

aqua4you s.r.o.

Petrovická 214, 403 40 Ústí nad Labem
zapsaná v OR KS Ústí n. L., odd. C, vl. 37251

IČ: 04912977, DIČ: CZ04912977

Tel: 602 251 670, 474 720 540

e-mail: info@aqua4you.cz, www.aqua4you.cz

**EKOEKO s.r.o.**

Senovážné nám. 1
370 01 České Budějovice

ČOV Jihlava

Technologické výpočty aktivačního procesu

Technická zpráva / studie

Vypracováno pro: **EKOEKO s.r.o.**

Investor akce: **Magistrát města Jihlavy**

KRYCÍ LIST

Značka:	2022_07_19	
V Ústí nad Labem dne:	19. 7. 2022	
Vypracoval:	Dr. Ing. Libor Novák	
	tel. 602251670	libor.novak@aqua4you.cz

OBSAH

1.	ÚVOD	5
1.1	ZPRACOVÁNÍ DAT	5
2.	ČOV JIHLAVA	6
2.1	POPIS TECHNOLOGICKÉ LINKY ČOV	6
2.2	ODTOKOVÉ LIMITY MNOŽSTVÍ A KVALITY ODPADNÍCH VOD	11
3.	VYHODNOCENÍ TRENDŮ KVANTITY A KVALITY PŘÍTOKŮ NA ČOV JIHLAVA	12
3.1	MNOŽSTVÍ ODPADNÍCH VOD	12
3.2	KONCENTRAČNÍ UKAZATELE ZNEČIŠTĚNÍ V PŘÍTOKU A LÁTKOVÉ ZATÍŽENÍ	16
3.3	KVALITA ODPADNÍ VODY - PŘÍTOK NA BIOLOGICKOU ČÁST SYSTÉMU	18
3.4	KVALITA ODTOKU	22
3.5	PROVOZNÍ PARAMETRY AKTIVACE	24
3.5.1	MNOŽSTVÍ A KVALITA AKTIVOVANÉHO KALU	24
3.5.2	STANOVENÍ VÝPOČTOVÉ TEPLoty AKTIVACE	25
3.5.3	KALOVÁ VODA A PRODUKCE KALU	27
3.5.4	VÝPOČET ZÁKLADNÍCH TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ AKTIVACE	29
3.5.5	NEROVNOMĚRNOST ZATÍŽENÍ BĚHEM DNE	31
3.5.6	DOVÁŽENÉ ODPADNÍ VODY	32
4.	VÝPOČTOVÉ PARAMETRY ZATÍŽENÍ	33
5.	TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY AKTIVAČNÍHO PROCESU – STÁVAJÍCÍ STAV	36
5.1	KALIBRACE MATEMATICKÉHO MODELU	36
5.2	VÝPOČET KAPACITY STÁVAJÍCÍHO AKTIVAČNÍHO SYSTÉMU	38
5.2.1	VÝPOČET ODSTRAŇOVÁNÍ FOSFORU V AKTIVAČNÍM PROCESU	38
5.2.2	VÝPOČET KAPACITY DOSAZOVACÍCH NÁDRŽÍ	39
5.2.3	VÝPOČET MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ KAPACITY AKTIVAČNÍCH NÁDRŽÍ	42
5.3	VÝPOČET TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ AKTIVAČNÍHO SYSTÉMU	43
5.4	VÝPOČET POTŘEBY KYSLÍKU A VZDUCHU	45
5.5	KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ	49
6.	ZÁVĚR	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1 ORTHOFOTO ČOV JIHLAVA (ZDROJ: MAPY.CZ).	8
OBR. 2: ČOV JIHLAVA – TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA. ZDROJ: VAS, A.S.	10
OBR. 3: ČOV JIHLAVA – USPOŘÁDÁNÍ A POPIS OBJEKTŮ. ZDROJ: VAS, A.S.	10
OBR. 4 VÝVOJ MNOŽSTVÍ ODPADNÍCH VOD 2017 - 2021 – DENNÍ HODNOTY.	14
OBR. 5 VÝVOJ MNOŽSTVÍ ODPADNÍCH VOD V LETECH 2017 - 2021 – MĚSÍČNÍ HODNOTY.	14
OBR. 6 VÝVOJ MNOŽSTVÍ ODPADNÍCH VOD 2017 - 2021 – MĚSÍČNÍ HODNOTY A SRÁŽKOVÉ ÚHRNY.	15
OBR. 7 VÝVOJ MNOŽSTVÍ ODPADNÍCH VOD OD R. 2017 – ROČNÍ SOUHRNY, DENNÍ MNOŽSTVÍ A ROČNÍ SRÁŽKOVÝ ÚHRN.	15
OBR. 8 SRÁŽKOVÉ ÚHRNY PRO KRAJ VYSOČINA V LETECH 2017 – 2021.	15
OBR. 9 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ JEDNOTLIVÝCH UKAZATELŮ ZNEČIŠTĚNÍ V PŘÍTOKU.	17
OBR. 10 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ A ÚČINNOSTI BSK5 V PŘÍTOKU ZA UN (2021).	19
OBR. 11 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ A ÚČINNOSTI CHSK V PŘÍTOKU ZA UN (2021).	20
OBR. 12 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ A ÚČINNOSTI NL V PŘÍTOKU ZA UN (2021).	20
OBR. 13 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ A ÚČINNOSTI N-NH ₄ V PŘÍTOKU ZA UN (2021).	20
OBR. 14 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ A ÚČINNOSTI NCELK V PŘÍTOKU ZA UN (2021).	21
OBR. 15 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ A ÚČINNOSTI PCELK V PŘÍTOKU ZA UN (2021).	21
OBR. 16 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ V CELKOVÉM ODTOKU (2017 - 2021).	23
OBR. 17 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ NORG A ROZPUŠTĚNÉHO SNORG V CELKOVÉM ODTOKU (2021).	24
OBR. 18 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU KONCENTRACÍ NL A KI (2021).	25
OBR. 19 PRŮBĚH TEPLOT V AKTIVACI V ROCE 2017 - 2021.	26
OBR. 20: GRAF RELATIVNÍ ČETNOSTI VÝSKYTU TEPLOT POD DANOU HODNOTOU.	26
OBR. 21 KONCENTRACE UKAZATELŮ ZNEČIŠTĚNÍ V KALOVÉ VODĚ (2021).	28
OBR. 22 KONCENTRACE KALU VSTUPUJÍCÍHO NA ODSTŘEDIVKU A KALU ODVODNĚNÉHO (2021).	29
OBR. 23: PROFIL HYDRAULICKÉHO PŘÍTOKU 10.-16.12.2021.	31
OBR. 24: PROFIL A NORMALIZOVANÝ PROFIL HYDRAULICKÉHO PŘÍTOKU VE VYBRANÝ BEZDEŠTNÝ TÝDEN..	31
OBR. 25: ROZBORY PRŮSAKOVÝCH VOD ZE SKLÁDKY HENČOV.	33
OBR. 26 ZNÁZORNĚNÍ PRŮBĚHU POMĚRU CHSK K DUSÍKATÉMU ZNEČIŠTĚNÍ V CELKOVÉM PŘÍTOKU A ZA UN.	33
OBR. 27 HYDRAULICKÝ LAYOUT KONFIGURACE ČOV – AKTUÁLNÍ STAV.	36
OBR. 28 VÝSTUP KALIBRACE MATEMATICKÉHO MODELU SW GPS-X - 2021.	37
OBR. 29 VÝPOČET LIMITNÍ KONCENTRACE KALU Z HLEDISKA ZATÍŽENÍ PLOCHY NL.	41
OBR. 30 POSOUZENÍ HLOUBKY DN PRO KI = 180 ML G ⁻¹ A X = 4,0 KG M ⁻³ .	41
OBR. 31 POSOUZENÍ SEPARAČNÍHO STUPNĚ DLE TEORIE HMOTNOSTNÍHO TOKU ČÁSTIC PRO X = 4,0 KG M ⁻³ .	41
OBR. 32 PROFIL NL V DOSAZOVACÍ NÁDRŽI PRO KI = 180 ML G ⁻¹ , X = 4,0 G L ⁻¹ (VLEVO) A PO 12 HOD. QMAX (VPRAVO).	42
OBR. 33 VÝPOČET MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ KAPACITY AKTIVAČNÍCH NÁDRŽÍ – MIN. T = 9 °C.	43
OBR. 34 VÝSTUP KVALITY ODTOKU – T = 9°C, STEADY - STATE.	45
OBR. 35 VÝPOČTENÉ HODNOTY OUR V REAKTORECH N PRO QV A QD, ROK 2021, DYNAMICKÝ STAV.	46
OBR. 36 VÝPOČTENÉ HODNOTY OUR V REAKTORECH N PRO QV A QD, MAXIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ, DYNAMICKÝ STAV.	46
OBR. 37 VÝPOČET KAPACITY ČOV S OHLEDEM NA AKTUÁLNÍ KAPACITU AERACE V NITRIFIKAČNÍCH REAKTORECH.	48
OBR. 38 VÝPOČET KAPACITY ČOV S OHLEDEM NA AKTUÁLNÍ KAPACITU AERACE V REGENERAČNÍCH REAKTORECH.	49
OBR. 39 PRODUKCE BIOPLYNU.	51

SEZNAM TABULEK

TAB. 1 NÁVRH NOVELY NV ČR č. 401/2015 Sb. – KATEGORIE ČOV 10 000 – 100 000.....	12
TAB. 2: UKAZATELE STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ DAT DENNÍCH PŘÍTOKŮ V LETECH 2017 - 2021.....	13
TAB. 3: UKAZATELE STATISTICKÉHO ZPRACOVÁNÍ DAT PŘÍTOKŮ NA ČOV.....	14
TAB. 4 DATA KONCENTRAČNÍHO ZNEČIŠTĚNÍ V PŘÍTOKU V ROCE 2021.	16
TAB. 5: SOUHRN UKAZATELŮ ZNEČIŠTĚNÍ A LÁTKOVÉHO ZATÍŽENÍ V ROCE 2021.....	17
TAB. 6: VYTÍŽENÍ ČOV V ROCE 2021 – PŘÍTOK CELKOVÝ.....	17
TAB. 7: POČET OBYVATEL V OBCÍCH ČESKÉ REPUBLIKY K 1. 1. 2021. ZDROJ: ČSÚ.	18
TAB. 8 STATISTIKA KONCENTRACÍ V PŘÍTOKU – SOUVZTAŽNÉ DNY S MĚŘENÍM ZA UN (2021).....	19
TAB. 9 STATISTIKA KONCENTRACÍ V PŘÍTOKU ZA UN – SOUVZTAŽNÉ DNY S MĚŘENÍM NA PŘÍTOKU (2021).....	19
TAB. 10 ÚČINNOST UN (2021).....	19
TAB. 11: VYTÍŽENÍ ČOV V ROCE 2021 – PŘÍTOK AKTIVACE.	21
TAB. 12 VYHODNOCENÍ KVALITY ODTOKU V LETECH 2017 - 2021.....	22
TAB. 13 VYHODNOCENÍ KVALITY ODTOKU V ROCE 2021.	22
TAB. 14 VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	23
TAB. 15 KVALITA AKTIVOVANÉHO KALU (2021).	24
TAB. 16 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ TEPLOT V AKTIVACI.....	25
TAB. 17 RELATIVNÍ ČETNOST HODNOT POD DANOU TEPLOTOU.	26
TAB. 18 BILANCE ZNEČIŠTĚNÍ V KALOVÉ VODĚ.	27
TAB. 19 VÝPOČET MNOŽSTVÍ KALOVÉ VODY.	27
TAB. 20 BILANCE VYPRODUKOVANÝCH KALŮ.....	29
TAB. 21 TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY ČOV JIHLAVA – BIOLOGICKÁ ČÁST.....	30
TAB. 22 VÝPOČET BILANCE PŘEBYTEČNÉHO BIOLOGICKÉHO KALU.	30
TAB. 23 HODNOTY NORMALIZOVANÝCH PRŮTOKŮ V JEDNOTLIVÉ HODINY DNE.....	32
TAB. 24 MNOŽSTVÍ DOVÁŽENÝCH VOD V LETECH V ROCE 2021.....	32
TAB. 25 ZATÍŽENÍ ČOV – (2021).	34
TAB. 26 ZATÍŽENÍ ČOV – (2021, MAX. TÝDEN).	34
TAB. 27 ZNEČIŠTĚNÍ V KALOVÉ VODĚ – (2021).....	35
TAB. 28 VÝPOČTOVÉ PRŮTOKY – ROK 2021.	35
TAB. 29 KVALITA SPLAŠKOVÉ ODPADNÍ VODY NA PŘÍTOKU PC A DO AKTIVACE PA – 2021.....	37
TAB. 30 PARAMETRY PRŮTOKU A AKTIVOVANÉHO KALU - 2021.	37
TAB. 31 SROVNÁNÍ REÁLNÝCH A MODELOVANÝCH HODNOT KVALITY ODTOKU - 2021.....	37
TAB. 32: VÝPOČET PROCESU CHEMICKÉ ELIMINACE SLOUČENIN FOSFORU.	39
TAB. 33 PŘEPOČET KAPACITY DOSAZOVACÍCH NÁDRŽÍ.	40
TAB. 34: HYDRAULICKÉ DOBY ZDRŽENÍ A KONTAKTU – STÁVAJÍCÍ A MAXIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ.	43
TAB. 35: VÝPOČET TECHNOLOGICKÝCH PARAMETRŮ – STÁVAJÍCÍ A MAXIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ.	44
TAB. 36 VÝPOČET POTŘEBY KYSLÍKU A VZDUCHU, ROK 2021 (22 °C).	46
TAB. 37 VÝPOČET POTŘEBY KYSLÍKU A VZDUCHU, MAXIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ (22 °C).....	47
TAB. 38: VÝPOČET PRODUKCE PRIMÁRNÍHO KALU.	49
TAB. 39: VÝPOČET PRODUKCE SEKUNDÁRNÍHO KALU.	49
TAB. 40: VÝPOČET BILANCE ZPRACOVÁNÍ KALŮ.....	50
TAB. 41: BILANCE PARAMETRŮ VYHNÍVACÍCH NÁDRŽÍ.	50
TAB. 42: PRODUKCE BIOPLYNU.	51

1. Úvod

Technická zpráva „ČOV Jihlava - technologické výpočty aktivačního procesu“ sumarizuje výsledky technologických výpočtů ČOV Jihlava za účelem posouzení stávajícího stavu ČOV a případného zpracování koncepce intenzifikace aktivačního procesu při zohlednění stávajícího a výhledového zatížení. Studie rovněž zohledňuje koncepci připravované novely NV ČR č. 401/2015 Sb. Pro účely zpracování technické zprávy a technologických výpočtů je vycházeno z aktuálního zatížení ČOV a z její funkce. Jsou zpracována a vyhodnocena provozní data z ČOV za účelem determinace výpočtových zatěžovacích parametrů pro technologické výpočty. Je posouzeno aktuální zatížení aktivačního systému s ohledem na stávající množství a kvalitu odpadních vod a porovnáno s projektovými parametry. Jsou realizovány technologické výpočty aktivačního procesu na matematickém modelu za účelem stanovení koncepce optimalizace provozu, případně intenzifikace ČOV.

Výstupem technické zprávy / studie je posouzení kapacity aktivačního procesu, a to z hlediska procesního a provozního. Návrh optimalizace / intenzifikace je realizován pro maximální využití stávajících stavebních celků a technologických zařízení s ohledem na aktuální kvalitu odpadních vod a zatížení zohledňující výhledovou kapacitu. Jsou uvažovány parametry kvality vypouštěných odpadních vod v souladu se stávajícím povolením k vypouštění odpadních vod a platnou legislativou, tj. Vodním zákonem a NV ČR č.401/2015 Sb., rovněž při zohlednění jeho novelizace. Řešení uvažuje minimalizaci stavebních zásahů a technologických dodávek, pokud budou pro úpravy relevantní.

1.1 Zpracování dat

Základními podkladovými materiály jsou provozní data získaná z databáze provozovatele. Při zpracovávání dat je aplikován postup, kdy jsou z databáze provozovatele extrahována data kvality a množství odpadních vod. Všechna data jsou podrobena kontrole. Problematická data jsou konfrontována s původcem databáze a případně provedena jejich korektura a vyloučeny nereálné či odlehlé výsledky. Následně jsou tato data podrobena statistické analýze a grafickému znázornění. Protože je nezbytné posuzovat změny zatížení v dlouhodobé časové posloupnosti, jsou vyhodnocena data i z minulých let. Komplexní vyhodnocení je provedeno za období 2017 - 2021. Kalibrace a verifikace matematického modelu je provedena na výsledky zatížení ČOV dle aktuálních dat za rok 2021, neboť dostupnost dat z dřívějších let je omezena.

2. ČOV Jihlava

ČOV Jihlava podle údajů v provozním řádu a v projektových podkladech byla dimenzována na kapacitu 99 917 EO₆₀ s průtokem Q₂₄ na úrovni 12 891 m³ d⁻¹.

2.1 Popis technologické linky ČOV

ČOV Jihlava je řešena jako mechanicko - biologická s biologickým odstraňováním dusíku a fosforu. Kalové hospodářství je řešeno anaerobní stabilizací kalu s energetickým využitím vyprodukovaného bioplynu. Odvodněný vyhnílý kal měl být spalován společně se shrabky vytěženými na jemných česlích v samostatném provozu spalovny v areálu čistírny. Zařízení je dlouhodobě nefunkční a odpady jsou předávány k externí likvidaci.

Technologie biologického čištění odpadních vod je založena na aktivační jednotce typu oběhové aktivace s kontinuálním průtokem, provzdušňovaná jemnobublinnými aeračními elementy. Oběhovým aktivacím je předřazen anaerobní stupeň ze selektorem, který je de-facto nádrží denitrifikační, neboť je do něj zaústěn vratný kal z nádrže regenerační, která je realizována z původní ČOV. Biologické reaktory oběhové aktivace jsou ve formě dvou linek umístěné ve venkovním provedení. Ostatní reaktory jsou v jednolinkovém uspořádání.

Nátok odpadních vod je přiveden na ČOV stokou „A“. Odpadní vody přitékají přes lapák šterku na mechanické předčištění tvořené jemnými strojně stíranými česlemi a dále natéká na dvojici tangenciálních lapáků písku. Zachycený písek je čerpán pískovými čerpadly do separátoru písku s integrovaným praním. Odpadní voda zbavená hrubých nečistot natéká do vstupní čerpací stanice, kam jsou zaústěny i další vnitřní proudy odpadních vod (kalové vody ze zahuštění primárního kalu, potrubí kalové vody ze zahuštění sekundárního kalu a výtlačné potrubí z čerpací stanice vnitřní kanalizace). Odpadní voda je následně čerpána na usazovací nádrž, kde dochází k odsazení primárního kalu a natéká následně do směsné šachty, kam je přiveden i vratný kal z regenerační nádrže. Směs odtéká do anaerobního reaktoru. Vratný kal, který je přiváděn do regenerační nádrže je odpouštěn z odtahového objektu vratného kalu, situovaného u dosazovacích nádrží. Směs čištěné odpadní vody a vratného kalu protéká anaerobním reaktorem do nové čerpací stanice aktivační směsi, odkud se přečerpává do rozdělovacího objektu před aktivačními nádržemi a z něj do jednotlivých žlabů oběhové aktivace. Potřebnou

dodávku kyslíku zajišťuje instalovaný jemnobublinný aerační systém. Vzduch je dodáván z přilehlé dmychárny u nádrží. Cirkulace aktivační směsi ve žlabech oběhové aktivace je zajištěna ponornými míchadly v neprovzdušované části každé aktivační nádrže. Aktivační směs dále natéká do rozdělovacího objektu před dosazovací nádrže. Separace aktivovaného kalu od vyčištěné vody probíhá ve dvojici kruhových horizontálně protékaných dosazovacích nádrží. Odtok vyčištěné vody je realizován přepadovými hranami s předsazenými nornými stěnami. Dosazovací nádrže jsou vybaveny stahování plovoucích nečistot. Vyčištěná voda odtéká přes měrný objekt Parshallův žlab do recipientu. Odsazený kal je odváděn ze dna dosazovacích nádrží gravitačně jako vratný kal do odtokového objektu vratného kalu, který umožňuje řídit množství vratného kalu v rozmezí 50 – 100 % Q_d . Vratný kal z odtokového objektu vratného kalu je gravitačně přivedený do regenerační nádrže, která je tvořena 4 podélnými sekcemi, z nich poslední je možno provozovat jako anoxickou s mícháním.

Nakládání s přebytečnými kaly je realizováno jejich separátním zahuštěním s následným čerpáním do dvoustupňových vyhnívacích nádrží s mezofilním provozem s následným odvodněním vyhnílého kalu na odvodňovací odstředivce. Primární kal z usazovací nádrže je gravitačně přepouštěn do jímky primárního kalu a následně přečerpáván ke gravitačnímu zahuštění v zahušťovací nádrži. Zahuštěný primární kal je odtahován ze dna zahušťovací nádrže do jímky směsného surového kalu. Kalová voda ze zahušťovací nádrže je odvedena do jímky vstupní ČS. Sekundární (přebytečný aktivovaný) kal je z odtokové sekce regenerační nádrže přečerpáván odstředivým čerpadlem do sání podávacího vřetenového čerpadla na strojního zahuštění. Vlastní zahuštění přebytečného kalu je zajištěno tlakovou flotací. Zahuštěný kal je gravitačně odtahován přímo do jímky směsného surového kalu. Odloučená voda z flotace je svedena do jímky vstupní ČS. Směs obou zahuštěných kalů se z jímky směsného kalu přečerpává do vyhnívacích nádrží, které jsou řešeny jako dvoustupňové a pracují v mezofilní oblasti teplot. Anaerobně stabilizovaný kal z vyhnívacích nádrží je přepouštěn do uskladňovací nádrže USN1. V nádrži USN2 je kal homogenizován míchadlem a odebírán na odvodnění, které je realizováno pomocí dekantační odstředivky Alfa-Laval. Kalová voda z odvodnění kalu je čerpána do procesu čištění a s vratným kalem se dostává do regenerační nádrže.

