


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

Sweco Hydroprojekt a.s. Ústředí Praha Táborská 31, 140 16 Praha 4; praha@sweco.cz; www.sweco.cz				SWECO 	
VYPRACOVAL	Ing. Filip Burjanek	HIP	Ing. Rinn	T. KONTROLA	Bc. Braun
PROJEKTANT	Ing. Filip Burjanek	ŘEDITEL DIVIZE	Ing. Hanák	DATUM	01/2023
OBJEDNATEL	Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.			OKRES	BRNO
AKCE: Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice				ČÍSLO ZAKÁZKY	12 2127 01 02
				STUPEŇ	DPS
				FORMÁT	28x A4
				ARCHIVNÍ ČÍSLO	007951/22/1
PŘÍLOHA: SPECIFIKACE - ENERGETICKÁ KONCEPCE				ČÍSLO PŘÍLOHY	S0.4
					d 1

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

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

OBSAH

	strana
1. Úvod.....	4
1.1 Podklady	4
2. Zadání pro výpočet tepelné bilance	4
2.1 Vstupní údaje pro tepelnou bilanci	4
2.2 Zdroje tepla	5
2.3 Spotřebiče tepla	6
2.4 Požadované výstupní údaje	7
3. Technické řešení	8
3.1 bilance zdrojů a spotřeb	8
3.2 Zhodnocení jednotlivých variant	9
3.3 Popis způsobu výpočtu pro všechny kombinace variant provozu a vstupních parametrů	12
4. Závěry	14
5. Přílohy	16
5.1 Příloha 1 – PFD	16
5.2 Příloha 2 – schéma Provozního stavu 1: všechny tři kogenerační jednotky spalují bioplyn; alternativa 1: průměrná produkce kalu	16
5.3 Příloha 3 – schéma Provozního stavu 1: všechny tři kogenerační jednotky spalují bioplyn; alternativa 2: návrhová produkce kalu a venkovní teplota -12°C	16
5.4 Příloha 4 – schéma Provozního stavu 1: všechny tři kogenerační jednotky spalují bioplyn; alternativa 3: návrhová produkce kalu a venkovní teplota +40°C	16
5.5 Příloha 5 – schéma Provozního stavu 1: všechny tři kogenerační jednotky spalují bioplyn; alternativa 4: maximální produkce kalu a venkovní teplota -12°C	16
5.6 Příloha 6 – schéma Provozního stavu 1: všechny tři kogenerační jednotky spalují bioplyn; alternativa 5: maximální produkce kalu a venkovní teplota +40°C	16
5.7 Příloha 7 – schéma Provozního stavu 2: teplo potřebné pro provoz technologie ČOV vyrábí kotelná č. 2 z bioplynu; alternativa 1: průměrná produkce kalu	16
5.8 Příloha 8 – schéma Provozního stavu 2: teplo potřebné pro provoz technologie ČOV vyrábí kotelná č. 2 z bioplynu; alternativa 2: návrhová produkce kalu a venkovní teplota -12°C	16
5.9 Příloha 9 – schéma Provozního stavu 2: teplo potřebné pro provoz technologie ČOV vyrábí kotelná č. 2 z bioplynu; alternativa 3: návrhová produkce kalu a venkovní teplota +40°C	16

5.10	Příloha 10 – schéma Provozního stavu 2: teplo potřebné pro provoz technologie ČOV vyrábí kotelná č. 2 z bioplynu; alternativa 4: maximální produkce kalu a venkovní teplota -12°C 17
5.11	Příloha 11 – schéma Provozního stavu 2: teplo potřebné pro provoz technologie ČOV vyrábí kotelná č. 2 z bioplynu; alternativa 5: maximální produkce kalu a venkovní teplota +40°C 17

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.4 SPECIFIKACE - ENERGETICKÁ KONCEPCE
	DPS

1. ÚVOD

Tento dokument se zabývá energetickou koncepcí nového kalového hospodářství. Na základě potřeby hlavních technologických celků bude prověřena energetické koncepce z DUR a DSP.

Cílem aktualizace energetické koncepce je kvantifikace energetických toků pro hlavní provozní soubory kvantifikovat nakupované energie (elektrické energie, zemní plyn) z externích zdrojů na základě maximálního využití a výroby bioplynu. Výpočet je proveden pro dva provozní stavy – viz. kapitola 2.4. Vlastní provoz bude probíhat operativně mezi těmito dvěma provozními stavy podle aktuálních cen komodit.

