

OBSAH

	strana
1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE DÍLA	3
1.1 Předmět díla	3
1.2 Podklady	3
1.3 Použitý software	3
2 USPOŘÁDÁNÍ A TECHNICKÉ PARAMETRY SOUČASNÉHO STAVU	4
2.1 Projektové zatěžovací parametry	4
2.2 Koncepce uspořádání a technické parametry ČOV	4
2.2.1 Čerpací stanice	6
2.2.2 Velmi jemné česle	6
2.2.3 Lapák písku	6
2.2.4 Odlehčovací a vypínací komora	6
2.2.5 Dešťové zdrže	7
2.2.6 Rozdělovací objekt před aktivačními nádržemi	7
2.2.7 Aktivační proces	7
2.2.8 Dmychárna	8
2.2.9 Dosazovací nádrže	8
2.2.10 Měrný objekt	8
2.2.11 Čerpání vratného a přebytečného kalu	8
2.2.12 Zahušťovací nádrž přebytečného kalu	9
2.2.13 Uskladňovací nádrže	9
2.2.14 Odvodnění kalu	9
2.3 Požadavky na složení odtoku	9
3 KONCEPCE INTENZIFIKACE BIOLOGICKÉHO STUPNĚ	10
4 SOUVISEJÍCÍ PARAMETRY PRO TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY	12
4.1 Aktuální látkové zatěžovací parametry a složení surové odpadní vody	12
4.2 Denní hydraulický profil	13
4.3 Teplotní profil v aktivačním procesu	13
5 VÝPOČTY SEPARAČNÍHO STUPNĚ	14
5.1 Výpočet dle ATV 131 (1991)	14

5.2	Výpočet dle hmotnostního toku částic	16
6	MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ AKTIVAČNÍHO PROCESU	16
6.1	Postup výpočtů	17
6.1.1	Použitý software	17
6.1.2	Metodika výpočtu	18
6.2	Maximální kapacita navrženého D-R-D-N procesu	19
6.3	Optimalizace D-R-D-N procesu v ustáleném stavu	20
6.3.1	Velikost odvětvení přítoku surové odpadní vody do reaktoru DI	20
6.3.2	Velikost interní recirkulace	20
6.3.3	Chemické srážení fosforu	21
6.3.4	Technologické parametry procesu	22
6.4	Návrh potřeby kyslíku a vzduchu	23
7	ZÁVĚR	26

ČOV ČESKÝ BROD

Návrh úprav a technologické výpočty intenzifikace biologické linky

1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE DÍLA

Název:	ČOV Český Brod - návrh úprav a technologické výpočty intenzifikace biologické linky
Místo:	ČOV Český Brod
Objednatel:	1.SčV, a.s. Ke Kablu 971, 100 00 Praha 10
Zpracovatel:	AQUA-CONTACT Praha v.o.s., sídlo: Husova 112, 551 01 Jaroměř provozovna: Mařákova 6, 160 00 Praha 6

1.1 Předmět díla

Předmětem díla je zpracování návrhu a technologických výpočtů intenzifikace biologického stupně existující ČOV Český Brod při respektování požadavků na složení finálního odtoku dle NV 401/2015 Sb.

1.2 Podklady

Pro vypracování díla byla k dispozici následující podkladová dokumentace:

- (1) *Výpočty maximální kapacity biologického stupně ČOV Český Brod*, zpracováno spol. AQUA-CONTACT Praha v.o.s. v 03/2018.
- (2) Platné povolení k nakládání s odpadními vodami vydané Městským úřadem Český Brod, Odborem životního prostředí a zemědělství pod č.j. MUCB 3787/2013 ze dne 11. 2. 2013, resp. jeho oprava č.j. MUCB 4931/2013 ze dne 22. 2. 2013.

1.3 Použitý software

Veškeré výpočty chování biologické linky ČOV jsou provedeny pomocí matematického modelu aktivačního procesu počítačového software **GPS-X** kanadské firmy Hydromantis, Inc., číslo licence: 9117 0399 391 01E.



GPS-X je software kanadské firmy Hydromantis, Inc. umožňující flexibilní matematické simulace biologických systémů čištění odpadních vod v dynamickém stavu. GPS-X je považován za nejlepší produkt, který je v současné době k dispozici na světovém trhu. Předností je univerzální použití a flexibilita umožňující matematickou simulaci téměř všech procesů biologického čištění odpadních vod.

2 USPOŘÁDÁNÍ A TECHNICKÉ PARAMETRY SOUČASNÉHO STAVU

2.1 Projektové zatěžovací parametry

Stávající technologická linka ČOV Český Brod byla realizována pro hydraulické a látkové zatěžovací parametry uvedené v Tab. 1 a Tab. 2.

Tab. 1: Projektové hydraulické zatěžovací parametry ČOV Český Brod.

Průtok		$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{24}		1 819	75,8	21,1
k_d	1,27			
Q_d		2 316	89,0	24,7
k_h	-			
Q_h		-	176,4	49,0
$Q_{\text{dešť}} \text{ do ČOV}$		-	576,0	160,0
$Q_{\text{dešť}} \text{ do biologie}$		-	176,4	49,0

Tab. 2: Projektové látkové zatěžovací parametry ČOV Český Brod a znečištění surových odpadních vod.

Ukazatel		$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
počet EO dle BSK ₅	9 962		
BSK ₅		597,7	328,6
CHSK _{Cr}		1 173,7	645,2
NL		674,3	370,7
N-NH ₄		107,5	59,1
N-celk		151,5	83,3
P-celk		19,8	10,9

2.2 Koncepte uspořádání a technické parametry ČOV

Technologická linka ČOV Český Brod zahrnuje stupeň mechanického předčištění odpadních vod, biologický stupeň čištění a kalové hospodářství pro aerobní stabilizaci a následné odvodnění vyprodukovaného přebytečného aktivovaného kalu.

Odpadní vody jsou jednotným kanalizačním systémem přiváděny do areálu ČOV. Voda z kanalizačního systému natéká přes lapák šterku do vstupní čerpací stanice. V areálu ČOV jsou odpadní vody přiváděny přes lapák šterku do vstupní čerpací stanice, odkud jsou zdvihány na stupeň mechanického předčištění. Mechanické předčištění odpadních vod představuje záchyt shrabků na velmi jemných automaticky čištěných česlích a separaci písku ve dvojici vírových lapáků písku. Shrabky zachycené na velmi jemných česlích jsou propírány a odvodňovány ve šnekovém lisu, písek vytěžený z lapáku písku je veden do šnekového separátoru.

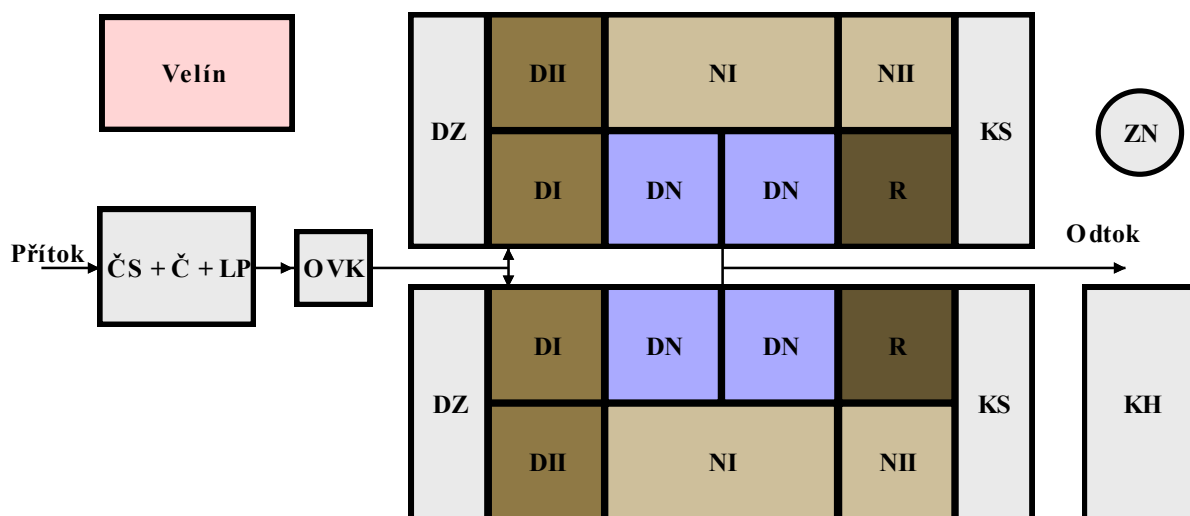
Mechanicky předčištěné vody jsou za stupněm hrubého předčištění přiváděny do odlehčovacího objektu zajišťujícího maximální nátok odpadních vod do hodnoty $Q_{\text{dešť}} = 49 \text{ l.s}^{-1}$ na následný biologický stupeň a odvedení případných dešťových vod do dešťových zdrží. Po naplnění dešťových zdrží dochází ke vzduť hladiny do odlehčovacího objektu a následnému přepadu do recipientu.

Aktivační proces je realizován jako dvojice paralelně protékaných linek tzv. R-D-N systému, tedy systému s denitrifikační a nitrifikační sekci v hlavním proudu a regenerací kalu ve vedlejším proudu. Aktivační proces je dimenzován pro ustavení procesu biologické nitrifikace a denitrifikace. Aktivační proces je doplněn procesem zvýšené eliminace sloučenin fosforu jejich simultánním chemickým srážením. Srážedlo (železitá sůl) je dávkováno do nátoků do dosazovacích nádrží.

Vyčištěná odpadní voda je od aktivovaného kalu pro každou linku separována ve dvojici pravoúhlých, vertikálně protékaných dosazovacích nádrží. Usazený aktivovaný kal je ze dna každé z nádrží odtahován separátním čerpadlem a veden jako vratný kal do denitrifikační nádrže příslušné biologické linky, nebo jako přebytečný kal do stupně kalového hospodářství. Vyčištěná odpadní voda odtéká z hladiny dosazovacích nádrží přes měrný objekt do recipientu, kterým je potok Šembera.

Nakládání s vyprodukovaným přebytečným aktivovaným kalem je založeno na jeho gravitačním zahuštění a následné aerobní stabilizaci. Aerobně stabilizovaný kal je odvodňován za přídavku organického flokulantu na instalovaném sítopásovém lisu a po odvodnění odvážen k další řízené likvidaci.