Bioplyn vyprodukovaný ve vyhnívacích nádržích je odveden do strojovny plynojemu a přes vodní uzavěru vstupuje do suchého plynojemu. Z plynojemu je plyn následně dle potřeby odebírán a za vodní uzavěrou větven na přípojku do kotelny, či na hořáku zbytkového plynu.



Obr. 1 Orthofoto ČOV Jihlava (Zdroj: mapy.cz).

Návrhové průtoky:

Q_v	$12\,891\text{ m}^3\text{ d}^{-1}$	$537\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$	149 l s^{-1}
Q_{\max} (průtok na rozdělovací objekt před ČOV)			3800 l s^{-1}
Q_{\max} (průtok na biolog.část)		$1\,410\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$	392 l s^{-1}

Základní rozměry a parametry nádrží:

Usazovací nádrž	1 ks
Průměr	30 m
Užitný objem:	1736 m^3
Užitná plocha:	632 m^2
Hloubka vody u stěny	2,3 m

Anaerobní nádrž	1 ks
Objem nádrže:	1840 m^3
- z toho objem selektoru:	460 m^3
Hloubka vody:	2,5 m

Regenerační nádrž	1 ks
Objem nádrže:	1810 m^3
Hloubka ponoru aer. elementů:	3,75 m
Hloubka vody:	4,0 m

Aktivační oběhové nádrže	2 ks
Délka nádrží:	60 m
Šířka nádrží:	20 m
Hloubka ponoru aer. elementů:	6,75 m
Hloubka vody:	7,0 m
Objem nádrží jedné linky:	7750 m ³
Celkový objem nádrží 2 linek:	15500 m ³

Celkový objem aktivačních nádrží 19 150 m³

Dosazovací nádrže	2 ks
Průměr	30 m
Užitný objem:	$2 \times 2400 \text{ m}^3 = 4800 \text{ m}^3$
Užitná plocha:	$2 \times 700 \text{ m}^2 = 1400 \text{ m}^2$
Hloubka vody u stěny	5,0 m

Zahušťovací a uskladňovací nádrž kalu

Zahušťovací nádrž primárního kalu:	35 m ³
Flotační jednotka zahuštění sek. kalu:	max. kapacita 27,5 m ³ h ⁻¹
Vyhnívací nádrže:	$2 \times 980 \text{ m}^3 = 1960 \text{ m}^3$
Uskladňovací nádrže:	$2 \times 1980 \text{ m}^3 = 3960 \text{ m}^3$
Strojní odvodnění kalu	max. kapacita 10 m ³ h ⁻¹

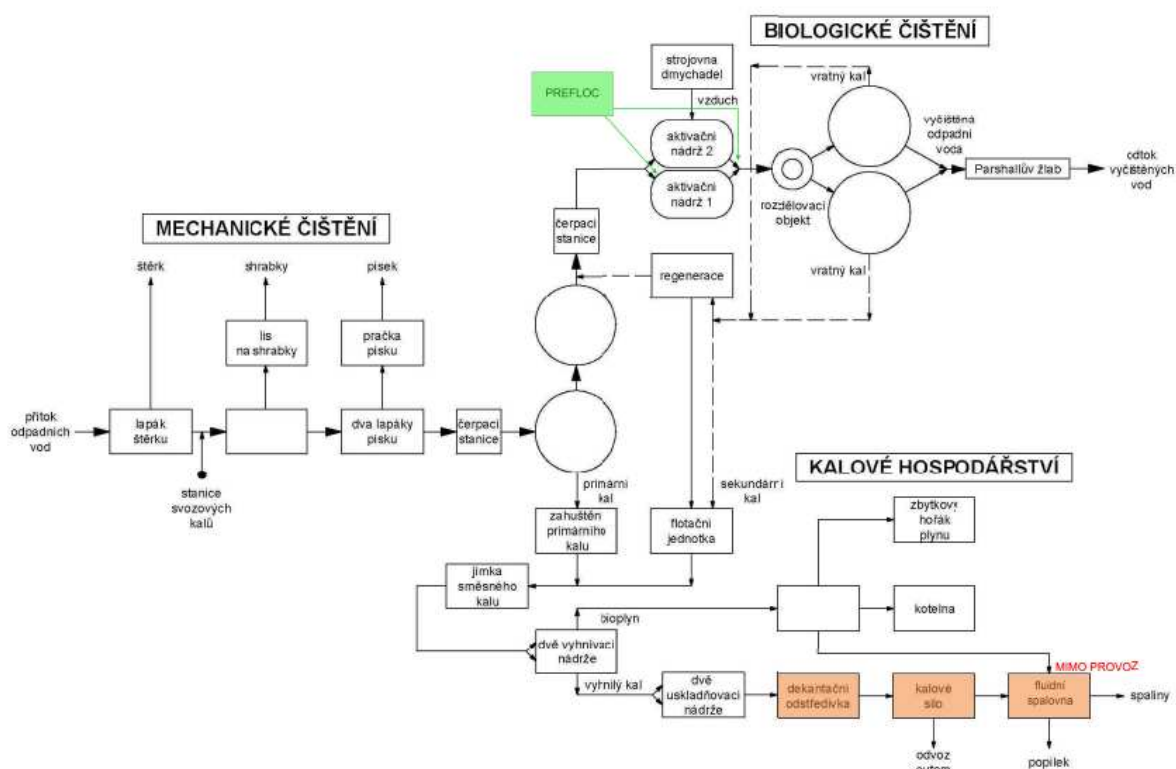
Dmychárna

Regenerace

Počet dmychadel	3 ks
DITL 70T	$Q_{vz} = 1882 / 809 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (dvouotáčková)

Oběhové aktivace

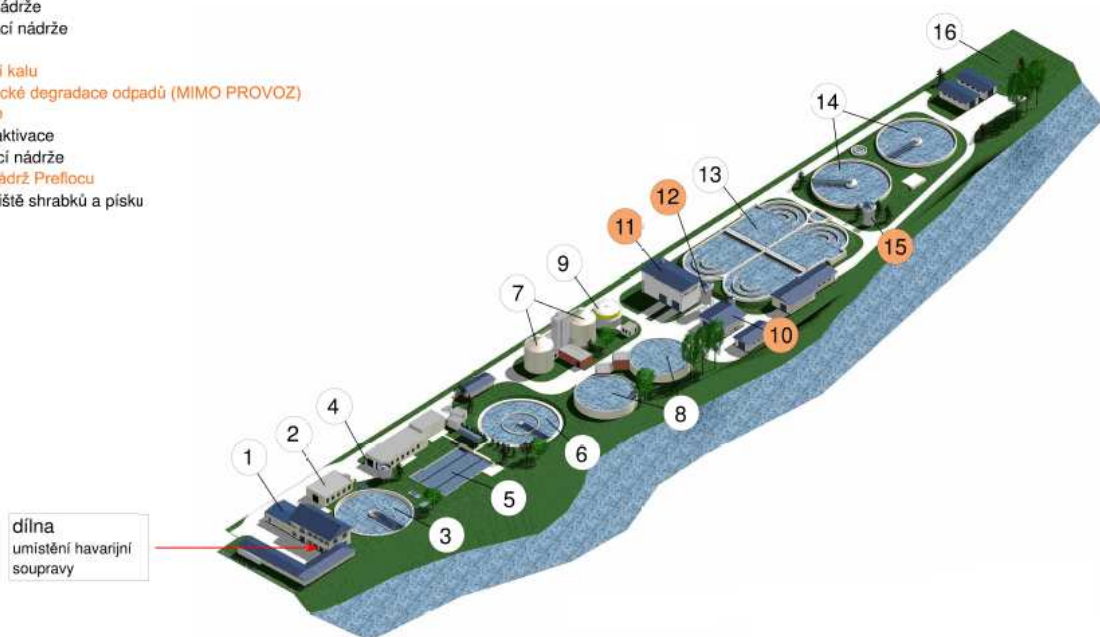
Počet dmychadel	2 + 1R
DT 90/552	$Q_{vz} = 3800 / 1500 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (FM)



Obr. 2: ČOV Jihlava – technologické schéma. Zdroj: VAS, a.s.

Legenda:

- 1 - administrativní budova
- 2 - mechanický stupeň (hrubé předčištění)
- 3 - usazovací nádrž
- 4 - strojovna, dmychárna
- 5 - regenerační nádrže
- 6 - anaerobní reaktor
- 7 - vyhnivací nádrže
- 8 - uskladňovací nádrže
- 9 - plynojem
- 10 - odvodnění kalu
- 11 - linka termické degradace odpadů (MIMO PROVOZ)
- 12 - kalové silo
- 13 - oběhová aktivace
- 14 - dosazovací nádrže
- 15 - zásobní nádrž Preflocu
- 16 - shromaždiště shrabků a písku



Obr. 3: ČOV Jihlava – uspořádání a popis objektů. Zdroj: VAS, a.s.

2.2 Odtokové limity množství a kvality odpadních vod

Pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových platí limity dle rozhodnutí KÚ kraje Vysočina – odboru lesního a vodního hospodářství a zemědělství ze dne 31. 1. 2005 (č. j. KUJL 698/2005 OLVHZ) s platností do 31.12.2012, v aktuální podobě s prodlouženou platností. Emisní limity pro trvalý provoz jsou uvedeny níže.

Povolené množství vypouštěných odpadních vod

Ukazatel	Jednotka	Hodnota
$Q_{\text{prům}}$	l.s^{-1}	206
$Q_{\text{prům}}$	$\text{m}^3.\text{d}^{-1}$	17 808
Q_{max}	l.s^{-1}	391,6
Q_{rok}	$\text{m}^3.\text{rok}^{-1}$	6 500 000

Požadovaná kvalita vypouštěných odpadních vod

Ukazatel	Hodnota „p“ (mg.l^{-1})	Hodnota „m“ (mg.l^{-1})	Bilance (t.rok^{-1})
CHSK_{Cr}	75	125	353
BSK_5	15	30	70,2
NL	20	40	94,2
Ncelk	12*	20**	78,0
Pcelk	1*	3	6,5

* aritmetický průměr koncentrací za kalendářní rok

** platí pro teplotu odpadní vody na odtoku z biologické části systému $> 12^\circ\text{C}$

Četnost stanovení: min. 26 × ročně

Typ vzorku: 24hodinový směsný vzorek získaný sléváním 12dílkých vzorků odebíraných v intervalu 2hodin o objemu úměrném průtoku v době odběru – typ C

Technologický výpočet bude respektovat požadavky na kvalitu odtoku podle připravované novely NV ČR č. 401/2015 Sb. (Tab. 1).

Tab. 1 Návrh novely NV ČR č. 401/2015 Sb. – kategorie ČOV 10 000 – 100 000.

Kategorie [EO]	COV	Slovní popis nejlepší dostupné technologie ¹⁾						
10 000- 100 000		<p><i>Nízko zatěžovaná aktivace s vysokým stářím kalu s biologickým odstraňováním nutrientů, v modifikaci pro maximální využití organického substrátu v odpadní vodě pro potřeby denitrifikace, doplněná o chemické srážení fosforu ve vyčištěné odpadní vodě s následnou separací chemického kalu. Dávkování externího substrátu pro denitrifikaci je akceptovatelné pouze v případě, že přestože budou vyčerpány všechny technologické možnosti optimalizace procesu odstraňování dusíku včetně omezení zpětné dotace dusíku, např. změnou kalové koncovky, nebude dosaženo požadovaných odtokových koncentrací. Vypouštění odpadních vod do vod užívaných pro vodárenské účely a koupání osob je možné za předpokladu vyřešení případů jednotné kanalizace do toků v povodí hygienizací způsobem zajišťujícím minimální změny v chemickém složení vody. Příklady technologie²⁾: Nízko zatížená aktivace v různých variantách s vysokým stářím kalu a pevnou vazbou na kalové hospodářství, například s bioaugmentací.</i></p>						
CHSK _{Cr} ³⁾		BSK ₅ ³⁾		NL ³⁾	N-NH ₄ ⁺ ³⁾	N _{celk} ³⁾		P _{celk} ³⁾
koncentrace	účinnost [%]	koncentrace	účinnost [%]	koncentrace	koncentrace	koncentrace	účinnost [%]	koncentrace
p mg/l		p mg/l		p mg/l	průměr mg/l	průměr mg/l		průměr mg/l
30 - 60	90	5 - 15	95	10 - 20	2 - 5	10 - 15	80	0,2 – 0,8

3. Vyhodnocení trendů kvantity a kvality přítoků na ČOV Jihlava

Podrobné údaje vyhodnocení kvantity a kvality přítoků odpadních vod na ČOV Jihlava jsou zpracovány za období provozních let 2017 - 2021.

3.1 Množství odpadních vod

Obr. 4 znázorňuje denní průtoky dostupné za období 2017 - 2021. Jedná se o data v profilu přítoku na ČOV. Grafy na Obr. 5. - Obr. 7 znázorňují měsíční průtoky, roční průtoky a srážkové úhrny. Denní hodnoty množství odpadních vod na přítoku do biologického stupně vykazují dlouhodobý trend stagnace až nepatrného růstu, ten je ale spíše dán vlivem srážek. Koeficient denní nerovnoměrnosti při percentilu 85 % vychází na úrovni $k_d = 1,31$; koeficient týdenní nerovnoměrnosti $k_{\text{týden}} = 1,23$. Roky 2017, 2019 a 2021 (97 %, 96 %, 97 % normálu) byly v kraji Vysočina srážkově víceméně normální, rok 2018 výrazně podnormální (77 % normálu) a rok 2020 značně nadnormální (124 % normálu). Obr. 4 a Obr. 7 znázorňují, že celkový dlouhodobý trend odpadních vod, které byly přivedeny na biologickou část ČOV má v posledních 5 letech stagnující roční bilanci mírně ovlivněnou srážkovými úhrny.

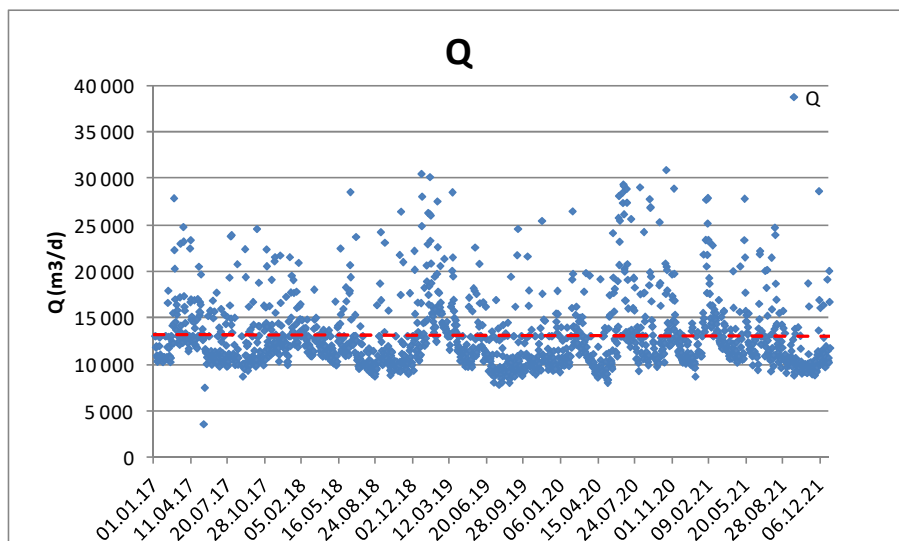
Tab. 2: Ukazatelé statistického zpracování dat denních přítoků v letech 2017 - 2021.

Statistická charakteristika	denní	týdenní	měsíční
	m ³ /d		
Počet	1 815	256	60
Průměr (\bar{X})	13 046	13 048	392 672
Medián	12 110	12 511	391 554
Minimum	3 730	9 226	257 943
Maximum	50 410	22 784	584 148
Výběrová s	3 754	2 476	55 971
s	3 753	2 472	55 503
s/ \bar{X}	28,8%	18,9%	14,1%
$\bar{X} + 2s$	20 551	17 992	503 678
$\bar{X} + 2s_v$	20 553	18 001	504 614
$\bar{X} - 2s$	5 540	8 105	281 666
Četnost nad $\bar{X} + 2s$	100	16	2
Rel. četnost nad $\bar{X} + 2s$	5,5%	6,3%	3,3%
Zabezpečenosť	94,5%	93,8%	96,7%
Četnost pod $\bar{X} - 2s$	1	0	1
Rel. četnost pod $\bar{X} - 2s$	0,1%	0,0%	1,7%
Zešikmení	2,39	1,32	0,82
Špičatost	9,44	2,00	2,04
k(maximální den)	3,86		
k(maximální týden)		1,75	
k(maximální měsíc)			1,49
Q _n (95%ní percentil)	20871	18199	462848
k _{den} (percentil 95 %)	1,72		
k _{týden} (percentil 95 %)		1,45	
k _{měsíc} (percentil 95 %)			1,18
Q _n (85%ní percentil)	15 810	15 334	443 878
k _{den} (percentil 85 %)	1,31		
k _{týden} (percentil 85 %)		1,23	
k _{měsíc} (percentil 85 %)			1,13

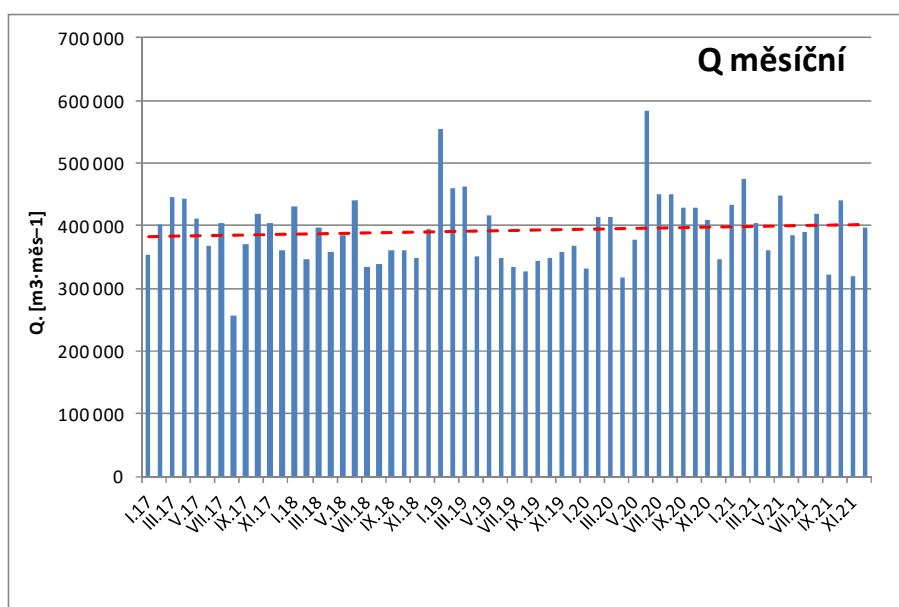
Symbols: \bar{X} označuje průměr;
s označuje směrodatnou odchylku;
s_v označuje výběrovou směrodatnou odchylku - Výběrová směrodatná odchylka koriguje velikost vypočtené směrodatné odchylky počtem měření;
kd označuje maximální den resp. maximální den s označenou zabezpečenosť.

Zešikmenost (koeficient asymetrie rozdělení) - zešikmenost označuje stupeň asymetrie rozdělení veličiny kolem střední hodnoty. Kladné zešikmení označuje rozdělení s asymetrickou stranou, která se vychyluje směrem více ke kladným hodnotám. Záporné zešikmení označuje rozdělení s asymetrickou stranou, která se vychyluje směrem k více záporným hodnotám.

Špičatost určuje relativní strmost nebo plochost rozdělení v porovnání s normálním rozdělením. Kladná špičatost znamená, že rozdělení je poměrně strmé. Záporná špičatost znamená, že rozdělení je poměrně ploché. Proměnné s kladným zešikmením a malou špičatostí jsou rizikovější než ty s opačnou charakteristikou.



Obr. 4 Vývoj množství odpadních vod 2017 - 2021 – denní hodnoty.



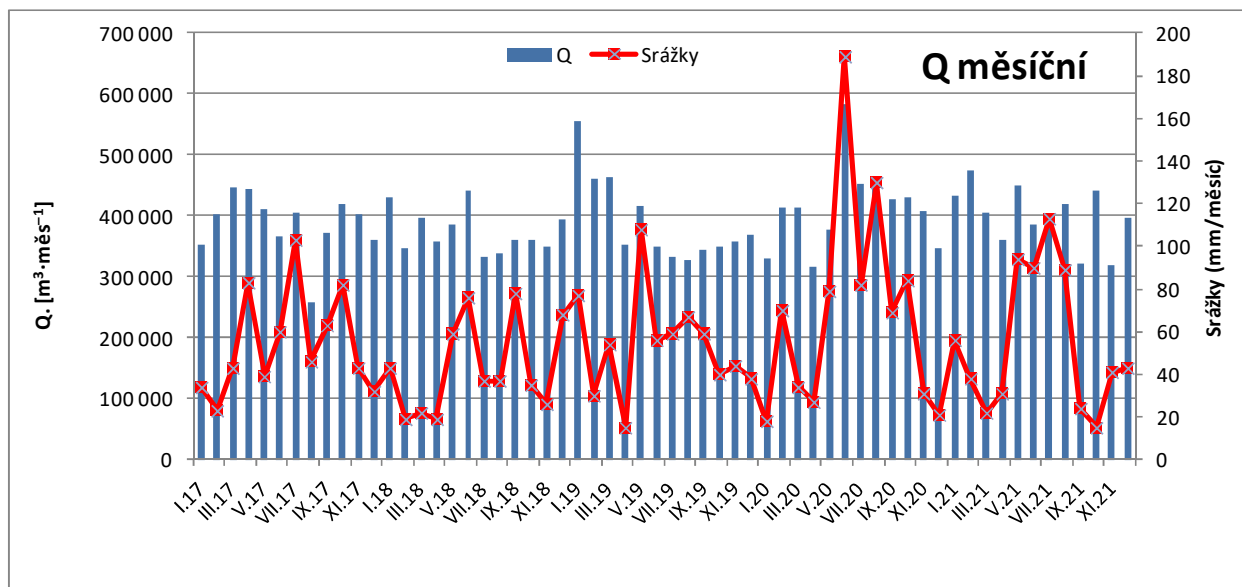
Obr. 5 Vývoj množství odpadních vod v letech 2017 - 2021 – měsíční hodnoty.