Koncepce neřeší přechodný stav, kdy stávající kalové hospodářství bude odstavováno a nové nebude v plném provozu.

1.1 PODKLADY

- Nabídky potenciálních dodavatelů sušáren,
- Nabídky potenciálních dodavatelů výměníků,
- Kalové hospodářství ČOV Brno – Modřice, změna DUR, Energetická koncepce, AQUATIS a.s., Zakázkové číslo: 3A211026, 211026.
- Kalové hospodářství ČOV Brno – Modřice, Dokumentace pro stavební povolení, Energetická koncepce, Sweco Hydroprojekt a.s., 09/2022.

2. ZADÁNÍ PRO VÝPOČET TEPELNÉ BILANCE

2.1 VSTUPNÍ ÚDAJE PRO TEPELNOU BILANCI

Níže uvedená tabulka uvádí podmínky (hodnoty) veličin, které jsou použity pro energetické výpočty.

Kalové hospodářství ČOV Brno - Modřice	S0.4 SPECIFIKACE - ENERGETICKÁ KONCEPCE
	DPS

Tabulka 1 – zadání vstupních parametrů včetně určení kombinací

Surový kal		Průměrné	Maximální (návrhové)	Max max
	[m ³ /d]	826	1 098	1 265
Bioplyn		Průměrná	Maximální (návrhové)	Max max
	[Nm ³ /den]	15 181	20 074	23 111
Obsah metanu v bioplynu	[% CH ₄]	62	62	62
Množství odpařené vody	[kg/hod]	2 985	3 966	5 212
Chladicí voda k rekuperaci tepla	[m ³ /h]	30	30	90
Teplota v místě přehřevu	[°C]	38	38	38
Měrný příkon na odpařenou vodu	[kWh/kg-H ₂ O]	0,83	0,79/0,95	0,79/0,95
Rekuperace tepla z vyhnílého kalu		ANO	ANO	ANO
Teploty				
Minimální Vzduch -12 °C Kal 12 °C		---	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 4
Průměr Vzduch 10 °C Kal 17 °C		ALTERNATIVA 1	---	---
Maximální Vzduch 40 °C Kal 21 °C		---	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 5

Poznámka 1: Množství získaného tepla z chladicí vody bude přepočteno na množství jak bioplynu tak i zemního plynu spalovaného s účinností, která odpovídá danému kotli.

Poznámka 2: Minimální teplota „-20 °C“ byla použita pro výpočet tepelné izolace VN. Pro výpočet tepelných ztrát v technologii se uvažovala minimální teplota „- 12°C“.

Poznámka 3

varianta max-max	požadovaná odpařovací kapacita sušáren
návrhová kapacita	návrhové množství odvodněného kalu k sušení bez přepočtu na provoz
průměrná roční kapacita	8 000 hodin
	průměrné množství odvodněného kalu k sušení bez přepočtu na provoz
	8 000 hodin

2.2 ZDROJE TEPLA

V ČOV budou dva zdroje tepla.

- 1) Jako zdroj tepla o pro technologie sušárny kalu bude sloužit kotelná č. 2, která je I. kategorie o celkovém výkonu 10,8 MW, při teplotě topné vody 90/70°C. Celkem bude v kotelně osazeno 8 plynových kotlů a jeden záložní kotel. Vzhledem k požadované teplotě topné vody se neuvažuje s použitím kondenzačních kotlů. Kotle budou rozděleny

do dvou kotlových kaskád. Jedna 2+1 kotle na ZP a 2 kotle na BP, druhá kaskáda 2 kotle na ZP a 2 kotle na BP. Každá skupina kotlů je řízena dvěma nadřazenými kotlovými regulacemi.

Systém je navržen s ohledem na provoz buď na ZP nebo BP, kvůli emisím nebylo možné využít duální hořáky plynu.

Topná voda (TTV) – bude 90/70 °C. Účinnost kotlů je uvažována minimálně 93 %. Technické řešení kotelny 2 není předmětem tepelné bilance.