Na Obr. 1 je schematicky znázorněna technologická linka ČOV Český Brod.



Obr. 1: Schematické znázornění technologické linky ČOV Český Brod.

Legenda: ČS - čerpací stanice., Č - česle, LP - lapák písku, OVK - odlehčovací a vypínací komora, DZ - dešťová zdrž, R - regenerace, D - denitrifikační sekce, N - nitrifikační sekce, DN - dosazovací nádrž, KS - uskladňovací nádrž, ZN - zahušťovací nádrž, KH - odvodnění kalu

2.2.1 Čerpací stanice

Odpadní vody zbavených velmi hrubých unášených nečistot natékají za lapákem šterku do vstupní čerpací stanice. Čerpací stanice je vystrojena trojicí čerpadel v sestavě 2 + 1 ks. Dvě čerpadla o výkonu 50 l.s^{-1} a jedno o výkonu 160 l.s^{-1} . Režim provozu je takový, že postupně spíná jedno čerpadlo o výkonu 50 l.s^{-1} , následně při růstu hladiny připíná druhé čerpadlo o výkonu 50 l.s^{-1} a při dalším růstu hladiny obě tato čerpadla vypínají a spíná čerpadlo o výkonu 160 l.s^{-1} .

2.2.2 Velmi jemné česle

Ze vstupní čerpací stanice jsou odpadní vody zdvihány do objektu česlovny, kde jsou v hlavním žlabu osazeny velmi jemné šroubové česle MAIND MID 5 s průlinami 3 mm. Zachycené shrabky jsou lisem na shrabky vynášeny hydraulickým lisem s promýváním do kontejneru a odváženy k řízené likvidaci.

V obtokovém žlabu strojních česlí jsou osazeny česle s ručním stíráním s šíří průlin 40 mm,

2.2.3 Lapák písku

Po průchodu česlovnou jsou odpadní vody rozdělovány do dvojice vírových lapáků písku LPO 480. Lapáky písku jsou doplněny kompletním zařízením pro těžení zachyceného písku a zdrojem vzduchu. Vytěžený písek je veden do separátoru písku, z něj do kontejneru a dále je odvážen k další likvidaci.

2.2.4 Odlehčovací a vypínací komora

Za stupněm hrubého předčištění je umístěna odlehčovací a vypínací komora. Objekt zajišťuje maximální nátok odpadních vod do biologického stupně v množství odpovídajícím 49 l.s^{-1} . Srážkové průtoky nad tuto hodnotu jsou nejprve odváděny do dvojice dešťových zdrží. Po jejich naplnění dojde k vyvzdutí hladiny s následným přepadem do recipientu. Technologické vybavení objektu umožňuje úplné zastavení nátoků do biologického stupně.

2.2.5 Dešťové zdrže

Pro účely zachytu prvního, silně znečištěného splachu při srážkách je na ČOV zařazena dvojice dešťových zdrží o objemu $2 \times 270 \text{ m}^3$. Dešťové zdrže jsou vybaveny vyplachovacími klapkami. Zachycené odpadní vody jsou z dešťových zdrží po odeznění přívalového přítoku vypouštěny do vnitřní kanalizace a dále do vstupní čerpací stanice.

2.2.6 Rozdělovací objekt před aktivačními nádržemi

Za odlehčovací a vypínací objektem jsou odpadní vody přiváděny do rozdělovacího objektu před biologickým stupněm. Rozdělovací objekt umožňuje rovnoměrný nátok na dvojici paralelně protékajících biologických linek.

2.2.7 Aktivační proces

Aktivační proces ČOV Český Brod je realizován na bázi tzv. „R-D-N systém“, tedy systému s předřazeným denitrifikačním stupněm, následným nitrifikačním stupněm a regenerací v proudu vratného kalu. Systém je realizován ve dvou paralelně protékajících linkách.

Surová odpadní voda je u každé linky přivedena spolu s regenerovaným vratným kalem do první anoxické sekce. Následně aktivační směs postupně natéká do druhé anoxické sekce a první resp. druhé oxické sekce. Z konce nitrifikačního stupně každé linky je veden proud interní recirkulace aktivační směsi na začátek denitrifikačního stupně. Vratný kal je ze dna dosazovacích nádrží veden do sekce regenerace kalu příslušné biologické linky.

Anoxické sekce jsou vybaveny hyperboloidními míchadly INVENT, oxické sekce a sekce regenerace jsou osazeny jemnobublinným aeračním systémem.

V následující Tab. 3

Tab. 3: Hlavní technické parametry stávajícího aktivačního R-D-N systému ČOV Český Brod.

Parametr	jednotka	hodnota
regenerace	ks	2
šířka	m	6,1
délka	m	6,2
hloubka vody	m	5,0
objem	m^3	378
denitrifikace 1	ks	2
šířka	m	7,2
délka	m	7,2
hloubka vody	m	4,85
objem	m^3	502
denitrifikace 2	ks	2
šířka	m	5,0
délka	m	7,2
hloubka vody	m	4,85
objem	m^3	348
nitrifikace 1	ks	2
šířka	m	5,0
délka	m	14,8
hloubka	m	4,65

užitný objem	m ³	686
nitrifikace 2	ks	2
šířka	m	6,1
délka	m	6,2
hloubka	m	4,7
užitný objem	m ³	355

2.2.8 Dmychárna

Aktivační systém je zásoben vzduchem z objektu dmychárny, ve které je umístěna trojice dmychadel (sestava 2 + 1 ks) LUTOS typ DT 60/102 o maximálním výkonu jednoho stroje 708 m³.h⁻¹ vzduchu. Dmychadla jsou vybavena frekvenčními měniči. Provoz dmychadel je řízen na základě signálu kyslíkových sond instalovaných v prvních sekcích nitrifikace každé linky.

Výtlačné vzduchové potrubí je společné pro všechny sekce aktivačního procesu a nádrže uskladnění kalu. Rozdělení vzduchu je realizováno regulačním elektroventilem řízeným z ASŘ.

2.2.9 Dosazovací nádrže

K separaci aktivovaného kalu od vyčištěné vody slouží pro každou linku dvojice pravoúhlých, vertikálně protékaných dosazovacích nádrží. Nátok do dosazovacích nádrží je potrubím z rozdělovacího žlabu umístěného ve druhé sekci nitrifikačního stupně příslušné linky. Dosazovací nádrže jsou vybaveny kompletním strojně technologickým zařízením pro odtah plovoucích nečistot z hladiny. Usazený aktivovaný kal je ze dna každé nádrže odsáván vlastním čerpadlem vratného kalu umístěným v kolektoru. Výtlak vratného kalu je pro obě nádrže zaústěn do sekce regenerace příslušné linky. Dosazovací nádrže mají následující základní technické parametry.

<u>Dosazovací nádrž</u>	4 ks
hloubka vody	7,05 m
celková plocha	207 m ²
celkový objem	682 m ³

2.2.10 Měrný objekt

Na odtoku z ČOV je umístěn měrný objekt osazeným Parshallovým žlabem a ultrazvukovým snímačem hladiny pro registraci a archivaci dat o aktuálním a součtovém množství proteklých vod.

2.2.11 Čerpání vratného a přebytečného kalu

Aktivovaný kal usazený na dně dosazovacích nádrží je pro každou z nádrží odtahován vlastním čerpadlem umístěným v kolektoru a veden jako vratný kal do sekce regenerace příslušné linky.

Odtah přebytečného aktivovaného kalu je realizován pro každou linku jedním čerpadlem umístěným rovněž v kolektoru.

2.2.12 Zahušťovací nádrž přebytečného kalu

Přebytečný kal z dosazovacích nádrží je přečerpáván k zahuštění do gravitačního zahušťovače o objemu cca 70 m³. Odsazená kalová voda je odváděna přepadem do vnitřní kanalizace ČOV, zahuštěný kal je odčerpáván do dvojice uskladňovacích nádrží.

2.2.13 Uskladňovací nádrže

Přebytečný aktivovaný kal je veden do dvojice uskladňovacích nádrží o celkovém maximální užitém objemu 640 m³. V uskladňovacích nádržích dochází k jeho aerobní stabilizaci. Nádrže jsou pro tyto účely vybaveny jemno a středobublinným aeračním systémem.

2.2.14 Odvodnění kalu

Aerobně stabilizovaný kal je přiváděn do objektu odvodnění kalu. V objektu je umístěn síťopásový lis KAPLAN KZC 1000 doplněný kompletním zařízením pro rozpouštění a dávkování organického flokulantu.

2.3 Požadavky na složení odtoku

Provoz ČOV Český Brod je povolen rozhodnutím vydaným Městským úřadem Český Brod, Odborem životního prostředí a zemědělství pod č.j. MUCB 3787/2013 ze dne 11. 2. 2013 resp. jeho opravou č.j. MUCB 4931/2013 ze dne 22. 2. 2013. Povolené množství vypouštěných odpadních vod a požadované složení finálního odtoku je uvedeno v následujících Tab. 4 a Tab. 5.

Tab. 4: Povolené množství vypouštěných odpadních vod.

Ukazatel	jednotka	hodnota
Průměr	l.s ⁻¹	29,4
Maximum	l.s ⁻¹	40,9
	m ³ .d ⁻¹	3 531
	m ³ .měsíc ⁻¹	110 000
	m ³ .rok ⁻¹	970 000

Tab. 5: Požadované složení vypouštěných odpadních vod.

Ukazatel	hodnota „p“ (mg.l ⁻¹)	hodnota „m“ (mg.l ⁻¹)	roční průměr (mg.l ⁻¹)	balance (t.rok ⁻¹)
CHSK	70	120	-	42,5
BSK ₅	18	25	-	9,0
NL	20	30	-	10,0
N-NH ₄	-	15	8	6,8
P-celk	-	5	2	1,7

Způsob odběru vzorků vyčištěných odpadních vod byl stanoven jako 24 hodinový závislý na průtoku s intervalem odběru 2 hodiny a s frekvencí 1 × za měsíc.

V případě překročení kapacity ČOV nad 10 001 EO je nutno, v souladu se zněním NV 401/2015 Sb., uvažovat s požadavky na zpřísnění limitních hodnoty na odtoku, a to na úroveň prezentovanou v Tab. 6.

