



TECHNOLOGICKÝ POPIS k veřejné zakázce malého rozsahu

„Projektová a inženýrská činnost pro stavbu – intenzifikace ČOV Ptice“

Veřejná zakázka malého rozsahu je zadávána v souladu s ustanovením § 6 a § 31 zákona č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek a dle Pokynů pro zadávání veřejných zakázek v OPŽP 2014-2020.

ČOV PTICE

Návrh a technologické výpočty intenzifikace mechanicko-biologického stupně pro výhledové zatěžovací parametry

Praha, duben 2017

Dr. Ing. Radovan Šorm



Mařákova 8, 160 00 Praha 6, tel. 224 311 424
www.aqua-contact.cz

AQUA CONTACT®
 **Praha v.o.s.**

OBSAH

	strana
1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE DÍLA	3
1.1 Předmět díla	3
1.2 Podklady	3
2 PROJEKTOVÉ A TECHNICKÉ PARAMETRY ČOV	4
2.1 Vstupní projektové zatěžovací parametry	4
2.2 Technické parametry mechanicko-biologické linky ČOV	4
2.2.1 Hrubé česle a lapák šterku	5
2.2.2 Vstupní čerpací stanice	5
2.2.3 Stupeň hrubého předčištění	5
2.2.4 Aktivační proces	5
2.2.5 Dosazovací nádrže	6
2.2.6 Mikrosítový bubnový flitr a měrný objekt	6
2.2.7 Kalové hospodářství	7
2.3 Požadavky na složení odtoku	7
3 ANALÝZA VÝSLEDKŮ PROVOZNÍHO SLEDOVÁNÍ ČOV	7
3.1 Množství odpadních vod	7
3.2 Znečištění surových odpadních vod	9
3.3 Provoz aktivačního procesu	11
3.3.1 Charakter a množství aktivovaného kalu	11
3.3.2 Teplota odpadních vod v aktivačním procesu	12
3.3.3 Technologické parametry aktivačního procesu	13
3.4 Vyhodnocení složení odtoku	14
4 ODVOZENÍ VÝHLEDOVÝCH ZATĚŽOVACÍCH PARAMETRŮ	16
5 KONCEPCE INTENZIFIKACE	17
6 VÝHLEDOVÉ POŽADAVKY NA SLOŽENÍ ODTOKU	19
7 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY BIOLOGICKÉ LINKY	20

7.1	Návrh a výpočty separačního stupně	20
7.2	Matematické modelování aktivačního procesu	22
7.2.1	Postup výpočtu	22
7.2.2	Použitý software	22
7.2.3	Výpočty aktivačního procesu v ustáleném stavu	23
7.2.3.1	Chemické srážení fosforu	24
7.2.3.2	Výpočty interní recirkulace aktivační směsi	24
7.2.4	Stabilita nitrifikace	25
7.2.4.1	Technologické parametry procesu	26
7.2.5	Návrh potřeby kyslíku a vzduchu	27
7.3	Odvod a zpracování přebytečného kalu	29
7.4	Měrný objekt	30
8	ZÁVĚR	30

ČOV PTICE

Návrh a technologické výpočty intenzifikace mechanicko-biologického stupně pro výhledové zatěžovací parametry

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE DÍLA

Název:	Čistírna odpadních vod Ptice - Návrh a technologické výpočty intenzifikace mechanicko-biologického stupně pro výhledové zatěžovací parametry.
Místo:	ČOV Ptice
Objednatel:	Obec Ptice Hlavní 140, 252 18 Ptice
Zpracovatel:	AQUA-CONTACT Praha v.o.s. , Husova 112, 551 01 Jaroměř provozovna: Mařákova 8, 160 00 Praha 6

1.1 Předmět díla

Předmětem díla je vyhodnocení dat provozního sledování ČOV Ptice a návrh, a technologické výpočty intenzifikace mechanicko-biologického stupně pro výhledové zatěžovací parametry při respektování platných požadavků na složení finálního odtoku.

1.2 Podklady

Pro vypracování díla byla k dispozici následující podkladová dokumentace:

- (1) Údaje o provozním sledování funkce ČOV Ptice v letech 2015 až 2017.
- (2) Základní technické a technologické parametry ČOV Ptice dle Provozního řádu pro zkušební provoz.
- (3) Platné vodohospodářské rozhodnutí č.j. MUCE 49305/2014 OŽP/V/Ci-R ze dne 3.9.2014.
- (4) Osobní prohlídka ČOV dne 21.3.2017.

2 PROJEKTOVÉ A TECHNICKÉ PARAMETRY ČOV

2.1 Vstupní projektové zatěžovací parametry

ČOV Ptice byla realizována pro hydraulické a látkové zatěžovací parametry uvedené v Tab. 1 a Tab. 2.

Tab. 1: Projektové hydraulické zatěžovací parametry ČOV Ptice.

Průtok	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{24}	171,0	7,1	2,0
Q_d	256,5	10,7	3,0
$Q_{\max}$	-	23,5	6,5

Tab. 2: Projektové látkové zatěžovací parametry ČOV Ptice.

Ukazatel	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
počet EO dle BSK ₅ 1 140		
BSK ₅	68,4	400
CHSK	136,0	795
NL	62,7	367
N-NH ₄	8,2	47,7
N-celk	12,5	73,3
P-celk	-	-

2.2 Technické parametry mechanicko-biologické linky ČOV

Odpadní vody jsou na ČOV přiváděny oddílným kanalizačním systémem. Technologická linka ČOV Ptice sestává z objektů hrubého předčištění, biologického stupně na bázi aktivačního D-N procesu a separace kalu od vyčištěné odpadní vody v kruhových horizontálně protékaných dosazovacích nádrží vnořených do nitrifikačního stupně aktivačního procesu. Nakládání s vyprodukovaným přebytečným aktivovaným kalem představuje jeho gravitační zahuštění, uskladnění v aerobních podmínkách a následný odvoz v tekutém stavu.

Odpadní vody natékají v areálu ČOV na hrubé ručně čištěné česle a lapák šterku. Po průchodu hrubými česlemi jsou odpadní vody vedeny do jímky vstupní čerpací stanice, odkud jsou zdvihány do stupně mechanického předčištění umístěného uvnitř budovy ČOV. Odpadní vody procházejí velmi jemnými automaticky čištěnými česlemi a dále vertikálním lapákem písku.

Odpadní vody zbavené hrubých nečistot jsou za mechanickým předčištěním rozdělovány do dvojice paralelně protékaných biologických linek. U každé linky natékají odpadní vody společně s vratným kalem do mechanicky homogenizované denitrifikační sekce. Za denitrifikační sekci každé linky je aktivační směs přiváděna do nitrifikační sekce s vestavěnou dosazovací nádrží. Nitrifikační sekce jsou osazeny jemnobublinným aeračním systémem.

Vyčištěné odpadní vody jsou z hladiny dosazovacích nádrží vedeny přes mikrosítový bubnový filtr a měrný objekt (Parshallův žlab) do recipientu, kterým je Radotínský potok. Kal usazený na dně každé dosazovací nádrže je hydropneumatickým čerpadlem veden jako vratný kal zpět do příslušné denitrifikační sekce aktivace, nebo jako přebytečný kal do kalové nádrže.

Technologická linka ČOV je doplněna procesem zvýšené eliminace sloučenin fosforu jejich simultánním chemickým srážením.

Zahuštěný přebytečný kal je v kalovém silu gravitačně zahušťován, aerobně stabilizován a následně odvážen v tekutém stavu k další řízené likvidaci.

2.2.1 Hrubé česle a lapák šterku

Odpadní vody natékají v areálu ČOV do objektu hrubých ručně stíraných česlí (šíře průlin 40 mm) a lapáku šterku.

2.2.2 Vstupní čerpací stanice

Po průchodu hrubými česlemi a lapáku šterku natékají odpadní vody do jímky vstupní čerpací stanice. V jímce je umístěna dvojice ponorných kalových čerpadel Hidrostat B0BQ-RO1 o výkonu $6,0 \text{ l.s}^{-1}$ jednoho stroje zajišťujících zdvihání odpadních vod do následné technologické linky ČOV. Čerpadla jsou provozována v sestavě 1 + 1 ks, tj. jedno čerpadlo jako provozní, druhé jako montovaná rezerva.

2.2.3 Stupeň hrubého předčištění

Z jímky čerpací stanice jsou odpadní vody zdvihány a přiváděny uvnitř zastřešeného objektu ČOV na stupeň mechanického předčištění, který zahrnuje velmi jemné automaticky čištěné česle a vertikální lapák písku.

<u>Velmi jemné česle Fontana SČČ – H 400×700/1000×3/70</u>	1 ks
šíře průlin	3 mm
šíře kanálu	0,4 m
<u>Lapák písku vertikální LPV 600</u>	1 ks
průměr lapáku	0,8 m

2.2.4 Aktivační proces

Odpadní vody zbavené hrubých nečistot jsou rozdělovány do dvojice paralelně protékajících linek biologického stupně. Biologický stupeň je realizován na bázi tzv. D-N systému, tj. systému s předřazenou denitrifikační sekcí a následným nitrifikačním stupněm procesu. Odpadní vody jsou u každé linky vedeny do denitrifikační sekce aktivačního procesu, kam je zaústěn proud vratného kalu a plovoucích nečistot ze separačního stupně. Denitrifikační sekce každé aktivace je homogenizována jedním ponorným míchadlem ABS RW 3021.

Z denitrifikační sekce aktivace natéká aktivační směs do následné nitrifikační sekce, která je vybavena jemnobublinným aeračním systémem Fortex s elementy AME-T750.

Aktivační proces je doplněn simultánním chemickým srážením sloučenin fosforu. V Tab. 3 jsou uvedeny hlavní technické parametry aktivačního procesu.

Tab. 3: Hlavní technické parametry stávajícího aktivačního D-N systému.

Parametr	jednotka	hodnota
denitrifikace	ks	2
šířka	m	3,9
délka	m	2,0
hloubka vody	m	4,0
objem	m ³	62,4
nitrifikace	ks	2
šířka	m	3,9
délka	m	6,9
hloubka	m	4,0
užitný objem (bez dosazovacích nádrží)	m ³	166,5

Vzduch je do nitrifikačního stupně dodáván od trojice instalovaných dmychadel Kubíček typ 3D19C-050KC o maximálním výkonu 116 m³.h⁻¹ jednoho stroje. Dmychadla jsou instalována v sestavě 2 + 1 ks. Dodávka vzduchu je řízena na základě on-line měřené koncentrace kyslíku v nitrifikačním stupni každé linky separátně.

2.2.5 Dosazovací nádrže

V každé z dvojice nitrifikačních sekcí je vložena jedna dosazovací nádrž o rozměrech 3,6×3,6 m a hloubce 4,0 m. V dosazovacích nádržích dochází ke gravitačnímu oddělení aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody. Usazený aktivovaný kal je ze dna každé nádrže odtahován hydropneumatickým čerpadlem a zaústěn do denitrifikační sekce příslušné aktivace. Vyčištěná odpadní voda odtéká z hladiny přes pilové přepady odtokových žlabů a je přes mikrosítový bubnový filtr a měrný objekt (Parshallův žlab) vedena do recipientu.

Dosazovací nádrž	2 ks
délka strany	3,6 m
hloubka vody	4,0 m
plocha obou nádrží	25,9 m ²
objem obou nádrží	48,8 m ³

2.2.6 Mikrosítový bubnový filtr a měrný objekt

Odtok vyčištěné vody z dosazovacích nádrží je veden k terciárnímu dočištění na mikrosítový bubnový filtr IN-EKO typ BMF 5-B2.

Za mikrosítovým filtrem je umístěn měrný objekt (Parshallův žlab P2) s ultrazvukovou sondou umožňující registraci množství proteklých odpadních vod.

2.2.7 Kalové hospodářství

Vyprodukovaný přebytečný kal je přetržitě veden do kalové uskladňovací nádrže o objemu 60 m³, kde dochází k jeho gravitačnímu zahuštění a aerobní stabilizaci. Zahuštěný a aerobně stabilizovaný kal je v tekutém stavu odvážen k další řízené likvidaci.