- 2) Druhým zdrojem tepla jsou kogenerační jednotky (KGJ) všechny vybavené spalínovým výměníkem:

Parametry KGJ (celkem 3 jednotky pracující v souběhu):

Příkon v palivu: 1 255 kW

Nominální elektrický výkon: 500 kW_e

Nominální tepelný výkon (bez spalínového výměníku): 308 kW_t

Nominální tepelný výkon (včetně spalínového výměníku): 513 kW_t

Ostatní technické parametry nové KGJ – viz. dokument „T.3891-01.1 Technická zpráva - část KGJ.R1.Shared.pdf“.

Jmenovitý teplotní spád topného média pro KGJ – teplé topné vody (TTV) – bude 90/75 °C.

Pro úplnost uvádíme, že vytápění všech budov bude zajištěno z rekonstruované kotelny č. 1, která bude mít kotle výhradně na zemní plyn. Teplo z kotelny č.1 nevstupuje do bilancí technologie a v bilančním schématu je uvedeno pouze pro úplnost zdrojů tepla na ČOV.

2.3 SPOTŘEBIČE TEPLA

V ČOV budou dva „technologické“ spotřebiče tepla.

- 1) Prvním spotřebičem tepla bude čtveřice shodných železobetonových vyhřívacích nádrží (dále VN) kalu, každá o užitném objemu 6 600 m³. Stavební provedení nádrží – viz. Dokumentace pro stavební povolení objektu SO 4300. VN budou ze všech stran opatřeny tepelnou izolací z pěnového skla Foamglas. Předehřátý surový kal, plynule kontinuálně přiváděný z nádrží směsného kalu bude předehřán ve dvou spirálových výměnících (první pro chladicí vodou ze sušárny a druhý pro vyhřátý kal) a následně bude zaveden do horní části VN. Stabilizovaný kal bude odváděn ze spodní části VN. Kal nádržemi plynule protéká. Kal z VN bude dohříván ve čtveřici shodných spirálových výměníků TTV/kal (pro každou VN bude osazen jeden výměník). Cirkulační okruh ohřevu stabilizovaného kalu bude osazen paralelně k VN. Požadovaná teplota ohřátého stabilizovaného kalu ve VN je 38 °C.
- 2) Druhým spotřebičem tepla bude dvě linky sušáren kalu. Nízkoteplotní sušárny pro svou funkci potřebují topnou vodu, kterou dohřívají čerstvý vzduch, který uvnitř sušárny odebere z odvodněného kalu většinu obsažené vody. Tepelný příkon sušáren bude počítán s použitím hodnoty 0,95 kW/kg_{odpařené vody}. Ze sušárny odchází chladicí voda včetně kondenzátu a ohřátý vzduch.

2.4 POŽADOVANÉ VÝSTUPNÍ ÚDAJE

Z hlediska filozofie výpočtů jsou od sebe odděleny hodnoty:

1. Spotřeby tepla – požadavky na teplo,
2. Výroby tepla – možnosti zdrojů.

Ve výpočtech se stanovili tepelné bilanci procesu nového kalového hospodářství. Potřeba tepla získaná z výše uvedených 5 alternativ bude použita k výpočtům produkce tepla v následujících variantách

- VARIANTA 1 – 100% využití kapacity KGJ (jednotky budou pracovat na maximální elektrický a tepelný výkon) a případné doplnění spotřeby bude získáno spalováním zemního plynu v kotli. Přitom se předpokládá, že veškerý produkováný bioplyn bude spotřebován v KGJ.
- VARIANTA 2 – Veškerý produkováný bioplyn bude využit v kotlích a případný nedostatek tepla bude získán spalováním zemního plynu. Využití KGJ se předpokládá v mezích výkonových možnostech maximálně jedné KGJ.

Poznámka 3 : všechny KGJ mají parametry (včetně spalínového výměníku)

Navrhnout zajištění potřebného množství tepla pro výše uvedené dva provozní stavy a výše uvedené dvě produkce surových kalů.

Další dílčí úlohy:

- 1) Ověřit potřebný tepelný výkon kotelny 2 stanovený v rámci DUR.
- 2) Navrhnout technické řešení přehřevu surového kalu pomocí spirálového výměníku kal/kal. Kde zdroj tepla je vyhnilý kal a ohříván bude surový kal.
- 3) Navrhnout tepelný výkon čtveřice shodných výměníků TTV/kal, určených pro cirkulační ohřev přehřátého surového kalu ve VN.

3. TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

3.1 BILANCE ZDROJŮ A SPOTŘEB

Základním předpokladem pro efektivní návrh je maximální využití tepelných potenciálů tam, kde jsou k dispozici bez náročných dodatečných energetických vstupů (spotřeba elektrické energie na kompresi, čerpání apod.) Základem pro dosažení vyvážené bilance je propojení tepelných přebytků a deficitů s maximálním využitím tepelného potenciálu daných látek.

Výstupem vyvážené bilance je maximální energetická soběstačnost a minimalizace spotřeby externích palivových zdrojů (zemní plyn).

Na ČOV je hlavním nositelem tepelného obsahu vznikající bioplyn při anaerobní fermentaci. Aby se minimalizoval nákup zemního plynu, byla provedena tepelná bilance s výpočtem tepelných potřeb (ohřev kalu před anaerobní fermentací, sušárna kalu) a možných tepelných zdrojů (využitelný tepelný obsah chladících vod, maximální využití bioplynu na kombinované výrobě elektrické energie a tepla) včetně možností rekuperace tepla mezi jednotlivými toky.

Na základě kombinace výše uvedených principů bylo sestaveno bilanční schéma a provedeny propočty na 3 stavy produkce surového kalu pro zimní/letní období a průměr. Dále se propočty rozdělily na varianty:

V1 schéma 1-5 = Maximální produkce elektrické energie spalováním bioplynu na kogeneračních jednotkách a pokrytí tepelných deficitů nákupem zemního plynu.

V2 schéma 6-10 = Minimalizace nákupu zemního plynu využitím bioplynu primárně na kotlích a případné přebytky využití ke kombinované výrobě tepla a elektřiny na kogeneračních jednotkách.

Výstupem jsou trendy určující možné kombinace provozních stavů dle situace s dostupností a cenami elektrické energie a zemního plynu.

Způsob výpočtů bilančního schéma pro všechny kombinace je součástí kapitoly 3.3.

Rekuperace tepla na ČOV:

Jako zdroj rekuperace tepla byl na ČOV využit kal na výstupu z anaerobní fermentace a ohřáté chladící vody ze sušárny kalu, které byly využity pro předehřev směsného surového kalu vstupujícího do anaerobní fermentace. Tím se minimalizovala spotřeba tepla na ohřev kalu ve vyhřívacích nádržích a teplo vyráběné na kotlích či kogeneračních jednotkách je využito primárně pro sušení kalu, kde je třeba dodávat teplo o vyšším potenciálu (95°C). Rekuperace probíhá na spirálových kalových výměnících, které disponují dobrým poměrem teplosměnné plochy a zástavbové velikosti.

Při sestavování tepelných bilancí byly započteny tepelné ztráty v jednotlivých provozních objektech, zařízeních a v rozvodech energií. Výsledkem je nedostatek nebo přebytek energií v navrženém technologickém systému ČOV.

Shrnutí výsledků je v kapitole 4.

3.2 ZHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT

Varianta 1 a 2, A1 – Průměrná produkce surového kalu, průměrná roční venkovní teplota (10°C).

Rekuperace 1 – spirálové výměníky EW1 (2ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu ohřátou chladicí vodou ze sušárny = celkový tepelný zisk 650,8 kWt (2 x 325,4kWt)

Ohřev kalu z 17°C na 26,1°C, při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení ohřáté chladicí vody z 38°C na 23,1°C, při průtoku 38 m³/hod (2 x 19 m³/hod)

Rekuperace 2 – spirálové výměníky EW2 (2 ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu kalem vyhnilým vystupujícím z VN = celkový tepelný zisk 361,4 kWt (2 x 180,7 kWt)

Ohřev kalu z 26,1°C na 31,2°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení vyhnilého kalu z 38°C na 32,8°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Dohřev kalu ve vyhřívacích nádržích cirkulací kalu – spirálové výměníky EW3 (4ks) – paralelní linka pro každou VN osazená spirálovým výměníkem kal/topná voda = 500,4 kWt (2 x 250,2 kWt možný souběh je maximálně 3 výměníků celkem). Provoz je uvažován tak, že je do výměníku dopravován kal ze spodní části VN o teplotě 36°C a po průchodu výměníku je smíchán s předehřátým surovým kalem z rekuperace, čímž dosáhne požadované vstupní teploty kalu do VN 38°C. Pro krytí tepelných ztrát VN se uvažuje provoz výměníku EW3 mimo plnění surovým kalem po dobu nezbytně nutnou k udržení stření teploty VN na 38°C.