Tab. 6: Předpokládané požadavky na složení finálního odtoku z ČOV Český Brod po intenzifikaci při překročení kapacity 10 001 EO.

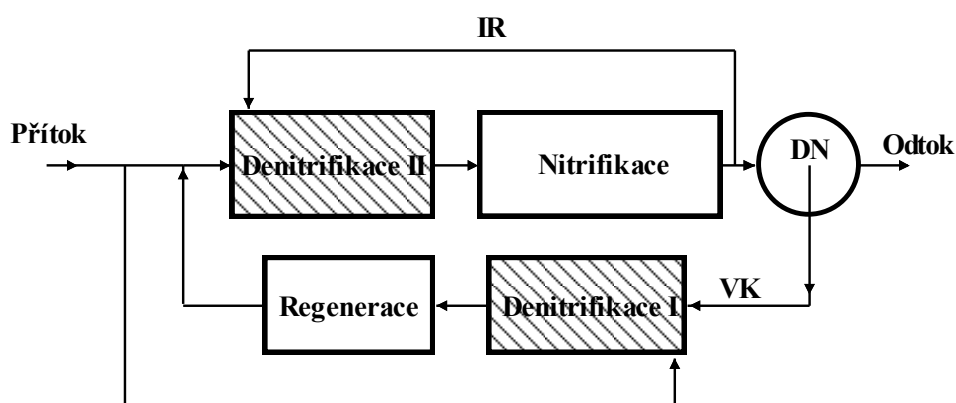
Ukazatel	jednotka	hodnota „p“	hodnota „m“	roční průměr
CHSK	mg.l ⁻¹	60	100	-
BSK ₅	mg.l ⁻¹	14	20	-
NL	mg.l ⁻¹	18	25	-
N-celk	mg.l ⁻¹	-	25,0	14,0
P-celk	mg.l ⁻¹	-	3,0	1,5

3 KONCEPCE INTENZIFIKACE BIOLOGICKÉHO STUPNĚ

Koncepce intenzifikace stávající biologické linky ČOV Český Brod představuje především zásah do uspořádání aktivačního procesu a dále úpravy technicky velmi problematické dodávky vzduchu do jednotlivých aerovaných sekcí ČOV. Jako vyhovující se jeví dosazovací nádrže. Biologický stupeň ČOV bude koncipován na principu nízkozatěžované aktivace s biologickým odstraňováním dusíku a zvýšeným chemickým odstraňováním fosforu jeho simultánním srážením. Systém bude dimenzován pro zabezpečení procesu nitrifikace i při relativně nízkých teplotách.

Na základě výstupů materiálu 1 Použitých podkladů a při respektování provozních zkušeností s biologickými systémy realizovanými na jiných ČOV obdobné velikostní kategorie, je pro účely intenzifikace existujícího biologického stupně ČOV Český Brod navržen aktivační proces na bázi tzv. D-R-D-N systému, který je modifikací současného R-D-N systému.

V případě D-R-D-N systému je do denitrifikační sekce DI přiváděn proud vratného kalu z dosazovacích nádrží a část odpadních vod (obvykle 10 - 30 % celkového průtoku). Po průchodu sekcí DI natéká vratný kal a část odpadních vod do aerobní sekce regenerace. Ze sekce regenerace odtéká směs aktivovaného kalu a části odpadní vody do sekce denitrifikace DII, která je umístěna v hlavním proudu a do které je dále zaústěn proud zbylých odpadních vod a proud interní recirkulace aktivační směsi z konce nitrifikace N. Po průchodu sekcí DII natéká aktivační směs do nitrifikační sekce N. Aktivační D-R-D-N systém je znázorněn na Obr. 2.



Obr. 2: Schematické znázornění biologického D-R-D-N systému.

Pro sekvenci nádrží DI-R (denitrifikace I - regenerace) biologického systému bude na ČOV Český Brod v obou linkách využita stávající nádrž regenerace, která bude pro tyto účely rozdělena lehkou nenosnou příčkou. Pro účely sekvence DII-N (denitrifikace II – nitrifikace) budou využity zbývající nádrže v hlavním proudu, přičemž sekce nitrifikace bude v každé lince rozdělena do tří sériově zapojených nádrží. Odtok z poslední nitrifikační sekce každé linky aktivace bude zaústěn do stávajících dosazovacích nádrží. Biologický stupeň bude i intenzifikaci řešen ve dvoulinkovém paralelně protékaném uspořádání. V Tab. 7 jsou uvedeny objemové parametry aktivačního procesu ČOV Český Brod po rekonstrukci a intenzifikaci.

Tab. 7: Objemové rozložení sekcí intenzifikovaného aktivačního procesu ČOV Český Brod.

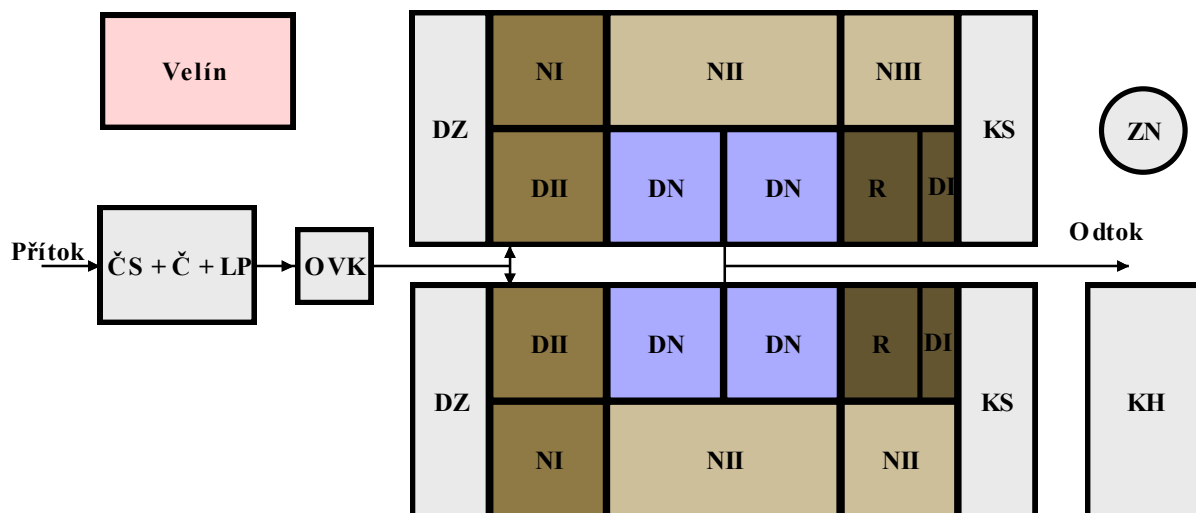
Ukazatel	jednotka	jedna linka	dvě linky
Objem anoxické regenerace DI	m ³	50	100
Objem oxické regenerace R	m ³	139	278
Objem anoxické sekce DII	m ³	251	502
Objem první oxické sekce NI	m ³	174	348
Objem druhé oxické sekce NII		343	686
Objem třetí oxické sekce NIII	m ³	177	355
Celkem	m³	-	2 269

Potřeba zvýšené eliminace sloučenin fosforu bude i nadále řešena procesem simultánního chemického srážení. Aplikovaný systém biologické nitrifikace a denitrifikace a chemického odstraňování fosforu zaručí dosažení nízkých odtokových koncentrací obou nutrientů, přičemž se aplikace srážedla fosforu do aktivačního procesu projeví pozitivně i při snížení odtokových koncentrací u ukazatele CHSK.

Kompletně nově bude realizován systém řízení a dodávky vzduchu do aerovaných sekcí aktivačního procesu. Sekce regenerace budou zásobeny od dvojice nově instalovaných dmychadel v sestavě 1 + 1 ks, sekce nitrifikace budou pro obě linky zásobeny nezávisle dmychadly v sestavě 2 + 1 ks. Sekce regenerace a nitrifikace budou vybaveny novým jemnobubliným aeračním systémem. Dodávka vzduchu bude řízena na základě on line měřené koncentrace rozpuštěného kyslíku v sekcích regenerace a sekcích nitrifikace.

Pro účely intenzifikace biologického stupně ČOV Český Brod bude využit stávající separační stupeň ve formě čtveřice vertikálně protékaných dosazovacích nádrží.

Schematicky je biologický systém ČOV Český Brod po intenzifikaci znázorněn na Obr. 3



Obr. 3: Schematické znázornění biologického stupně ČOV Český Brod po intenzifikaci.

4 SOUVISEJÍCÍ PARAMETRY PRO TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

4.1 Aktuální látkové zatěžovací parametry a složení surové odpadní vody

Materiál 1 Použitých podkladů zahrnuje vyhodnocení hydraulických a látkových zatěžovacích parametrů v období let 2016 až 2018. V Tab. 8 jsou pro hodnocené období uvedeny zatěžovací parametry ČOV Český Brod a koncentrační znečištění surových odpadních vod.

Tab. 8: Zatěžovací parametry ČOV Český Brod v letech 2016 až 2018 a složení surových odpadních vod.