2.3 Požadavky na složení odtoku

Nakládání s odpadními vodami je pro ČOV Ptice povoleno vodohospodářským rozhodnutím č.j. MUCE 49305/2014 OŽP/V/Ci-R ze dne 3.9.2014. Platnost rozhodnutí je omezena do 31.12.2018. Dle rozhodnutí je povoleno vypouštění odpadních vod v množství a složení uvedených v Tab. 4 a Tab. 5.

Tab. 4: Limity platného vodohospodářského rozhodnutí.

Ukazatel	hodnota „p“ (mg.l ⁻¹)	hodnota „m“ (mg.l ⁻¹)	balance (t.r ⁻¹)
BSK ₅	22	30	0,9
CHSK	75	140	3,1
NL	25	30	1,0
N-NH ₄	12 *)	20	0,55
	2 *)	5	0,13

*) jedná se roční průměr

Tab. 5: Povolené množství vypouštěných odpadních vod.

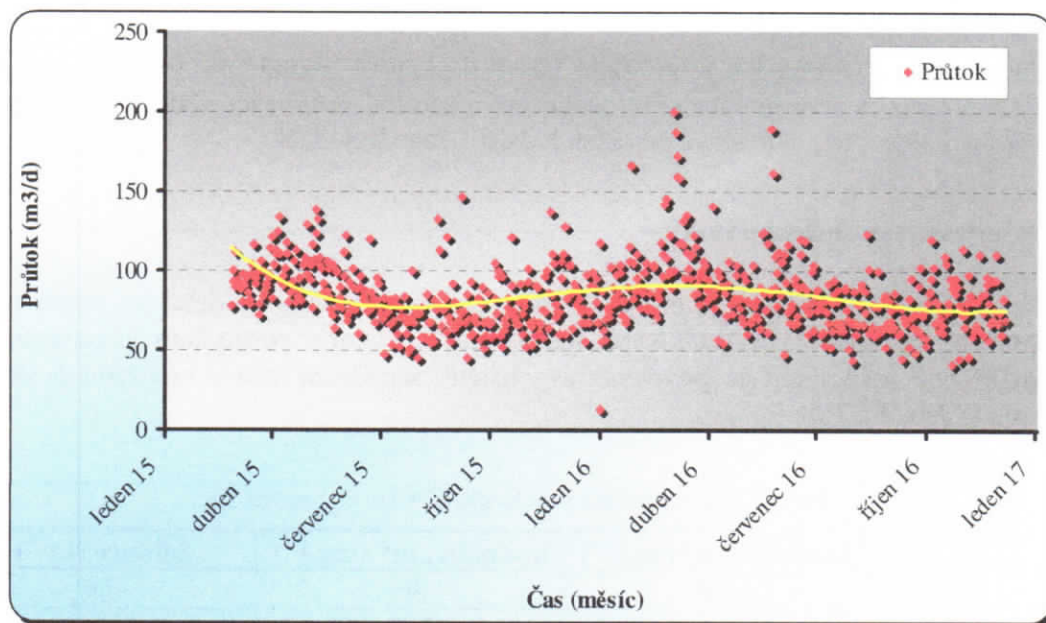
Ukazatel	jednotka	hodnota
Průměr	l.s ⁻¹	1,6
Maximum	l.s ⁻¹	5,0
Maximální měsíční	m ³ .měs ⁻¹	7 500
Roční	m ³ .rok ⁻¹	50 000

Recipientem je Radotínský potok č.h.p. 1-11-05-0470-0-00.

3 ANALÝZA VÝSLEDKŮ PROVOZNÍHO SLEDOVÁNÍ ČOV

3.1 Množství odpadních vod

Na Obr. 1 je graficky znázorněn průběh množství odpadních vod vyčištěných na ČOV Ptice v letech 2015 a 2016. Při aplikaci polynomického trendu do skupiny bodů představujících průměrný denní průtok je patrný dlouhodobý trend stagnace v množství čištěných odpadních vod. Sledovat lze zvýšené průtoky odpadních vod ve srážkově bohatších obdobích roku způsobené průnikem tohoto druhu vody do kanalizačního systému.



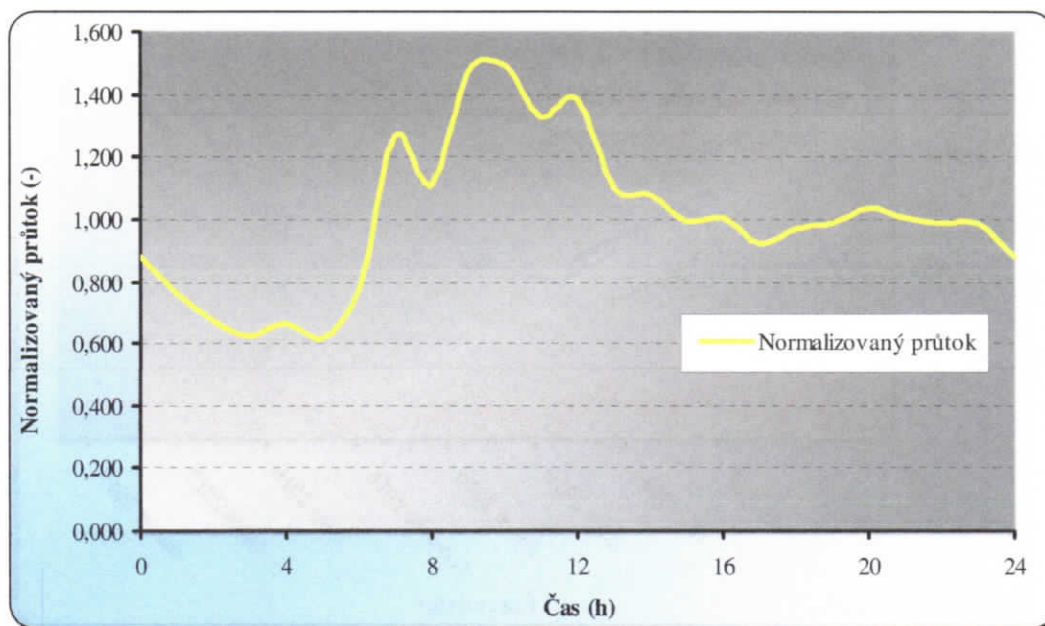
Obr. 1: Grafické znázornění množství odpadních vod čištěných na ČOV Ptice v závislosti na čase v letech 2015 a 2016.

Poskytnutá provozní data o množství přiváděných odpadních vod byla podrobena statistickému hodnocení. V následující Tab. 6 jsou uvedeny hodnoty funkcí statistického zpracování naměřených dat průměrných denních průtoků z let 2015 a 2016.

Tab. 6: Hodnoty ukazatelů statistického zpracování dat denních průtoků na ČOV Ptice v letech 2015 a 2016.

Ukazatel	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$
Aritmetický průměr - $\bar{X}$	84,3
Medián	81,0
Maximum	200,0
Minimum	13,0
Počet měření	651

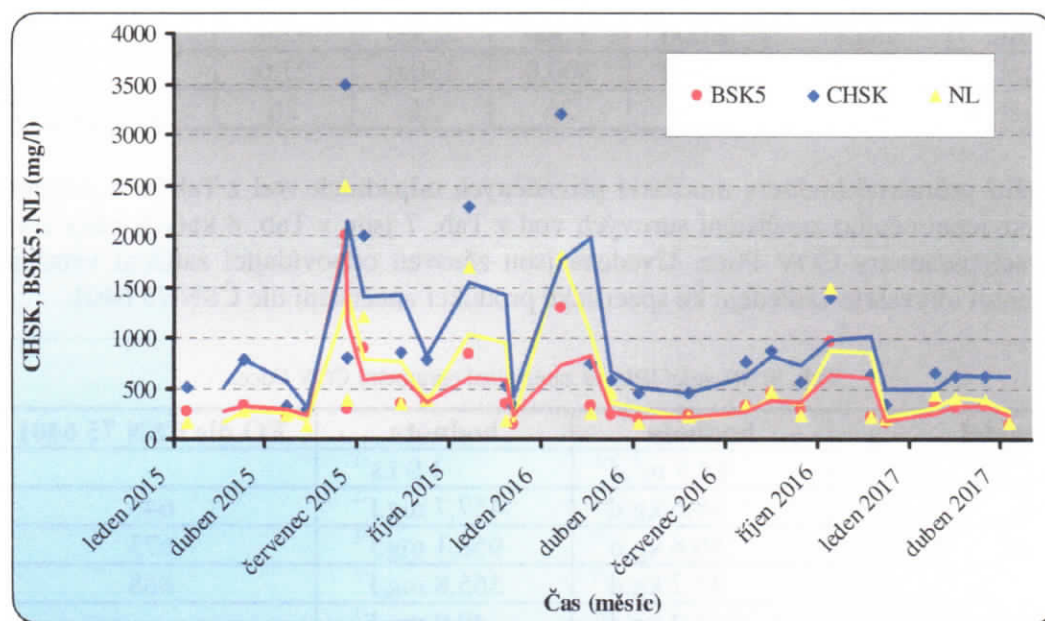
Z důvodu výpočtu dynamického chování systému během dne s ohledem na složení odtoku a návrh oxygenační kapacity je používán profil normalizovaného hydraulického zatížení odvozený na základě dat aktuálních 24 průtoků odpadních vod v bezdeštném období. Jelikož nejsou na ČOV Ptice tato data dostupná, byl vytvořen hypotetický profil normalizovaného hydraulického zatížení vycházející z dat naměřených v aglomeracích obdobné velikostní kategorie a typu kanalizačního systému. Hydraulický profil denního zatížení pro výpočty je znázorněn na Obr. 2. Tento profil se při výpočtech maximálního zatížení obvykle aplikuje na průtok Q_d .



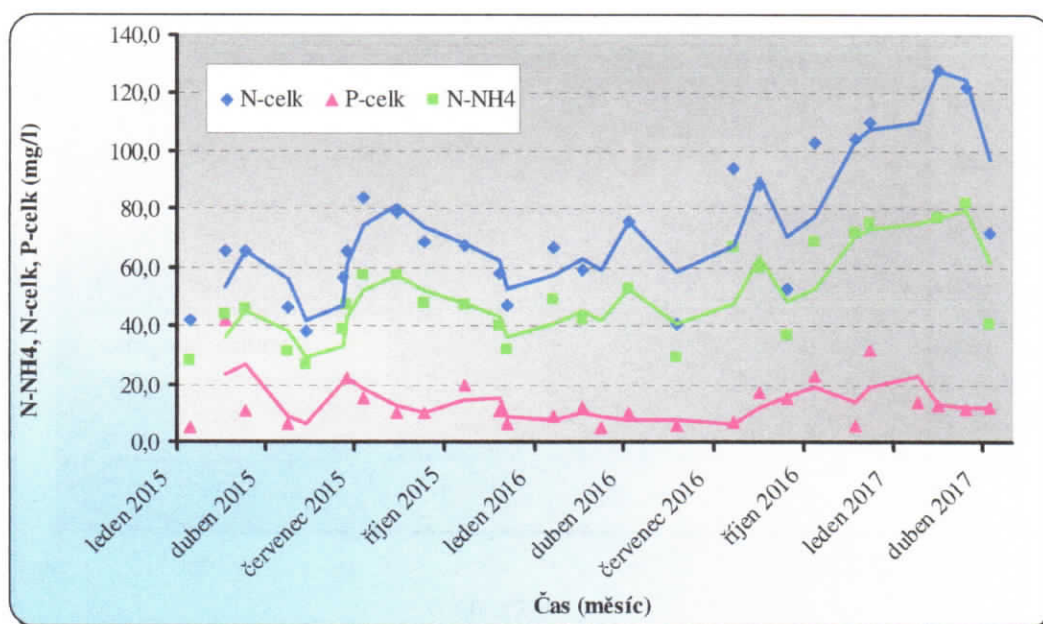
Obr. 2: Hydraulický profil denní nerovnoměrnosti průtoku.

3.2 Znečištění surových odpadních vod

Na Obr. 3 jsou znázorněny grafické průběhy koncentračního znečištění surových odpadních vod přiváděných na ČOV Ptice v ukazatelích organického znečištění a nerozpuštěných látek v letech 2015 až 2017. Na Obr. 4 jsou pak pro shodné období znázorněny grafické průběhy koncentračního znečištění surových odpadních vod v ukazatelích amoniakální a celkový dusík a celkový fosfor.