Tab. 3: Ukazatelé statistického zpracování dat přítoků na ČOV.

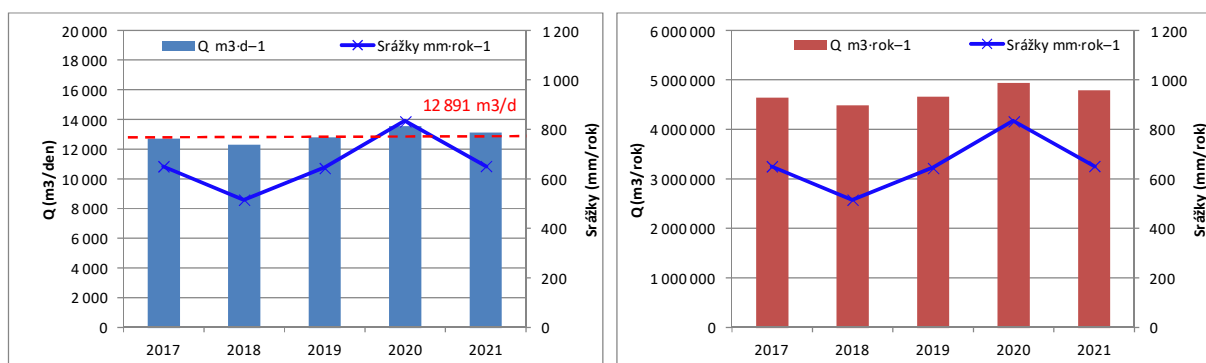
Rok	Q	Q - průměr	Q**	Srážky*	% normálu
	m³·rok⁻¹	m³·d⁻¹	% Projektu	mm·rok⁻¹	%
2017	4 641 880	12 717	99%	652	97%
2018	4 499 521	12 294	95%	517	77%
2019	4 674 697	12 807	99%	645	96%
2020	4 952 226	13 568	105%	834	124%
2021	4 791 991	13 129	102%	653	97%

*normální srážkový úhrn v kraji Vysočina je 673 mm/rok

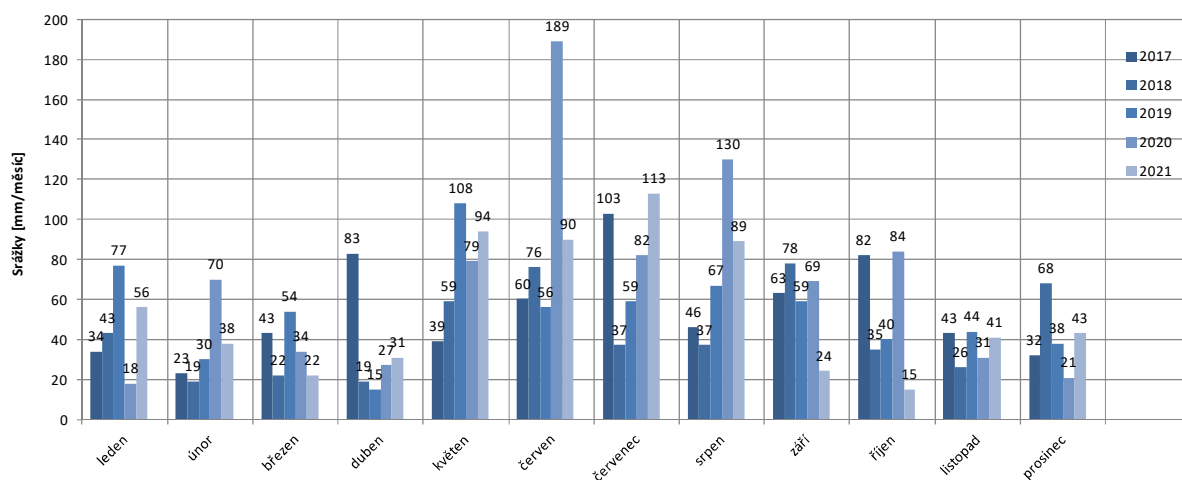
** Projektový průtok Q = 12 891 m³ d⁻¹



Obr. 6 Vývoj množství odpadních vod 2017 - 2021 – měsíční hodnoty a srážkové úhrny.



Obr. 7 Vývoj množství odpadních vod od r. 2017 – roční souhrny, denní množství a roční srážkový úhrn.



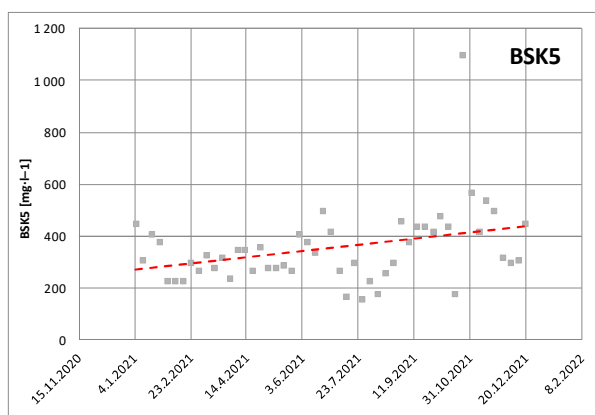
Obr. 8 Srážkové úhrny pro kraj Vysočina v letech 2017 – 2021.

3.2 Koncentrační ukazatele znečištění v přítoku a látkové zatížení

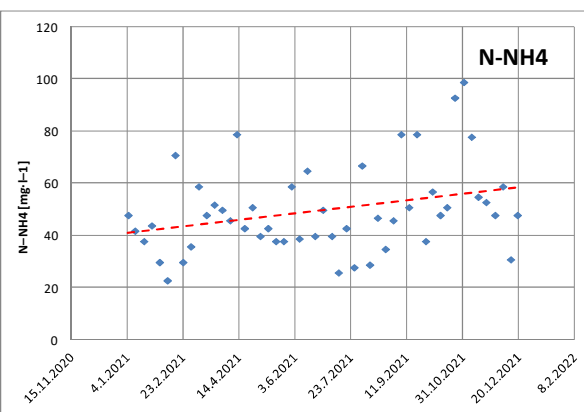
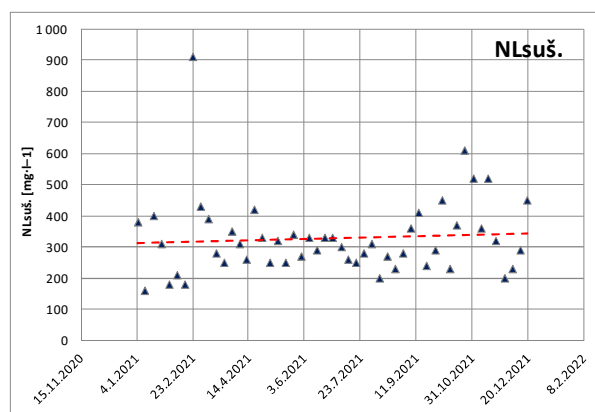
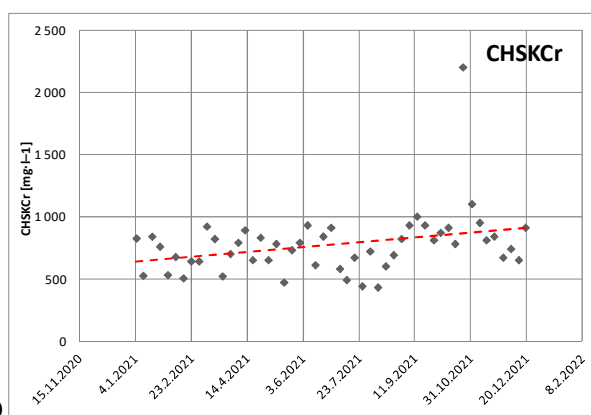
Tab. 4 sumarizuje data koncentrací znečištění v přítoku v roce 2021. Za roky 2017 – 2020 nebyla data k dispozici. Tab. 5 pak vypočtená látková zatížení pro jednotlivé ukazatele znečištění za rok 2021, který je uvažován jako stav zohledňující současnou kvalitu odpadních vod. Rovněž jsou vyjádřeny přepočty na EO podle produkce znečištění dle ČSN 75 6401.

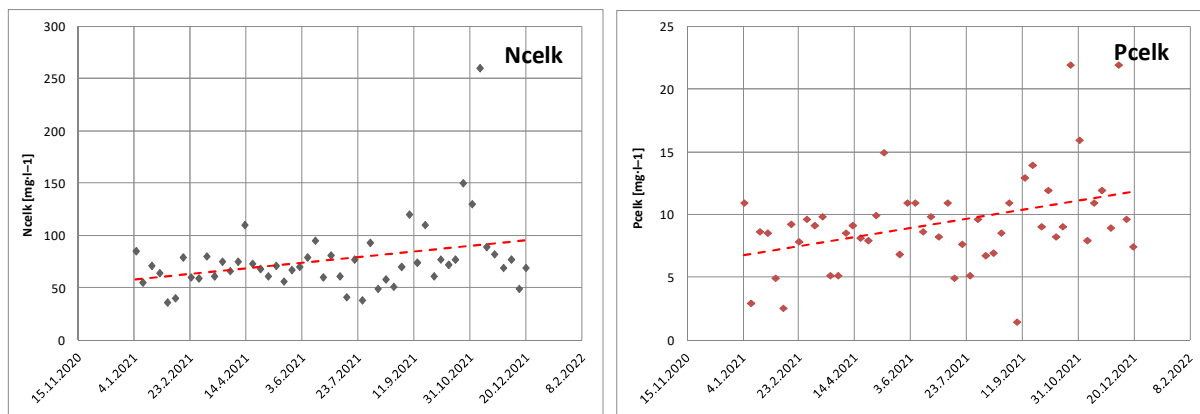
Tab. 4 Data koncentračního znečištění v přítoku v roce 2021.

	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL _{suš.}	N-NH ₄	N _{celk.}	P _{celk.}
	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Průměr	771	355	327	49,6	76,5	9,3
Medián	780	320	310	48,0	71,0	9,1
Maximum	2 200	1 100	910	99,0	260,0	22,0
Minimum	430	160	160	23,0	36,0	1,5
Počet	51	51	51	51	51	50



9





Obr. 9 Znáznornění průběhu koncentrací jednotlivých ukazatelů znečištění v přítoku.

Tab. 5: Souhrn ukazatelů znečištění a látkového zatížení v roce 2021.

2021	BSK ₅	CHSK _{Cr}	NL	N-NH ₄	N-celk	P-celk
mg·l ⁻¹	320	780	310	48,0	71,0	9,1
kg d ⁻¹	4201	10240	4070	630	932	119
EO	70020	85337	73998	84740	84740	47526

Tab. 6: Vytížení ČOV v roce 2021 – přítok celkový.

Ukazatel	$m^3 \cdot d^{-1}$	$m^3 \cdot d^{-1}$	%	$l \cdot EO^{-1} \cdot d^{-1}$
Q	12891	13129	101,8 %	188
Zatížení	Projekt	2021	Vytíženost ČOV	Přepočít na EO
počet EO	99917	70020	70,1 %	70020
	$kg \cdot d^{-1}$	$kg \cdot d^{-1}$	%	EO
BSK ₅	5995,0	4201,2	70,1 %	70020
CHSK _{Cr}	11878,0	10240,4	86,2 %	85337
NL	8526,0	4069,9	47,7 %	73998
N-NH ₄	715,0	630,2	88,1 %	84740
N-celk	1100,0	932,1	84,7 %	84740
P-celk	190,0	118,8	62,5 %	47526
Specifická produkce	188	$l \cdot EO^{-1} \cdot d^{-1}$ podle BSK ₅		
odpadní vody:	155	$l \cdot EO^{-1} \cdot d^{-1}$ podle Ncelk		

Z dat jsou patrné koherentní vztahy mezi ukazateli organického a dusíkatého znečištění. Z vyhodnocených výsledků vyplývá, že ČOV Jihlava byla v posledním roce zatěžována na úrovni

70 020 EO₆₀. Zatížení celkovým dusíkem bylo na období úrovní 84 740 EO₁₁. K vyhodnocení zatížení je použit průměrný průtok odpadních vod na úrovni 13 129 m³ d⁻¹.

Z dat je zřejmé, že ČOV je vzhledem k projektu v průměru vytížena na cca 70 % projektového zatížení v ukazateli BSK₅, 86 % v ukazateli CHSK. V ukazateli Ncelk bylo průměrné vytížení cca 85 %. Hydraulické zatížení dosahuje cca 102 % projektové hodnoty.

Dle výkazu ČSÚ bylo k roku 2021 evidováno v Jihlavě 51 125 obyvatel (Tab. 7). Měřený údaj v přítoku na ČOV byl za vyhodnocované období na úrovni 70 020 EO₆₀. Poměr EO/ ob. vychází 1,37 (rok 2021), což je vysoký poměr, který udává, že je na ČOV přiváděno významné množství průmyslového znečištění. V souladu s tímto trendem by u nově připojovaného znečištění mělo být uvažováno s obdobnou hodnotu poměru EO/ob. = 1,37, která v sobě zahrnuje i nárůst odpadních vod s ohledem na rozvoj průmyslu a občanské vybavenosti v lokalitě.

Tab. 7: Počet v obcích České republiky k 1. 1. 2021. Zdroj: ČSÚ.

Kód <i>Code</i>		Název obce <i>Name of municipality</i>	Počet obyvatel <i>Population</i>		
okresu <i>LAU 1</i>	obce <i>LAU 2</i>		celkem <i>Total</i>	muži <i>Males</i>	ženy <i>Females</i>
CZ0632	586846	Jihlava	51125	25049	26076

3.3 Kvalita odpadní vody - přítok na biologickou část systému

Koncentrační údaje za usazovací nádrží (označení UN) v přítoku na aktivaci (označení PA) byly brány v jednotlivé souvztažné dny s koncentracemi na přítoku (přítok celkový – PC). Ze získaných hodnot byly vypočteny pro jednotlivé ukazatele znečištění účinnosti dosažené na usazovací nádrži. Výsledek ukazuje, že účinnost UN se v průběhu roku výrazně neměnila, trendy v grafech nemají vždy vypovídací schopnost vzhledem k malému počtu měřených hodnot u některých ukazatelů znečištění. Záporné účinnost u některých hodnot značí přírůstek znečištění za UN. Zatížení biologické části ČOV za UN bylo v roce 2021 na střední hodnotě 50 327 EO₆₀ (vyhodnoceno z diskrétních souvztažných hodnot v profilech PC a PA). Vytížení ČOV bylo vzhledem k projektu na úrovni cca 67 % projektového zatížení v ukazateli BSK₅. V ukazateli Ncelk bylo průměrné vytížení cca 76 %. Hydraulické zatížení dosahuje cca 102 % projektové hodnoty (Tab. 11).

Tab. 8 Statistika koncentrací v přítoku – souvztažné dny s měřením za UN (2021).

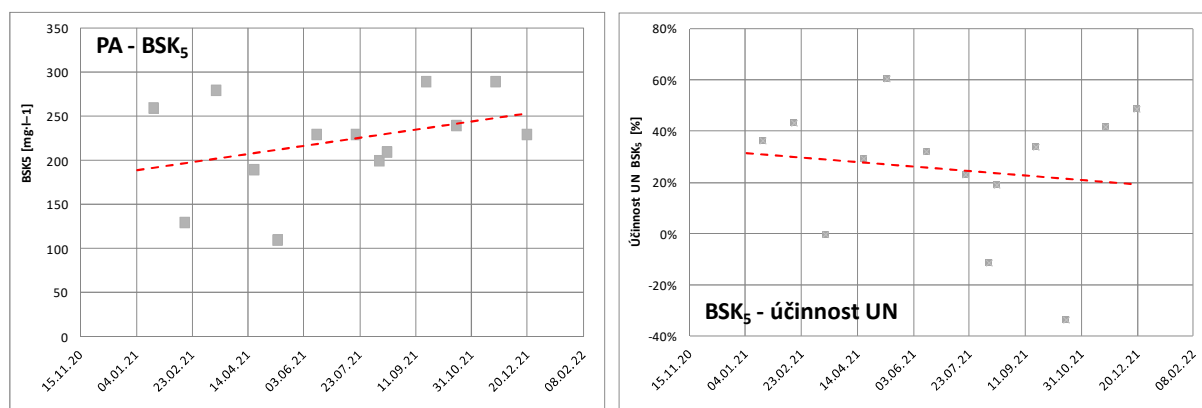
Ukazatel	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N _{Lsuš.}	N–NH ₄	N _{celk.}	P _{celk.}
	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Průměr	774	357	328	49,8	76,8	9,1
Medián	780	325	310	48,0	71,0	8,9
Maximum	2 200	1 100	910	99,0	260,0	22,0
Minimum	430	160	160	23,0	36,0	0,0
Počet	50	50	50	50	50	50

Tab. 9 Statistika koncentrací v přítoku za UN – souvztažné dny s měřením na přítoku (2021).

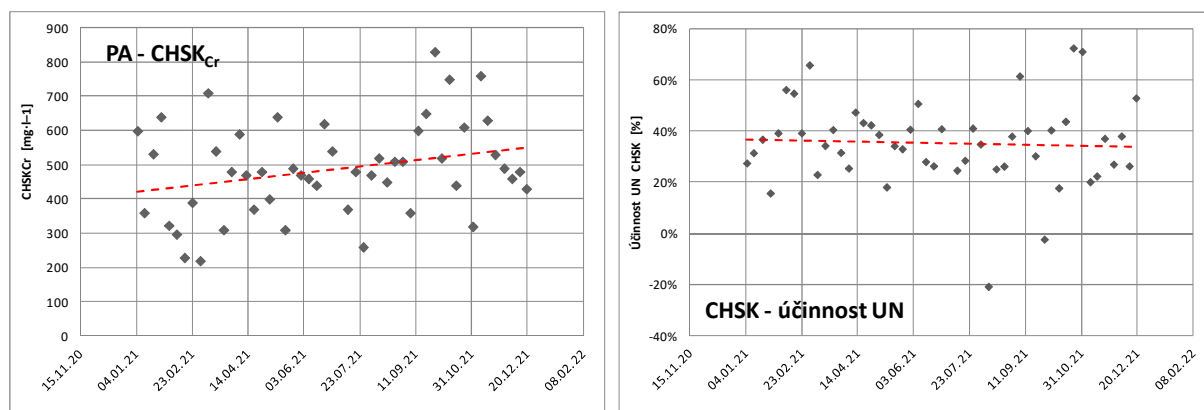
Ukazatel	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N _{Lsuš.}	N–NH ₄	N _{celk.}	P _{celk.}
	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Průměr	487	222	115	44,9	58,4	5,2
Medián	480	230	110	44,0	58,0	5,5
Maximum	830	290	210	67,0	77,0	7,0
Minimum	220	110	47	15,0	32,0	2,8
Počet	50	13	50	49	13	12

Tab. 10 Účinnost UN (2021).

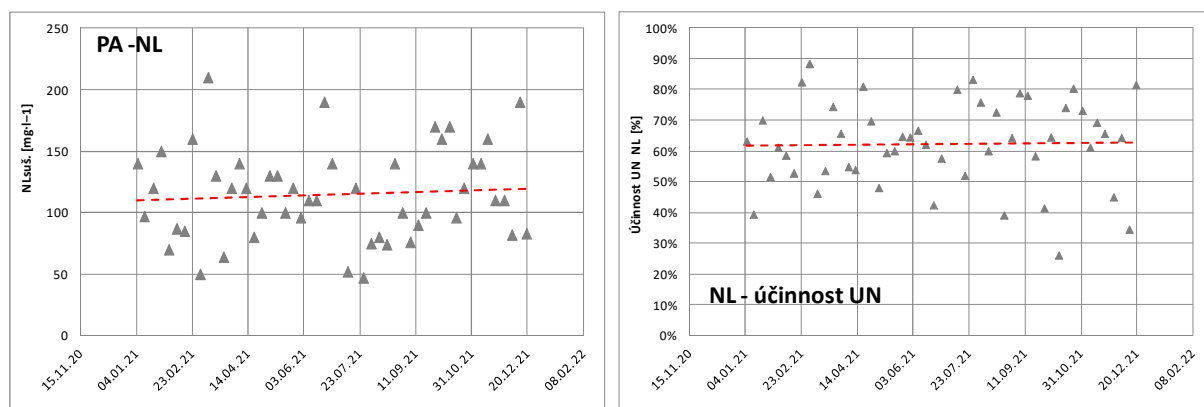
2021	PC	PA	E	E dle ČSN HRT v UN >1,5 h
	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	%	%
BSK₅	325,0	230,0	29,2%	33,3%
CHSK_{Cr}	780,0	480,0	38,5%	33,3%
N_{Lsuš.}	310,0	110,0	64,5%	58,2%
N–NH₄	48,0	44,0	8,3%	0,0%
N_{celk.}	71,0	58,0	18,3%	9,1%
P_{celk.}	8,9	5,5	37,9%	8,0%

**Obr. 10** Znáznornění průběhu koncentrací a účinnosti BSK₅ v přítoku za UN (2021).

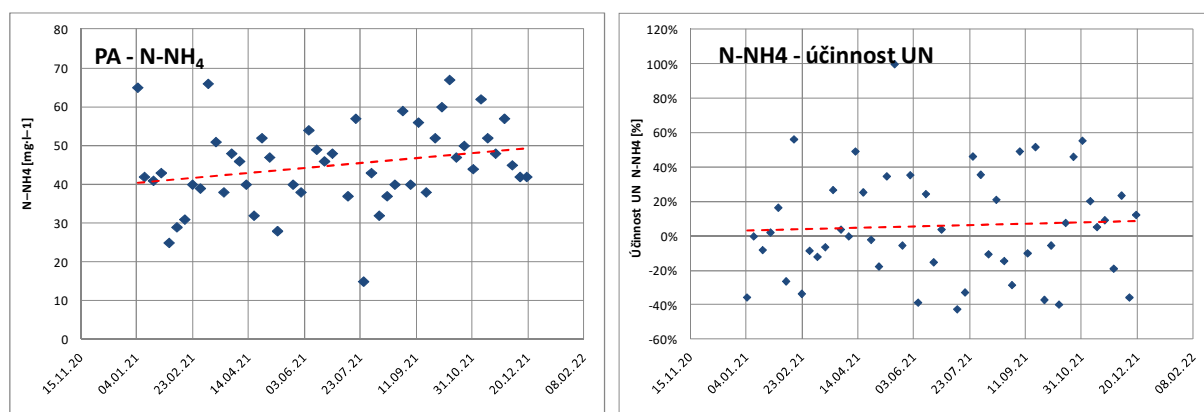
Tab. 10 ukazuje, že účinnosti dosažené na usazovací nádrži odpovídají v ukazatelích organického znečištění normovaným hodnotám. V ukazatelích Ncelk a Pcelk jsou pak výrazně vyšší (Tab. 10). Na vysoké účinnosti odstraňování fosforu v UN se podílí vodárenské kaly s vyšším obsahem Fe v přítoku.