Ukazatel	hodnota	hodnota
Průtok	1 539,3 m ³ .d ⁻¹	17,8 l.s ⁻¹
BSK ₅	415,0 kg.d ⁻¹	269,6 mg.l ⁻¹
CHSK	1 131,8 kg.d ⁻¹	735,3 mg.l ⁻¹
NL	602,4 kg.d ⁻¹	391,3 mg.l ⁻¹
N-NH ₄	79,2 kg.d ⁻¹	51,5 mg.l ⁻¹
N-celk	110,9 kg.d ⁻¹	72,0 mg.l ⁻¹
P-celk	10,5 kg.d ⁻¹	6,8 mg.l ⁻¹

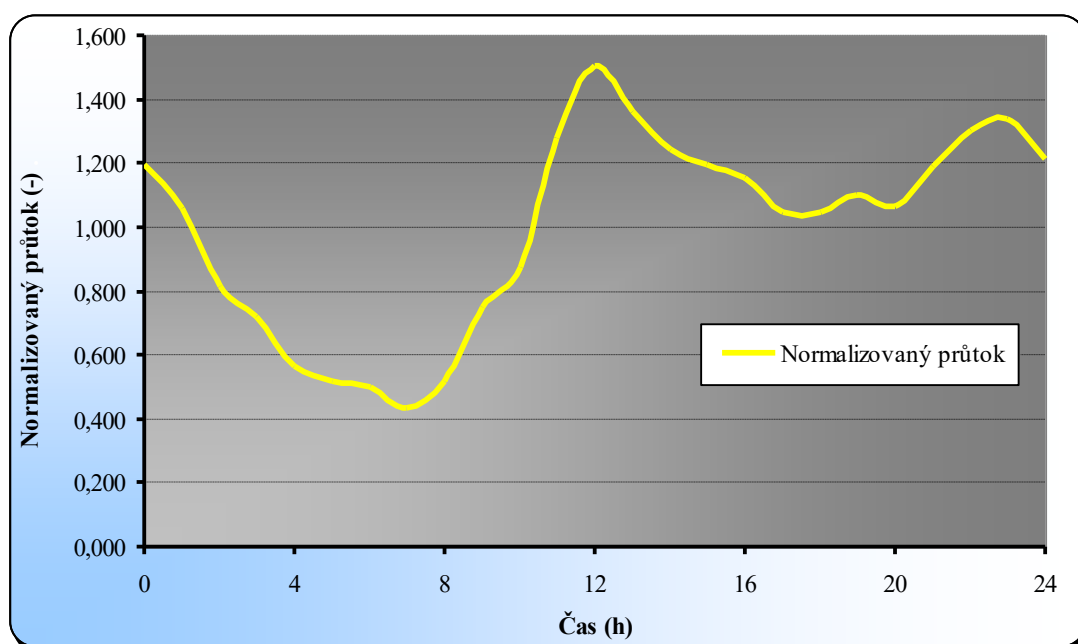
Koncentrační znečištění z Tab. 8 je v části Modelování aktivačního procesu použito pro technologické výpočty.

4.2 Denní hydraulický profil

Na základě dat 24-hodinových přítoků odpadních vod poskytnutých provozovatelem byly odvozeny hodnoty koeficientů denní a hodinové nerovnoměrnosti a stanoven normalizovaný profil nerovnoměrnosti přítoku používaný při matematické simulaci chování biologického stupně. V Tab. 9 jsou uvedeny hodnoty koeficientů k_d a k_h , na Obr. 4 je znázorněn průběh normalizovaného denního průtoku.

Tab. 9: Vyhodnocení souboru dat 24-hodinových profilů průtoku odpadních vod.

Ukazatel	Q_{24}	Q_d	Q_h	k_d	k_h
hodnota	$17,8 \text{ l.s}^{-1}$	$20,4 \text{ l.s}^{-1}$	$31,9 \text{ l.s}^{-1}$	1,145	1,564



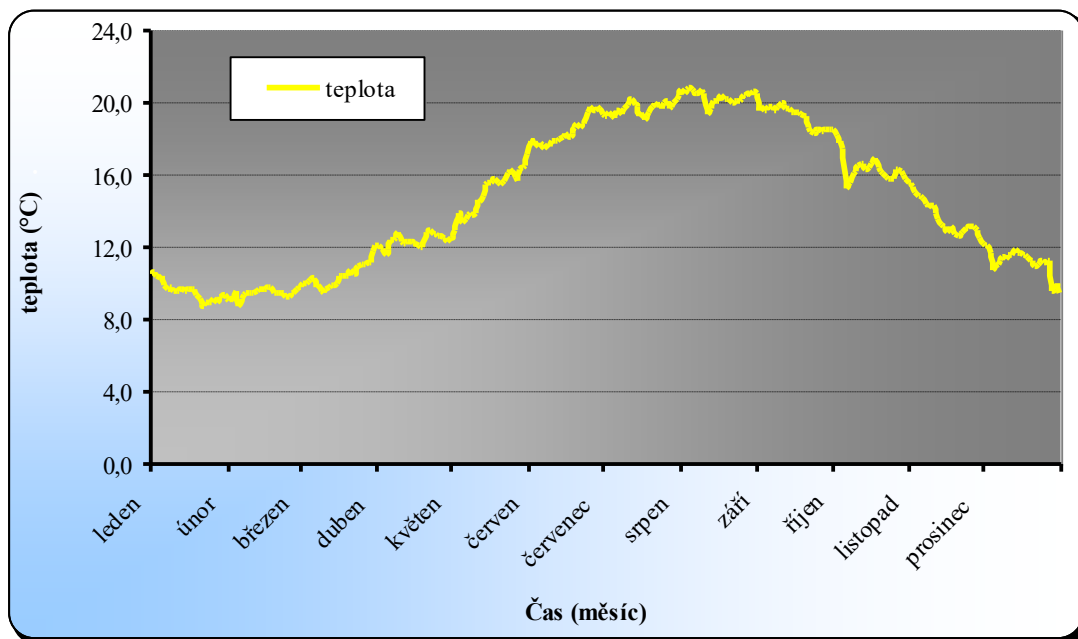
Obr. 4: Normalizované hodnoty hydraulického zatížení.

4.3 Teplotní profil 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. 5 je znázorněn roční teplotní profil v aktivačním procesu ČOV Český Brod. Grafický průběh dat teplot odpadní vody naznačuje, že se nejnižší teploty v aktivačním procesu pohybují dlouhodobě na úrovni cca $9,0^\circ\text{C}$ a nejvyšší na úrovni cca 21°C . Průměrná vyhodnocená roční teplota se pohybuje na úrovni $14,7^\circ\text{C}$. Z Obr. 5 je patrné, že jakékoliv výpočty chování biologického stupně ČOV Český Brod musí být realizovány při respektování těchto specifik. Limitní požadavky na kvalitu odtoku jsou formulovány a vyžadovány pro teplotu nad 12°C . V této souvislosti si je 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 složení odtoku.

Sledované maximální teploty se na ČOV Český Brod pohybují na úrovni cca 21 °C. Přestože je dimenzování aeračních zařízení ČOV standardně prováděno pro teplotu 20 °C, je nutno v případě ČOV Český Brod respektovat vyšší teplotní úroveň.



Obr. 5: Teplotní profil odpadní vody na ČOV Český Brod.

5 VÝPOČTY SEPARAČNÍHO STUPNĚ

Projekt intenzifikace ČOV Český Brod předpokládá využití stávajícího separačního stupně ve formě čtveřice pravoúhlých dosazovacích nádrží s vertikálním průtokem. Z tohoto důvodu je nejprve pro různé hodnoty sušiny aktivovaného kalu kalkulována kapacita dosazovacích nádrží, přičemž jsou vyhodnocené technologické parametry použity pro výpočty kapacity aktivačního procesu.

5.1 Výpočet dle ATV 131 (1991)

Pro účely stanovení kapacity stávajícího separačního stupně ČOV byl zvolen postup 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. Postup výpočtu separačního stupně dle ATV má následující omezení vzhledem k hodnotám jednotlivých technologických parametrů:

Maximální hodnota ředěného kalového indexu - DSVI

ml.g⁻¹

180

Maximální recirkulační poměr vratného kalu

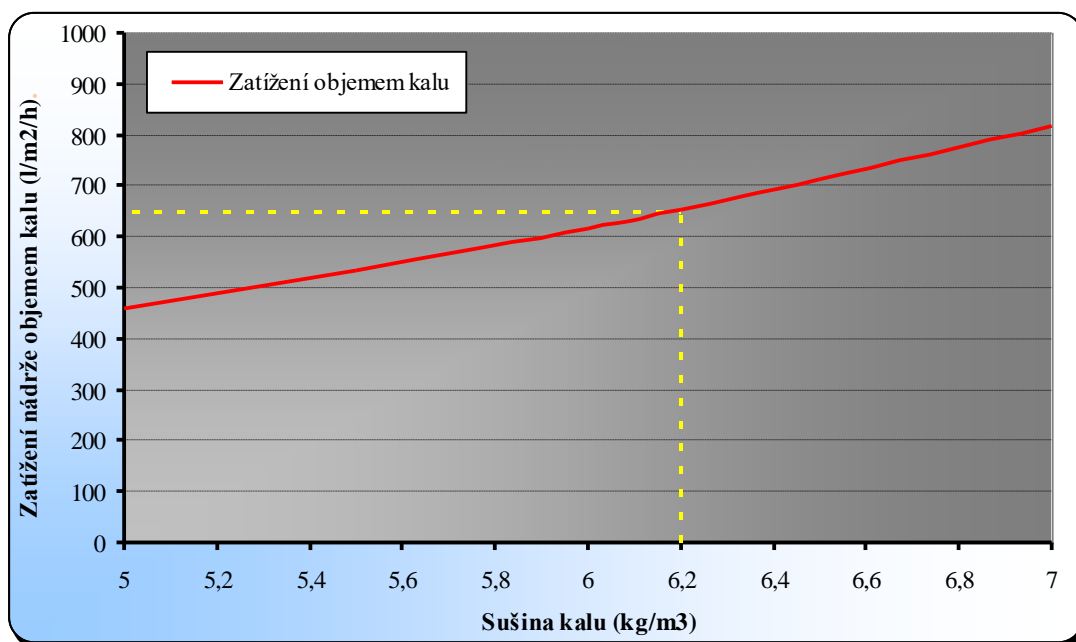
% Q_{24}

150

Výpočty dle ATV používají hodnotu ředěného kalového indexu, která nekorresponduje s hodnotou kalového indexu obecně sledovaného u aktivovaného kalu. Pro účely výpočtů byla zvolena mírně konzervativní hodnota ředěného kalového indexu na úrovni 110 ml.g^{-1} . Pro účely výpočtů byly dále za neměnné stanoveny následující parametry:

Q_{\max} do aktivace	$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	176,4
Ředěný kalový index	ml.g^{-1}	110
Plocha dosazovacích nádrží	m^2	207
Separační hloubka vody v dosazovacích nádržích	m	7,05 m

Při výpočtu maximální kapacity separačního stupně ČOV Český Brod bylo jako stěžejní kritérium zvoleno zatížení plochy separačního stupně objemem kalu. Jako limitní byla pro existující vertikálně protékané dosazovací nádrže akceptována hodnota tohoto parametru na úrovni $650 \text{ l.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$. Z grafické závislosti na Obr. 6 je možno odečíst přípustnou hodnotu sušiny kalu v aktivaci na úrovni cca $6,2 \text{ kg.m}^{-3}$.