Obr. 3: Grafické znázornění koncentračního znečištění surových odpadních vod přiváděných na ČOV Ptice v ukazatelích organického znečištění a nerozpuštěných látek v letech 2015 až 2017.



Obr. 4: Grafické znázornění koncentračního znečištění surových odpadních vod přiváděných na ČOV Ptice v ukazatelích N-NH₄, N-celk a P-celk v letech 2015 až 2017.

V Tab. 7 jsou uvedeny hodnoty funkcí statistického zpracování naměřených dat denních množství látkového zatížení ČOV Ptice.

Tab. 7: Koncentrační znečištění surových odpadních vod přiváděných na ČOV Ptice v letech 2015 až 2017.

Ukazatel	jednotka	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄	N-celk	P-celk
Průměr	mg.l⁻¹	457,7	958,1	565,8	49,9	73,1	13,5
Medián	mg.l ⁻¹	325,0	650,0	335,0	47,0	67,1	11,4
Maximum	mg.l ⁻¹	2 000	3 500	2 500	82,4	127,7	42,0
Minimum	mg.l ⁻¹	140,0	300,0	130,0	27,0	38,0	4,9
Počet měření	mg.l ⁻¹	26	26	26	26	26	26

Při použití průměrné hodnoty množství přiváděných odpadních vod z Tab. 6 a průměrných hodnot koncentračního znečištění surových vod z Tab. 7 jsou v Tab. 8 kalkulovány stávající zatěžovací parametry ČOV Ptice. Uvedena jsou zároveň odpovídající zatížení vztažená na ekvivalentní obyvatele vzhledem ke specifické produkci znečištění dle ČSN 75 6401.

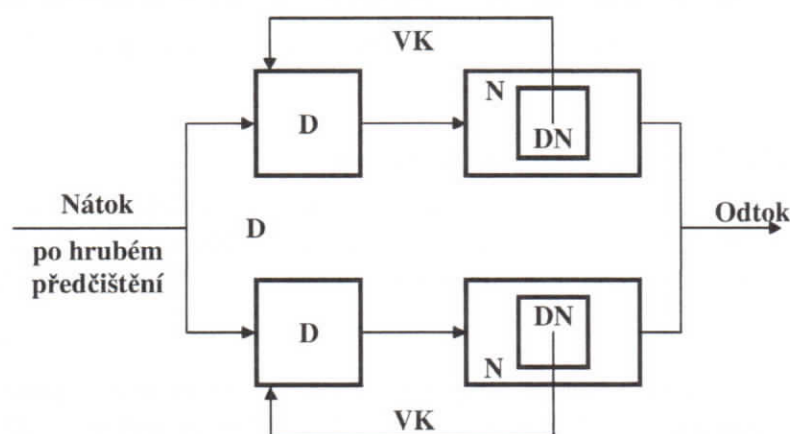
Tab. 8: Stávající látkové zatěžovací parametry ČOV Ptice.

Ukazatel	hodnota	hodnota	EO dle ČSN 75 6401
Průtok	84,3 m ³ .d ⁻¹	1,0 l.s ⁻¹	-
BSK ₅	38,6 kg.d ⁻¹	457,7 mg.l ⁻¹	643
CHSK	80,8 kg.d ⁻¹	958,1 mg.l ⁻¹	673
NL	47,7 kg.d ⁻¹	565,8 mg.l ⁻¹	868
N-NH ₄	4,2 kg.d ⁻¹	49,9 mg.l ⁻¹	-
N-celk	6,2 kg.d ⁻¹	73,1 mg.l ⁻¹	561
P-celk	1,1 kg.d ⁻¹	13,5 mg.l ⁻¹	455

Z hodnot v Tab. 8 je zřejmá nevyrovnanost v zastoupení jednotlivých ukazatelů znečištění. Odpadní vody vykazují výrazně vyšší zastoupení znečištění v případě ukazatele NL. Za mírně nižší je možno považovat dosaženou hodnotu poměru ukazatelů BSK₅/CHSK na úrovni 0,46. Nižší zastoupení u ukazatele P-celk je v posledních letech jevem běžným na většině ČOV v České republice.

3.3 Provoz aktivačního procesu

Odpadní vody jsou po hrubém předčištění přiváděny do aktivačního procesu biologického stupně ČOV. Aktivační proces ČOV Ptice je koncipován jako klasický, dvoulinkový, paralelně protékající D-N systém, tedy systém s denitrifikačním a posléze nitrifikačním stupněm aktivačního procesu. Odpadní vody jsou u každé linky přiváděny do denitrifikační sekce, kam je dále zaústěn proud vratného kalu a plovoucích nečistot z příslušného separačního stupně. Po průchodu denitrifikačním reaktorem je aktivační směs u každé linky přiváděna do nitrifikační sekce aktivace. Na Obr. 5 je znázorněno schéma aktivačního procesu ČOV Ptice.

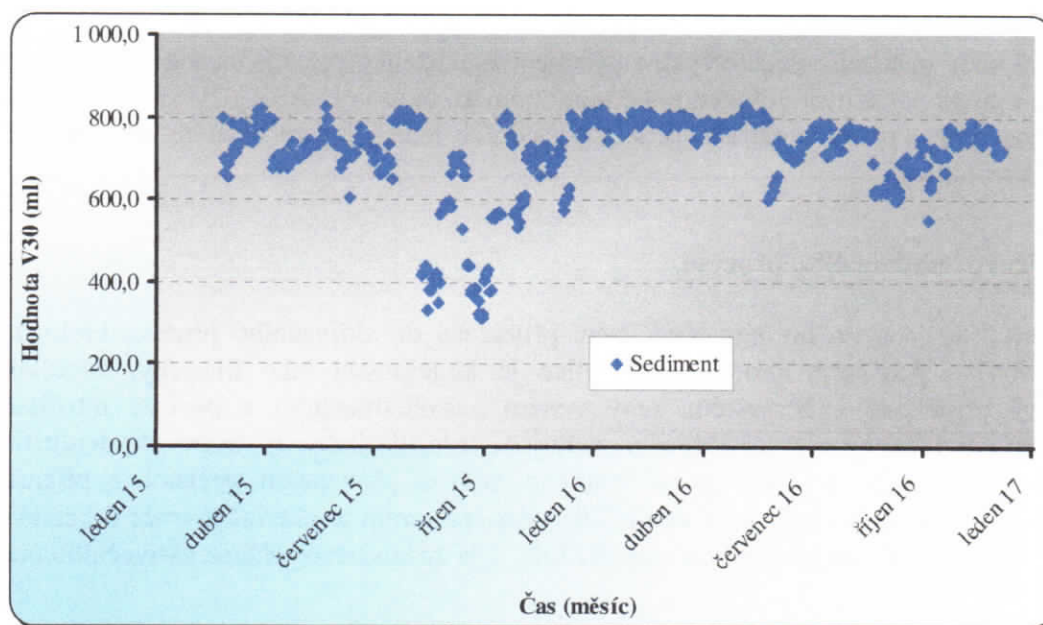


Obr. 5: Schematické znázornění biologického systému ČOV Ptice.

Legenda: D – denitrifikace, N – nitrifikace, DN – dosazovací nádrž, VK – vratný kal

3.3.1 Charakter a množství aktivovaného kalu

V rámci vyhodnocení dat provozního sledování ČOV Ptice byla věnována pozornost kvalitě a množství kalu v aktivačním procesu. Kvalita aktivovaného kalu byla vyhodnocována s ohledem na jeho separační vlastnosti. Kvalita aktivovaného kalu a především jeho sedimentační vlastnosti ovlivňují zásadním způsobem chod biologické části systému a druhotně i kalového hospodářství. Na Obr. 6 je znázorněn profil výsledků 30-minutové sedimentační zkoušky v letech 2015 a 2016, která se pohybovala v rozmezí 320 až 830 ml a průměrnou hodnotou na úrovni 720 ml. Při analytické kontrole v roce 2017 byla kalkulována hodnota kalového indexu na úrovni 192 ml.g⁻¹, která charakterizuje kal se silně zhoršenými špatnými separačními vlastnostmi. Při aplikaci této hodnoty kalového indexu lze následně odvodit průměrnou koncentraci sušiny kalu v systému na úrovni cca 3,7 kg.m⁻³.



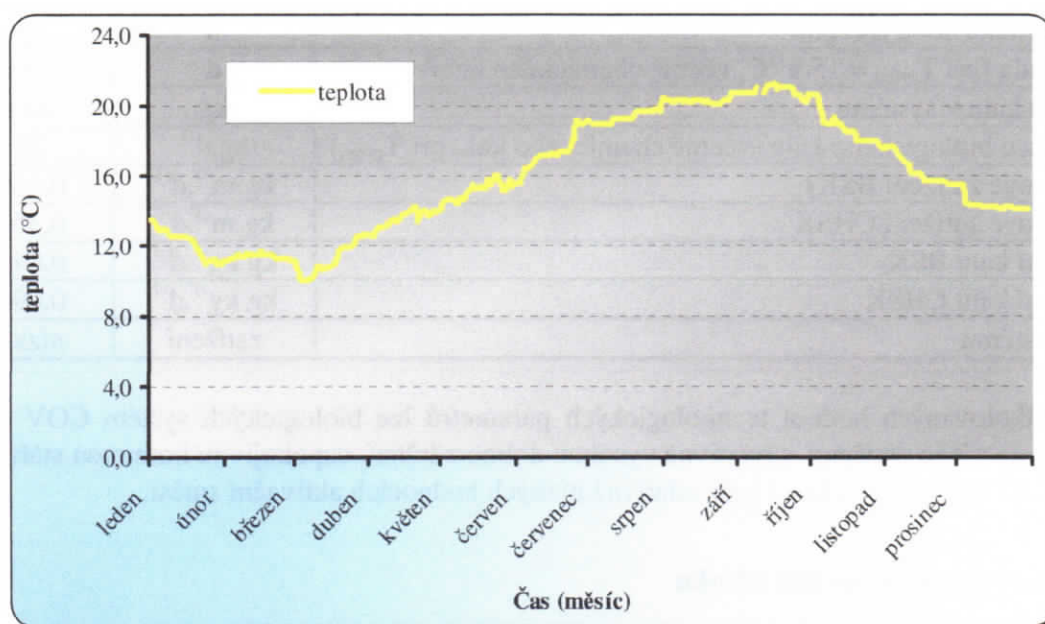
Obr. 6: Výsledky 30-minutové sedimentační zkoušky aktivovaného kalu na ČOV Ptice.

3.3.2 Teplota odpadních vod v aktivačním procesu

Jedním ze stěžejních parametrů při dimenzování biologických systémů vzhledem k NV č. 401/2015 Sb. a při výpočtech chování aktivačního procesu, je teplota odpadní vody v průběhu roku. Na Obr. 7 je znázorněn teplotní profil na ČOV Ptice vyhodnocený na základě dat provozního sledování.

Grafický průběh dat teplot odpadní vody naznačuje, že se nejnížší teploty v aktivačním procesu pohybují **dlouhodobě** na úrovni cca 11 °C a nejvyšší na úrovni cca 21 °C. Průměrná vyhodnocená roční teplota se pohybuje na úrovni cca 16 °C. Z Obr. 7 je patrné, že výpočty chování biologického stupně ČOV Ptice musí být provedeny pro minimální očekávanou teplotu 11 °C. Limitní požadavky na kvalitu odtoku jsou obvykle formulovány a vyžadovány pro teplotu nad 12 °C. V této souvislosti je si však třeba uvědomit, že nebude-li biologický systém dimenzován pro minimální dosahované teploty, může dojít ke kolapsu procesu nitrifikace a její zpětný náběh je pak otázkou týdnů až měsíců. ČOV se pak po vzrůstu teplot směsi nad danou hodnotu teploty nachází v oblasti, kdy nesplňuje požadavky na kvalitu odtoku.

Maximální teploty lze v letním měsících očekávat na úrovni 21 °C. Přestože je dle standardních podmínek pro dimenzování aerační zařízení ČOV používáno hodnoty 20 °C, bude v tomto případě kalkulováno s maximem na úrovni 21 °C.



Obr. 7: Teplotní profil v aktivním procesu na ČOV Ptice.