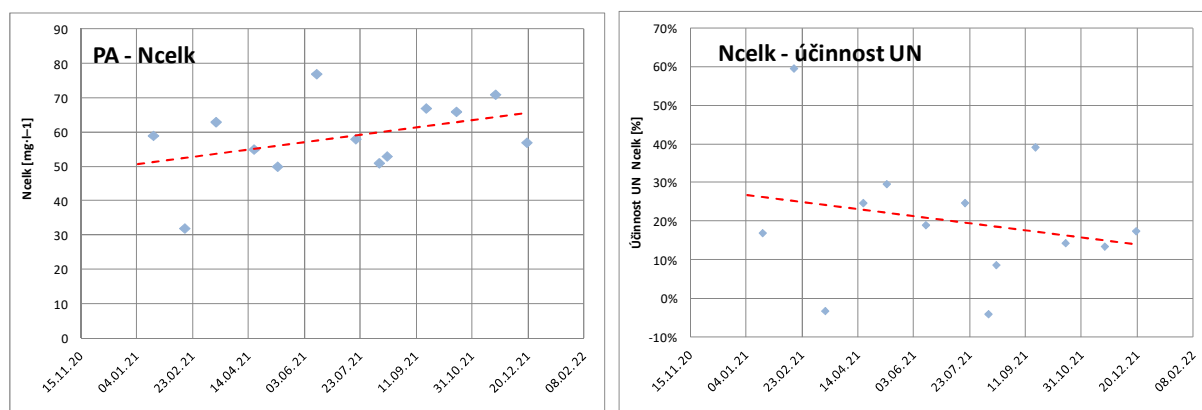
Obr. 11 Znáznornění průběhu koncentrací a účinnosti CHSK v přítoku za UN (2021).



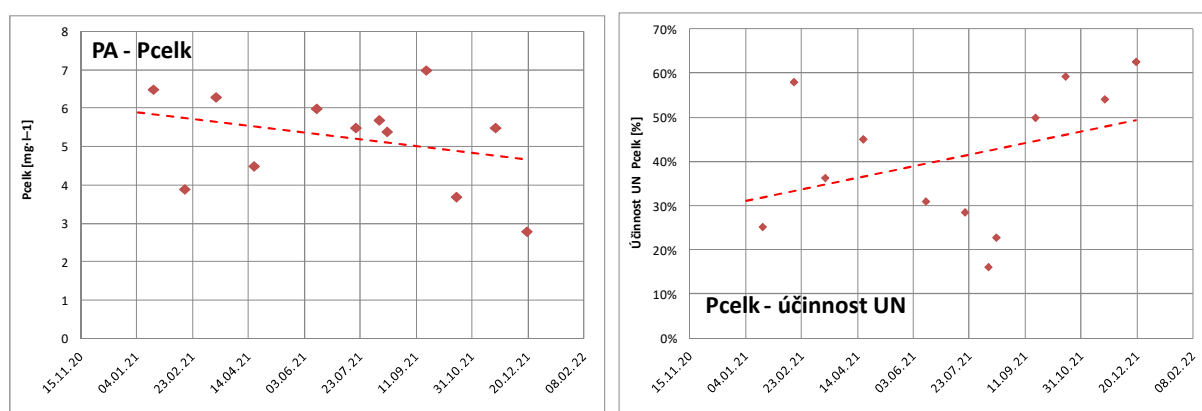
Obr. 12 Znáznornění průběhu koncentrací a účinnosti NL v přítoku za UN (2021).



Obr. 13 Znáznornění průběhu koncentrací a účinnosti N-NH₄ v přítoku za UN (2021).



Obr. 14 Znáznornění průběhu koncentrací a účinnosti Ncelk v přítoku za UN (2021).



Obr. 15 Znáznornění průběhu koncentrací a účinnosti Pcelk v přítoku za UN (2021).

Tab. 11: Vytížení ČOV v roce 2021 – přítok aktivace.

Ukazatel	$m^3 \cdot d^{-1}$	$m^3 \cdot d^{-1}$	%	$l \cdot EO^{-1} \cdot d^{-1}$
Q	12891	13129	101,8 %	261
Zatížení	Projekt	2021	Vytíženost ČOV	Přepoččet na EO
počet EO	74933	50327	67,2 %	50327
	$kg \cdot d^{-1}$	$kg \cdot d^{-1}$	%	EO
BSK ₅	4496,0	3019,6	67,2 %	50327
CHSK _{Cr}	8913,0	6301,8	70,7 %	52515
NL	4516,0	1444,2	32,0 %	26257
N-NH ₄	703,0	577,7	82,2 %	69224
N-celk	999,0	761,5	76,2 %	69224
P-celk	170,0	72,2	42,5 %	28883
Specifická produkce	261	$l \cdot EO^{-1} \cdot d^{-1}$ podle BSK ₅		
odpadní vody:	190	$l \cdot EO^{-1} \cdot d^{-1}$ podle N-NH ₄		

3.4 Kvalita odtoku

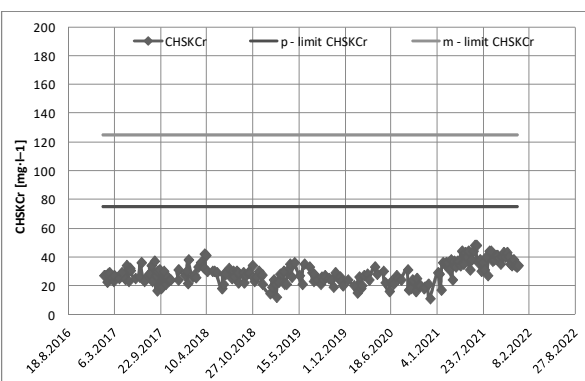
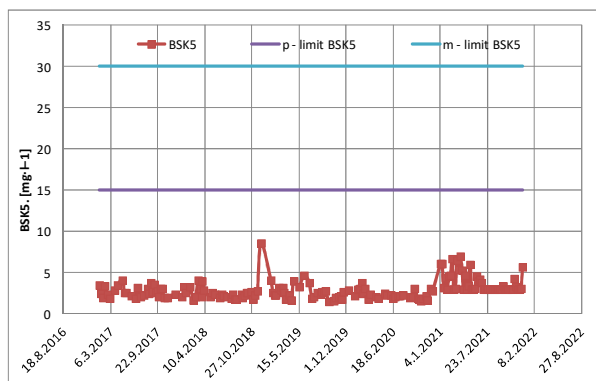
Kvalita odtoku je vyhodnocena za účelem posouzení funkčnosti aktivačního procesu a kalibrace matematického modelu na aktuální stav zatížení. Byla vyhodnocena data za období let 2017 - 2021 (Tab. 12). Data z roku 2021 byla využita pro kalibraci a verifikaci matematického modelu (Tab. 13). Grafické znázornění kvality odtoku je na Obr. 16. Z výsledků je zřejmá vysoká účinnost čištění odpadních vod v ukazatelích organického znečištění (96 - 99 %), dusíku (86 %) i fosforu (98 %) (Tab. 14). Odstraňování fosforu je realizováno biologickou cestou procesem zvýšeného biologického odstraňování fosforu v anaerobní nádrži za přispění srážení Fe v přítoku původem z vodárenských kalů. Na odtoku z ČOV dochází k občasným výkyvům v ukazateli N-NH₄, což bylo měřeno až poslední rok provozu. Důvodem mohou být nízké provozní koncentrace kyslíku.

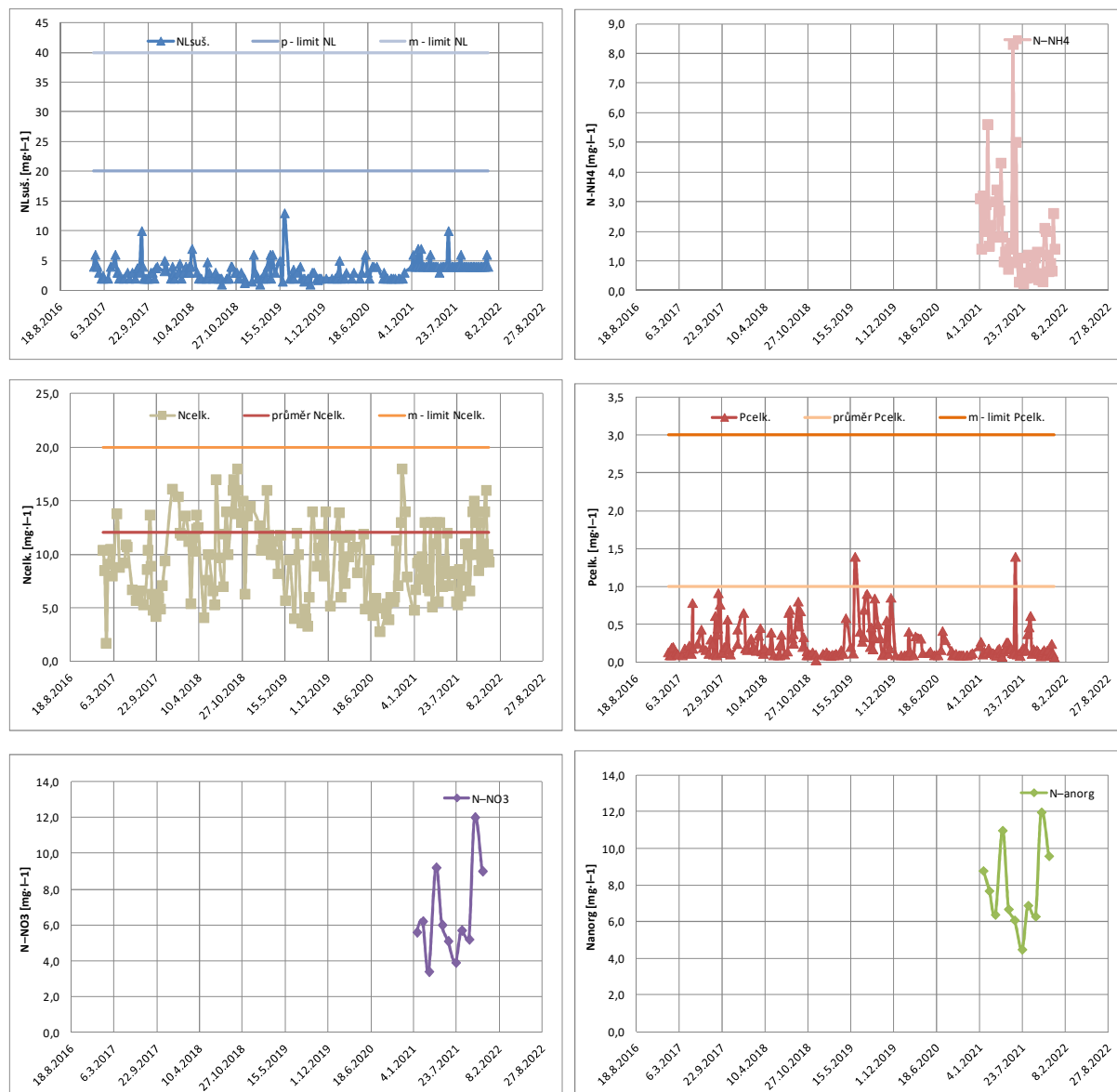
Tab. 12 Vyhodnocení kvality odtoku v letech 2017 - 2021.

Datum	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL _{suš.}	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N _{celk.}	P _{celk.}
Jednotka	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Průměr	28,7	2,9	3,3	1,7	0,1	6,5	9,5	0,2
Medián	28,0	2,8	3,0	1,3	0,1	5,7	9,4	0,2
Maximum	48,0	8,6	13,0	8,3	0,1	12,0	18,0	1,4
Minimum	11,0	1,5	1,0	0,2	0,1	3,4	1,7	0,0
Počet	197	173	197	51	11	11	173	197

Tab. 13 Vyhodnocení kvality odtoku v roce 2021.

Datum	CHSK _{Cr}	BSK ₅	NL _{suš.}	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	N _{celk.}	P _{celk.}
Jednotka	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Průměr	36,7	3,8	4,4	1,7	0,1	6,5	9,5	0,2
Medián	37,0	3,0	4,0	1,3	0,1	5,7	9,2	0,2
Maximum	48,0	7,0	10,0	8,3	0,1	12,0	16,0	1,4
Minimum	17,0	3,0	3,0	0,2	0,1	3,4	4,8	0,1
Počet	51	51	51	51	11	11	51	51



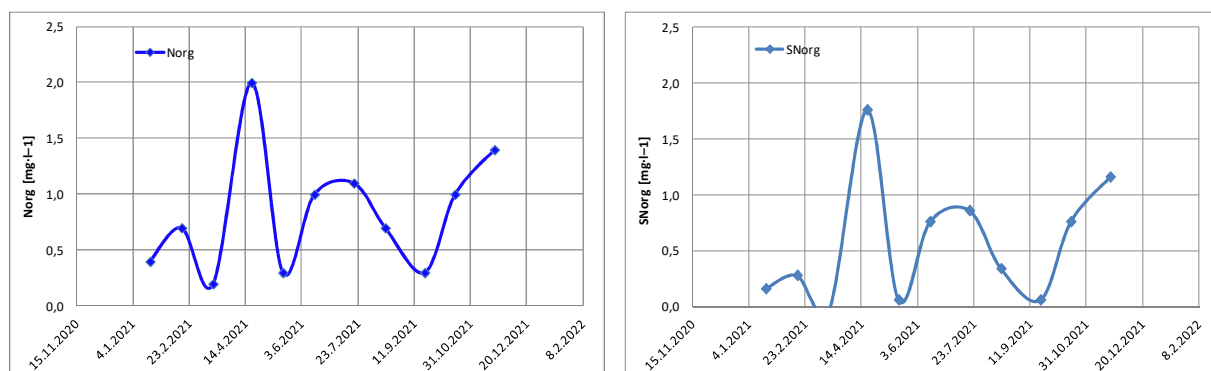


Obr. 16 Znáznornění průběhu koncentrací v celkovém odtoku (2017 - 2021).

Tab. 14 Vyhodnocení účinnosti čištění odpadních vod.

Ukazatel / rok	2021
BSK ₅	99%
CHSK _{Cr}	96%
NL	99%
N-NH ₄	97%
N-celk	86%
P-celk	98%

Graf na Obr. 17 ukazuje odtokové koncentrace N_{org} a vypočtené koncentrace rozpuštěného („Soluble“) SN_{org}, který systémem protéká bez možností další amonifikace.



Obr. 17 Znáznornění průběhu koncentrací Norg a rozpuštěného SNorg v celkovém odtoku (2021).

Koncentrace SN_{org} v odtoku mají zásadní význam pro výpočet biologické ČOV, zejména nastavení účinnosti odstraňování dusíku. Průměrná hodnota rozpuštěného SN_{org} vychází $0,6 \text{ mg l}^{-1}$, hodnota mediánu pak nižší $0,3 \text{ mg l}^{-1}$. Hodnota N_{org} pak vychází na úrovni $0,8 \text{ mg l}^{-1}$. Tyto hodnoty jsou u běžných komunálních odpadních vod obvyklé a neukazují na specifické průmyslové znečištění v přítoku (zejm. chemický průmysl).

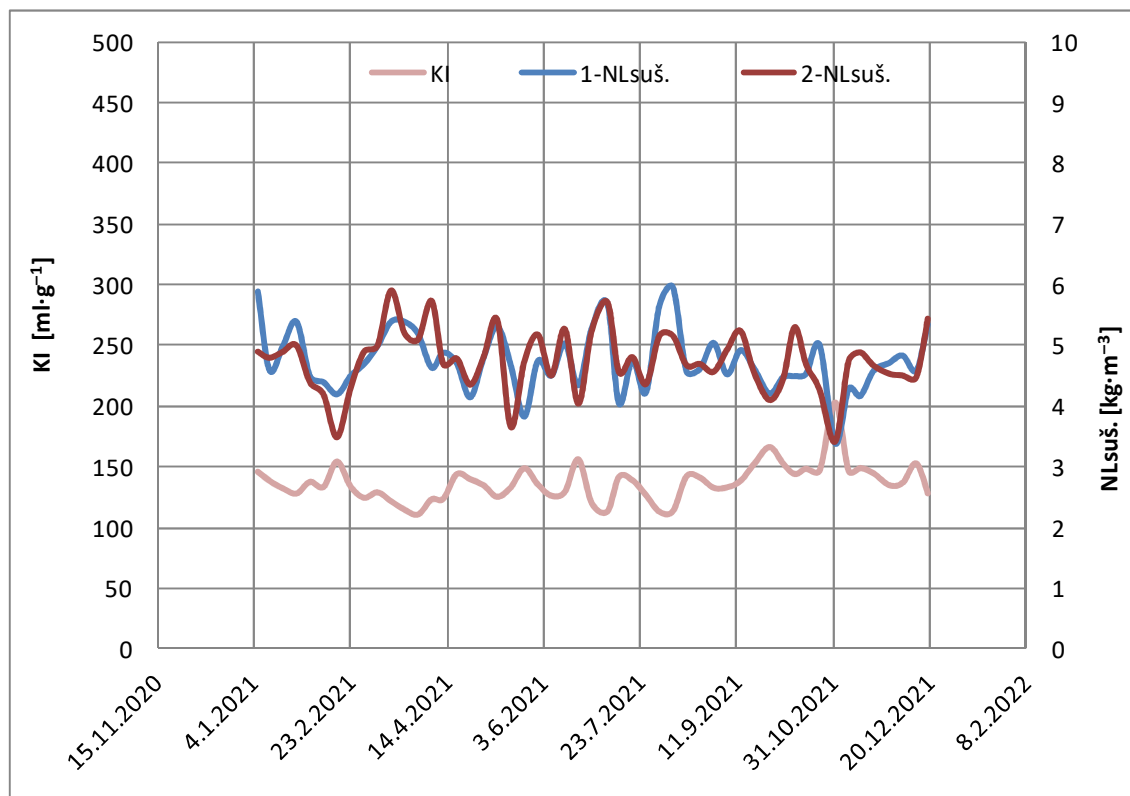
3.5 Provozní parametry aktivace

3.5.1 Množství a kvalita aktivovaného kalu

Obě linky aktivačního systému byly v roce 2021 dlouhodobě provozovány v průměru z obou linek se sušinou kalu na střední hodnotě $4,8 \text{ kg m}^{-3}$ a kalovým indexem 137 ml g^{-1} . Organický podíl kalu je obvyklý a dosahuje v průměru 73 %.

Tab. 15 Kvalita aktivovaného kalu (2021).

	OAN1-NL _{suš.}	OAN2-NL _{suš.}	OANØ - NL _{suš.}	KI	Reg - NL _{suš.}	Reg - ZŽ
2017-21	g·l⁻¹	g·l⁻¹	g·l⁻¹	ml·g⁻¹	g·l⁻¹	%
Průměr	4,8	4,8	4,8	137	9,4	73,0%
Medián	4,7	4,8	4,7	135	9,0	73,0%
Maximum	6,0	5,9	6,0	203	12,5	81,6%
Minimum	3,4	3,4	3,4	110	6,2	69,4%
Počet	51	51	51	51	51	48



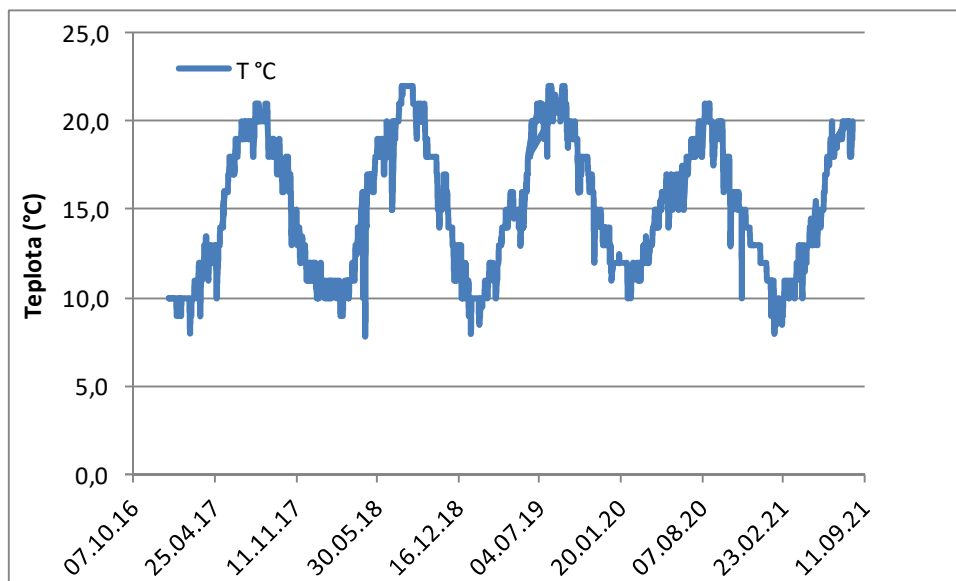
Obr. 18 Znáznornění průběhu koncentrací NL a KI (2021).

3.5.2 Stanovení výpočtové teploty aktivace

Teploty aktivčního systému jsou na ČOV Jihlava zaznamenávány spolu s koncentracemi kyslíku v obou oběhových aktivacích. Pro stanovení profilu teploty v aktivčních nádržích v průběhu roku byla použita data průměrů z obou linek a sestaven graf na Obr. 19. Při technologických výpočtech minimální teplota ovlivňuje velikost nádrží, teplota maximální pak dimenzování aeračního systému.