Parametry ohřevu kalu ve výměníku EW3 (provozováno bude vždy ve dvojici) jsou následující. Ohřev kalu z 36°C na 43,2°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Potřeba tepla pro sušení kalu – sušárny = 2477,6 kW

Při využití bioplynu primárně na KGJ je generováno kontinuálně 1500 kW elektrické energie (tepelný výkon 1539 kWt), ale současně je v systému nedostatek tepla ve výši 1717,9 kWt, který je nutno vyrobit ze zemního plynu.

Při využití bioplynu primárně na kotlích je teplo kryto z bioplynu s přebytkem, který je možný využít na kogeneračních jednotkách, které by generovaly kontinuálně 281,8 kWe.

Varianta 1 a 2, A2 – Návrhová produkce surového kalu, zimní období (-12°C).

Rekuperace 1 – spirálové výměníky EW1 (2ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu ohřátou chladicí vodou ze sušárny = celkový tepelný zisk 685,2 kWt (2 x 342,6 kWt)

Ohřev kalu z 12°C na 21,6°C, při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení ohřáté chladicí vody z 38°C na 17,5°C, při průtoku 29 m³/hod (2 x 14,5 m³/hod)

Rekuperace 2 – spirálové výměníky EW2 (2 ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu kalem vyhnilým vystupujícím z VN = celkový tepelný zisk 495,4 kWt (2 x 247,7 kWt)

Ohřev kalu z 21,6°C na 28,6°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)
Zchlazení vyhnílého kalu z 38°C na 30,9°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Dohřev kalu ve vyhřívacích nádržích cirkulací kalu – spirálové výměníky EW3 (4ks) – paralelní linka pro každou VN osazená spirálovým výměníkem kal/topná voda = 700 (2 x 350 kWt možný souběh je maximálně 3 výměníků celkem). Provoz je uvažován tak, že je do výměníku dopravován kal ze spodní části VN o teplotě 36°C a po průchodu výměníku je smíchán s předeřhřátým surovým kalem z rekuperace, čímž dosáhne požadované vstupní teploty kalu do VN 38°C. Pro krytí tepelných ztrát VN se uvažuje provoz výměníku EW3 mimo plnění surovým kalem po dobu nezbytně nutnou k udržení stěžení teploty VN na 38°C.

Parametry ohřevu kalu ve výměníku EW3 (provozováno bude vždy ve dvojici) jsou následující.
Ohřev kalu z 36°C na 46°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Potřeba tepla pro sušení kalu – sušárny = 3767,7 kWt

Při využití bioplynu primárně na KGJ je generováno kontinuálně 1500 kW elektrické energie (tepelný výkon 1539 kWt), ale současně je v systému nedostatek tepla ve výši 2356,1 kWt, který je nutno vyrobit ze zemního plynu.

Při využití bioplynu na kotlích není teplo zcela pokryto z bioplynu a je třeba do systému dodat 236,8 kWt energie ze zemního plynu.

Varianta 1 a 2, A3 – Návrhová produkce surového kalu, letní období (40°C).

Rekuperace 1 – spirálové výměníky EW1 (2ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předeřhřev surového kalu ohřátou chladicí vodou ze sušárny = celkový tepelný zisk 641,4 kWt (2 x 320,7 kWt)

Ohřev kalu z 21°C na 30°C, při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení ohřáté chladicí vody z 38°C na 28,7°C, při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Rekuperace 2 – spirálové výměníky EW2 (2 ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předeřhřev surového kalu kalem vyhnílym vystupujícím z VN = celkový tepelný zisk 243,4 kWt (2 x 121,7 kWt)

Ohřev kalu z 30°C na 33,4°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení vyhnílého kalu z 38°C na 34,5°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Dohřev kalu ve vyhřívacích nádržích cirkulací kalu – spirálové výměníky EW3 (4ks) – paralelní linka pro každou VN osazená spirálovým výměníkem kal/topná voda = 361,4 (2 x 180,7 kWt možný souběh je maximálně 3 výměníků celkem). Provoz je uvažován tak, že je do výměníku dopravován kal ze spodní části VN o teplotě 36°C a po průchodu výměníku je smíchán s předeřhřátým surovým kalem z rekuperace, čímž dosáhne požadované vstupní teploty kalu do VN 38°C. Pro krytí tepelných ztrát VN se uvažuje provoz výměníku EW3 mimo plnění surovým kalem po dobu nezbytně nutnou k udržení stěžení teploty VN na 38°C.