3.3.3 Technologické parametry aktivního procesu

Při použití vyhodnocených a výše prezentovaných provozních parametrů byly prostřednictvím matematického modelu kalkulovány hlavní technologické parametry aktivního procesu. Při výpočtech bylo použito aktuálních vstupních zatěžovacích parametrů dle Tab. 8 a dosaženého složení odtoku dle Tab. 10. Předmět aproximace hlavních technologických parametrů bylo odvození hodnoty stáří kalu a s tím spojené produkce přebytečného kalu a hodnoty recirkulace vratného kalu ze separačního stupně do anoxického stupně aktivního procesu. V Tab. 9 jsou uvedeny hodnoty hlavních ukazatelů provozních parametrů biologického systému ČOV Ptice.

Tab. 9: Hlavní technologické parametry biologického systému ČOV Ptice v letech 2015 a 2016.

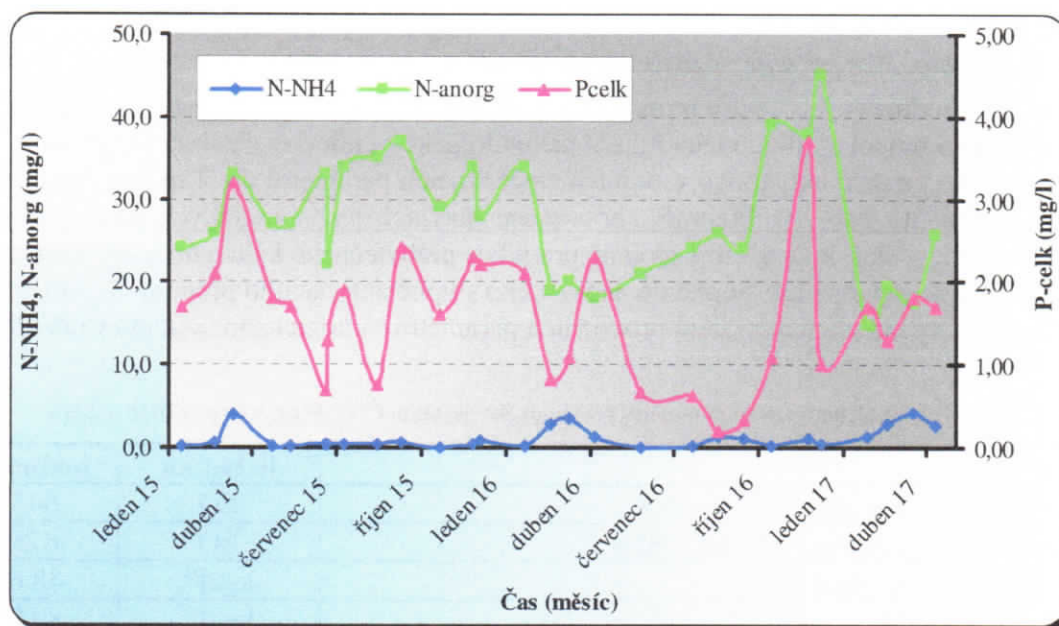
Parametr	jednotka	hodnota
Zatížení ČOV a aktivace v EO dle BSK ₅	EO	643
Zatížení ČOV a aktivace v EO dle CHSK	EO	673
Zatížení ČOV a aktivace BSK ₅	kg.d ⁻¹	38,6
Zatížení ČOV a aktivace CHSK	kg.d ⁻¹	80,8
Hydraulické zatížení	m ³ .d ⁻¹	84,3
Celkový objem aktivace	m ³	228,9
z toho objem denitrifikace	m ³	62,4
z toho objem nitrifikace	m ³	166,5
Průměrná koncentrace biomasy v aktivaci	kg.m ⁻³	3,69
Recirkulace kalu	m ³ .d ⁻¹	200
Recirkulační poměr	% Q ₂₄	237
Minimální výpočtová teplota	°C	11
Maximální výpočtová teplota	°C	21
Průměrná teplota	°C	15,9

Hydraulická doba zdržení	h	65
Stáří kalu (při $T_{\text{prům}} = 15,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, včetně chemického kalu)	d	30
Zásoba kalu v systému	kg	844
Produkce biologického kalu (včetně chemického kalu při $T_{\text{prům}}$)	kg.d^{-1}	28
Objemové zatížení BSK ₅	$\text{kg.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$	0,169
Objemové zatížení CHSK	$\text{kg.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$	0,353
Zatížení kalu BSK ₅	$\text{kg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$	0,046
Zatížení kalu CHSK	$\text{kg.kg}^{-1}.\text{d}^{-1}$	0,096
Typ systému	zatížení	nízké

Dle kalkulovaných hodnot technologických parametrů lze biologický systém ČOV Ptice označit za nízko zatížený, s relativně vysokou dobou zdržení, uspokojivou hodnotou stáří kalu zajišťující stabilní nitrifikaci i při relativně nízkých hodnotách aktivační směsi. .

3.4 Vyhodnocení složení odtoku

Na následujícím Obr. 8 je znázorněn průběh koncentrací vybraných forem sloučenin dusíku na odtoku z ČOV v letech 2015 až 2017.



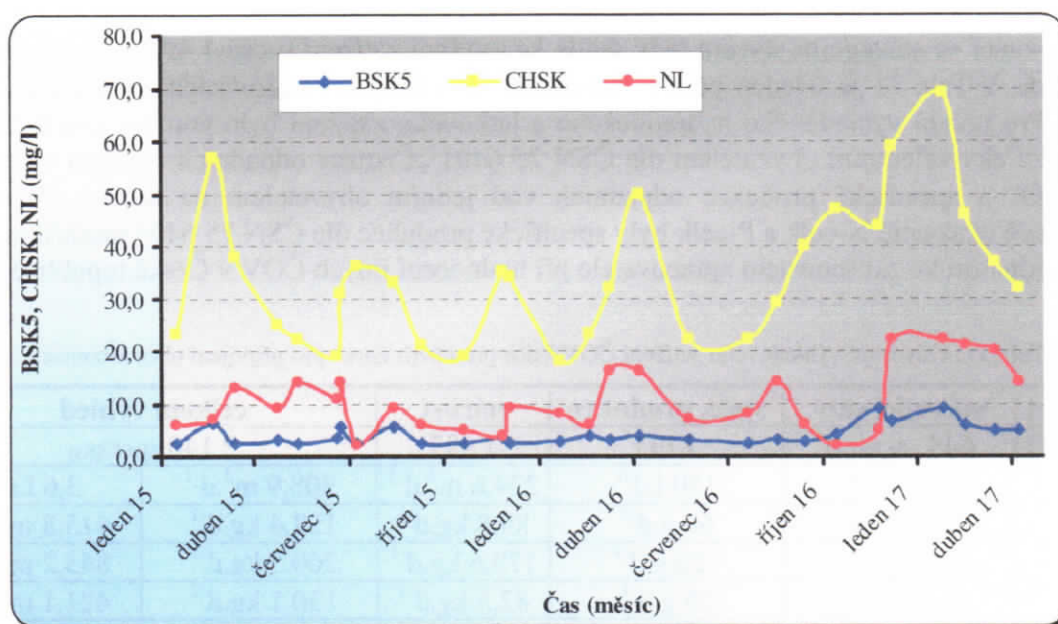
Obr. 8: Průběh koncentrací forem sloučenin dusíku v odtoku z ČOV Ptice v letech 2015 až 2017.

Z průběhu koncentrací sloučenin dusíku v odtoku z ČOV Ptice ve vyhodnocovaném období let 2015 až 2017 znázorněného na Obr. 8, jsou zřejmé občasné výkyvy ve stabilitě procesu biologické nitrifikace. Drobné výkyvy naznačující omezení nitrifikace lze sledovat především v první třetině každého z vyhodnocovaných roků, tedy v období s nejnižšími teplotami aktivační směsi. Kalkulovaná hodnota stáří kalu na úrovni 30 dní by však měla zajistit stabilní průběh biologické nitrifikace s minimálními odtokovými koncentracemi N-NH₄. Sledované výkyvy tak lze vysvětlit zhoršenými separačními vlastnostmi aktivovaného kalu v zimním

období provozu ČOV a tím poklesem sušiny kalu v systému i při měřených stabilních hodnotách 30-minutové sedimentační zkoušky.

Vysokou variabilitu pak vykazují odtokové hodnoty koncentrací celkového fosforu.

Na Obr. 9 je znázorněn průběh koncentrací ukazatelů organického znečištění (CHSK, BSK₅, NL) v odtoku z ČOV Ptice v letech 2015 až 2016. Složení odtoku lze v ukazatelích organického znečištění považovat za vyhovující platnému povolení k nakládání s odpadními vodami. V grafické závislosti na Obr. 9 je však možné sledovat občasné zvýšení odtokových koncentrací v ukazateli nerozpuštěné látky nasvědčující na nedostatečnou kapacitu separačního stupně. Únik nerozpuštěných látek pak doprovází zvýšení odtokových koncentrací organického znečištění, především v ukazateli CHSK.



Obr. 9: Průběh koncentrací CHSK, BSK₅ a NL v odtoku z ČOV Ptice v letech 2015 až 2017.

V Tab. 10 jsou uvedeny průměrné a střední hodnoty koncentrací jednotlivých ukazatelů znečištění v odtoku z ČOV Ptice v letech 2015 až 2017.

Tab. 10: Dosažené složení odtoku na ČOV Ptice v letech 2015 až 2017.

Ukazatel	jednotka	průměr	medián
BSK ₅	mg.l ⁻¹	4,1	3,3
CHSK	mg.l ⁻¹	34,4	32,5
NL	mg.l ⁻¹	10,6	9,0
N-NH ₄	mg.l ⁻¹	1,2	0,6
N-anorg	mg.l ⁻¹	27,6	26,5
P-celk	mg.l ⁻¹	1,6	1,7

4 ODVOZENÍ VÝHLEDOVÝCH ZATĚŽOVACÍCH PARAMETRŮ

Při zohlednění aktuálního vyhodnoceného látkového zatížení (období 2015 až 2017), rozvojových potřeb obce Ptice a požadavku obce Úhonice na zajištění kapacity 1 000 EO, byla stanovena potřebná výhledová kapacita ČOV Ptice po intenzifikaci. K odvození výhledového zatížení byly uvažovány následující předpoklady.

stávající počet napojených ekvivalentních obyvatel dle ukazatele BSK ₅	643
stávající počet hlášených obyvatel	780
rozvojové potřeby obce Ptice	367
potřeby obce Úhonice	1 000
Suma výhledový počet připojených obyvatel	2 140

V porovnání se stávajícím stavem tedy dojde ke zvýšení zatížení o cca 1 497 ekvivalentních obyvatel. V Tab. 11 je uveden postup stanovení výhledových zatěžovacích parametrů ČOV Ptice. Pro určení výhledového hydraulického a látkového zatížení bylo použito specifických produkci ekvivalentním obyvatelem dle ČSN 75 6401 „Čistírny odpadních vod pro více než 500 EO“ a specifická produkce odpadních vod jedním obyvatelem na úrovni 150 l.d⁻¹. V případě ukazatelů N-celk a P-celk byly specifické produkce dle ČSN 75 6401 modifikovány s přihlédnutím ke zkušenostem zpracovatele při hodnocení jiných ČOV v České republice.

Tab. 11: Odvození výhledového zatížení ČOV Ptice pro návrh úprav pro připojení obce Úhonice.

Ukazatel	stávající stav	spec. produkce	nárůst	celkem výhled	
Počet EO	643 (dle BSK ₅)	1 EO	1 497	2 140 (dle BSK ₅)	
Průtok	84,3 m ³ .d ⁻¹	150 l.d ⁻¹	224,6 m ³ .d ⁻¹	308,9 m ³ .d ⁻¹	3,6 l.s ⁻¹
BSK ₅	38,6 kg.d ⁻¹	60 g.d ⁻¹	89,8 kg.d ⁻¹	128,4 kg.d ⁻¹	415,8 mg.l ⁻¹
CHSK	80,8 kg.d ⁻¹	120 g.d ⁻¹	179,6 kg.d ⁻¹	260,5 kg.d ⁻¹	843,2 mg.l ⁻¹
NL	47,7 kg.d ⁻¹	55 g.d ⁻¹	82,3 kg.d ⁻¹	130,1 kg.d ⁻¹	421,1 mg.l ⁻¹
N-NH ₄	4,2 kg.d ⁻¹	-	15,0 kg.d ⁻¹	19,2 kg.d ⁻¹	62,1 mg.l ⁻¹
N-celk	6,2 kg.d ⁻¹	15 g.d ⁻¹	22,5 kg.d ⁻¹	28,6 kg.d ⁻¹	92,7 mg.l ⁻¹
P-celk	1,1 kg.d ⁻¹	2,0 g.d ⁻¹	3,2 kg.d ⁻¹	4,1 kg.d ⁻¹	13,4 mg.l ⁻¹

Na základě výstupů odvození výhledového zatížení prezentovaných v Tab. 11 jsou v Tab. 12 a Tab. 13 detailně specifikovány výhledové hydraulické a látkové zatěžovací parametry ČOV Ptice pro návrh úprav a technologické výpočty intenzifikace.