Tab. 16 Statistické vyhodnocení teplot v aktivaci.

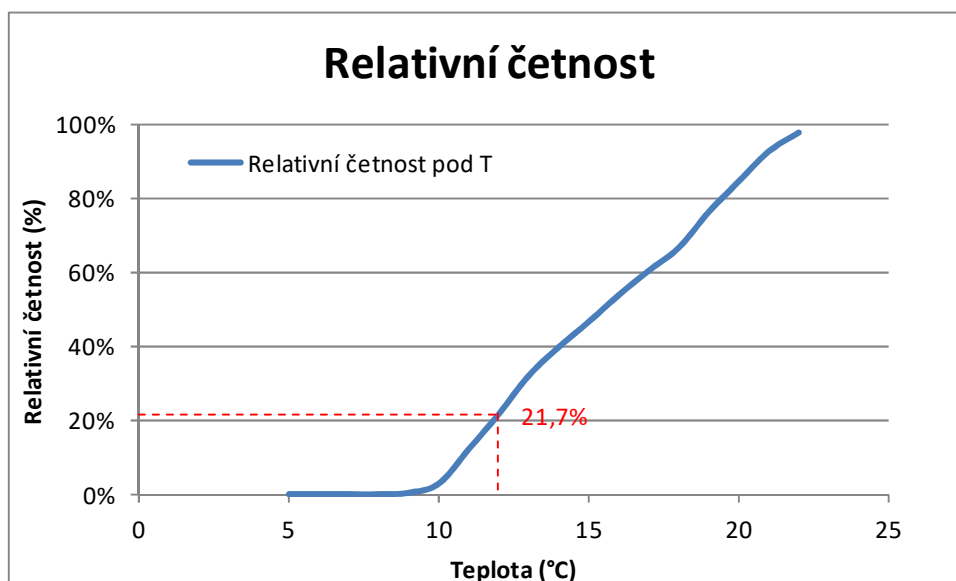
Statistická funkce	Jednotka	Aktivace
Počet	-	1 791
Průměr (\bar{X})	°C	15,2
Medián	°C	15,0
Minimum	°C	8,0
Maximum	°C	22,0



Obr. 19 Průběh teplot v aktivaci v roce 2017 - 2021.

Tab. 17 Relativní četnost hodnot pod danou teplotou.

Teplota (°C)	Počet	Relativní četnost pod T	Teplota (°C)	Počet	Relativní četnost pod T
22	1750	97,7%	13	574	32,0%
21	1659	92,6%	12	388	21,7%
20	1514	84,5%	11	218	12,2%
19	1366	76,3%	10	51	2,8%
18	1193	66,6%	9	7	0,4%
17	1082	60,4%	8	0	0,0%
16	964	53,8%	7	0	0,0%
15	834	46,6%	6	0	0,0%
14	712	39,8%	5	0	0,0%



Obr. 20: Graf relativní četnosti výskytu teplot pod danou hodnotou.

Na základě provedeného vyhodnocení režimu teplot je zřejmé, že teploty v aktivaci jsou v zimním období nižší. Teplota legislativního předělu 12 °C byla ve vyhodnocovaném období podkročena v 21,7 % měření, tj. cca 1/5 roku pracuje ČOV pod legislativním teplotním limitem. Pro výpočty budou použity tyto teplotní rozsahy, které postihují rozsahy teplot v průběhu roku.

T_{\min} výpočtová =	9,0 °C
$T_{\text{prům}}$ výpočtová =	15,0 °C
T_{\max} výpočtová =	22,0 °C
T_{leg} legislativní =	12,0 °C

Teplota legislativního předělu pro nitrifikaci, resp. odtokový ukazatel N_{celk} , je 12°C.

3.5.3 Kalová voda a produkce kalu

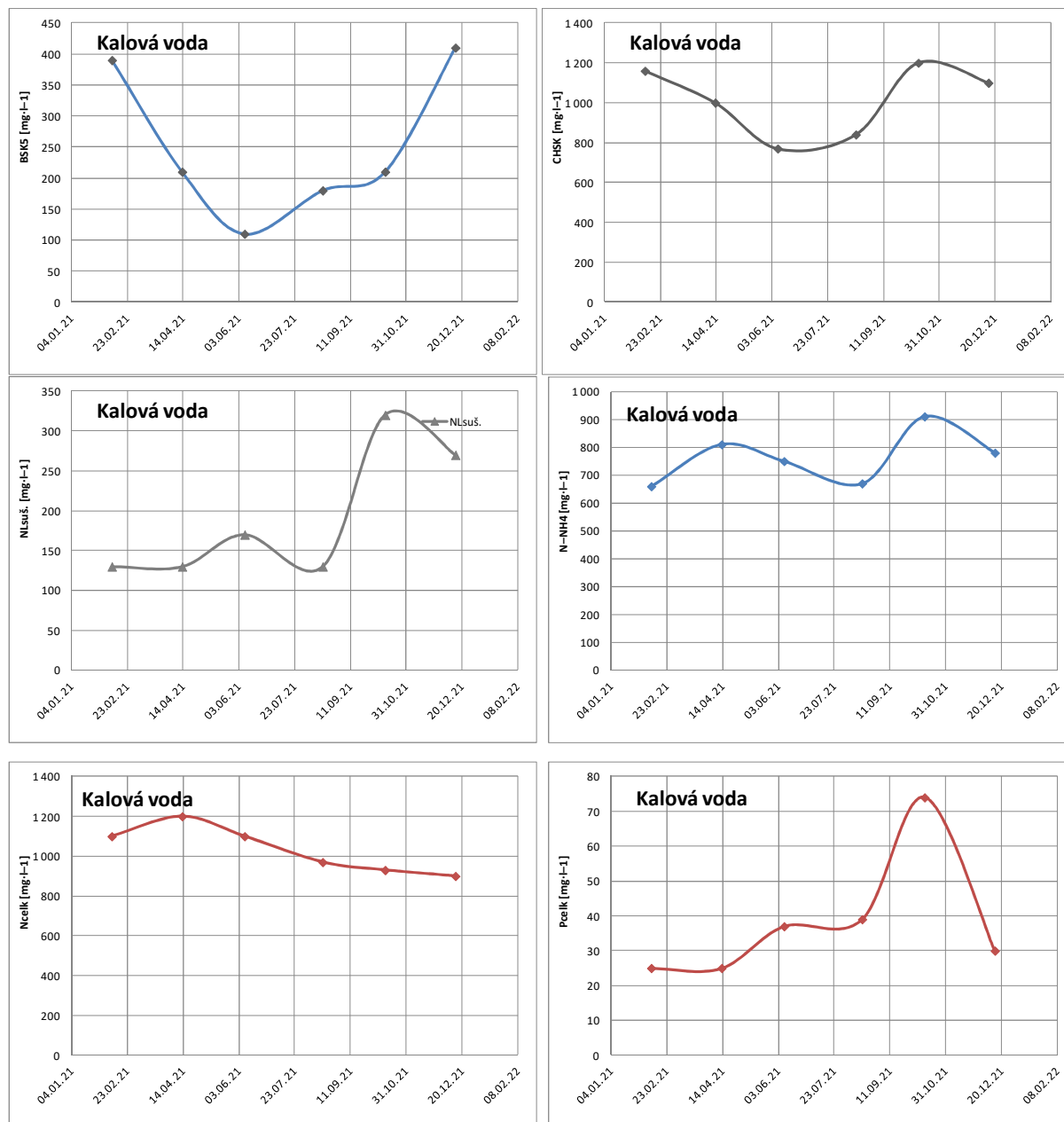
Množství vyprodukovaného kalu stanovená výpočtem 4 266 t rok⁻¹ při suš. 23,5 % se uspokojivě shoduje s vykázaným odvezeným množstvím kalů v roce 2021 na úrovni 4 752 t rok⁻¹. Množství kalové vody a zpětné zatížení systému dusíkem bylo vypočteno z produkce kalů na ČOV a měřených koncentrací kalové vody v roce 2021 (Tab. 18). Produkce kalové vody byla vypočtena na 82 m³ d⁻¹.

Tab. 18 Bilance znečištění v kalové vodě.

Ukazatel	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N _{suš.}	N-NH ₄	N _{celk.}	P _{celk.}	pH
Jednotka	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	-
Průměr	252	1 012	192	763	1 033	38	7,8
Medián	210	1 050	150	765	1 035	34	7,8
Maximum	410	1 200	320	910	1 200	74	7,8
Minimum	110	770	130	660	900	25	7,7
Počet	6	6	6	6	6	6	6
Q = 82 m ³ d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	-
Medián	20,6	83,0	15,7	62,6	84,7	3,1	-

Tab. 19 Výpočet množství kalové vody.

Rok	Kal na odv.	Odv. kal	Odv. kal	Suš. 100%	Suš. 100%	Q KV	Q KV
	kg·m ⁻³	kg·m ⁻³	t·rok ⁻¹	t·rok ⁻¹	t·d ⁻¹	m ³ rok ⁻¹	m ³ d ⁻¹
2021	21,6	234,7	4 266	1002	2,74	29 821	82



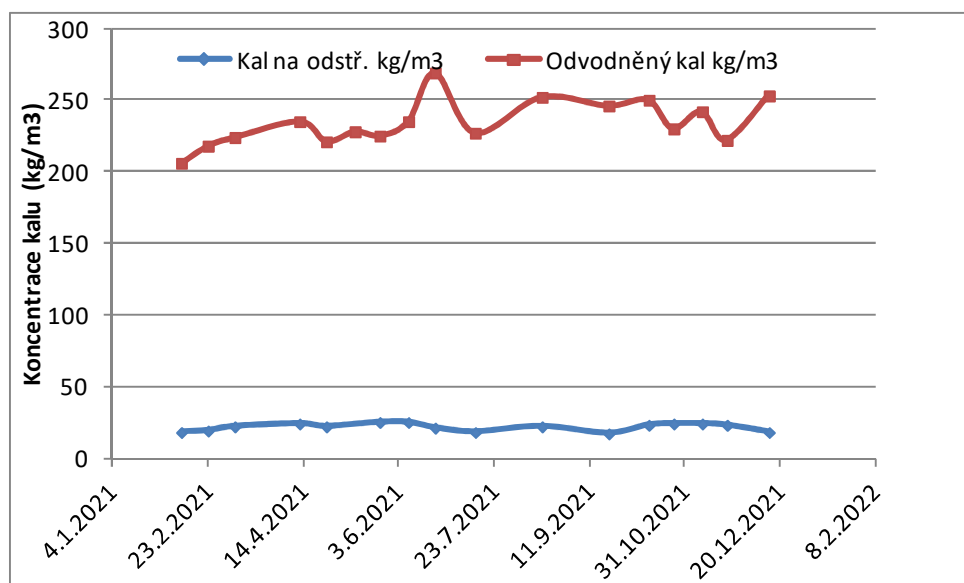
Obr. 21 Koncentrace ukazatelů znečištění v kalové vodě (2021).

Z vyhodnocení vychází v průměru následující množství produkce kalu:

Nátok primárního kalu na ZN:	781 t rok ⁻¹
Nátok sekundárního kalu na zahuštění:	735 t rok ⁻¹
Nátok směsného kalu na vyhnívací nádrže - bilančně:	1 515 t rok ⁻¹
Nátok směsného kalu na vyhnívací nádrže - měřeno:	1 463 t rok ⁻¹
Redukce množství kalu vyhníváním:	31 %
Sušina kalu na odvodnění:	2,36 %
Množství odvezeného kalu – výpočet / odvezeno:	4 266 t rok ⁻¹ při suš. 23,5 % / 4 752 t rok ⁻¹
Množství 100%-ní sušiny odvezeného kalu:	1002 t rok ⁻¹
Množství kalové vody:	29 821 m ³ rok ⁻¹ , tj. 82 m ³ d ⁻¹

Tab. 20 Bilance vyprodukovaných kalů.

	Nátok PK do ZN	Nátok SK na zahuštění	Směsný kal do VN	Kal na odvodnění	Odvodněný kal
	m ³ rok ⁻¹	m ³ rok ⁻¹	m ³ rok ⁻¹	m ³ rok ⁻¹	m ³ rok ⁻¹
Celkem	22 698	72 739	34 905	42 477	4 266
Sušina	3,44%	1,01%	4,19%	2,36%	23,50%
	t rok ⁻¹	t rok ⁻¹	t rok ⁻¹	t rok ⁻¹	t rok ⁻¹
Sušina	781	735	1463	1002	1002
PK + SK	1515		Redukce ve VN	31 %	



Obr. 22 Koncentrace kalu vstupujícího na odstředivku a kalu odvodněného (2021).

3.5.4 Výpočet základních technologických parametrů aktivace

V Tab. 21 jsou sumarizovány základní technologické parametry aktivačního systému dosažené v letech 2017 – 2021 a v roce 2021. Jedná se o orientační přepočty, který ukazuje že aktuálně provozovaný systém pracuje jako nízko zatížená aktivace.. Přesnější výpočet je realizován na matematickém modelu. Stáří kalu je vyšší, na úrovni cca 63 dní a zatížení kalu BSK₅ pak pod úrovní doporučené hodnoty 0,05 kg·kg⁻¹·d⁻¹. Systém se proto jeví jako nízko zatížený a objemy aktivace jako dostatečné.

Tab. 21 Technologické parametry ČOV Jihlava – biologická část.

Parametr	Jednotka	2021
Užitný objem aktivace CELKEM	m ³	19150
Objem regenerace	m ³	1810
Objem anaerobních reaktorů	m ³	1840
Objem oběhových aktivací	m ³	15500
Přítok na ČOV	m ³ ·d ⁻¹	13129
Zatížení aktivace dle BSK ₅	EO	50327
Hydraulická doba zdržení v aktivaci*	h	35,0
Znečištění OV v CHSK	mg·l ⁻¹	0,480
Znečištění OV v BSK ₅	mg·l ⁻¹	0,230
Znečištění OV v NL	mg·l ⁻¹	0,110
Zatížení ČOV v CHSK	kg·d ⁻¹	6301,8
Zatížení ČOV v BSK ₅	kg·d ⁻¹	3019,6
Zatížení ČOV v NL	kg·d ⁻¹	1444,2
Koncentrace kalu v REG	kg·m ⁻³	9,00
Koncentrace kalu v OAN	kg·m ⁻³	4,76
Stáří kalu	d	63,3
Objemové zatížení reaktoru (BSK ₅)	kg·m ⁻³ ·d ⁻¹	0,158
Zatížení kalu v reaktoru (BSK ₅)	kg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	0,031
Zatížení kalu v reaktoru (CHSK)	kg·kg ⁻¹ ·d ⁻¹	0,064
Kalový index	ml·g ⁻¹	137

Tab. 22 sumarizuje výpočet přebytečného kalu ze zatížení ČOV z provozních dat. Výpočty ukazují aktuální produkci kalu na úrovni cca 555 t rok⁻¹ sušiny sekundárního kalu v roce 2021, což je méně než provozní měření skutečné produkce sekundárního kalu na úrovni 735 t rok⁻¹ sušiny kalu. Rozdíl může být dán zpětným kalovým tokem v některém profilu technologie (zahuštění, odvodnění, atp.). Rovněž nejsou v zatížení započteny dovážené odpadní vody a kaly.

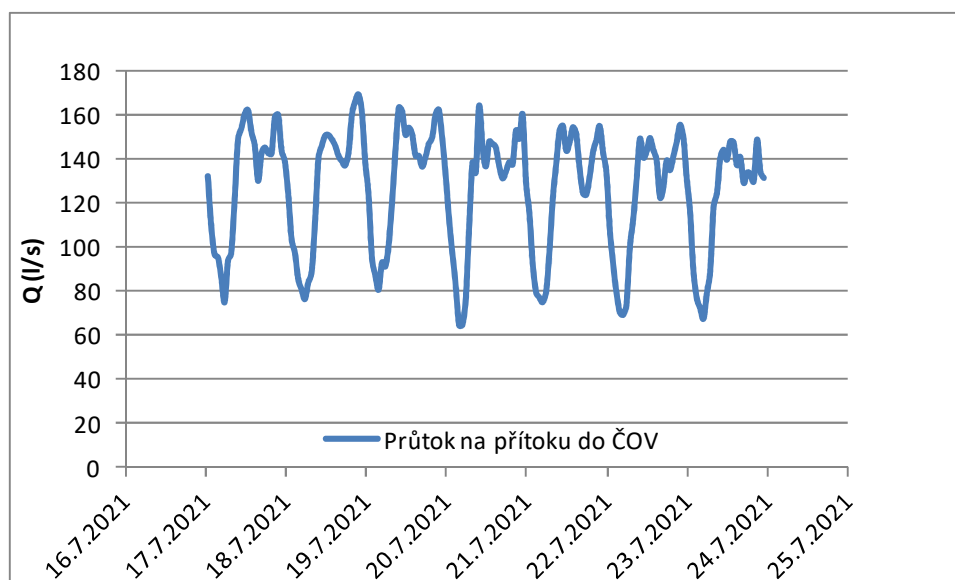
Tab. 22 Výpočet bilance přebytečného biologického kalu.

Výpočet produkce kalu ze zatížení ČOV	Jednotka	2021
Zásoba kalu	kg	98767
Provozní teplota	°C	15,2
NL přítok	mg·l ⁻¹	131
BSK ₅ přítok	mg·l ⁻¹	230
MBSK ₅ přítok	kg·d ⁻¹	3020
BSK ₅ odtok	mg·l ⁻¹	3

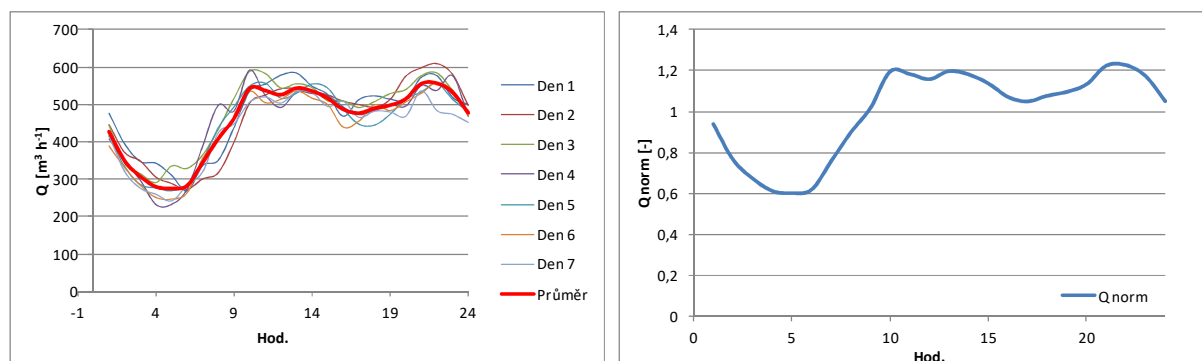
MBSK5 odtok	kg·d ⁻¹	38,07
NL odtok	mg·l ⁻¹	3
MNL odtok	kg·d ⁻¹	39,4
Produkce kalu	kg·d ⁻¹	1560,7
Přebytečný kal	kg·d ⁻¹	1521,3
Přebytečný kal za rok	t rok⁻¹	555,3

3.5.5 Nerovnoměrnost zatížení během dne

Pro účely výpočtu systému v dynamickém stavu, zejména s ohledem na výpočet kapacity aeračního systému, bylo provedeno vyhodnocení záznamu 15 s. hodnot průtoků za účelem získání denního profilu hydraulické nerovnoměrnosti průtoků. Normalizace průtoků byla provedena z vybraného týdne nezatíženého srážkami. V daném případě se jednalo o období 17. – 23. 7.2021. Data v hodinových intervalech v průběhu dne byla zprůměrována a následně znormalizována (Tab. 23, Obr. 24).



Obr. 23: Profil hydraulického přítoku 10.-16.12.2021.



Obr. 24: Profil a normalizovaný profil hydraulického přítoku ve vybraný bezdeštný týden..

Tab. 23 Hodnoty normalizovaných průtoků v jednotlivé hodiny dne.

Hod.	Q norm	Hod.	Q norm	Hod.	Q norm	Hod.	Q norm
1	0,94	7	0,76	13	1,19	19	1,09
2	0,77	8	0,90	14	1,18	20	1,13
3	0,67	9	1,02	15	1,13	21	1,22
4	0,61	10	1,19	16	1,07	22	1,22
5	0,60	11	1,18	17	1,05	23	1,17
6	0,62	12	1,16	18	1,08	24	1,05

Z vyhodnocení vychází koeficienty max. a min. hodinové nerovnoměrnosti:

$$k_h = 1,22$$

$$k_{\min} = 0,6$$

3.5.6 Dovážené odpadní vody

Odpadní vody dovážené na ČOV byly vyhodnoceny dle podkladů za období roku 2021 a při přepočtu na celý kalendářní rok činí v průměru cca 0,55 % odpadních vod v přítoku na ČOV. Jedná se o velmi malé množství v poměru k množství přitékající odpadní vody. Jako významné se v některých závozech mohou jevit skládkové vody z akumulární jímky průsakových vod skládky Henčov, které v některých případech vykazují velmi vysoké znečištění organickými látkami a dusíkem (Obr. 25).