Parametry ohřevu kalu ve výměníku EW3 (provozováno bude vždy ve dvojici) jsou následující.
Ohřev kalu z 36°C na 41,2°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Potřeba tepla pro sušení kalu – sušárny = 3133,1 kWt

Při využití bioplynu primárně na KGJ je generováno kontinuálně 1500 kW elektrické energie (tepelný výkon 1539 kWt), ale současně je v systému nedostatek tepla ve výši 858,6 kWt, který je nutno vyrobit ze zemního plynu.

Při využití bioplynu primárně na kotlích je teplo kryto z bioplynu a s přebytkem, který je možný využít na kogeneračních jednotkách, které by generovaly kontinuálně 891,1 kWe.

Varianta 1 a 2, A4 – Maximální produkce surového kalu, zimní období (-12°C).

Rekuperace 1 – spirálové výměníky EW1 (2ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu ohřátou chladicí vodou ze sušárny = celkový tepelný zisk 685,2 kWt (2 x 342,6 kWt)

Ohřev kalu z 12°C na 21,6°C, při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení ohřáté chladicí vody z 38°C na 17,5°C, při průtoku 29 m³/hod (2 x 14,5 m³/hod)

Rekuperace 2 – spirálové výměníky EW2 (2 ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu kalem vyhnilým vystupujícím z VN = celkový tepelný zisk 495,4 kWt (2 x 247,7 kWt)

Ohřev kalu z 21,6°C na 28,6°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení vyhnilého kalu z 38°C na 30,9°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Dohřev kalu ve vyhřívacích nádržích cirkulací kalu – spirálové výměníky EW3 (4ks) – paralelní linka pro každou VN osazená spirálovým výměníkem kal/topná voda = 700 (2 x 350 kWt možný souběh je maximálně 3 výměníků celkem). Provoz je uvažován tak, že je do výměníku dopravován kal ze spodní části VN o teplotě 36°C a po průchodu výměníku je smíchán s předehřátým surovým kalem z rekuperace, čímž dosáhne požadované vstupní teploty kalu do VN 38°C. Pro krytí tepelných ztrát VN se uvažuje provoz výměníku EW3 mimo plnění surovým kalem po dobu nezbytně nutnou k udržení stěžení teploty VN na 38°C.

Parametry ohřevu kalu ve výměníku EW3 (provozováno bude vždy ve dvojici) jsou následující. Ohřev kalu z 36°C na 46°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Potřeba tepla pro sušení kalu – sušárny = 4951,4 kWt

Při využití bioplynu primárně na KGJ je generováno kontinuálně 1500 kW elektrické energie (tepelný výkon 1539 kWt), ale současně je v systému nedostatek tepla ve výši 2918,4 kWt, který je nutno vyrobit ze zemního plynu.

Při využití bioplynu primárně na kotlích není teplo zcela pokryto z bioplynu a je třeba do systému dodat 799,2 kWt energie ze zemního plynu.

Varianta 1 a 2, A5 – Maximální produkce surového kalu, letní období (40°C).

Rekuperace 1 – spirálové výměníky EW1 (2ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu ohřátou chladicí vodou ze sušárny = celkový tepelný zisk 641,4 kWt (2 x 320,7 kWt)

Ohřev kalu z 21°C na 30°C, při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení ohřáté chladicí vody z 38°C na 28,7°C, při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Rekuperace 2 – spirálové výměníky EW2 (2 ks) – linka tvořena dvojicí spirálových výměníků pro předehřev surového kalu kalem vyhnílym vystupujícím z VN = celkový tepelný zisk 243,4 kWt (2 x 121,7 kWt)

Ohřev kalu z 30°C na 33,4°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Zchlazení vyhnílého kalu z 38°C na 34,5°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Dohřev kalu ve vyhřívacích nádržích cirkulací kalu – spirálové výměníky EW3 (4ks) – paralelní linka pro každou VN osazená spirálovým výměníkem kal/topná voda = 361,4 (2 x 180,7 kWt možný souběh je maximálně 3 výměníků celkem). Provoz je uvažován tak, že je do výměníku dopravován kal ze spodní části VN o teplotě 36°C a po průchodu výměníku je smíchán s předehřátým surovým kalem z rekuperace, čímž dosáhne požadované vstupní teploty kalu do VN 38°C. Pro krytí tepelných ztrát VN se uvažuje provoz výměníku EW3 mimo plnění surovým kalem po dobu nezbytně nutnou k udržení stěžení teploty VN na 38°C.