Obr. 6: Závislost zatížení plochy separačního stupně objemem kalu na koncentraci sušiny kalu v aktivaci pro dosazovací nádrže ČOV Český Brod.

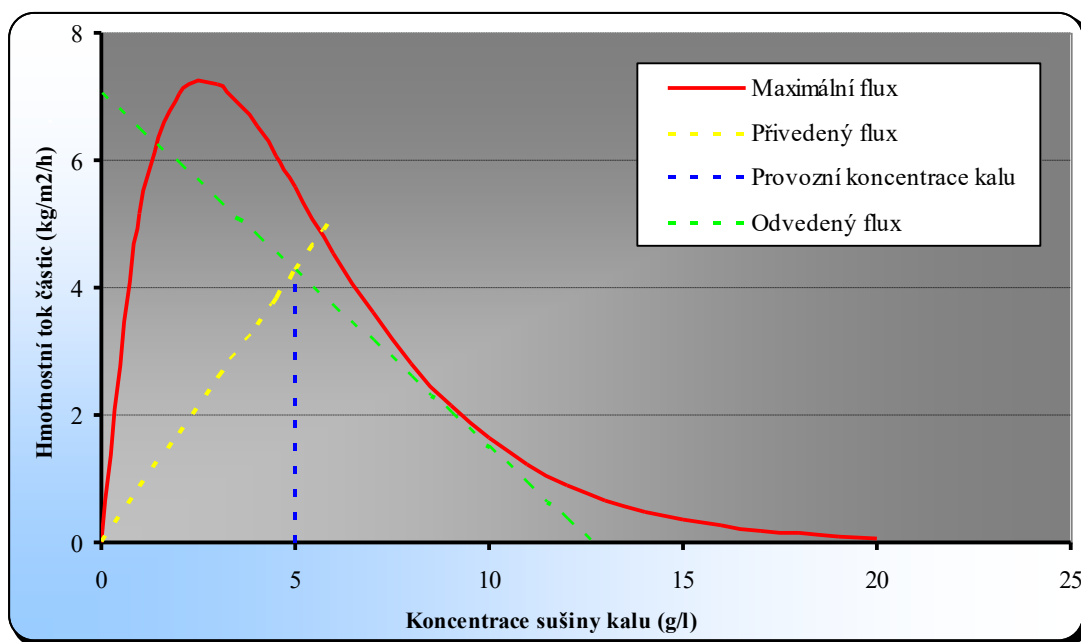
Při zohlednění doporučení ČSN 756401 bude pro provoz ČOV bez primární sedimentace uvažováno s maximální provozní koncentrací sušiny kalu v aktivačním procesu $5,0 \text{ kg.m}^{-3}$. Tato hodnota sušiny kalu v aktivačním procesu ČOV Český Brod zaručí odtokové koncentrace nerozpuštěných látek pod 10 mg.l^{-1} .

5.2 Výpočet dle hmotnostního toku částic

Pro zvolenou provozní hodnotu koncentrace sušiny kalu v aktivačním procesu na úrovni $5,0 \text{ kg.m}^{-3}$ byla ověřována kapacita stávající čtveřice pravoúhlých, vertikálně protékaných dosazovacích nádrží při použití teorie hmotnostního toku částic – fluxu. Pro výpočty je uvažováno s následujícími hodnotami hlavních parametrů:

$Q_{\text{dešť}}$ do aktivace	$\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	176,4
Maximální průtok vratného kalu	$\text{m}^3.\text{d}^{-1}$	2 760
	l.s^{-1}	$4 \times 8,0$
Ředěný kalový index	ml.g^{-1}	110
Sušina kalu v aktivačním procesu	kg.m^{-3}	5,0
Celková plocha dosazovacích nádrží	m^2	207

Graficky je výstup výpočtů znázorněn na Obr. 7. 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. 7 je zřejmé, že pro aktuální maximální hydraulické zatěžovací parametry a provozní koncentraci sušiny kalu v aktivačním procesu na úrovni $5,0 \text{ kg.m}^{-3}$ je existující čtveřice pravoúhlých, vertikálně protékaných dosazovacích nádrží dostatečně kapacitní.



Obr. 7: Posouzení separačního stupně dle teorie hmotnostního toku částic.

6 MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ AKTIVAČNÍHO PROCESU

Chování a funkce biologického stupně ČOV jsou ověřovány metodou matematické simulace aktivačního procesu, která slouží jednak k ověření kapacity realizovaného či navrhovaného

systému a 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.

6.1 Postup výpočtů

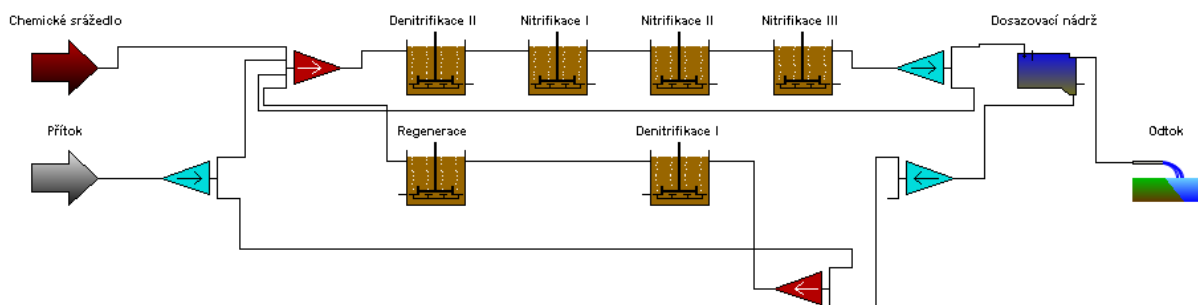
Výpočty jsou realizovány s ohledem na zvolenou konfiguraci aktivačního procesu, přičemž jsou jednotlivé technologicko-provozní ukazatele optimalizovány za účelem přesné specifikace podkladových materiálů pro projektovou dokumentaci.

Optimalizace systému je provedena pro maximální vyhodnocené zatěžovací parametry v ustáleném nedynamickém stavu. Následně je proveden výpočet chování aktivačního systému na úrovni reálného dynamického stavu, který je nezbytný pro dimenzování dodávky vzduchu do systému.

6.1.1 Použitý software

Základní podmínkou jakýchkoliv technologických výpočtů týkajících se biologické části ČOV Český Brod je přesný popis hydraulické soustavy. Za účelem provedení exaktního propočtu existujícího 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. 8.

Použitý software umožňuje exaktní simulaci technologické linky ČOV Český Brod, 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 usazovacích a 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. 8: Technologické schéma ČOV Český Brod SW GPS-X.

Základem výpočtu aktivačního systému je biokinetický model konverze organického a dusíkatého znečištění. Výpočty byly provedeny s modelem GENERAL, který je určen k modelování procesů biologického odstraňování dusíku a fosforu. Frakcionace vstupní odpadní vody je v základě založena na modelu ASM No. 2 s využitím pro model GENERAL.

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 kvality 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.

6.1.2 Metodika výpočtu

Veškeré výpočty aktivačního procesu ČOV jsou realizovány s ohledem na potřebu dodržení odtokových parametrů v souladu se zněním platného vodohospodářského rozhodnutí dle Tab. 5. V biologickém systému je s přihlédnutím k těmto požadavkům nezbytné při minimální uvažované teplotě aktivační směsi na úrovni 9 °C udržet stabilní nitrifikaci. S ohledem na skutečnost, že výsledná kapacita ČOV překročí úroveň 10 001 EO, je do výpočtu zařazena nutnost dodržení odtokové koncentrace v ukazateli N-celk pod 14 mg.l⁻¹. Požadavek na odtokovou koncentraci N-celk = 15 mg.l⁻¹ představuje roční průměr.

Požadavek na limitní odtokovou hodnotu **N-celk = 14 mg.l⁻¹** představuje nutnost dodržet odtokové koncentrace celkového anorganického dusíku TIN na úrovni cca 11,0 mg.l⁻¹. Potřeba dodržení této koncentrace TIN je výsledkem následující bilance forem dusíku ve vyčištěné odpadní vodě:

Únik nerozpuštěných látek do odtoku	NL = 10 mg.l ⁻¹
Maximální obsah dusíku v aktivovaném kalu	0,6 %
Množství partikulovaného org. dusíku v odtoku	XND = 0,06*10 = 0,6 mg.l ⁻¹
Množství rozpuštěného org. dusíku v odtoku	SND = 2,3 mg.l ⁻¹
Množství organického dusíku v odtoku	N-org = XND + SND = 2,9 mg.l ⁻¹
Požadavek na dosažení TIN v odtoku	N-celk – N-org = 14 – 2,9 = 11,1 mg.l ⁻¹

Požadavek na limitní odtokovou hodnotu **P-celk = 1,5 mg.l⁻¹** je řešen aplikací procesu chemického odstraňování srážením solemi železa.

Nitrifikační kapacita systému je při výpočtech ovlivněna především velikostí použité maximální specifické růstové rychlosti nitrifikačních bakterií $\mu_{A, \max}$ (resp. hodnotou její čisté růstové rychlosti ($\mu_{A, \max} - b_A$)). Pro výpočty byla použita hodnota $\mu_{A, \max} = 0,60 \text{ d}^{-1}$, zjištěná kalibrací matematického modelu a která odpovídá empirickému vztahu pro stanovení potřebného stáří kalu pro nitrifikaci uvedeného v ČSN 75 6401. V této hodnotě je zahrnut bezpečnostní koeficient s ohledem na skutečnost, že výpočet stacionárního stavu není ekvivalentní výpočtu reálného stavu dynamického.