Tab. 24 Množství dovážených vod v letech v roce 2021.

dovozce:	m3/měsíc	m3/rok
Vlastní (převážně septiky, jímky)	650	7800
VAS, a.s. (převážně septiky jímky)	700	8400
Mobilní WC	15	180
Skládková voda - SMJ	650	7800
Skládková voda - ESKO-T	200	2400
CELKEM	2215	26580

Rok	Přítok ČOV (m ³ /rok)	Dovoz OV (m ³ /rok)	Dovoz OV (%)
2021	4 791 991	26580	0,55%

Stanovení	Jednotka	Výsledek	Stanovení	Jednotka	Výsledek
BSK ₅	mg/l	2200	BSK ₅	mg/l	2400
CHSK-Cr	mg/l	5600	CHSK-Cr	mg/l	3800
NL (105°C)	mg/l	46	NL (105°C)	mg/l	20
RL (105°C)	mg/l	11000	RL (105°C)	mg/l	8800
amoniakální dusík	mg/l	1700	amoniakální dusík	mg/l	1100
dusík celkový	mg/l	2300	dusík celkový	mg/l	1800
pH		7,8	pH		8,0
teplota vzduchu	°C	14,1	teplota vzduchu	°C	15,9
teplota vzorku	°C	16,7	teplota vzorku	°C	16,8

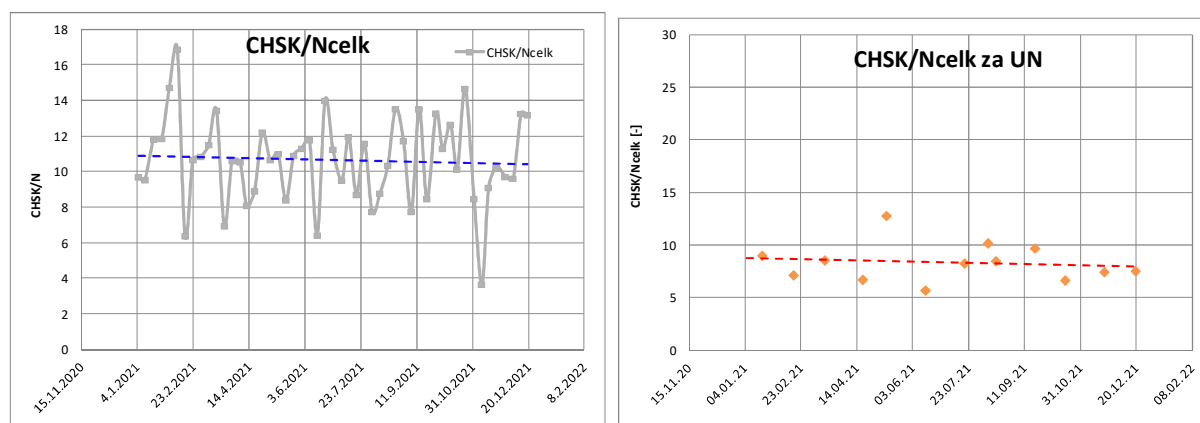
7.9.2021

23.9.2021

Obr. 25: Rozbory průsakových vod ze skládky Henčov.

4. Výpočtové parametry zatížení

Z hlediska přepočtu kapacity ČOV je nezbytné konkretizovat výpočtové parametry zatížení biologického stupně. Vývoj množství odpadních vod z dat průtoků ukazuje na dlouhodobou stagnaci. Z hlediska kvality odpadních vod jsou dostupná pouze data za rok 2021. Z hlediska denitrifikačního potenciálu odpadních vod je důležitý poměr CHSK/Ncelk (Obr. 26), který dosahuje v přítoku hodnoty 10,7 a za UN pak 8,3, což je stále vysoká hodnota vykazující vysoký denitrifikační potenciál.



Obr. 26 Znáznornění průběhu poměru CHSK k dusíkatému znečištění v celkovém přítoku a za UN.

V Tab. 25 jsou sumarizovány hodnoty zatížení v roce 2021 dle reálných měření. Pro toto období je provedena kalibrace a verifikace matematického modelu. Legislativní zatížení ČOV je dáno dle ČSN 75 6401 Tab. 1a, pozn. pod čarou 1), maximálním týdenním zatížením. Koeficient týdenní nerovnoměrnosti je stanoven statistickým vyhodnocením týdenních průtoků na úrovni hodnoty $k_{\text{týden}} = 1,23$, která je běžná pro aglomerace obdobné velikosti. Koeficient měsíční nerovnoměrnosti při percentilu 85 % vychází 1,13, a koeficient denní nerovnoměrnosti byl vyhodnocen na úrovni 1,31, což je v souladu s normovanými hodnotami. Tab. 26 ukazuje

zatížení při přepočtu na maximální týdenní zatížení dané koeficientem týdenní nerovnoměrnosti 1,23. Uvažovaný průtok je brán jako výpočtový (Q_v). Nejedná se tedy o bezdeštný průtok Q_{24} , tj. bezdeštné suché splašky, ale reálnou střední hodnotu hydraulického nátoků. Výpočtový průtok Q_v v sobě zahrnuje určitou rezervu v množství balastních vod neboť se jedná o vyhodnocení průtoků jako mediánů ze všech hodnot bez ohledu na deštné a bezdeštné dny. V návrhových ukazatelích znečištění na přítoku není zahrnuto explicitně znečištění v kalové vodě. To je kalkulováno zvlášť.

Tab. 25 Zatížení ČOV – (2021).

2021	Q_v	Surová odpadní voda		2021	Odpadní voda za UN		
13129	$m^3 d^{-1}$	188	$l EO^{-1} d^{-1}$	Účinnost UN	13129	$m^3 d^{-1}$	
Ukazatel	$mg.l^{-1}$	$kg.d^{-1}$	EO	%	$mg.l^{-1}$	$kg.d^{-1}$	EO
BSK ₅	320,0	4201	70 020	29,2%	226,5	2973	49 553
CHSK _{Cr}	780,0	10240	85 337	38,5%	480,0	6302	52 515
NL	310,0	4070	73 998	64,5%	110,0	1444	26 257
N-NH ₄	48,0	630	84 740	8,3%	44,0	578	69 224
N _c	71,0	932	84 740	18,3%	58,0	761	69 224
P _c	9,1	119	47 526	37,9%	5,6	74	29 536

Tab. 26 Zatížení ČOV – (2021, max. týden).

2021	$Q_{týden}$	Surová odpadní voda		2021	Odpadní voda za UN		
16092	$m^3 d^{-1}$	188	$l EO^{-1} d^{-1}$	Účinnost UN	16092	$m^3 d^{-1}$	
Ukazatel	$mg.l^{-1}$	$kg.d^{-1}$	EO	%	$mg.l^{-1}$	$kg.d^{-1}$	EO
BSK ₅	320,0	5149	85 822	29,2%	226,5	3644	60 736
CHSK _{Cr}	780,0	12551	104 595	38,5%	480,0	7724	64 366
NL	310,0	4988	90 698	64,5%	110,0	1770	32 183
N-NH ₄	48,0	772	103 864	8,3%	44,0	708	84 847
N _c	71,0	1143	103 864	18,3%	58,0	933	84 847
P _c	9,1	146	58 252	37,9%	5,6	91	36 202

Tab. 25 udává vyhodnocení zatížení a kvality odpadních vod v roce 2021, které bude použito pro výpočet maximální kapacity ČOV (poslední aktuální provozní rok). Tab. 26 pak ukazuje zatížení ČOV v maximálním týdnu. Od stavu roku 2021 jsou odvozeny zatěžovací parametry pro výpočet maximálního zatížení ČOV.

Tab. 27 Znečištění v kalové vodě – (2021).

$Q_{fug} = 93 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	kg d^{-1}	mg l^{-1}
CHSK	97,9	1050
BSK5	19,6	210
NL	14,0	150
Nc	96,5	1035
N-NH4	71,3	765
Pc	3,2	34
P-PO4*	1,9	20

*stanoveno odborným odhadem podle složení fugátu z mezofilního vyhnívání

Tab. 28 Výpočtové průtoky – rok 2021.

Průtoky		$\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$	$\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	l s^{-1}
Výpočtový denní přítok	Q_v	13129	547,0	152,0
Přítok balastních vod	Q_b	2626	109,4	30,4
Přítok denní přítok suchých splašků	Q_{24}	10503	437,6	121,6
Koeficient denní nerovnoměrnosti pro Q_{24}	k_d	1,31	-	-
Maximální denní přítok	Q_d	16385	682,7	189,6
Koeficient hodinové nerovnoměrnosti	k_h	1,22	-	-
Maximální hodinový přítok	$Q_{h,max}$	-	808,8	224,7
Maximální dešťový přítok do ČOV	$Q_{dešť}$	-	1411,2	392,0
Maximální dešťový přítok do biologie definovaný		-	1411,2	392,0
Maximální dešťový přítok do biologie dle ČSN		-	1256,0	348,9

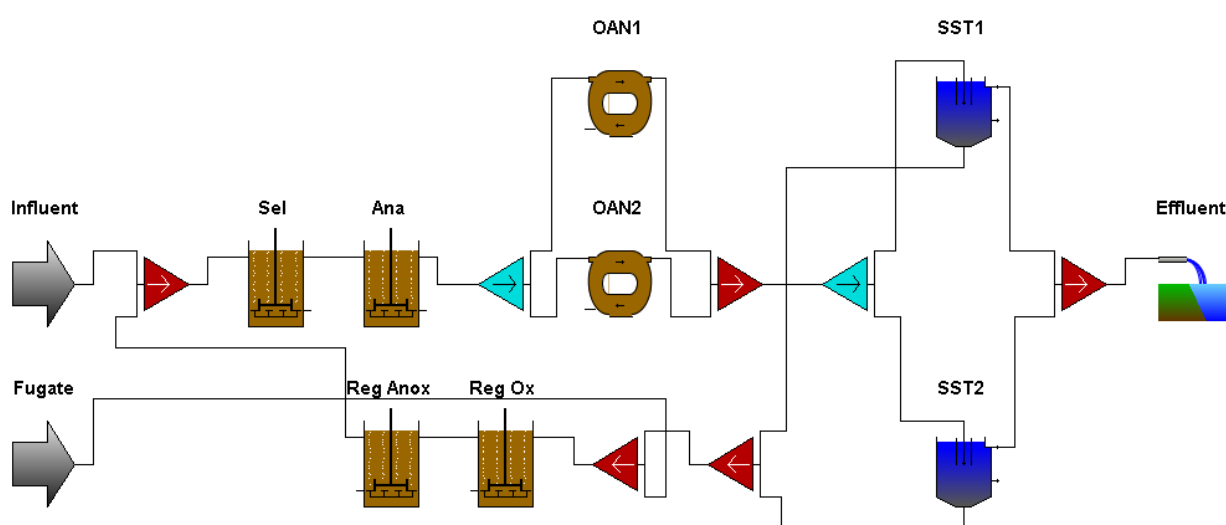
Množství balastních vod bylo nakalibrováno s ohledem na stav roku 2021, kdy vychází hodnota specifické produkce odpadních vod na úrovni 188 l / EO.d. Při specifické spotřebě vody 150 l / EO.d vychází množství balastních vod 109 $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$, což činí cca 20 % balastních vod v kanalizaci. Vypočtená hodnota byla konfrontována s výsledky záznamů na Parshallově žlabu, kde bylo stanoveno $k_{h,min} = 0,6$ odpovídající průtoku 330 $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$. Tato hodnota je logicky vyšší, neboť část splašků přitéká i v noci. Hodnotu lze případně upřesnit po konzultaci s provozovatelem.

Koeficient denní nerovnoměrnosti vztažený k hodnotě Q_{24} na úrovni $k_d = 1,31$ je převzat z měřených průtoků, stejně jako koeficient hodinové nerovnoměrnosti $k_h = 1,22$. Maximální přítok do biologické části systému pro posouzení dosazovacích nádrží je uvažován na úrovni 392 l s^{-1} podle původního projektu ČOV.

5. Technologické výpočty aktivačního procesu – stávající stav

Kalibrace a verifikace matematického modelu je realizována pro provozní stav období roku 2021. Následné technologické výpočty maximální kapacity jsou provedeny s kvalitou odpadních vod v roce 2021.

- Kalibrace a verifikace modelu – vstupní parametry dle roku 2021 (Tab. 25).
- Technologické výpočty – maximální zatížení - vstupní parametry dle roku 2021 (Tab. 25).



Obr. 27 Hydraulický layout konfigurace ČOV – aktuální stav.

5.1 Kalibrace matematického modelu

Pro výpočty bylo použito technologické schéma aktuálního zapojení ČOV. Kalibrace a verifikace modelu byla realizována na vyhodnocená data za období roku 2021. Výpočty byly provedeny pro simulaci ustáleného stavu. Frakcionace odpadní vody byla realizována pro profil přítoku odpadní vody za usazovací nádrží, jako rozhodujícího profilu nátoky na biologickou část systému. Proud kalové vody je do regenerace zaveden separátně. Vstupní údaje pro výpočty jsou sumarizovány v Tab. 29.

Tab. 29 Kvalita splaškové odpadní vody na přítoku PC a do aktivace PA – 2021.

Ukazatel	BSK ₅	CHSK	NL suš.	N-NH ₄	N _{celk}	P _{celk}
PC	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Hodnota	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Látkové zatížení	320,0	780,0	310,0	48,0	71,0	9,1
Hodnota	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹
PA	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹	mg·l ⁻¹
Hodnota	226,5	480,0	110,0	44,0	58,0	5,6
Látkové zatížení	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹	kg d ⁻¹
Hodnota	2973,2	6301,8	1444,2	577,7	761,5	73,8

Tab. 30 Parametry průtoku a aktivovaného kalu - 2021.

Přítok splaškových vod	m ³ ·d ⁻¹	13 129
Kalový index	ml·g ⁻¹	135
Sušina kalu v nitrifikaci / regeneraci	kg m ⁻³	4,7 / 9,0
Výpočtová teplota aktivace	°C	15
Stáří kalu (výpočetem z modelu)	d	68,2

Tab. 31 Srovnání reálných a modelovaných hodnot kvality odtoku - 2021.

Ukazatel	Jednotka	Reálná hodnota medián – 2021	Modelová simulace
BSK ₅	mg·l ⁻¹	3,0	1,1
CHSK	mg·l ⁻¹	37,0	37,6
NL	mg·l ⁻¹	4,0	4,1
N-NH ₄	mg·l ⁻¹	1,3	1,1
N-NO _x	mg·l ⁻¹	5,8	7,6
N _{celk}	mg·l ⁻¹	9,2	9,3
P _{celk}	mg·l ⁻¹	0,2	0,2*

*odstraňování procesem bio-P

[38] total suspended solids	:	4.071	g/m3
[38] total carbonaceous BOD5	:	1.051	gO2/m3
[38] total COD	:	37.56	gCOD/m3
[38] total nitrogen	:	9.26	gN/m3
[38] free and ionized ammonia	:	1.079	gN/m3
[38] nitrate and nitrite	:	7.559	gN/m3

Obr. 28 Výstup kalibrace matematického modelu SW GPS-X - 2021.

Tab. 31 udává srovnání měřených a modelovaných hodnot za uvedené období. Výsledky ukazují na uspokojivou kalibraci matematického modelu. Reálné odtokové koncentrace uhlíkatého i dusíkatého znečištění vykazují shodu s matematickým modelem. Model ukazuje mírně vyšší koncentrace N-NO_x, které jsou však u měřených hodnot nekompatibilní s ukazatelem Ncelk. Měřených hodnota N-NO_x bylo v roce 2021 pouze 11, zatímco Ncelk bylo 51. Proto součet N-NH₄ + N-NO_x + Norg nedává hodnotu Ncelk = 9,2 mg l⁻¹. U měřených hodnot chybí v bilanci 1,4 mg l⁻¹ N, který model vypočítává jako N-NO_x. Z reálných výsledků je zřejmé, že systém při T = 15 °C pracuje v oblasti stabilní nitrifikace a dosahuje velmi kvalitních odtokových parametrů. Nárazové zvýšení koncentrací N-NH₄ v odtoku je dáno pravděpodobně nevyrovanou kyslíkovou bilancí. Stáří kalu je velmi vysoké, na úrovni cca 68,2 dne. Obr. 28 ukazuje vypočtenou kvalitu odtoku.

5.2 Výpočet kapacity stávajícího aktivačního systému

Kapacita stávajícího aktivačního systému je dána kapacitou dosazovacích nádrží, které určují maximální provozní sušinu aktivovaného kalu a objemy nádrží aktivačních, z nichž je kalkulována celková zásoba kalu v systému. Do provozní sušiny kalu je nutné započítat i kal chemický, vzniklý při eliminaci fosforu. U aktivačních nádrží dále hraje roli instalovaná dodávka vzduchu, která ovlivňuje maximální kapacitu aktuálně instalovaného technologického vybavení.

5.2.1 Výpočet odstraňování fosforu v aktivačním procesu

Protože odstraňování fosforu probíhá biologickou cestou a je podpořeno přítokem železitých kalů z úpravny vod, jsou výpočty chemického simultánního srážení pouze hypotetické pro případ, že by se změnila situace s přítokem železitých kalů z úpravny, případně proces bio-P nebyl dostatečně účinný.

Přepočet procesu chemického srážení fosforu je realizován pro aktuální odtokovou koncentraci 0,2 mg l⁻¹ a rovněž pro legislativní limitní hodnotu 1 mg l⁻¹ dle vodoprávního povolení. Pro maximální zatížení je pak uvažována odtoková koncentrace Pcelk v souladu se stávajícím povolením na úrovni 1,0 mg l⁻¹, a je brána v úvahu i horní hranice intervalu 0,2 - 0,8 mg l⁻¹ Pcelk

podle návrhu novely NV č. 401/2015 Sb. Rovněž je počítáno s obvyklým molárním poměrem Fe : P = 1,5. Podmínkou splnění odtokových parametrů je dostatečná kapacita a bezproblémová funkčnost dosazovacích nádrží, aby byl minimalizován výnos NL do odtoku. Každých 10 mg l⁻¹ NL v odtoku obsahuje 0,1 – 0,2 mg l⁻¹ Pcelk (podle aktuální funkčnosti procesu bio-P a obsahu P v kalu). Výpočet případné dávky síranu železitého pro maximální kapacitu ČOV a odtokovou koncentraci Pcelk na úrovni 1,0 mg l⁻¹ udává spotřebu cca 793 kg d⁻¹ 40%-ního FeSO₄ při molárním poměru 1,5. Pokud by mělo být dosaženo aktuální odtokové hodnoty 0,2 mg l⁻¹, bylo by zapotřebí 1047 kg d⁻¹ 40%-ního FeSO₄ (Tab. 32). Produkce chemického kalu by tak přispívala ke koncentraci kalu při stávajících provozních podmínkách cca 0,8 – 1,0 kg m⁻³ chemického kalu. Obdobně jsou provedeny výpočty pro maximální vypočtené zatížení aktivace 86 667 EO₆₀.

Tab. 32: Výpočet procesu chemické eliminace sloučenin fosforu.

Ukazatel		2021	2021	Maximum 86 667 EO ₆₀	
	jednotka	reálný odtok	limit dle Povolení	limit dle novely	limit dle Povolení
Výpočtový denní přítok	m ³ ·d ⁻¹	13 129	13 129	22 958	22 958
Koncentrace P v přítoku včetně kalové vody	mg·l ⁻¹	5,8	5,8	5,8	5,8
Požadované koncentrace fosforu v odtoku	mg·l⁻¹	0,2	1,0	0,8	1,0
Koncentrace NL v odtoku	mg·l ⁻¹	4,0	4,0	5,5	5,5
Obsah P v NL v odtoku	%	1,0	1,0	1,0	1,0
Skutečná koncentrace fosforu v odtoku	mg·l ⁻¹	3,5	3,5	3,5	3,5
Molární poměr Fe:P	-	1,50	1,50	1,50	1,50
Dávka železa	kg·d ⁻¹	117,0	88,6	166,4	154,0
Hmotnostní množství Fe ₂ (SO ₄) ₃	kg·d ⁻¹	418,8	317,2	595,6	551,2
Objemové množství 40% ního Fe ₂ (SO ₄) ₃	m ³ ·d ⁻¹	0,671	0,508	0,955	0,883
Hmotnostní množství 40% ního Fe ₂ (SO ₄) ₃	kg·d ⁻¹	1047,1	792,9	1489,1	1378,0
Specifická dávka 40% ního Fe ₂ (SO ₄) ₃	g·m ⁻³	79,8	60,4	64,9	60,0
Produkce chemického kalu	kg·d ⁻¹	290,1	219,7	412,5	381,7

5.2.2 Výpočet kapacity dosazovacích nádrží

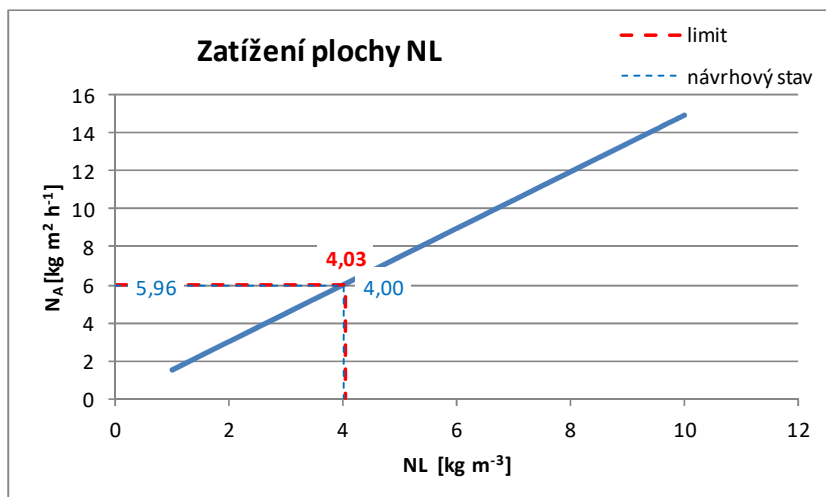
Výpočet je proveden pro max. dešťový průtok 392 l s⁻¹ a dvojici nádrží o průměru 30 m s hloubkou 5,0 m u stěny, tj. 5,4 m ve 2/3 od středu při sklonu dna 8 %. Výpočet je proveden pro

maximální doporučenou hodnotu provozní koncentrace kalu v aktivacích na úrovni $4,0 \text{ kg m}^{-3}$ a maximální doporučenou hodnotu $KI = 180 \text{ ml g}^{-1}$ (viz ČSN 75 6401). Nádrže vyhovují hloubkou. Plochou vyhovují pro průtok recirkulace kalu za deště do 176 l s^{-1} (Obr. 29). Nad tuto hodnotu je již překročeno zatížení plochy $NL 6 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Tato hodnota recirkulace kalu za deště je přijatelná v případě výpočtu z minimální koncentrace kalu za deště X_{min} . Doporučení podle ATV vyžaduje instalovat výrazně vyšší recirkulaci VK za deště, ale v tom případě již nevychází plochy dosazovacích nádrží. Nicméně výpočet podle ATV je velmi konzervativní. Na Obr. 29 je znázorněn stav pro výpočet zatížení plochy NL a provozní sušinu kalu $4,0 \text{ kg m}^{-3}$. Pro další výpočty maximální kapacity bude počítáno s provozní sušinou kalu na úrovni $4,0 \text{ kg m}^{-3}$. Vyšší recirkulace kalu za deště by bylo možno uplatnit při snížení provozní sušiny kalu v aktivaci (možné řešení s ohledem na vysokou provozní hodnotu stáří kalu), případně při snížení $Q_{dešť}$ na biologii, což se nejeví jako reálné, neboť maximální dešťový přítok do biologie na úrovni $2 \times Q_d - Q_b$ vychází 349 l s^{-1} pro aktuální hydraulický nátok.