Tab. 12: Výhledové hydraulické zatěžovací parametry ČOV Ptice pro intenzifikaci.

Průtok		m ³ .d ⁻¹	m ³ .h ⁻¹	l.s ⁻¹
Q ₂₄		308,9	12,9	3,6
k _d	1,4			
Q _d		432,5	18,0	5,0
k _h	2,1			
Q _h		-	37,8	10,5
Q _{čerpáné}			39,6	11,0

Tab. 13: Výhledové látkové zatěžovací parametry ČOV Ptice pro intenzifikaci.

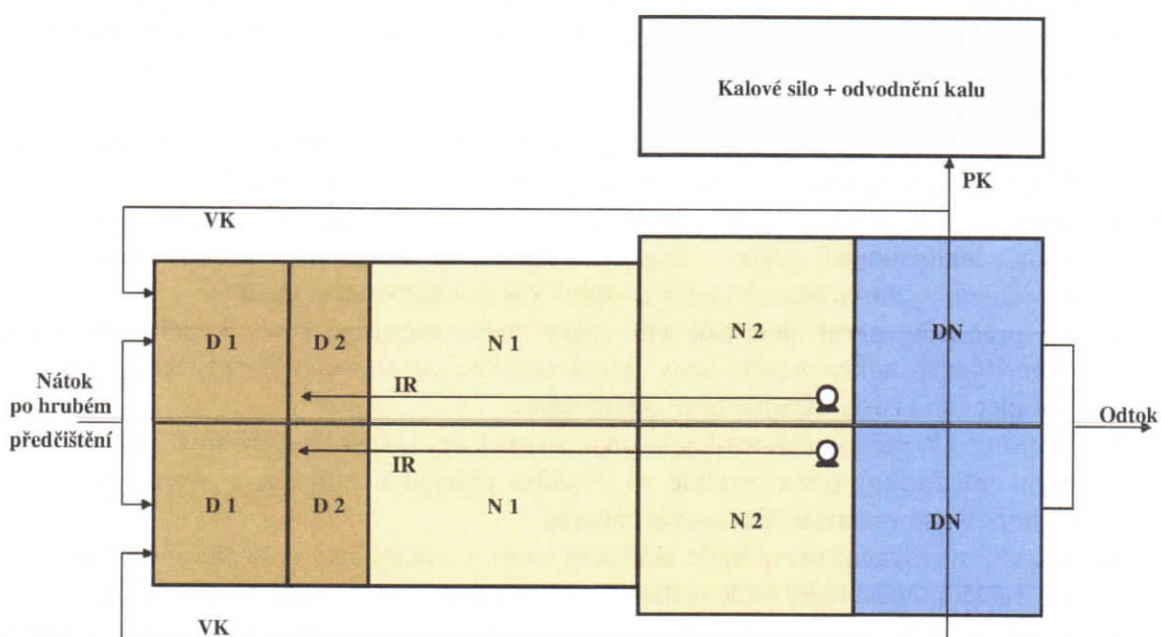
Ukazatel	kg.d ⁻¹	mg.l ⁻¹
Počet ekvivalentních obyvatel dle BSK ₅ 2 140		
BSK ₅	128,4	415,8
CHSK _{Cr}	260,5	843,2
NL	130,1	421,1
N-NH ₄	19,2	62,1
N-celk	28,6	92,7
P-celk	4,1	13,4

5 KONCEPCE INTENZIFIKACE

Koncepce intenzifikace stávající technologické linky ČOV Ptice pro napojení obce Úhonice bude představovat výměnu strojně technologického vybavení hrubého předčištění, doplnění vstupní čerpací stanice, rozšíření kapacity biologického stupně (jak aktivačních, tak dosazovacích nádrží) a doplnění stupně odvodnění kalu. Navržena je realizace následujících opatření.

- Odpadní vody z obce Ptice budou na ČOV přiváděny stávajícím kanalizačním systémem, z obce Úhonice pak novým, striktně oddílným kanalizačním systémem.
- V objektu hrubých ručně stíraných česlí a lapáku šterku budou hrubé česle nahrazeny novými automaticky čištěnými česlemi ve venkovním provedení a dopravou shrabků do kontejneru.
- Ve vstupní čerpací stanici bude ke stávající dvojici čerpadel o maximálním výkonu 6 l.s⁻¹ každého stroje doplněno jedno čerpadlo o maximálním výkonu 11 l.s⁻¹.
- Stávající kalová nádrž bude rozdělena na dvě shodné části, které budou využity jako první denitrifikační sekce dvojice aktivačních linek. Do těchto sekcí budou rozdělovány surové odpadní vody a vratný kal z dosazovacích nádrží.
- Po průchodu první denitrifikační sekcí bude aktivační směs vedena do druhé denitrifikační sekce každé linky, která vznikne ze stávající denitrifikační sekce a s přiřazením části stávající nitrifikační sekce.
- Po průchodu druhou denitrifikační sekcí každé linky bude aktivační směs přiváděna do první nitrifikační sekce vzniklé ze zbylého objemu nitrifikace a objemu příslušné demontované vestavěné dosazovací nádrže.
- Z první nitrifikační sekce bude aktivační směs u každé linky dále přiváděna do druhé nitrifikační sekce, která bude realizována vně stávajícího zastřešeného objektu.
- Všechny nitrifikační sekce budou vybaveny novým jemnobublinným aeračním systémem. Druhé nitrifikační sekce pak budou osazeny sondami pro měření koncentrace rozpuštěného kyslíku.
- Z konce každé nitrifikační sekce bude veden proud interní recirkulace aktivační směsi do druhé denitrifikační sekce příslušné linky.
- Nitrifikační sekce budou zásobeny vzduchem od nově instalované trojice dmychadel pracujících v sestavě 2 + 1 ks o maximálním výkonu jednoho stroje cca 430 m³.h⁻¹ vzduchu. Dodávka vzduchu bude řízena na základě on-line měřené koncentrace rozpuštěného kyslíku pro každou linku separátně.

- Stávající vestavěné dosazovací nádrže budou zrušeny. Pro účely separace kalu bude vně zastřešeného objektu ČOV realizována dvojice nových dosazovacích nádrží. Nové dosazovací nádrže budou vystrojeny kompletním strojně-technologickým zařízením pro odtah plovoucích nečistot. Každá z nádrží bude osazena čerpadlem vratného kalu o výkonu 4 l.s^{-1} .
- Mikrosítový bubnový filtr bude z technologické linky vyřazen. Řádné dimenzování nového separačního stupně zajistí složení finálního odtoku v souladu s platnou legislativou a provoz bubnového filtru bude tudíž bezpředmětný.
- Pro účely zvýšené eliminace sloučenin fosforu je navrženo instalovat novou dvouplášťovou nádrž vně objektu ČOV a novou dávkovací stanici. Vzhledem k potřebě ovlivnění hodnoty kalového indexu je pro zimní období provozu navrženo dávkovat hlinitou sůl na místo soli železité.
- Vyprodukovaný přebytečný aktivovaný kal bude řízeně odčerpáván do nové kalové nádrže vybavené zařízením pro odtah kalové vody a středobublinným aeračním systémem. Přebytečný aktivovaný kal bude v kalové nádrži gravitačně zahušťován a aerobně stabilizován.
- Aerobně stabilizovaný kal bude odvodňován za přídavku organického flokulantu na nově instalovaném odvodňovacím zařízení. Odvodněný kal bude v pevném stavu odvážen k další řízené likvidaci.
- V rámci intenzifikace ČOV je navrženo kompletně vyměnit stávající systém měření a regulace.



Obr. 10: Schematické znázornění biologického systému ČOV Ptice po intenzifikaci

Legenda: D1, 2 - denitrifikace, N1,2 - nitrifikace, DN - dosazovací nádrž, VK – vratný kal, PK – přebytečný kal, IR – interní recirkulace.

V Tab. 14 je uvedeno objemové členění aktivačního procesu po intenzifikaci.

Tab. 14: Technické parametry aktivačního procesu ČOV Ptice po intenzifikaci.

Parametr	jednotka	hodnota
denitrifikace 1	ks	2
šířka	m	3,95
délka	m	3,5
hloubka vody	m	4,0
objem	m ³	110,6
denitrifikace 2		2
šířka	m	3,9
délka	m	2,0
hloubka vody	m	4,0
objem	m ³	62,4
nitrifikace 1	ks	2
šířka	m	3,9
délka	m	6,9
hloubka vody	m	4,0
objem	m ³	215,3
nitrifikace 2	ks	2
šířka	m	4,2
délka	m	5,5
hloubka vody	m	4,0
celkový objem	m ³	184,8

6 VÝHLEDOVÉ POŽADAVKY NA SLOŽENÍ ODTOKU

S ohledem na znění NV č. 401/2015 Sb. a při současném akceptování níže navržené a níže prezentované technologie biologického čištění ČOV Ptice jako „nejlepší dostupné technologie“ pro velikost zdroje znečištění od 2 001 do 10 000 EO, je pro formulování budoucího vodohospodářského rozhodnutí nutno uvažovat složení finálního odtoku uvedené v Tab. 15.

Tab. 15: Hodnoty ukazatelů znečištění v odtoku z ČOV Ptice pro budoucí povolení k nakládání s odpadními vodami pro kapacitu 2001 až 10 000 EO.

Ukazatel	jednotka	hodnota „p“	hodnota „m“	roční průměr
BSK ₅	mg.l ⁻¹	18	25	-
CHSK	mg.l ⁻¹	70	120	-
NL	mg.l ⁻¹	20	30	-
N-NH ₄	mg.l ⁻¹	-	15	8
P-celk	mg.l ⁻¹	-	5,0	2,0

hodnota „p“ v povolené míře překročitelná hodnota stanovená v typu vzorku A nebo B nebo C podle poznámky 3) k tabulce 1 přílohy 4 v souladu s rozhodnutím vodoprávního úřadu.

hodnota „m” nepřekročitelné koncentrace ukazatelů znečištění stanovené ve dvouhodinovém směsném vzorku získaném sléváním 8 dílčích vzorků stejného objemu v intervalu 15 minut.

7 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY BIOLOGICKÉ LINKY

7.1 Návrh a výpočty separačního stupně

V rámci intenzifikace ČOV Ptice na kapacitu reprezentovanou výhledovými zatěžovacími parametry bude nezbytné realizovat nový separační stupeň. Dimenzování nového separačního stupně je provedeno pro biologický systém bez primární sedimentace, kdy je dle ČSN 75 6401 doporučováno udržování koncentrace sušiny kalu v aktivacním procesu v rozmezí 3,0 - 5,0 kg.m⁻³. Návrh je proveden pro hodnotu sušiny kalu v dolní části doporučeného intervalu, tedy 3,5 kg.m⁻³.

Pro zvolenou hodnotu sušiny kalu bylo provedeno dimenzování separačního stupně dle přepracované metodiky ATV z roku 1991 (Revised ATV (1991) procedure). Tento přístup rezultuje do relativně konzervativního, na druhou stranu bezpečného návrhu separačního stupně, zajišťujícího účinné odstranění aktivovaného kalu od vyčištěné vody i při dešťových průtocích. Pro výpočty je uvažováno s následujícími hodnotami hlavních technologických parametrů:

Q ₂₄ – výhledové hydraulické zatížení	m ³ .d ⁻¹	308,9
Q _{max} do aktivace	m ³ .h ⁻¹	39,6
Ředěný kalový index	ml.g ⁻¹	135
Sušina kalu v aktivacním procesu	kg.m ⁻³	3,5

V Tab. 16 jsou uvedeny základní technické parametry separačního stupně ČOV Ptice po intenzifikaci:

Tab. 16: Základní technické parametry separačního stupně ČOV Ptice po intenzifikaci.