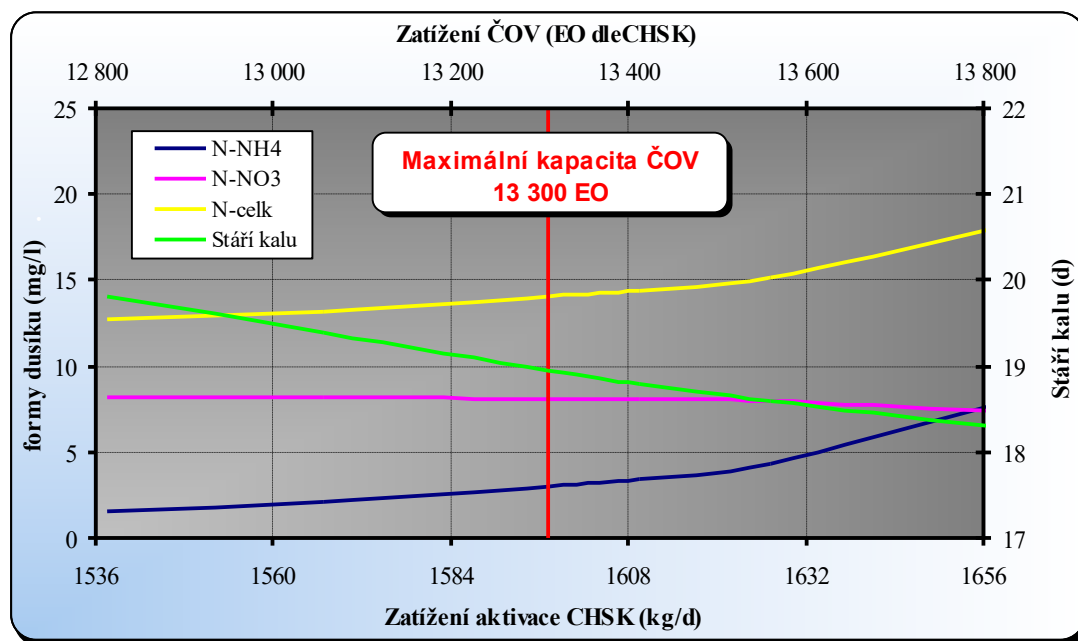
¹ Lesouef, A., Payraudeau, M., Rogalla, F. and Kleiber, B. (1992): Optimizing nitrogen removal reactor configurations by on-site calibration of the IAWPRC Activated Sludge Model. *Wat.Sci.Tech.* Vol. 25, No. 6, 105 – 123.

Dalším důležitým technologickým omezením je teplota aktivační směsi. Při výpočtech je kalkulováno s minimální teplotou aktivační směsi **9 °C** (viz kapitola 4.3).

Aktivační linka je pro účely výpočtu rozdělena na šest sekcí, z nichž sekce 1 je uvažována jako denitrifikační sekce v proudu vrtaného kalu, sekce 2 jako regenerace kalu s koncentrací rozpuštěného kyslíku $1,0 \text{ mg.l}^{-1}$, sekce 3 jako anoxická a sekce 4, 5 a 6 jako oxické s koncentrací rozpuštěného kyslíku na úrovni $2,0 \text{ mg.l}^{-1}$. Nátok nižšího podílu odpadní vody je společně s vratným kalem zaveden do sekce 1, většinový přítok pak do sekce 3. Odtok do separačního stupně je realizován ze sekce 6. Ze sekce 6 do sekce 3 je zaústěn proud interní recirkulace aktivační směsi.

6.2 Maximální kapacita navrženého D-R-D-N procesu

Výpočet maximálního přípustného zatížení navrženého uspořádání aktivačního D-R-D-N procesu pro objemové rozdělení dle Tab. 7 byl proveden pro koncentrační znečištění odpadních vod dle Tab. 8. Výpočty jsou provedeny pro různá hydraulická zatížení pro ustálený stav, přičemž byla postupným zvyšováním zatížení stanovena hodnota maximální kapacity navrženého aktivačního D-R-D-N procesu. Výpočty byly provedeny pro různá stáří kalu takovým způsobem, aby byla při minimální teplotě 9 °C vždy dosažena **koncentrace kalu** v aktivaci na limitní hodnotě **$5,0 \text{ kg.m}^{-3}$** (viz odstavec 5). Výpočty jsou realizovány takovým způsobem, aby bylo při minimální teplotě 9 °C dosaženo v ustáleném stavu stabilní nitrifikace a denitrifikace. Výsledky jsou graficky znázorněny na Obr. 9.



Obr. 9: Výpočet maximální kapacity intenzifikovaného uspořádání biologického systému ČOV Český Brod.

Z grafického výstupu na Obr. 9 je možno odvodit, že se maximální kapacita navrženého uspořádání biologického D-R-D-N systému ČOV Český Brod po intenzifikaci pohybuje v ustáleném stavu na hranici cca $1\,596 \text{ kg.d}^{-1}$ CHSK (**13 000 EO**), což odpovídá dennímu množství cca **$2\,170 \text{ m}^3$** odpadních vod o složení uvedeném v Tab. 8. Kalkulovaná hodnota

stáří kalu se pro uvedené zatížení pohybuje na úrovni 19 dní. Dosažené složení odtoku pak reprezentuje požadavek na zajištění stabilní nitrifikace a denitrifikace i při minimálních teplotách.

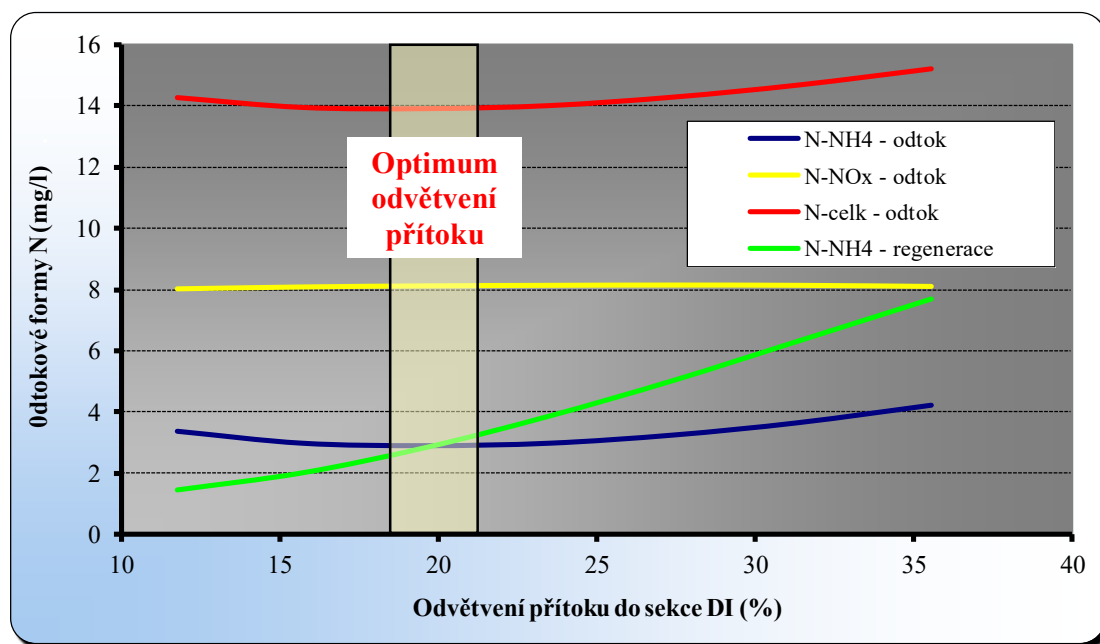
6.3 Optimalizace D-R-D-N procesu v ustáleném stavu

V rámci výpočtů optimalizace navrženého uspořádání byly řešeny tyto dílčí technologické ukazatele:

- ❖ Velikost odvětvení přítoku surové odpadní vody do reaktoru DI.
- ❖ Velikost interní recirkulace.
- ❖ Množství železitě soli pro eliminaci sloučenin fosforu.

6.3.1 Velikost odvětvení přítoku surové odpadní vody do reaktoru DI

Na Obr. 10 jsou v grafické formě znázorněny výpočty optimální velikosti odvětvení přítoku surové odpadní vody do reaktoru DI. Z grafické závislosti je zřejmé, že se optimální rozmezí velikosti odvětvení přítoku pohybuje na úrovni 20 %. Pro realizaci je doporučena konstantní velikost odvětvení přítoku surové odpadní vody do reaktoru DI na úrovni 19,9 % vyhodnoceného maximálního hydraulického zatížení, tj. $432 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, tj. cca $5,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$.

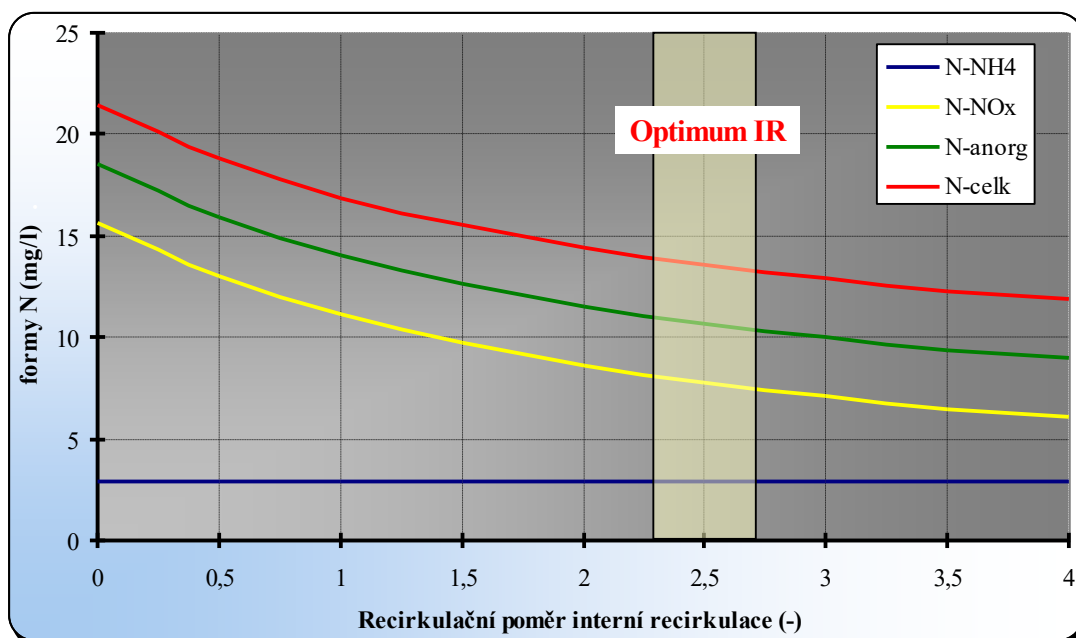


Obr. 10: Výpočet optima oddělení surových odpadních vod do reaktoru DI.

