutečně plně automatický, náhrada za obyčejný hydrant nemá praktický význam. Je nutné také provádět pravidelný servis, čištění a kontrolu funkce ventilů; (3) S ohledem na eliminaci podtlaku není osazení AOV pouze do vrcholů potrubí hlavních stok dostačující. Ukazuje se, že schopnost AOV zavzdušnit potrubí je lokálně omezená na nejbližší okolí. V členitém terénu a zejména na sestupných částech tlakových stok je nezbytné potrubí zavzdušnit na více místech, nejen ve vrcholových lomech potrubí hlavní stoky.

### Zpětné klapky

Zpětná klapka se umísťuje do čerpací jímky za čerpadlo ale před hlavní uzávěr na výtlaku do sítě. Cílem je zabránit zpětnému nátoky vody ze sítě do čerpací jímky, když čerpadlo nečerpá.



**Obr. 3.** Měření tlaku v potrubí tlakové stokové sítě – nízké hodnoty tlaků, podtlak

Kromě materiálového provedení, průchodnosti, hydraulického odporu a odolnosti proti opotřebení je dalším důležitým parametrem návrhu také minimální požadovaný přetlak, při kterém klapka zajistí požadovanou těsnost. Tlaková kanalizace se dimenzuje zejména na zatěžovací stavy, kdy čerpadla čerpají a v síti jsou vyšší hydrodynamické tlaky. Tyto zatěžovací stavy jsou při návrhu obvykle akcentovány. Pravdou však je, že po většinu dne bývají tlaky v potrubí obvykle velmi nízké, někdy až na úrovni atmosférického tlaku či dokonce mírného podtlaku, viz Obr. 3. V případě TSS v Křivoklátě se očekává právě tato situace, kdy většina potrubí bude po většinu dne pod velmi nízkým tlakem. Pokud klapka nemá schopnost dokonale těsnit již při velmi nízkých tlacích cca 0,01 MPa, může ve specifických případech docházet k protékání vody ze sítě zpět do čerpacích šachet, což způsobuje cyklické čerpání vody, vysoký počet moto-hodin čerpadla a spotřebu el. energie.

### **Závěr a doporučení**

Během několikaletého pozorování jiných tlakových stokových sítí byly vyzorovány typické závady a provozní obtíže, které jsou charakteristické pro tlakové stokové sítě, kde je odpadní voda „čerpána z kopce“. Navrhovaná TSS v Křivoklátě je tímto případem. Vznik podtlaku v potrubí je zde nutno řešit velmi pečlivě, v opačném případě lze s jistotou očekávat vznik nepříjemných technických problémů, které povedou k významným dodatečným nákladům na opravy a odstraňování závad. Z předložené stavební dokumentace, která byla podkladem pro vypracování tohoto posouzení, vyplývá, že **navržený počet automatických ventilů není dostatečný k tomu, aby zabránil vzniku podtlaků v sestupných větvích stok.**

Nesprávný návrh či absence správně zvolených armatur na tlakové stokové síti může způsobovat vážné provozní problémy. **Tlakové stokové sítě jsou relativně složité a technologicky náročné systémy, jejichž použití by mělo být omezeno na opravdu nezbytně nutné případy, kdy odpadní vody není výhodné odvádět gravitačně.** Chyby provedené při návrhu sítě se propagují do pozdějších provozních potíží a jejich odstranění bývá obvykle finančně náročné.

V Brně, dne 16. 11. 2018

.....

Ing. Jan Ručka, Ph.D.

Ústav vodního hospodářství obcí

Fakulta stavební

Vysoké učení technické v Brně