Parametr	symbol	jednotka	hodnota
průměrný denní přítok	Q ₂₄	m ³ .d ⁻¹	308,9
maximální přítok do aktivace	Q _{max} do aktivace	m ³ .h ⁻¹	39,6
recirkulační poměr	RAS	% Q ₂₄	152,1
Výpočtový ředěný kalový index	KI	ml.g ⁻¹	135
koncentrace biomasy v systému		kg.m ⁻³	3,5
potřebná plocha dosazovacích nádrží	Adn	m ²	35,3
potřebná hloubka dosazovací nádrže			
zóna čisté vody	h1	m	0,50
separační zóna	h2	m	1,59
akumulační zóna	h3	m	0,71
zahušťovací zóna	h4	m	1,68
celková hloubka dosazovací nádrže	h	m	4,48

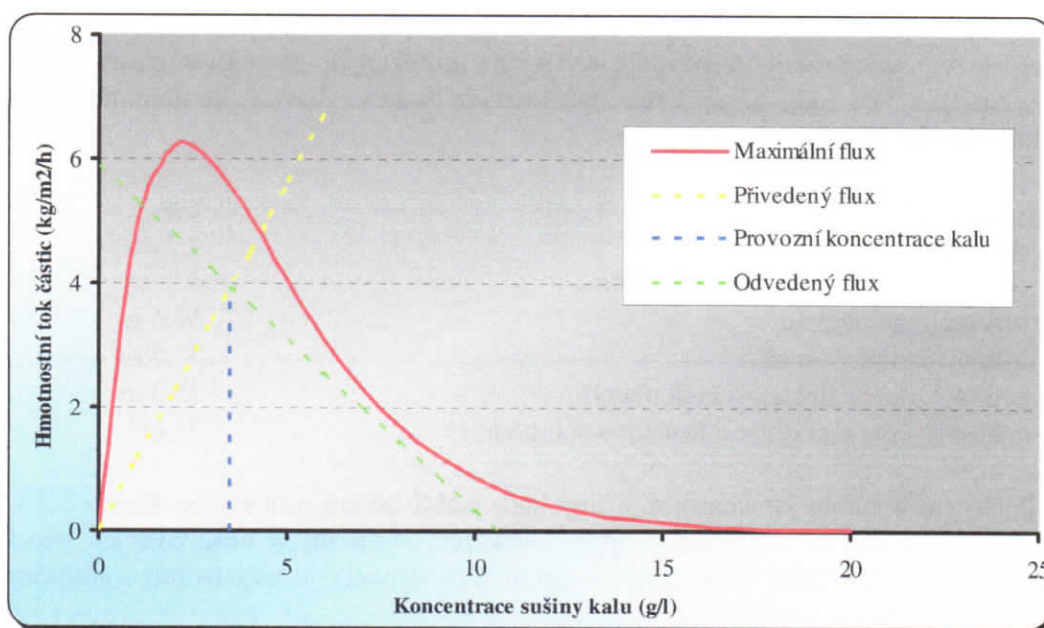
Pro účely intenzifikace ČOV Ptice pro výhledové hydraulické a látkové zatěžovací parametry je navrženo realizovat dvojici typových, vertikálně protékaných dosazovacích nádrží o délce strany 4,2 m, hloubce vody 4,5 m. Dosazovací nádrže budou vybaveny kompletním zařízením pro odtah plovoucích nečistot:

<u>Dosazovací nádrž</u>	2 ks
délka strany nádrže	4,2 m
celková hloubka vody v nádrži	4,5 m
plocha jedné nádrže	17,6 m ²
usazovací objem nádrže	37,5 m ³
celková plocha dosazovacích nádrží	35,3 m ²
celkový separační objem dosazovacích nádrží	75 m ³

Pro výpočtovou hodnotu koncentrace sušiny kalu v aktivačním procesu na úrovni 3,5 kg.m⁻³ byla ověřována kapacita navržené dvojice vertikálně protékaných dosazovacích nádrží při použití teorie hmotnostního toku částic – fluxu. Pro výpočty je uvažováno s následujícími hodnotami hlavních parametrů:

Q ₂₄ – výhledové hydraulické zatížení	m ³ .d ⁻¹	308,9
Q _{max}	m ³ .h ⁻¹	39,6
Zvolený recirkulační poměr vratného kalu	% Q ₂₄	152,1
	m ³ .d ⁻¹	470
Ředěný kalový index	ml.g ⁻¹	135
Sušina kalu v aktivačním procesu	kg.m ⁻³	3,5
Plocha dosazovacích nádrží	m ²	35,3

Graficky je výstup výpočtů znázorněn na Obr. 11. Separační 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. Z grafického výstupu na Obr. 11 je zřejmé, že pro výhledové hydraulické a látkové zatěžovací parametry a provozní koncentraci sušiny kalu v aktivačním procesu na úrovni 3,5 kg.m⁻³, je navržená dvojice vertikálně protékaných dosazovacích nádrží dostatečně kapacitní.



Obr. 11: Posouzení separačního stupně dle teorie hmotnostního toku částic.

7.2 Matematické modelování aktivačního procesu

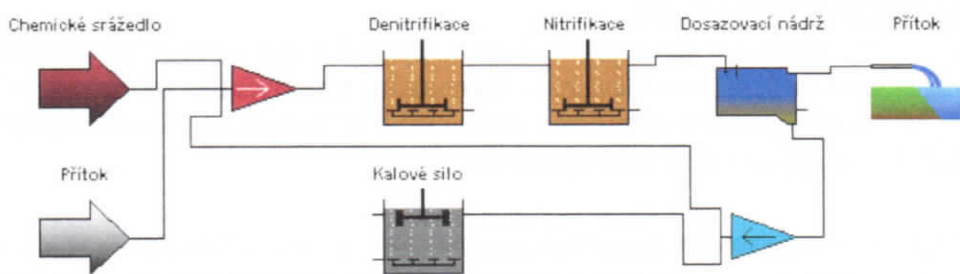
7.2.1 Postup výpočtu

Chování a funkce biologického stupně ČOV je ověřována metodou matematické simulace aktivačního procesu, jež slouží jednak k ověření kapacity realizovaného či navrhovaného systému a dále k případnému dořešení objemového návrhu nádrží spolu s dalšími technologickými prvky systému (velikosti recirkulací, výpočet oxygenační kapacity apod.). Matematická simulace aktivačního procesu umožňuje výpočty systému při reálném dynamickém chování.

7.2.2 Použitý software

Základní podmínkou jakýchkoliv technologických výpočtů týkajících se biologického systému ČOV Ptice, je přesný popis hydraulické soustavy. Za účelem provedení exaktních propočtů stávajícího a intenzifikovaného systému ČOV bylo připraveno speciální technologické schéma počítačového software GPS-X umožňujícího realizaci detailních výpočtů aktivačního systému v různých provozních variantách. Použité schéma je pro ilustraci znázorněno na Obr. 12.

Použitý software umožňuje exaktní simulaci technologické linky ČOV Ptice, zadání požadovaných vstupních parametrů kvality a kvantity odpadních vod ve všech proudech (tj. přítok, kalová voda), přesné zadání rozměrů jednotlivých technologických stupňů, tj. typ aerace, hloubky a plochy nádrží (včetně dosazovacích). Pomocí software lze namodelovat funkci systému jak ve stacionárním, tak dynamickém stavu s přesným zadáním fluktuace hydraulického zatížení, zatížení organickými a dusíkatými látkami během dne i roku, včetně teplotních profilů.



Obr. 12: Technologické schéma ČOV Ptice SW GPS-X.

Základem výpočtu aktivačního systému je biokinetický model konverze organického a dusíkatého znečištění. Výpočty byly provedeny s modelem MANTIS, který je určen k modelování procesů biologického odstraňování dusíku. Frakcionace vstupní odpadní vody je v základě založena na modelu ASM No. 2 s využitím pro model MANTIS. Výchozími komponenty jsou CHSK, TKN a NL, přičemž pro výpočet biologické části ČOV jsou prioritní vstupy znečištění do aktivace.

Při stanovení jednotlivých frakcí organického a dusíkatého znečištění a frakcí fosforu je využito dat provozního sledování složení finálního odtoku. Tento postup nahrazuje přesnější, avšak časově výrazně náročnější postupy spojené s frakcionací odpadních vod dle Lesouefa et al. (1992)¹. Stanovovány jsou rozpuštěné a partikulované frakce jednotlivých forem znečištění, přičemž jsou zohledňována specifika lokality.

7.2.3 Výpočty aktivačního procesu v ustáleném stavu

Intenzifikovaný aktivační proces ČOV je pro účely výpočtu rozdělen na 4 sekce, z nichž sekce 1 je uvažována jako anoxická a sekce 2 jako oxická s koncentrací rozpuštěného kyslíku 2 mg.l^{-1} . Odpadní voda je po hrubém předčištění zaústěna spolu s vratným kalem do denitrifikačního stupně (reaktor 1). Po průchodu anoxickou sekcí natéká aktivační do nitrifikačního stupně (reaktor 2). Odtok do separačního stupně je realizován z konce oxické sekce (reaktor 2). Z konce oxické sekce je na začátek denitrifikační sekce zaústěna interní recirkulace aktivační směsi.

Pro objemové uspořádání aktivačního procesu dle Tab. 14 byly realizovány výpočty optimalizace hlavních technologických parametrů v ustáleném nedynamickém stavu. Základní výpočty ustáleného stavu jsou provedeny pro minimální návrhovou teplotu aktivační směsi na úrovni 11°C . V rámci výpočtů byly řešeny tyto dílčí technologické ukazatele:

- ❖ Množství železitě soli pro eliminaci sloučenin fosforu.
- ❖ Optimální množství interní recirkulace aktivační směsi.
- ❖ Potřebné stáří kalu a jeho koncentrace v aktivaci pro dosažení stabilní nitrifikace.

¹ Lesouef, A., Payraudeau, M., Rogalla, F. and Kleiber, B. (1992): Optimizing nitrogen removal reactor configurations by on-site calibration of the IAWPRC Activated Sludge Model. *Wat.Sci.Tech.* Vol. 25, No. 6, 105 – 123.

7.2.3.1 Chemické srážení fosforu

Pro účely zvýšené eliminace sloučenin fosforu z odpadních vod v rámci jejich biologického čištění je navrženo aplikovat mechanismus chemického simultánního srážení solemi železa. V Tab. 17 jsou uvedeny parametry procesu chemického srážení při respektování projektových hydraulických a látkových zatěžovacích parametrů.

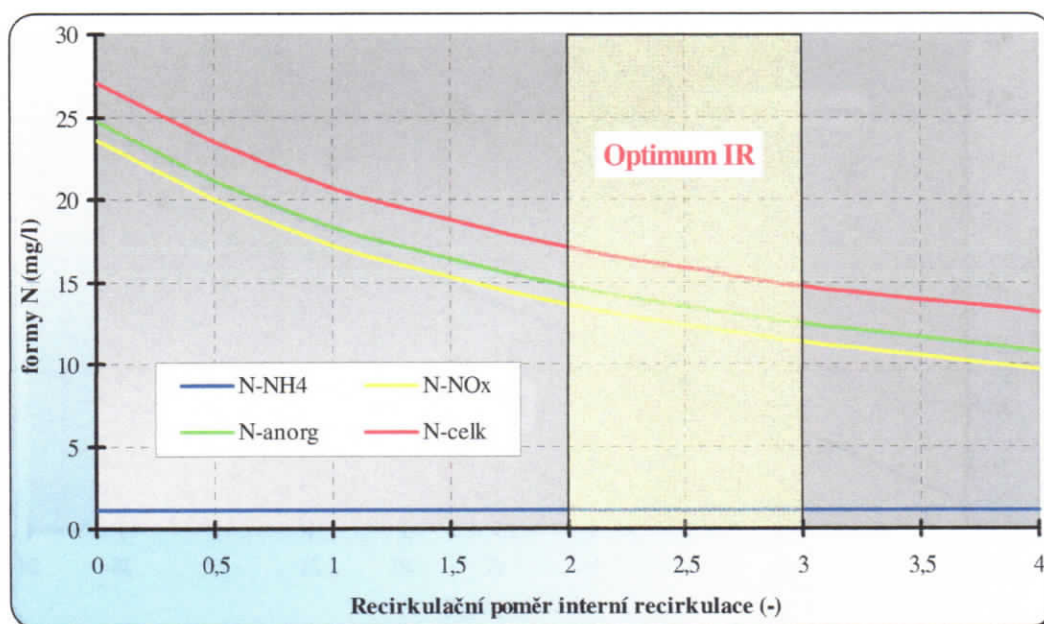
Tab. 17: Charakteristika procesu chemické eliminace sloučenin fosforu na ČOV Ptice po intenzifikaci.