6.3.2 Velikost interní recirkulace

Pro zvolené uspořádání a objemové členění aktivačního systému byla kalkulována optimální hodnota poměru interní recirkulace aktivační směsi ze sekce N do sekce DII. Výsledky výpočtů jsou v grafické formě prezentovány na Obr. 11. Z grafického výstupu je zřejmé, že se optimální velikost interní recirkulace aktivační směsi pohybuje okolo 230 až 260 %

vyhodnoceného denního přítoku odpadních vod. Pro výhledové zatěžovací parametry je možno doporučit hodnotu recirkulačního poměru aktivační směsi ve spodní hranici tohoto intervalu, tedy cca 240 % Q_{24} tj. 5 184 $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, tj. 60 $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$ pro obě linky. Pro jednu aktivační linku činí maximální potřebný výkon čerpadla interní recirkulace cca 30 $\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$.



Obr. 11: Výpočet optimální velikosti interní recirkulace aktivační směsi.

6.3.3 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 či hliníku. V následující Tab. 10 jsou uvedeny parametry procesu chemického srážení železitou solí při respektování projektových hydraulických a látkových zatěžovacích parametrů.

Tab. 10: Charakteristika procesu chemické eliminace sloučenin fosforu.

Parametr	jednotka	hodnota
průměrný denní přítok	$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	2 170
celkové množství fosforu v přítoku	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	15,0
koncentrace P-celk v odtoku	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	1,4
celkové množství fosforu v odtoku	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	3,0
množství fosforu inkorporovaného do biomasy	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	5,8
množství fosforu k odstranění	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	6,2
molární poměr P:Fe	-	1,5
dávka železa	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	16,7
objemové množství 40%-ního $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{l} \cdot \text{d}^{-1}$	96
hmotnostní produkce chemického kalu	$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	41,4

Potřebná kapacita dávkovacího čerpadla činí v optimálním rozmezí funkce cca 4 l.h⁻¹. Chemické srážedlo bude skladováno ve stávající dvouplášťové nádrži.

6.3.4 Technologické parametry procesu

Základní technologické parametry aktivačního systému ČOV Český Brod po intenzifikaci jsou pro ustálený stav uvedeny v Tab. 11. Složení odtoku dle výpočtu systému ve stacionárním stavu je uvedeno v Tab. 12. Výpočty ukazují, že systém bude pracovat jako nízko zatížená aktivace. Výpočet nedynamického stavu je proveden s konstantním hydraulickým a látkovým zatížením ČOV během dne.

Tab. 11: Základní technologické parametry intenzifikovaného aktivačního procesu ČOV Český Brod.

Parametr	Jednotka	D-R-D-N
Zatížení ČOV v EO dle CHSK a BSK ₅	EO	13 300
Zatížení aktivace v EO dle CHSK a BSK ₅	EO	13 300
Zatížení aktivace BSK ₅	kg.d ⁻¹	798
Zatížení aktivace CHSK	kg.d ⁻¹	1 596
Hydraulické zatížení – Q ₂₄	m ³ .d ⁻¹	2 170
Odvětvění přítoku do sekce anoxické regenerace	% Q ₂₄	19,9
	m ³ .d ⁻¹	432
Objem aktivace	m ³	2 269
z toho objem anoxické regenerace – DI	m ³	100
z toho objem oxické regenerace – R	m ³	278
z toho objem denitrifikace – DII	m ³	502
z toho objem nitrifikace jedna – NI	m ³	348
z toho objem nitrifikace jedna – NII	m ³	686
z toho objem nitrifikace tři – NIII	m ³	355
Minimální výpočtová teplota	°C	9
Průměrná výpočtová teplota	°C	14,7
Maximální výpočtová teplota	°C	21
Koncentrace biomasy v regeneraci při T _{min} = 10 °C	kg.m ⁻³	7,8
Koncentrace biomasy v nitrifikaci při T _{min} = 10 °C	kg.m ⁻³	5,0
Recirkulační poměr vratného kalu	% Q ₂₄	127
	m ³ .d ⁻¹	2 760
Recirkulační poměr interní recirkulace	% Q ₂₄	239
	m ³ .d ⁻¹	5 184
Hydraulická doba zdržení v hlavním proudu	h	20,9
Stáří kalu	d	19,0
Zásoba kalu v systému při T _{min} = 9 °C	kg	12 396
Produkce kalu při T _{min} = 9 °C (včetně chem. kalu)	kg.d ⁻¹	652
Produkce kalu při T _{prům} = 14,7 °C (včetně chem. kalu)	kg.d ⁻¹	587
Koncentrace kyslíku v regeneraci	g.m ⁻³	1,0
Koncentrace kyslíku v nitrifikaci	g.m ⁻³	2,0

Objemové zatížení BSK ₅ (hlavní proud)	kg.m ⁻³ .d ⁻¹	0,422
Zatížení kalu BSK ₅ (celý systém)	kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹	0,064
Zatížení kalu CHSK (celý systém)	kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹	0,129
Zatížení kalu N-celk (celý systém)	kg.kg ⁻¹ .d ⁻¹	0,013
Typ systému	zatížení	nízké

Tab. 12: Vypočtené odtokové parametry ČOV Turnov, stacionární stav.

Ukazatel	jednotka	9 °C	14,7 °C	21 °C
CHSK	mg.l ⁻¹	30	28	26
BSK ₅	mg.l ⁻¹	6	5	4
NL	mg.l ⁻¹	10	8	6
N-NH ₄	mg.l ⁻¹	2,9	0,5	0,1
N-NO _x	mg.l ⁻¹	8,0	8,6	9,0
N-celk	mg.l ⁻¹	13,8	12,0	12,0
P-celk*	mg.l ⁻¹	1,4	1,4	1,4

* Chemické simultánní srážení, 54 kg.d⁻¹ 40%-ního síranu železitého.

6.4 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 . Pro výpočet OC_p je použito matematické simulace procesu v dynamickém stavu s fluktuací zatížení dle hydraulického a látkového denního profilu (viz Obr. 4) a dále postupováno dle TNV 75 6613. Potřeba kyslíku a vzduchu byla počítána prostřednictvím matematického modelu z hodnot OUR pro maximální návrhovou teplotu 21 °C. Výpočet je proveden pro provoz systému v letním období, kdy je potřeba vzduchu maximální. Kontrolní výpočet je proveden rovněž pro zimní provoz při 9 °C. Pro výpočet OC_{st} a množství vzduchu byly uvažovány následující hodnoty:

teplota	9 a 21 °C
hloubka ponoru aeračních elementů	
regenerace	4,8 m
nitrifikace	4,45 m
koncentrace rozpuštěného kyslíku	
regenerace	1,0 mg.l ⁻¹
nitrifikace	2,0 mg.l ⁻¹
koeficient alfa	0,7
specifické využití kyslíku ze vzduchu	5,0 %.m ⁻¹
nadmořská výška	214 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 jednotlivých reaktorech aktivačního procesu. Situace je pro minimální teplotu 9 °C a hodnotu $k_d = 1,0$ (Q_{24}) uvedena v Tab. 13, pro maximální

výpočtovou teplotu 21 °C a hodnotu $k_d = 1,145$ shrnuta (Q_d) v Tab. 14. Graficky je výpočet potřeby vzduchu uveden na Obr. 12 a Obr. 13.

Tab. 13: Návrh minimální potřeby vzduchu pro Q_{24} a teplotu 9 °C.

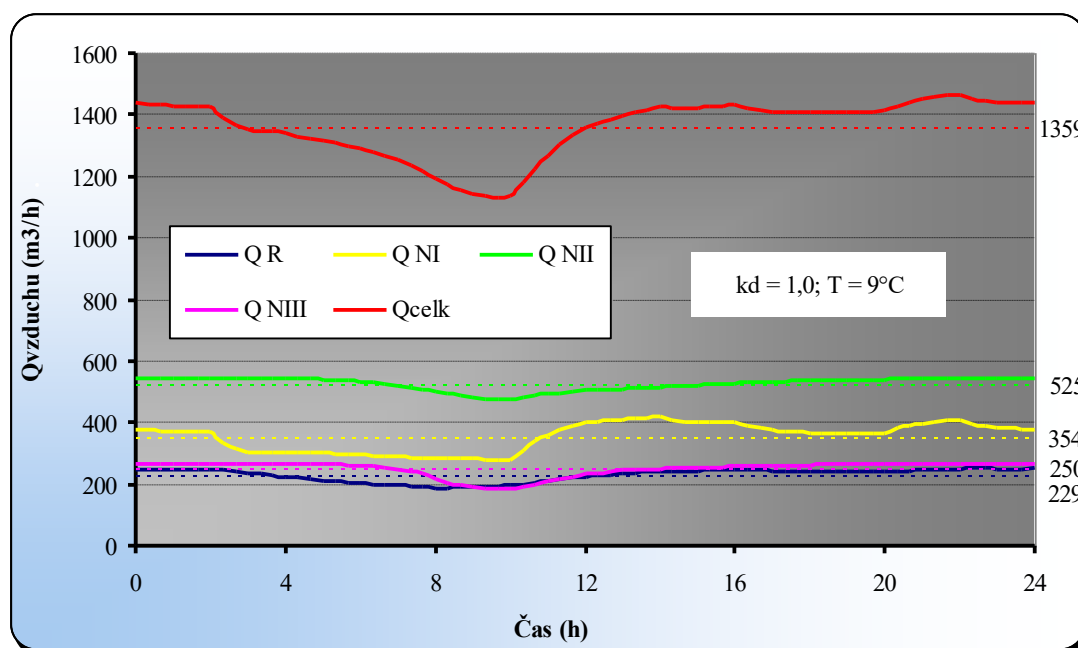
Q_{24}	R	NI	NII	NIII	Celkem
OCp	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹
průměr	229	296	439	209	1 172
maximum	252	349	455	224	1 280
minimum	187	234	396	154	971
OCst	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹
průměr	369	530	786	374	2059
maximum	407	625	816	402	2249
minimum	302	418	709	276	1706
Qvz	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹
průměr	229	354	525	250	1 359
maximum	252	418	546	269	1 466
minimum	187	280	474	185	1 132
Iv	m³.m⁻³.h⁻¹	m³.m⁻³.h⁻¹	m³.m⁻³.h⁻¹	m³.m⁻³.h⁻¹	-
průměr	0,824	1,018	0,766	0,705	-
maximum	0,907	1,200	0,795	0,757	-
minimum	0,674	0,804	0,691	0,520	-

Tab. 14: Návrh maximální potřeby vzduchu pro Q_d a teplotu 21 °C.