Parametry ohřevu kalu ve výměníku EW3 (provozováno bude vždy ve dvojici) jsou následující. Ohřev kalu z 36°C na 41,2°C při průtoku 60 m³/hod (2 x 30 m³/hod)

Potřeba tepla pro sušení kalu – sušárny = 4117,5 kWt

Při využití bioplynu primárně na KGJ je generováno kontinuálně 1500 kW elektrické energie (tepelný výkon 1539 kWt), ale současně je v systému nedostatek tepla ve výši 1145,7 kWt, který je nutno vyrobit ze zemního plynu.

Při využití bioplynu primárně na kotlích je teplo kryto z bioplynu a s přebytkem, který je možný využít na kogeneračních jednotkách, které by generovali kontinuálně 687 kWe.

3.3 POPIS ZPŮSOBU VÝPOČTU PRO VŠECHNY KOMBINACE VARIANT PROVOZU A VSTUPNÍCH PARAMETRŮ

SO 4701 A SO 4702 SUŠENÍ KALU

Požadovaný tepelný příkon pro sušárnu byl vypočítán ze zadaného průtoku a měrného příkonu pro odpařenou vodu. Ze zadaného průtoku odpadní vody a její vstupní a výstupní teploty byl stanoven tepelný výkon výměníku od sušárny. Od něj byly odečteny tepelné ztráty ve strojovně a tepelné ztráty rozvodů a tím stanoven tepelný výkon, který je k dispozici pro ohřev chladicí vody. Z tepelného výkonu k dispozici, zvoleného průtoku chladicí vody a její zadané vstupní teploty byla stanovena výstupní teplota chladicí vody. Chladicí voda je přivedena do strojovny vyhřívacích nádrží.

SO 4300 STROJOVNA VYHNÍVACÍCH NÁDRŽÍ

Z průtoku a vstupní a výstupní teploty chladicí vody byl stanoven tepelný výkon výměníku pro předehřev kalu. Od něj byly odečteny tepelné ztráty ve strojovně a tepelné ztráty rozvodů a tím stanoven tepelný výkon, který je k dispozici pro ohřev surového kalu. Z tepelného výkonu k dispozici pro ohřev surového kalu, zadaného průtoku a zadané vstupní teploty surového kalu byla stanovena jeho výstupní teplota. Surový kal je přiveden do vyhřívacích nádrží.

Stejným postupem byl stanoven výkon výměníků pro rekuperaci tepla z vyhnílého kalu do kalu surového.

SO 4300 VYHNÍVACÍ NÁDRŽE

Ze zadané produkce bioplynu a jeho zadané výhřevnosti byl stanoven tepelný výkon z bioplynu. Ze zadaného průtoku surového kalu, jeho zadané výstupní teploty a vypočítané vstupní teploty byl stanoven tepelný výkon, potřebný pro ohřev kalu. Tepelné ztráty nádrží byly stanoveny pro zadanou teplotu surového kalu a zadanou teplotu venkovního vzduchu postupem. Součtem obou výše uvedených hodnot byl stanoven tepelný příkon, potřebný pro ohřev surového kalu.

SO 2103 PLYNOVÉ MOTORY (KOGENERAČNÍ JEDNOTKY)

Požadovaný tepelný výkon pro technologii celkem byl stanoven jako součet požadovaného tepelného příkonu pro sušárnu a požadovaného tepelného příkonu pro dohřev kalu ve vyhnívacích nádržích. Od celkového tepelného výkonu kogeneračních jednotek, stanoveného ze zadaného tepelného výkonu těchto jednotek, byly odečteny tepelné ztráty ve strojovně, tepelné ztráty rozvodů a tepelný výkon pro ohřev spalovacího vzduchu a tím stanoven celkový tepelný výkon kogeneračních jednotek, který je k dispozici.