Parametr	jednotka	hodnota
průměrný denní přítok	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	308,9
celkové množství fosforu v přítoku	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	4,13
koncentrace P-celk v odtoku	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,8
celkové množství fosforu v odtoku	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	0,55
množství fosforu inkorporovaného do biomasy	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	1,31
množství fosforu k odstranění	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	2,27
molární poměr P:Fe	-	1,5
dávka železa	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	6,1
objemové množství 40%-ního $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{l} \cdot \text{d}^{-1}$	35,2
hmotnostní produkce chemického kalu	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	15,2

Dávkování chemického srážedla (železité či hlinité soli) bude zaústěno do rozdělovacího objektu před aktivační nádrže. Potřebná kapacita dávkovacího čerpadla činí v optimálním rozmezí funkce cca $1,5 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$. Chemické srážedlo bude skladováno v nové dvouplošné nádrži o objemu 5 m^3 .

7.2.3.2 Výpočty interní recirkulace aktivační směsi

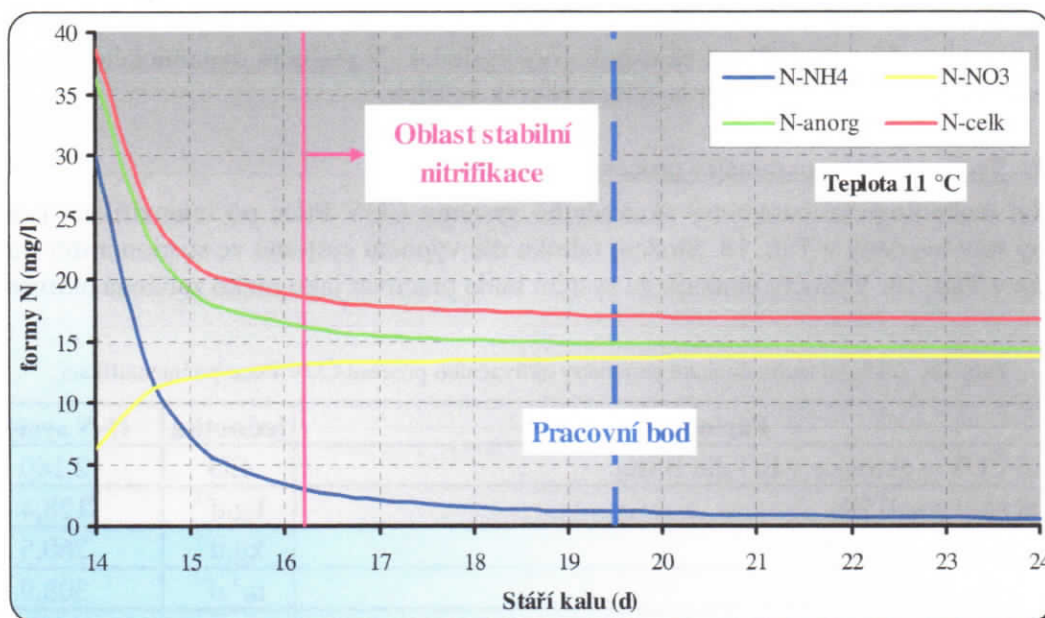
Pro zvolené uspořádání a objemové členění aktivačního systému byla kalkulována optimální hodnota poměru interní recirkulace aktivační směsi z konce sekce nitrifikace do druhé sekce denitrifikace. Výsledky výpočtů jsou v grafické formě prezentovány na Obr. 13. Při výpočtech bylo uvažováno s hodnotou recirkulace vratného kalu na úrovni 152 % průměrného denního přítoku odpadních vod, tj $470 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ (viz kapitola 7.1). Z grafického výstupu je zřejmé, že se optimální velikost interní recirkulace aktivační směsi pohybuje v rozmezí 200 až 300 % průměrného denního přítoku odpadních vod. Pro výhledové zatěžovací parametry je možno doporučit hodnotu recirkulačního poměru aktivační směsi na spodní hranici odvozeného intervalu, tedy cca 200 % průměrného denního průtoku odpadních vod, tedy $618 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ pro obě linky. Pro jednu aktivační linku činí optimální potřebný výkon čerpadla interní recirkulace cca $3,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 13: Výpočet optimální velikosti interní recirkulace aktivační směsi.

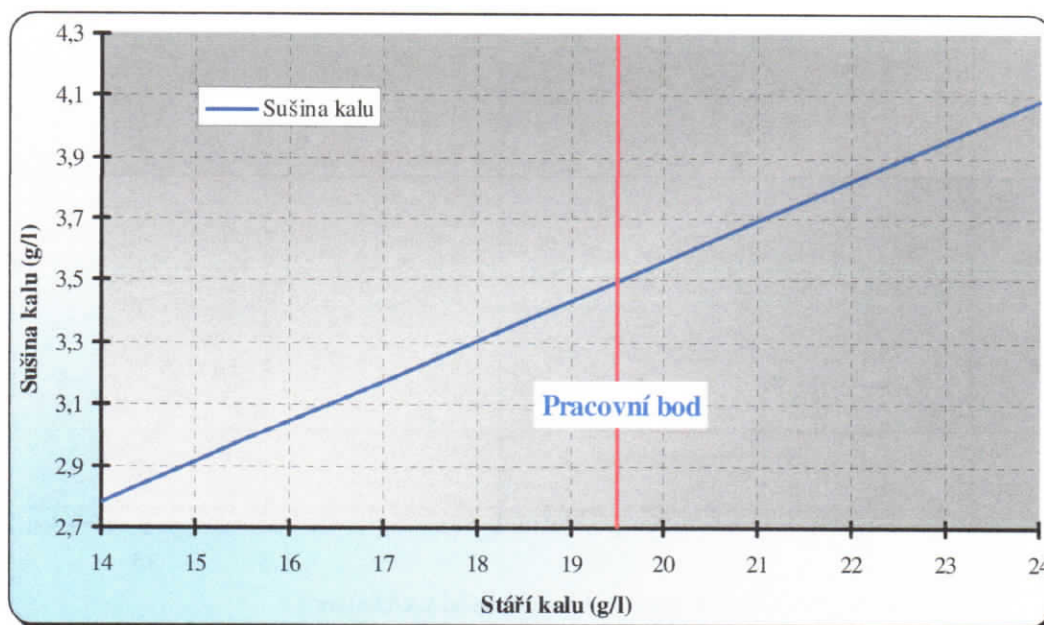
7.2.4 Stabilita nitrifikace

Při návrhu či verifikaci navrženého aktivačního systému je vždy potřeba určit kritické stáří kalu pro minimální výpočtovou teplotu (11 °C). Obr. 14 znázorňuje závislost dusíkatých forem znečištění v odtoku ze systému na stáří kalu.



Obr. 14: Výpočet nitrifikační kapacity biologického D-N systému ČOV Ptice po intenzifikaci.

Na Obr. 15 je znázorněna vypočtená koncentrace kalu v závislosti na použité hodnotě stáří kalu.



Obr. 15: Výpočet závislosti koncentrace sušiny kalu na stáří kalu pro ČOV Ptice po intenzifikaci.

Z Obr. 14 a Obr. 15 je zřejmé, že systém vykazuje při minimální teplotě 11 °C stabilitu procesu nitrifikace při stáří kalu cca 16,2 dne. Při této hodnotě stáří kalu je v aktivačním procesu dosaženo koncentrace sušiny na úrovni 3,1 g.l⁻¹, přičemž se odtoková koncentrace amoniakálního dusíku pohybuje okolo 3 mg.l⁻¹.

Pro účely reálného provozu ČOV Ptice při výhledovém látkovém zatížení je navrženo pracovat s hodnotou sušiny kalu na úrovni 3,5 g.l⁻¹, které je dosaženo při stáří kalu cca 19,5 dne. Při této hodnotě stáří kalu se budou odtokové koncentrace N-NH₄ pohybovat na úrovni cca 1,1 mg.l⁻¹, což lze považovat za uspokojivý výsledek. V reálném dynamickém stavu bude dosaženo odtokových koncentrací N-NH₄ a N-celk vyšších.

7.2.4.1 Technologické parametry procesu

Základní technologické parametry aktivačního systému ČOV Ptice po intenzifikaci jsou pro ustálený stav uvedeny v Tab. 18. Složení odtoku dle výpočtu systému ve stacionárním stavu je uvedeno v Tab. 18. Výpočty ukazují, že systém bude pracovat jako nízko zatížená aktivace.

Tab. 18: Základní technologické parametry aktivačního procesu ČOV Ptice po intenzifikaci.

Parametr	jednotka	D-N systém
Zatížení ČOV a aktivace v EO dle BSK ₅	EO	2 140
Zatížení aktivace BSK ₅	kg.d ⁻¹	128,4
Zatížení aktivace CHSK	kg.d ⁻¹	260,5
Hydraulické zatížení – Q ₂₄	m ³ .d ⁻¹	308,9
Objem aktivace	m ³	573,1
z toho objem denitrifikačních sekcí	m ³	173,0
z toho objem nitrifikačních sekcí	m ³	400,1
Minimální výpočtová teplota - T _{min}	°C	11,0

Koncentrace biomasy v nitrifikaci při $T_{\min} = 11\text{ °C}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	3,5
Recirkulační poměr vratného kalu	% Q_{24}	152
Průtok vratného kalu	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	470
Recirkulační poměr interní recirkulace aktivační směsi	% Q_{24}	200
Průtok interní recirkulace aktivační směsi	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	618
Hydraulická doba zdržení	h	31,0
Stáří kalu při $T_{\min} = 11\text{ °C}$	d	19,5
Zásoba kalu v systému	kg	1 400
Produkce kalu při $T_{\min} = 11\text{ °C}$ (včetně chem. kalu)	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	72
Koncentrace kyslíku v nitrifikaci	$\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	2,0
Objemové zatížení BSK ₅	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	0,321
Objemové zatížení CHSK	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$	0,651
Zatížení kalu BSK ₅	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	0,092
Zatížení kalu CHSK	$\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$	0,186
Typ systému	zatížení	nízké

Tab. 19: Vypočtené odtokové parametry ČOV Ptice, stacionární stav.

Ukazatel	jednotka	10 °C	20 °C
CHSK	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	42	39
BSK ₅	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	8,0	7,0
NL	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	12	10
N-NH ₄	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,1	0,8
N-NO _x	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	13,6	14,0
N-celk	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	17,1	17,0
P-celk*	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,8	1,8

* Chemické simultánní srážení, $55\text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$ 40%-ního síranu železitého.

7.2.5 Návrh potřeby kyslíku a vzduchu

Návrh potřeby kyslíku a vzduchu musí být proveden takovým způsobem, aby systém nebyl v kyslíkovém deficitu při maximálním zatížení ČOV. Toto maximální zatížení lze brát při aplikaci dynamického denního profilu zatížení na maximální denní zatížení systému dané koeficientem k_d . Potřeba kyslíku a vzduchu byla počítána prostřednictvím matematického modelu z hodnot OUR pro standardní návrhovou teplotu 20 °C. Pro výpočet OCst a množství vzduchu byly uvažovány následující hodnoty:

koeficient denní nerovnoměrnosti k_d	1,4
teplota	11 ° a 20 °C
hloubka ponoru aeračních elementů	3,8 m
koeficient alfa	0,7
koeficient beta	0,95
specifické využití kyslíku ze vzduchu	$5,0\text{ } \%$ · m^{-1}
nadmořská výška	390 m n. m.