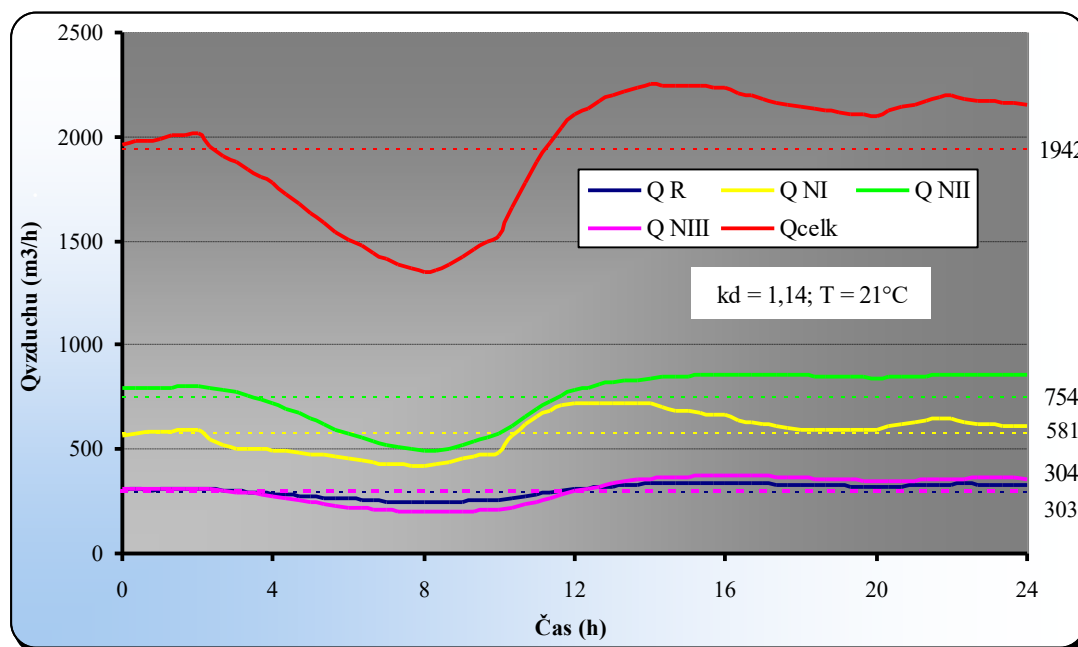
Q_d	R	NI	NII	NIII	Celkem
OCp	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹
průměr	294	451	585	236	1 566
maximum	330	562	668	291	1 850
minimum	237	323	380	154	1 094
OCst	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹	kg.d⁻¹
průměr	489	868	1 127	454	2 939
maximum	550	1081	1 286	560	3 476
minimum	394	622	7 31	296	2 044
Qvz	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹	m³.h⁻¹
průměr	303	581	754	304	1 942
maximum	341	723	860	374	2 298
minimum	245	416	489	198	1 348
Iv	m³.m⁻³.h⁻¹	m³.m⁻³.h⁻¹	m³.m⁻³.h⁻¹	m³.m⁻³.h⁻¹	-
průměr	1,091	1,669	1,099	0,856	-
maximum	1,226	2,077	1,253	1,054	-
minimum	0,880	1,195	0,713	0,558	-

Dimenzování aeračního zařízení a zdrojů vzduchu je pro maximální teplotu 21 °C nutno provést na maximální hodnotu $Q_{vzduchu}$ dle Tab. 14, tj. 2 298 m³.h⁻¹ a minimální množství vzduchu při 9 °C dle Tab. 13 na úrovni 1 132 m³.h⁻¹ s patřičným rozdělením do jednotlivých

aerovaných sekcí systému. Zároveň je nutno zohlednit dodržení minimální intenzity aerace v provzdušňovaných sekcích na úrovni $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$.



Obr. 12: Průběh potřeby Q_{vzduchu} pro teplotu 9°C a přítok Q_{24} .



Obr. 13: Průběh potřeby Q_{vzduchu} pro teplotu 21 °C a přítok Q_d .

7 ZÁVĚR

Výše prezentovaný materiál představuje návrh a technologické výpočty intenzifikace biologického stupně čistírny odpadních vod Český Brod. Na základě provedených výpočtů lze formulovat níže prezentované závěry.

- Intenzifikace biologického stupně je navržena pro výhledovou maximální kapacitu 13 300 EO dle ukazatelů CHSK a BSK₅, přičemž průměrné hydraulické zatížení ČOV respektuje stávající vyhodnocené složení surových odpadních vod a stávající maximální hodnotu dešťového nátoků na biologický stupeň. Látkové a hydraulické zatěžovací parametry rekonstruované ČOV Český brod jsou prezentovány v

Tab. 15: Hydraulické zatěžovací parametry ČOV Český Brod po navržené intenzifikaci na aktivační D-R-D-N proces.

Průtok		$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{24}		2 170	90,4	25,1
k_d	1,145			
Q_d		2 845	103,5	28,8
k_h	1,564			
Q_h		-	161,9	45,0
$Q_{\text{dešť}} \text{ do ČOV}$		-	576,0	160,0
$Q_{\text{dešť}} \text{ do biologie}$		-	176,4	49,0

Tab. 16: Látkové zatěžovací parametry ČOV Český Brod po navržené intenzifikaci na aktivační D-R-D-N proces.

Ukazatel		$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
počet EO dle BSK ₅	13 300		
BSK ₅		798,0	367,7
CHSK _{Cr}		1 596,0	735,5
NL		849,1	391,3
N-NH ₄		111,8	51,5
N-celk		156,2	72,0
P-celk		14,8	6,8

- Zvolená varianta intenzifikace aktivačního procesu představuje realizaci tzv. D-R-D-N systému. Pro sekvenci nádrží DI-R (denitrifikace I - regenerace) bude využita stávající sekce regenerace, pro účely sekvence DII-N (denitrifikace II – nitrifikace) budou využity stávající sekce aktivace v hlavním proudu. Dle provedených výpočtů a s ohledem na stávající dispozici reaktorů se jeví jako optimální následující rozložení sekcí v aktivačním systému.

Ukazatel	jednotka	jedna linka	dvě linky
Objem anoxické regenerace DI	m^3	50	100
Objem oxické regenerace R	m^3	139	278

Objem anoxické sekce	DII	m ³	251	502
Objem první oxické sekce	NI	m ³	174	348
Objem druhé oxické sekce	NII	m ³	343	686
Objem třetí oxické sekce	NIII	m ³	177	355
Celkem		m³	-	2 269

- Pro účely separace aktivovaného kalu od vyčištěné odpadní vody bude po intenzifikaci využito stávajícího separačního stupně ve formě čtveřice pravoúhlých, vertikálně protékaných dosazovacích nádrží. Recirkulace vratného kalu bude provozována řízeně v závislosti na průtoku odpadní vody. Maximální hodnota průtoku vratného kalu bude zajištěna na úrovni 2 760 m³.d⁻¹.
- Interní recirkulace je navržena na úrovni 5 184 m³.d⁻¹. Pro jednu aktivační linku činí potřebný výkon čerpadla interní recirkulace cca 30 l.s⁻¹.
- Dimenzování aeračního zařízení a zdrojů vzduchu je pro maximální teplotu 21 °C nutno provést na maximální hodnotu 2 298 m³.h⁻¹ a minimální množství vzduchu při 9 °C na úrovni 1 132 m³.h⁻¹ s patřičným rozdělením do jednotlivých arovaných sekcí systému. Sekce regenerace budou zásobeny od dvojice nově instalovaných dmychadel v sestavě 1 + 1 ks, sekce nitrifikace budou pro obě linky zásobeny nezávisle dmychadly v sestavě 2 + 1 ks. Sekce regenerace a nitrifikace budou vybaveny novým jemnobublíným aeračním systémem. Dodávka vzduchu bude řízena na základě on line měřené koncentrace rozpuštěného kyslíku v sekcích regenerace a sekcích nitrifikace.
- Biologický systém intenzifikovaný na maximální kapacitu 13 300 EO v uspořádání aktivačního D-R-D-N procesu zajistí složení finálního odtoku prezentované následující tabulce.

Ukazatel	jednotka	hodnota „p“	hodnota „m“	roční průměr
CHSK	mg.l ⁻¹	60	100	-
BSK ₅	mg.l ⁻¹	14	20	-
NL	mg.l ⁻¹	18	25	-
N-celk	mg.l ⁻¹	-	25,0	14,0
P-celk	mg.l ⁻¹	-	3,0	1,5

**aritmetický průměr koncentrací za kalendářní rok*

Tabulkové údaje v přehledu :

Tab. 15: Hydraulické zatěžovací parametry ČOV Český Brod po navržené intenzifikaci na aktivační D-R-D-N proces..

Průtok		$\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{24}		2 170	90,4	25,1
k_d	1,145			
Q_d		2 845	103,5	28,8
k_h	1,564			
Q_h		-	161,9	45,0
$Q_{\text{dešť}} \text{ do ČOV}$		-	576,0	160,0
$Q_{\text{dešť}} \text{ do biologie}$		-	176,4	49,0

Tab. 16: Látkové zatěžovací parametry ČOV Český Brod po navržené intenzifikaci na aktivační D-R-D-N proces.

Ukazatel		$\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$
počet EO dle BSK_5	13 300		
BSK_5		798,0	367,7
CHSK_{Cr}		1 596,0	735,5
NL		849,1	391,3
N-NH_4		111,8	51,5
N-celk		156,2	72,0
P-celk		14,8	6,8

Tab. 6: Garantované složení odtoku z ČOV Český Brod po navržené intenzifikaci.

Ukazatel	jednotka	hodnota „p“	hodnota „m“	roční průměr
CHSK	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	60	100	-
BSK_5	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	14	20	-
NL	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	18	25	-
N-celk	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	-	25,0	14,0
P-celk	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	-	3,0	1,5

Tab. 17: Limity po dobu provozu pouze jedné biologické linky.

Ukazatel	jednotka	hodnota „p“	hodnota „m“
CHSK	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	120	190
BSK_5	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	35	60
NL	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	50	80
N-NH_4	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	35	50
P-celk	$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$	5,0	7,0