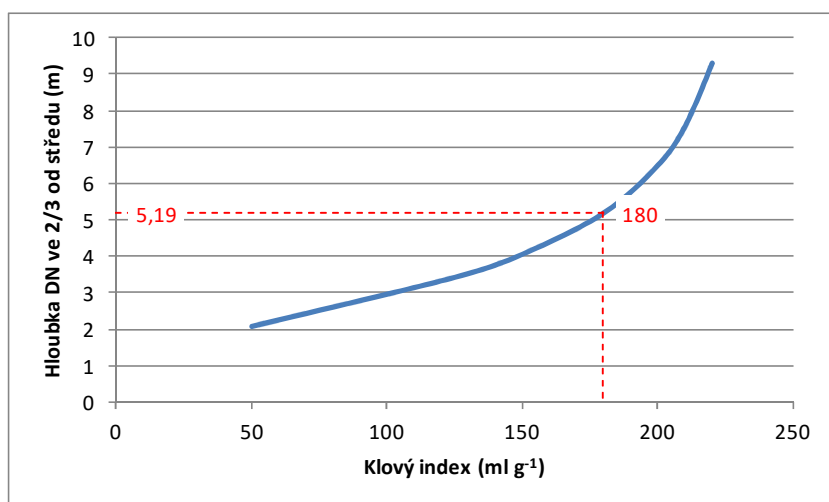
Tab. 33 Přepočet kapacity dosazovacích nádrží.

Kruhová					
Počet nádrží	n	-	2		
Průměr dosazovací nádrže	DN	m	30,0		
Separální plocha dosazovací nádrže	A	m^2	1373,8		
Plocha vtokové části dosazovací nádrže	AA	m^2	39,3		
Hloubka vody u stěny	H0	m	4,79		
Hloubka vody ve 2/3 od středu	H2/3	m	5,19		
Hloubka vody ve středu	H1	m	5,99		
Sklon dna	S	%	8%		
Objemové zatížení kalu	qSV	$\text{l m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	437	ATV	450
Hydraulické zatížení plochy	qA	m h^{-1}	1,03	ČSN	1,6
Zatížení plochy NL	Na	$\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$	5,96	ČSN	5-6

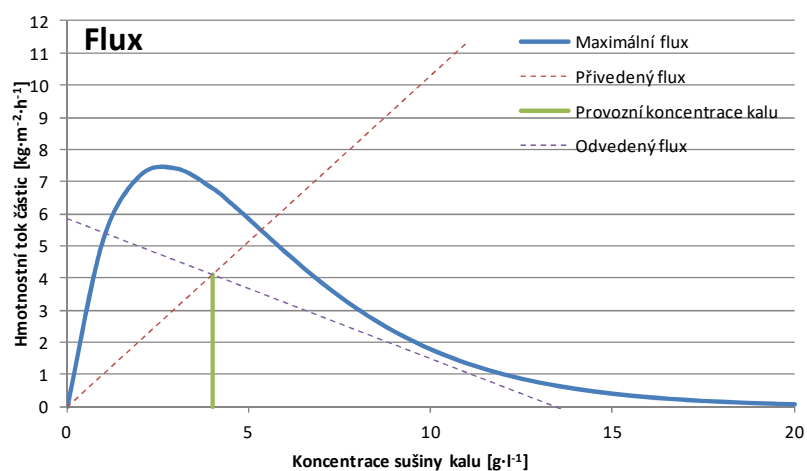
Dostatečnou kapacitu dosazovacích nádrží pro výše uvažované parametry potvrzuje i posouzení dle teorie hmotnostního toku částic (Obr. 31). Je zřejmé, že pro limitní hodnotu NL na úrovni $4,0 \text{ kg m}^{-3}$ při návrhovém kalovém indexu 180 ml g^{-1} jsou nádrže dostatečně kapacitní. Separální stupeň je považován za kapacitní v případě, kdy je průsečík vzestupné a sestupné přímky pod čarou maximálního fluxu a sestupná přímka ve směru vpravo od průsečíku pod čarou maximálního fluxu.



Obr. 29 Výpočet limitní koncentrace kalu z hlediska zatížení plochy NL.



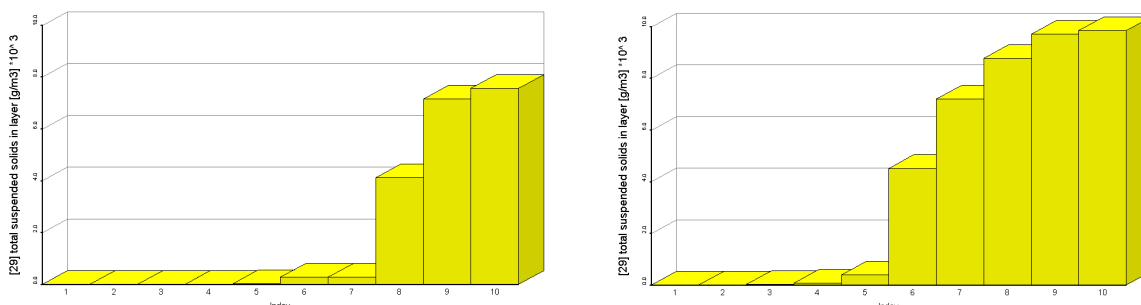
Obr. 30 Posouzení hloubky DN pro $KI = 180 \text{ ml g}^{-1}$ a $X = 4,0 \text{ kg m}^{-3}$.



Obr. 31 Posouzení separačního stupně dle teorie hmotnostního toku částic pro $X = 4,0 \text{ kg m}^{-3}$.

Výše uvedené výpočtové postupy dle ČSN, případě ATV, v sobě nezahrnují konstrukční vlivy nádrží, neboť posouzení probíhá pouze na základě plochy a hloubky nádrží, případě hodnoty KI a koncentrace sušiny kalu. Přesnější výpočet byl proto realizován na matematické modelu, který umožňuje zadat tvar nádrže ohledně hloubek a sklonu dna.

Kruhové dosazovací nádrže vykazují i při zvýšených hodnotách kalového indexu dostatečnou kapacitu, což je nejlépe patrné na modelové situaci, kdy je znázorněn profil NL v dosazovacích nádržích (Vrstva 1 – hladina, Vrstva 10 – dno). Ilustrační příklad výpočtu pro $KI = 180 \text{ ml g}^{-1}$ (Obr. 32). Vlevo je znázorněn stav běžného průtoku, vpravo pak stav po 12 hod. přítoku dešťového maxima na úrovni 392 l s^{-1} .



Obr. 32 Profil NL v dosazovací nádrži pro $KI = 180 \text{ ml g}^{-1}$, $X = 4,0 \text{ g l}^{-1}$ (vlevo) a po 12 hod. Q_{\max} (vpravo).

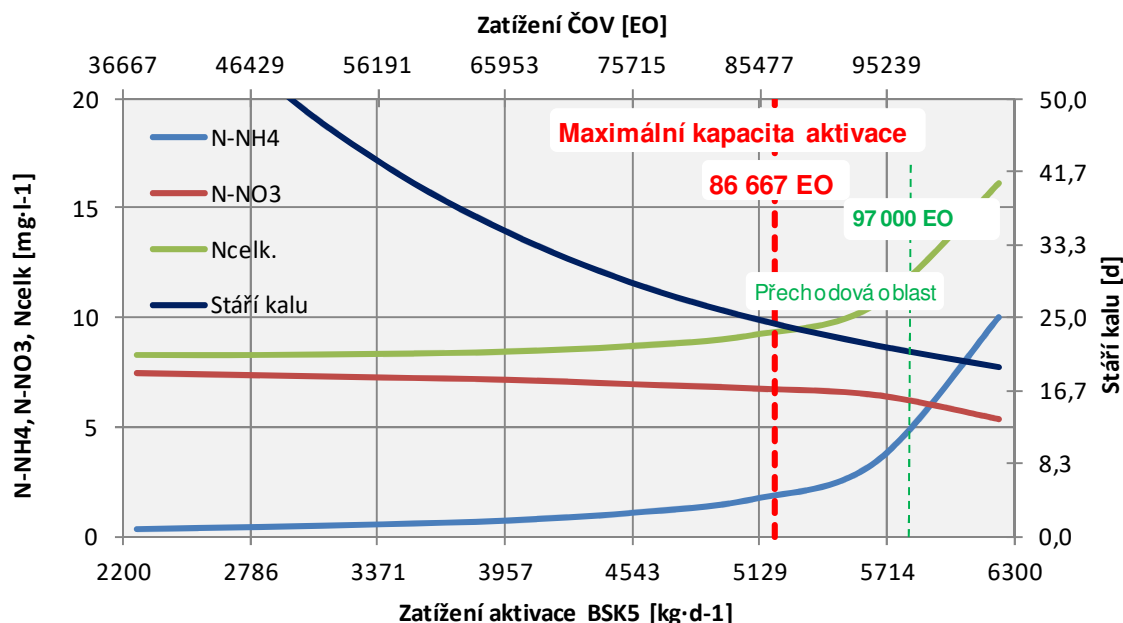
5.2.3 Výpočet maximální objemové kapacity aktivačních nádrží

Pro danou limitní koncentraci sušiny kalu $4,0 \text{ kg m}^{-3}$ byla vypočtena závislost stability nitrifikace na stáří kalu při minimální výpočtové teplotě $9 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Z Obr. 33 je možno odečíst, že ke ztrátě nitrifikace v systému dochází při zatížení aktivace na úrovni $86\,667 \text{ EO}_{60}$ při stáří kalu okolo 23,8 dne. Za stabilní lze systém považovat, pokud odtoková koncentrace N-NH_4 nepřesáhne hodnotu 2 mg l^{-1} . Tato koncentrace je rovněž limitní pro ukazatel N-NH_4 podle návrhu novely NV č. 401/2015 Sb. Aktuální zatížení aktivace, které v roce 2021 dosáhlo $49\,553 \text{ EO}_{60}$ je výrazně pod maximální objemovou kapacitou aktivačního systému, který je schopen nitrifikace i při teplotách aktivace okolo $9 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Přechodová oblast s již velmi nestabilní nitrifikací při minimálních výpočtových teplotách dosahuje kapacity aktivace cca $97\,000 \text{ EO}_{60}$. Hodnota N_{celk} na odtoku však již přesahuje 10 mg l^{-1} , což je opět limit podle návrhu novely NV č. 401/2015 Sb., i když v ročním průměru.

Výše uvedený výpočet znázorňuje maximální kapacitu aktivačních biologických nádrží. Maximální kapacitu ČOV je nutno zpětně přepočítat s ohledem na účinnost usazovacích nádrží, přičemž je uvažována dosažená průměrná účinnost v roce 2021, která na BSK_5 dosahovala $29,2 \%$.

Maximální kapacita aktivace:	86 667 EO ₆₀
Maximální kapacita ČOV:	122 411 EO ₆₀
Maximální kapacita ČOV dle max. týdenního zatížení:	150 036 EO ₆₀



Obr. 33 Výpočet maximální objemové kapacity aktivačních nádrží – min. T = 9 °C.

5.3 Výpočet technologických parametrů aktivačního systému

Přepočet základních technologických parametrů je realizován pomocí matematického modelu pro stávající zatížení (2021) a maximální zatížení 86 667 EO₆₀ (Tab. 34, Tab. 35).

Tab. 34: Hydraulické doby zdržení a kontaktu – stávající a maximální zatížení.

Hydraulické doby zdržení a kontaktu (v hod.)	rok 2021		Maximum	
	HRT	CT	HRT	CT
Celý systém	35,01	-	20,02	-
Hlavní proud	31,70	-	18,13	-
R-ox	-	2,24	-	1,51
R-anox	-	0,75	-	0,50
Sel	0,84	0,40	0,48	0,25
Ana	2,52	1,20	1,44	0,74
OAN	28,33	13,45	16,20	8,34

Tab. 35: Výpočet technologických parametrů – stávající a maximální zatížení.

Parametr	Jednotka	2021	Maximum
Zatížení ČOV v EO dle BSK5	EO ₆₀	70020	122411
Zatížení aktivace v EO dle BSK5	EO ₆₀	49553	86667
Zatížení aktivace BSK5	kg d ⁻¹	2973	5199
Zatížení aktivace CHSK	kg d ⁻¹	6302	11020
Hydraulické zatížení	m ³ d ⁻¹	13129	22958
Hydraulické zatížení	m ³ s ⁻¹	0,15	0,27
Množství fugátů čištěných v procesu	m ³ d ⁻¹	93,00	163,00
Objem aktivace	m ³	19150	19150
Objem R-ox	m ³	1358	1358
Objem R-anox	m ³	453	453
Objem Sel	m ³	460	460
Objem Ana	m ³	1380	1380
Objem OAN	m ³	15500	15500
Výpočtová teplota	°C	15,0	9,0
Koncentrace biomasy v aktivaci	kg m ⁻³	4,7	4,0
Koncentrace biomasy v R	kg m ⁻³	9,0	8,3
Koncentrace biomasy ve vratném kalu DN	kg m ⁻³	9,0	8,3
Hodnota kalového indexu	ml g ⁻¹	135	180
Recirkulační poměr DN	-	1,10	0,93
Hydraulická doba zdržení celý systém	h	35,0	20,0
Hydraulická doba zdržení hlavní proud	h	31,7	18,1
Stáří kalu	d	68,2	23,8
Zásoba kalu v systému	kg	97788	84383
Produkce kalu	kg d ⁻¹	1434	3546
Koncentrace kyslíku v N zónách	mg l ⁻¹	2,0	2,0
Koncentrace kyslíku v R zóně	mg l ⁻¹	1,0	1,0
Objemové zatížení BSK5 (celý systém)	kg m ⁻³ d ⁻¹	0,155	0,271
Objemové zatížení BSK5 (hlavní proud)	kg m ⁻³ d ⁻¹	0,171	0,300
Zatížení kalu BSK5 (celý systém)	kg kg ⁻¹ d ⁻¹	0,030	0,062
Zatížení kalu BSK5 (hlavní proud)	kg kg ⁻¹ d ⁻¹	0,036	0,075
Zatížení kalu CHSK (celý systém)	kg kg ⁻¹ d ⁻¹	0,064	0,131
Zatížení kalu CHSK (hlavní proud)	kg kg ⁻¹ d ⁻¹	0,077	0,159
Zatížení kalu N (celý systém)	kg kg ⁻¹ d ⁻¹	0,008	0,016
Zatížení kalu N (hlavní proud)	kg kg ⁻¹ d ⁻¹	0,009	0,019
Typ systému	zatížení	nízké	nízké

Obr. 34 ukazuje vypočtenou kvalitu odtoku při nejméně příznivé minimální teplotě 9 °C pro systém pracující s maximálním zatížením a při *steady-state* simulaci (technologické parametry viz Tab. 35). Je nutno počítat, že v reálném dynamickém stavu budou odtokové parametry mírně horší než výpočet při *steady-state* simulaci.

[38] total suspended solids	:	5.479	g/m ³
[38] total carbonaceous BOD5	:	2.891	gO ₂ /m ³
[38] total COD	:	39.64	gCOD/m ³
[38] total nitrogen	:	9.373	gN/m ³
[38] free and ionized ammonia	:	1.96	gN/m ³
[38] nitrate and nitrite	:	6.659	gN/m ³

Obr. 34 Výstup kvality odtoku – T = 9°C, steady - state.

Podle připravované novely NV ČR č. 401/2015 Sb. (Tab. 1) by měly průměrné odtokové koncentrace za kalendářní rok dosahovat v ukazatelích N-NH₄ = 2 mg l⁻¹ a Ncelk = 10 mg l⁻¹. U ukazatele Pcelk je definováno poměrně široké rozpětí 0,2 – 0,8 mg l⁻¹, kde minimální hodnoty 0,2 mg l⁻¹ dle tohoto intervalu je dlouhodobě obtížné dosáhnout bez terciárního stupně srážení. Maximální hodnoty 0,8 mg l⁻¹ lze dosáhnout simultánním srážením a aktuálně je i s pomocí procesu bio-P již dosahováno.

5.4 Výpočet potřeby kyslíku a vzduchu

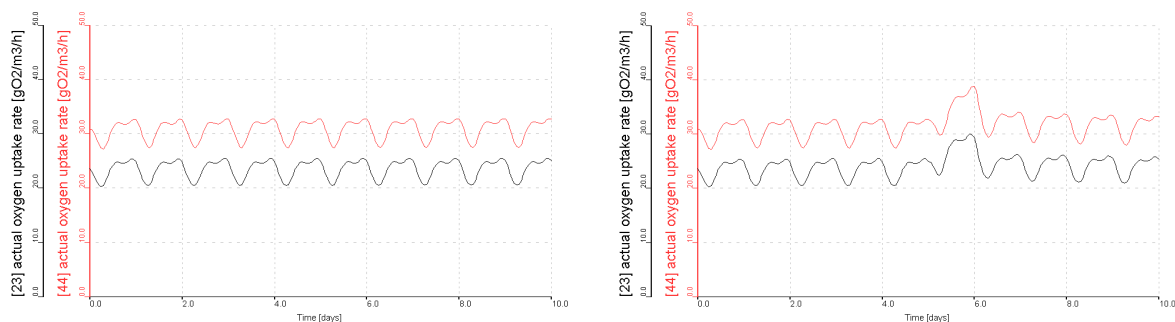
Výpočet potřeby kyslíku a vzduchu je proveden pro odpovídající výpočtové zatížení dle výpočtového průtoku Q_v a Q_d, daného koeficientem k_d = 1,31. Výpočty jsou realizovány při max. teplotě aktivace 22 °C. Výpočet vychází z výsledků steady-state simulace při Q_v a Q_d, ze které jsou získány hodnoty OUR (Oxygen Uptake Rate). Ty jsou následně přepočteny na hodnoty OC_p, OC_{st} a Q vzduchu. Výpočet je doplněn hodnotami objemové intenzity aerace I_v, aby bylo možno posoudit, zda v nádržích dochází k dostatečnému míchání aktivční směsi. Hodnota I_v by měla vždy dosahovat hodnot nad 0,5 m³·m⁻³·h⁻¹. Výpočet je proveden vždy při výpočtové koncentraci sušiny kalu, případně vč. chemického, v aktivaci 4 kg·m⁻³. Pro výpočet OC_{st} a množství vzduchu jsou vždy uvažovány následující hodnoty:

teplota aktivace	22 °C
hloubka vody v aktivaci R / N	4,0 / 7,0 m
hloubka ponoru aeračních elementů aktivaci R / N	3,75 / 6,75 m
výpočtová koncentrace rozpuštěného kyslíku R / N	1,0 / 2,0 mg·l ⁻¹
koef. alfa	0,70
koef. beta	0,95
specifické využití kyslíku ze vzduchu	5,0 %/m
faktor nadmořské výšky (cca 525 m n.m.)	0,939

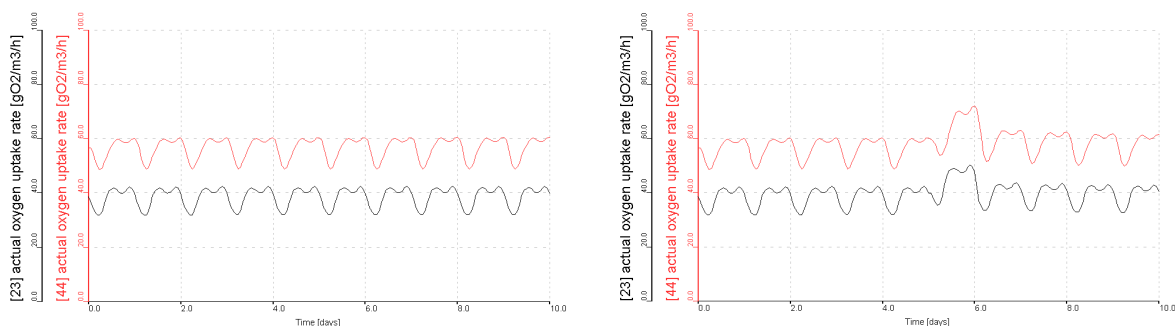
Všechny uváděné průtoky vzduchu jsou kalkulovány při standardních podmínkách v souladu s TNV 75 6613 - Navrhování aeračních systémů čistíren odpadních vod - Pneumatická aerace.

Tab. 36 Výpočet potřeby kyslíku a vzduchu, rok 2021 (22 °C).

22 °C	Q _v			Q _d		
	R	N	Celkem	R	N	Celkem
OCp	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹
průměr	1009	5277	6286	1125	5990	7115
maximum	1069	5687	6755	1263	6689	7942
minimum	895	4578	5480	972	5005	5978
OCst	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
průměr	1746	10594	12340	1946	12026	13973
maximum	1849	11417	13266	2186	13428	15595
minimum	1549	9191	10752	1683	10049	11731
Qvz	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
průměr	1386	4671	6057	1545	5303	6847
maximum	1468	5034	6502	1735	5921	7646
minimum	1229	4053	5291	1335	4431	5766
Iv	m ³ /m ³ .h	m ³ /m ³ .h		m ³ /m ³ .h	m ³ /m ³ .h	
průměr	1,02	0,50	-	1,14	0,57	-
maximum	1,08	0,54	-	1,28	0,64	-
minimum	0,91	0,44	-	0,98	0,48	-



Obr. 35 Vypočtené hodnoty OUR v reaktorech N pro Q_v a Q_d, rok 2021, dynamický stav.