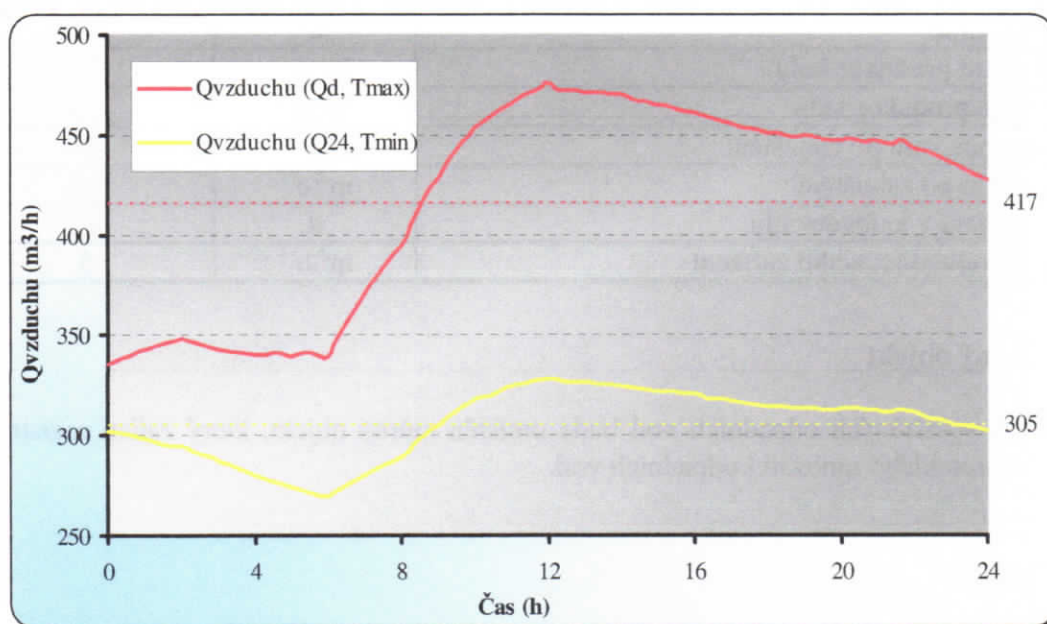
Za účelem určení orientační hodnoty čisté potřeby kyslíku v ustáleném stavu byly vypočteny hodnoty OC_p, OC_{st} a Q_{vzduchu} v aerovaných reaktorech aktivačního procesu. Situace je pro minimální teplotu 11 °C a hodnotu k_d = 1,0 (Q₂₄) a maximální výpočtovou teplotu 20 °C a hodnotu k_d = 1,4 uvedena v Tab. 20. Graficky je výpočet potřeby vzduchu znázorněn na Obr. 16.

Tab. 20: Výpočet potřeby vzduchu pro výhledové zatěžovací parametry ČOV Ptice.

	Q₂₄; T = 11 °C	Q_d; T = 20 °C
OC_p	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹
průměr	211	273
maximum	227	312
minimum	186	220
OC_{st}	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹
průměr	390	533
maximum	419	607
minimum	344	428
Q_{vz}	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹
průměr	305	417
maximum	328	476
minimum	270	335

Dimenzování aeračního zařízení je pro teplotu 20 °C a zatížení na úrovni 2 140 EO nutno provést na maximální hodnotu Q_{vzduchu} dle Tab. 20, tj. 476 m³.h⁻¹. Minimální množství vzduchu je při 11 °C kalkulováno v Tab. 20 na úrovni 270 m³.h⁻¹. Nezbytné je dodržet distribuci vzduchu do příslušných aerovaných sekcí aktivace. Při řízení dodávky vzduchu je nezbytné dodržet minimální intenzitu aerace na úrovni 0,5 m³.m⁻³.h⁻¹ zajišťující udržení aktivační směsi ve vznosu.

Dodávku vzduchu zajistí dmychadla v sestavě 2 + 1 ks o maximálním výkonu jednoho stroje cca 240 m³.h⁻¹ vzduchu. Obě linky je doporučeno zásobit od nezávislých zdrojů vzduchu s vlastním frekvenčním měničem řízeným od aktuální koncentrace rozpuštěného kyslíku v sekci nitrifikace příslušné biologické linky.



Obr. 16: Průběh potřeby vzduchu pro teplotu 11 °C a přítok Q_{24} a teplotu 20 °C a přítok Q_d .

7.3 Odvod a zpracování přebytečného kalu

Ze dna každé dosazovací nádrže bude čerpadlem v sestavě 1 + 0 ks s jednotkovým výkonem $4,0 \text{ l.s}^{-1}$ odebírán odsazený aktivovaný kal a recirkulován do denitrifikační zóny příslušné aktivační nádrže. Funkce čerpadel bude časově regulovatelná v závislosti na nastavení řídicího členu ČOV. Jedno čerpadlo stejného výkonu bude jako rezervní umístěno v provozní budově. Z potrubí vratného kalu každé linky bude přetržitě odbočkou odváděn přebytečný aktivovaný kal do provzdušňovaného kalového sila. K dopravě přebytečného kalu bude používáno čerpadel vratného kalu.

Kalové silo bude osazeno středobublinnými aeračními elementy a zařízením pro řízený odtah kalové vody - čerpadlo na spouštěcím zařízení. Kalová voda bude přečerpávána před biologický stupeň ČOV. K zahušťování uskladněného kalu bude docházet periodicky při odstavení dodávky vzduchu do sila.

Přebytečný aktivovaný kal odebíraný z dosazovacích nádrží bude obsahovat cca 0,7 % sušiny. Koncepce zpracování přebytečného aktivovaného kalu bude založena na jeho gravitačním zahuštění a aerobní stabilizaci. Po gravitačním zahuštění bude kal obsahovat cca 2,0 % sušiny.

Zahuštěný a aerobně stabilizovaný kal bude odvodňován za přídatku organického flokulantu na odvodňovacím zařízení a v pevném stavu odvážen k další řízené likvidaci. V Tab. 21 jsou uvedeny hlavní technické a technologické parametry kalového hospodářství ČOV Ptice.

Tab. 21: Hlavní technické a technologické parametry kalového hospodářství ČOV Ptice.

Parametr	jednotka	hodnota
kalové silo	ks	1

objem nádrže	m^3	150
hmotnostní produkce kalu	$kg.d^{-1}$	72
objemová produkce kalu	$m^3.d^{-1}$	10
koncentrace kalu po zahuštění	$kg.m^{-3}$	20
objem kalu po zahuštění	$m^3.d^{-1}$	3,6
doba zdržení v kalovém silu	d	42
kapacita odvodňovacího zařízení	$m^3.h^{-1}$	5

7.4 Měrný objekt

Na odtoku vyčištěných odpadních vod bude umístěn měrný objekt, který zajistí registraci a archivaci proteklého množství odpadních vod.

8 ZÁVĚR

Předložený materiál představuje vyhodnocení aktuálních hydraulických a látkových zatěžovacích parametrů ČOV Ptice, odvození výhledového zatížení pro připojení obce Úhonice a návrh a technologické výpočty intenzifikace existujícího uspořádání a objemového členění biologického stupně. Z provedených vyhodnocení a výpočtů lze vyvodit níže prezentované závěry.

1. Na základě stávajícího stavu a při respektování potřeb rozvoje obce byly formulovány následující výhledové hydraulické a látkové zatěžovací parametry.

Průtok		$m^3.d^{-1}$	$m^3.h^{-1}$	$l.s^{-1}$
Q_{24}		308,9	12,9	3,6
k_d	1,4			
Q_d		432,5	18,0	5,0
k_h	2,1			
Q_h		-	37,8	10,5
$Q_{čerpáné}$			39,6	11,0

Ukazatel		$kg.d^{-1}$	$mg.l^{-1}$
Počet ekvivalentních obyvatel dle BSK ₅	2 140		
BSK ₅		128,4	415,8
CHSK _{Cr}		260,5	843,2
NL		130,1	421,1
N-NH ₄		19,2	62,1
N-celk		28,6	92,7
P-celk		4,1	13,4

2. Koncepce intenzifikace ČOV pro výhledové zatěžovací parametry představuje níže uvedené opatření.

- Odpadní vody z obce Ptice budou na ČOV přiváděny stávajícím kanalizačním systémem, z obce Úhonice pak novým, striktně oddílným kanalizačním systémem.
- V objektu hrubých ručně stíraných česlí a lapáku šterku budou hrubé česle nahrazeny novými automaticky čištěnými česlemi ve venkovním provedení a dopravou shrabků do kontejneru.
- Ve vstupní čerpací stanici bude ke stávající dvojici čerpadel o maximálním výkonu 6 l.s^{-1} každého stroje doplněno jedno čerpadlo o maximálním výkonu 11 l.s^{-1} .
- Stávající kalová nádrž bude rozdělena na dvě shodné části, které budou využity jako první denitrifikační sekce dvojice aktivačních linek. Do těchto sekcí budou rozdělovány surové odpadní vody a vratný kal z dosazovacích nádrží.
- Po průchodu první denitrifikační sekcí bude aktivační směs vedena do druhé denitrifikační sekce každé linky, která vznikne ze stávající denitrifikační sekce a s přičleněním části stávající nitrifikační sekce.
- Po průchodu druhou denitrifikační sekcí každé linky bude aktivační směs přiváděna do první nitrifikační sekce vzniklé ze zbylého objemu nitrifikace a objemu příslušné demontované vestavěné dosazovací nádrže.
- Z první nitrifikační sekce bude aktivační směs u každé linky dále přiváděna do druhé nitrifikační sekce, která bude realizována vně stávajícího zastřešeného objektu.
- Všechny nitrifikační sekce budou vybaveny novým jemnobublinným aeračním systémem. Druhé nitrifikační sekce pak budou osazeny sondami pro měření koncentrace rozpuštěného kyslíku.
- Z konce každé nitrifikační sekce bude veden proud interní recirkulace aktivační směsi do druhé denitrifikační sekce příslušné linky.
- Nitrifikační sekce budou zásobeny vzduchem od nově instalované trojice dmychadel pracujících v sestavě 2 + 1 ks o maximálním výkonu jednoho stroje cca $430 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ vzduchu. Dodávka vzduchu bude řízena na základě on-line měřené koncentrace rozpuštěného kyslíku pro každou linku separátně.
- Stávající vestavěné dosazovací nádrže budou zrušeny. Pro účely separace kalu bude vně zastřešeného objektu ČOV realizována dvojice nových dosazovacích nádrží. Nové dosazovací nádrže budou vystrojeny kompletním strojně-technologickým zařízením pro odtah plovoucích nečistot. Každá z nádrží bude osazena čerpadlem vratného kalu o výkonu 4 l.s^{-1} .
- Mikrosítový bubnový filtr bude z technologické linky vyřazen. Řádné dimenzování nového separačního stupně zajistí složení finálního odtoku v souladu s platnou legislativou a provoz bubnového filtru bude tudíž bezpředmětný.
- Pro účely zvýšené eliminace sloučenin fosforu je navrženo instalovat novou dvouplášťovou nádrž vně objektu ČOV a novou dávkovací stanici. Vzhledem k potřebě ovlivnění hodnoty kalového indexu je pro zimní období provozu navrženo dávkovat hlinitou sůl na místo soli železité.
- Vyprodukovaný přebytečný aktivovaný kal bude řízeně odčerpáván do nové kalové nádrže vybavené zařízením pro odtah kalové vody a středobublinným aeračním systémem. Přebytečný aktivovaný kal bude v kalové nádrži gravitačně zahušťován a aerobně stabilizován.
- Aerobně stabilizovaný kal bude odvodňován za přídavku organického flokulantu na nově instalovaném odvodňovacím zařízení. Odvodněný kal bude v pevném stavu odvážen k další řízené likvidaci.

- V rámci intenzifikace ČOV je navrženo kompletně vyměnit stávající systém měření a regulace.
3. Pro účely formulování budoucího vodohospodářského povolení po intenzifikaci ČOV na výhledovou kapacitu 2 140 EO je navrženo uvažovat s níže prezentovanými limitními koncentracemi ukazatelů znečištění.

Ukazatel	jednotka	hodnota „p“	hodnota „m“	roční průměr
BSK ₅	mg.l ⁻¹	18	25	-
CHSK	mg.l ⁻¹	70	120	-
NL	mg.l ⁻¹	20	30	-
N-NH ₄	mg.l ⁻¹	-	15	8
P-celk	mg.l ⁻¹	-	5,0	2,0