Obr. 36 Vypočtené hodnoty OUR v reaktorech N pro Q_v a Q_d, maximální zatížení, dynamický stav.

Označení profilů v Obr. 35 a Obr. 36:

[23] nitrifikace, [44] regenerace

Tab. 37 Výpočet potřeby kyslíku a vzduchu, maximální zatížení (22 °C).

22 °C	Q _v			Q _d		
	R	N	Celkem	R	N	Celkem
OCp	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹	kg·d ⁻¹
průměr	1851	8618	10469	2079	9946	12025
maximum	1969	9471	11408	2351	11211	13498
minimum	1592	7141	8733	1750	7877	9679
OCst	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d
průměr	3204	17301	20505	3598	19968	23566
maximum	3407	19013	22367	4068	22508	26465
minimum	2755	14337	17092	3029	15815	18933
Qvz	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
průměr	2543	7628	10171	2856	8804	11660
maximum	2704	8383	11045	3229	9924	13065
minimum	2186	6321	8508	2404	6973	9448
Iv	m ³ /m ³ .h	m ³ /m ³ .h		m ³ /m ³ .h	m ³ /m ³ .h	
průměr	1,87	0,82	-	2,10	0,95	-
maximum	1,99	0,90	-	2,38	1,07	-
minimum	1,61	0,68	-	1,77	0,75	-

Výpočty jsou provedeny vždy pro kontinuální aeraci při maximální výpočtovou teplotě aktivace, která je na úrovni 22 °C. Obr. 35 znázorňuje ukázkou vypočtených hodnot OUR v reaktorech nitrifikace při 10ti-denní simulaci pro výpočtový průtok Q_v. Obr. 36 pak znázorňuje výpočet při maximálním zatížení 86 667 EO₆₀. Výpočtu potřeby vzduchu při maximálním denním zatížení je proveden způsobem, kdy 5. den provozu je v modelu zvýšen přítok na hodnotu Q_d a následně 6. den je tento přítok opět snížen na hodnotu Q_v. Pro účely výpočtu potřeby kyslíku a vzduchu při maximálním denním zatížení je vyhodnocena reakce systému na zvýšené zatížení pouze v 5. den maximálního denního zatížení simulace. V Tab. 36 a Tab. 37 jsou sumarizovány výsledky výpočtu OCp, OCst a množství vzduchu Qvz pro stávající zatížení roku 2021 a maximální vypočtenou kapacitu ČOV.

Poznámka: V případě provozu systému s přerušovanou aerací je nutno kalkulovat, že shodné hmotnostní množství kyslíku (vzduchu) na odstranění stejného hmotnostního množství znečištění je nutné do systému dodat za kratší časový úsek. Např. pro provoz, kdy 1/3 doby je fáze bez provzdušňování a 2/3 doby aerace probíhá (např. 1 hod. anox a 2 hod ox) je požadavek na aktuální dodávku vzduchu o 50 % vyšší oproti kontinuálnímu provzdušňování.

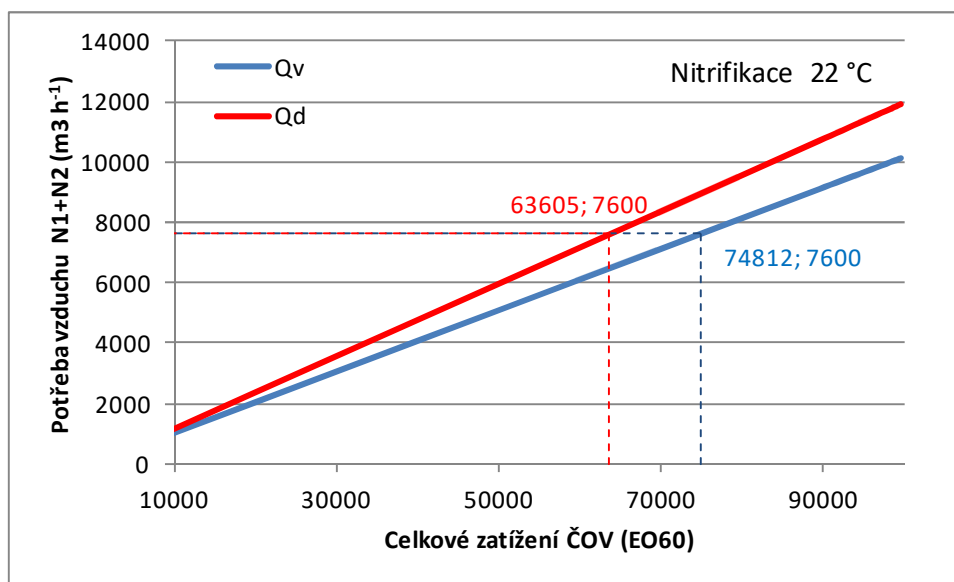
Dmychadla pro stávající střední zatížení při maximálních letních teplotách musí zabezpečit následující maximální dodávky vzduchu:

Zatížení - rok 2021		Q_v	Q_d
Regenerace	Celkem	1 467 m ³ h ⁻¹	1 735 m ³ h ⁻¹
Nitrifikace	Celkem	5 034 m ³ h ⁻¹	5 921 m ³ h ⁻¹

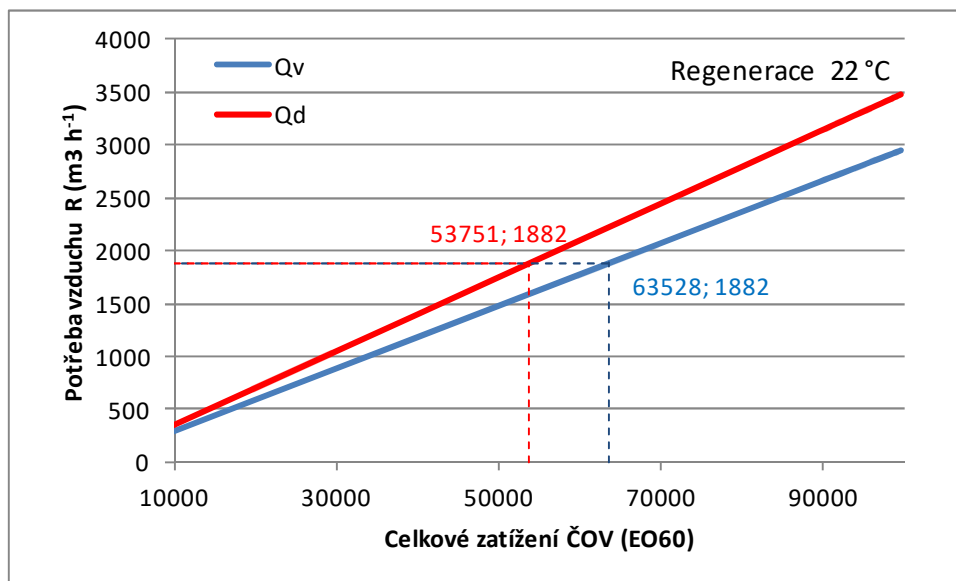
Z výpočtů při porovnání se stávající instalovanou kapacitou dmychadel, která činí 1 882 m³ h⁻¹ vzduchu do regenerace a 2× 3800 m³ h⁻¹ do nitrifikace, je zřejmé, že dodávka při zatížení odpovídající roku 2021 bude dostačující.

Pokud provedeme přepočet kapacity aeračního systému / dmychadel s ohledem na maximální vypočtené zatížení objemové kapacity aktivačních nádrží, tj. 86 667 EO₆₀, je zřejmé, že instalovaná kapacita dodávky vzduchu již není dostačující při výpočtovém průtoku Q_v ani Q_d . Obr. 37 a Obr. 38 znázorňují orientační přepočet maximálního možného zatížení aktivace se stávající instalovanou kapacitou dmychadel při Q_v a Q_d .

Zatížení aktivace, max 52 917 EO ₆₀		Q_v	Q_d
Regenerace	Celkem	2 704 m ³ h ⁻¹	3 229 m ³ h ⁻¹
Nitrifikace	Celkem	8 383 m ³ h ⁻¹	9 924 m ³ h ⁻¹



Obr. 37 Výpočet kapacity ČOV s ohledem na aktuální kapacitu aerace v nitrifikačních reaktorech.



Obr. 38 Výpočet kapacity ČOV s ohledem na aktuální kapacitu aerace v regeneračních reaktorech.

5.5 Kalové hospodářství

Pro účely orientačního posouzení kapacity kalového hospodářství byla provedena bilance produkce a zpracování kalů. Do bilance nejsou započítány dovážené kaly, neboť informace o jejich dovozech nebyla k dispozici. Z odstraněného podílu organických látek při předpokladu ZŽ primárního kalu na úrovni 76,4 % byla vypočtena redukce kalu ve VN na úrovni cca 13,7 %. Tab. 38 a Tab. 39 ukazují produkce primárního kalu a přebytečného kalu z biologické linky. Tab. 40 pak kalkuluje celkovou bilanci zpracovávaných kalů.

Tab. 38: Výpočet produkce primárního kalu.

Profil	Jednotka	rok 2021	Maximum
Přítok celkový NL	mg l ⁻¹	310,0	310,0
Přítok aktivace NL	mg l ⁻¹	110,0	110,0
Rozdíl NL	mg l ⁻¹	200,0	200,0
Q přítok	m ³ d ⁻¹	13129	22958
Primární kal (sušina)	kg d⁻¹	2626	4592

Tab. 39: Výpočet produkce sekundárního kalu.

Profil	Jednotka	rok 2021	Maximum
Stáří kalu	d	68,2	23,8
Zásoba kalu v systému	kg	97 788	84383
Produkce kalu (sušina)	kg d ⁻¹	1 434	3 546
Odtoková koncentrace NL	mg l ⁻¹	3	6
Množství NL v odtoku	kg d ⁻¹	39	138
Přebytečný kal (sušina)	kg d⁻¹	1 394	3 408

Tab. 40: Výpočet bilance zpracování kalů.

Kal	rok 2021		Maximum	
	kg d ⁻¹	t rok ⁻¹	kg d ⁻¹	t rok ⁻¹
Primární kal	2626	958	4592	1676
Sekundární biologický kal	1394	509	3408	1244
Dovážené kaly	0	0	0	0
Celkem	4020	1467	7999	2920
Redukce ve VN (výpočet ze ZŽ)	31,7 %		33,0 %	
Redukce ve VN	1274	465	2640	964
Produkce vyhnílého kalu CELKEM	2 746	1 002	5 360	1 956

Protože ne všechna provozní data jsou zcela konzistentní, je posouzena kapacita vyhnívacích nádrží na základě vypočtené bilance kalu ze zatížení systému. Proto je tento přepočet nutno brát pouze jako orientační.

Tab. 41: Bilance parametrů vyhnívacích nádrží.

	Jednotka	rok 2021	Maximum
Primární kal	kg suš d ⁻¹	2626	4592
Organický podíl PK	76,4 %	2006	3508
Sekundární kal	kg suš d ⁻¹	1394	3408
Organický podíl SK (2021 / max)	73 % / 77%	1018	2624
Celkem směsný kal	kg suš d ⁻¹	4020	7999
Organický podíl směsný kal	kg Xorg d ⁻¹	3024	6132
Směsný kal ZŽ	%	75,2	76,7
Vyhníly kal ZŽ	%	61,5	61,5
Celkem org podíl do VN	kg Xorg d ⁻¹	3024	6132
Celkem org podíl z VN	kg Xorg d ⁻¹	1689	3296
Celkem odstraněný org. podíl	kg Xorg d ⁻¹	1335	2836
Specifická produkce na Xorg přivedených		0,60	0,60
Produkce bioplynu	m ³ d ⁻¹	1814	3679
Objem VN požadovaný	m ³	3024	6132
Zatížení VN požadované	kg Xorg m ⁻³ .d ⁻¹	1,00	1,00
Objem VN skutečný	m ³	1960	1960
Zatížení VN	kg Xorg m⁻³.d⁻¹	1,54	3,13
Objem VN I. st	m ³	980	980
Zatížení VN I. st.	kg Xorg m ⁻³ .d ⁻¹	3,09	6,26
Produkce vyhnílého kalu CELKEM	kg suš d ⁻¹	2746	5360
Redukce kalu ve VN		31,7%	33,0%

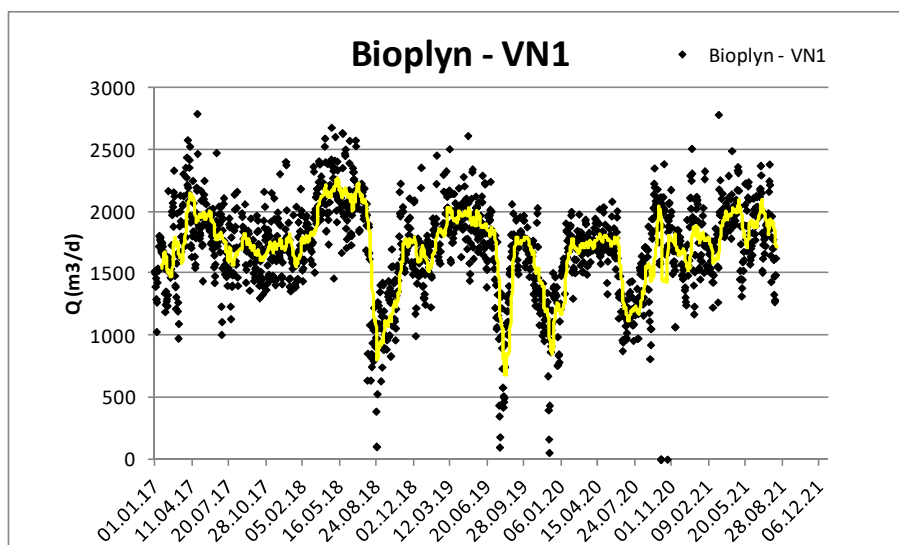
Produkce vyhnílého kalu v roce 2021 dosáhla cca 1000 t sušiny kalu, což znamená redukci množství kalu ve VN o 31,7 %. Rovněž měřená průměrná produkce bioplynu 1851 m³ d⁻¹

odpovídá vypočtené ($1814 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$) při použití běžné hodnoty specifické produkce bioplynu na přivedené organické zatížení VN na úrovni 0,6 (mezofilní vyhnívání) (Tab. 42, Obr. 39). Pro výhled je počítáno s mírně vyšší redukcí kalu ve VN (33 %) z důvodu jejich nižšího zatížení po zkapacitnění kalového hospodářství dostavěným dalšího objemu vyhnívacích nádrží..

Tab. 42: Produkce bioplynu.

Rok	Q bioplyn ($\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$)	
	průměr	medián
2017	1 750	1 738
2018	1 756	1 814
2019	1 622	1 734
2020	1 606	1 728
2021	1 851	1 861

Q bioplyn ($\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$)	
2017 - 2021	
Počet	1 790
Průměr (\bar{X})	1 704
Medián	1 743
Minimum	0
Maximum	2 793



Obr. 39 Produkce bioplynu.

Výpočet zatížení vyhnívacích nádrží ukazuje, že stávající VN jsou s ohledem na srovnání s běžnými návrhovými parametry zatížení organickými látkami na úrovni $0,5 - 1,5 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ na hraně své kapacity ($1,54 \text{ kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$). Ačkoliv lze pro posouzení kapacity vyhnívacích nádrží použít i jiná kritéria, je zřejmé, že pro výhledový stav vyhnívací nádrže nedisponují dostatečnou kapacitou.

6. Závěr

Výsledkem technické zprávy / studie je zpracování technologických výpočtů aktuální kapacity ČOV Jihlava s ohledem na současnou kvalitu odpadních vod a zatížení ČOV. Studie vychází z aktuálního zatížení a funkce ČOV a je řešena ve dvou základních krocích:

1. Podrobné vyhodnocení množství a kvality odpadních vod a funkčnosti stávajícího aktivačního systému v období 2017 – 2021, resp. 2021.
2. Technologické výpočty kapacity ČOV pro jednotlivé základní funkční celky.

V rámci technické zprávy / studie jsou zpracována a vyhodnocena provozní data z ČOV, realizovány technologické výpočty na matematickém modelu za účelem výpočtu maximální kapacity ČOV, tj. provedeny výpočty dosazovacích nádrží, aktivačních nádrží a kapacity dodávky vzduchu. Součástí je i orientační výpočet kapacity kalového hospodářství. Výsledky technické zprávy / studie lze shrnout do následujících bodů:

- (1) Podle vyhodnocení provozních dat posledního roku 2021 bylo zatížení ČOV Jihlava na úrovni 70 020 EO_{60} při středním průtoku odpadních vod 13 129 $m^3 d^{-1}$. Maximální týdenní zatížení, podle kterého se kategorizuje ČOV, činilo 85 822 EO_{60} . Zatížení aktivace (biologické linky) bylo v roce 2021 na úrovni 49 553 EO_{60} . Účinnost usazovací nádrže vychází v souladu s ČSN v ukazatelích organického znečištění. U N_{celk} a P_{celk} je vyšší. Je zřejmé, že k odstraňování P_{celk} na UN (účinnost 38 %) přispívá srážení fosforu vypouštěnými železitými kaly z úpravny vod. Specifická produkce odpadních vod v roce 2021 činila 188 l / $EO.d$. Pro danou aglomeraci to znamená množství balastních odpadních vod v kanalizaci nejméně na úrovni 20 %.
- (2) Dlouhodobý trend vývoje množství odpadních vod má stagnující tendenci, mírně ovlivněnou srážkovými úhrny. Dlouhodobý trend látkového zatížení nebyl vyhodnocen z důvodu absence provozních dat.

- (3) Dle vyhodnocených provozních dat v roce 2021 byla ČOV hydraulicky vytížena na 102 % projektové hodnoty. V ukazateli BSK₅ byla ČOV zatížena na 70 % , u ukazatele Ncelk na 85 % a v ukazateli Pcelk na 63 %.
- (4) Pro posouzení kapacity biologické aktivační linky je směrodatný údaj zatížení za usazovacími nádržemi. V tomto profilu je v ukazateli organického znečištění BSK₅ biologické linka zatížena v průměru na 65 % návrhové kapacity, u ukazatele Ncelk na 75 % a Pcelk 43 %.
- (5) Vyhodnocení provozních dat ukazuje, že stávající ČOV v průměru vykazuje velmi dobré odtokové parametry, vysokou účinnost odstraňování dusíku, fosforu a uhlíkatého znečištění. ČOV pracuje při vysoké hodnotě stáří kalu na úrovni cca 68 dní, přičemž teploty aktivační směsi dosahují obvyklých hodnot v průměru 15 °C, maximum 22 °C a minimum 9 °C. Provozní teplota klesá pod legislativní teplotní předěl 12 °C v 21,7 % dnů kalendářního roku. Díky uspokojivým hodnotám kalových indexů v aktivačním systému okolo 135 ml g⁻¹ je dlouhodobě v systému udržována vyšší provozní koncentrace aktivovaného kalu na úrovni 4,7 kg m⁻³. Díky tomu může docházet při maximálním hydraulickém zatížení k přetěžování dosazovacích nádrží a zvýšenému úniku NL do odtoku. Systém nárazově vykazuje nestabilitu s ohledem na nitrifikační schopnost, což pravděpodobně souvisí s řízením dodávky vzduchu do systému.
- (6) Maximální objemová kapacita biologických nádrží pro stabilní provoz nitrifikace při minimální výpočtové teplotě 12 °C a při posouzení kvality odtoku dle návrhu novely NV č.401/2015 Sb. vychází na úrovni 86 667 EO₆₀. Přepočteno přes aktuální účinnost usazovacích nádrží v roce 2021 pak vychází maximální kapacita ČOV na úrovni 122 411 EO₆₀ a maximální týdenní zatížení, podle kterého se legislativně kategorizuje ČOV pak cca 150 000 EO₆₀. Pro aktuální zatížení aktivace v roce 2021 na úrovni 49 553 EO₆₀ je instalovaná kapacita aeračního zatížení dostatečná. V případě použití režimu přerušovaného provozu aerace je nutno kalkulovat s navýšením okamžité potřeby vzduchu v závislosti na délce provzdušňovaných a neprovzdušňovaných period. Pro maximální vypočtené zatížení biologických reaktorů aktuálně instalovaná dodávka vzduchu již nevyhovuje. Pro vyšší zatížení ČOV rovněž může být limitující kapacita

dosazovacích nádrží. V tomto případě záleží na skutečnosti, zda navýšení zatížení bude mít souvztažnost s navýšením průtoku či nikoliv, přičemž rozhodující je hodnota maximálního dešťového přítoku na biologii. Při aktuálním provozu dosazovací nádrže vyhoví pro maximální dešťový průtok 392 l s^{-1} , při kalových indexech do 180 ml g^{-1} a maximální koncentraci sušiny kalu v aktivacích $4,0 \text{ kg m}^{-3}$.

- (7) Objem vyhnívacích nádrží pro kalové hospodářství vykazuje dle orientačních výpočtů limitní kapacitu pro stávající zatížení, neboť objemové zatížení nádrží organickým podílem kalu pro aktuální produkci kalu dosahuje horního intervalu obvyklých projekčních hodnot na úrovni $1,5 \text{ kg } X_{\text{org}} \text{ m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. Navyšování zatížení biologické linky musí být proto řešeno v souvztažnosti se zkapacitněním kalového hospodářství.
- (8) Provedené technologické výpočty ukázaly, že biologická linka ČOV vykazuje dostatečnou kapacitu pro další navyšování zatížení. Pro případné konkrétní zadání cílového stavu musí být jednotlivé technologické celky a zařízení optimalizovány z hlediska svých maximální kapacit, tak aby bylo dosaženo cílového stavu optimálním způsobem. Pouze v případě kalového hospodářství bude nezbytné zásadní navýšení kapacity.
- (9) V případě projekčních příprav řešení cílového stavu je nutno dopracovat řadu technických detailů a zejména dopracovat příslušné technologické výpočty, a to s ohledem na vybranou variantu řešení a výhledové zatížení. Rovněž systém MaR vyžaduje specifický přístup podle vybraného řešení a úrovně instrumentace. Všechny tyto úpravy je doporučeno realizovat při zpracování projektové dokumentace s ohledem na odhad zatížení v roce zprovoznění intenzifikované ČOV.