Z požadovaného tepelného výkonu pro technologii celkem a tepelného výkonu kogeneračních jednotek celkem byl stanoven chybějící tepelný výkon pro technologii celkem, který musí dodat kotelná sušení kalu. Ze stanoveného tepelného příkonu z bioplynu k dispozici a tepelného příkonu z bioplynu využitého kogeneračními jednotkami byl stanoven tepelný příkon z bioplynu nevyužitý kogeneračními jednotkami, který je k dispozici pro kotelnu sušení kalu.

SO 4700 KOTELNA SUŠENÍ KALU

Požadovaný tepelný výkon pro technologii celkem byl stanoven jako součet požadovaného tepelného příkonu pro sušárnu a požadovaného tepelného příkonu pro ohřev surového kalu. K němu byly přičteny tepelné ztráty ve strojovně, tepelné ztráty rozvodů a tepelný výkon pro ohřev spalovacího vzduchu a tím stanoven požadovaný tepelný výkon kotlů. Z něj a zadané účinnosti kotlů byl stanoven požadovaný tepelný příkon kotlů.

Ze stanoveného tepelného příkonu z bioplynu a tepelného příkonu z bioplynu, který bude využit kotli, byl stanoven:

- ◆ buď tepelný příkon z bioplynu, který je k dispozici pro kogenerační jednotky
- ◆ nebo tepelný příkon, který je nutno dodat ze zemního plynu. Z něj a výhřevnosti zemního plynu byla následně stanovena spotřeba zemního plynu.

SO 2104 KOTELNA A TEPLÁRNA (VYTÁPĚNÍ OBJEKŮ ČOV)

Požadovaný tepelný výkon pro ÚT celkem byl pro teplotu venkovního vzduchu – 12 °C zadán. Pro teplotu venkovního vzduchu + 10 °C byl stanoven. K tomuto výkonu byly přičteny tepelné ztráty v kotelně a tepelné ztráty rozvodů a tím stanoven požadovaný tepelný výkon kotlů. Z něj a odhadnuté účinnosti kotlů byl stanoven požadovaný tepelný příkon kotlů, ze kterého a výhřevnosti zemního plynu byla následně stanovena spotřeba zemního plynu.

4. ZÁVĚRY

Tabulka 2 – souhrnné údaje výsledků z výpočtů energetické bilance

	Jednotky	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
Surový kal	m3/d	826	1098	1098	1265	1265
Bioplyn	Nm3/d	15 181	20 074	20 074	23 111	23 111
Množství odpařené vody	kg/h	2 985	3 966	3 966	5 212	5 212
Chladicí voda k rekuperaci tepla	m3/h	38	29	60	29	60
Teplota vzduchu	°C	10	-12	40	-12	40
Teplota vody/kalu	°C	17	12	21	12	21
Měrný příkon na odpařenou vodu	kWh/kg-H ₂ O	0,83	0,95	0,79	0,95	0,79
Varianta 1 KGJ v provozu		Nákup ZP: 4339,2 Nm3/d Výroba el.ene 1500 kW	Nákup ZP: 5952,0 Nm3/d Výroba el.ene 1500 kW	Nákup ZP: 2169,6 Nm3/d Výroba el.ene 1500 kW	Nákup ZP: 7372,8 Nm3/d Výroba el.ene 1500 kW Spotřeba el.ene 6415 MWh/r	Nákup ZP: 2894,4 Nm3/d Výroba el.ene 1500 kW
Varianta 2 Kotle BP v provozu		Nákup ZP: 0 Nm3/d Výroba el. ene 281,8 kW	Nákup ZP: 597,6 Nm3/d Výroba el.ene 0 kW	Nákup ZP: 0 Nm3/d Výroba el.ene 891,1 kWe	Nákup ZP: 2018,4 Nm3/d Výroba el.ene 0 kW Spotřeba el.ene 6415 MWh/r	Nákup ZP: 0 Nm3/d Výroba el.ene 687 kWe
Technologie Tepelný příkon		3228,2 kW	3397,2,2 kW		4580,9 kW	
Varianta 1 Využití tepelného příkonu bioplynu		3765 kW z BP na KGJ + 276,2 kW z BP na kotlích = 4041,2 kW z BP	3765 kW z BP na KGJ + 1578,8 kW z BP na kotlích = 5343,8 kW z BP		3765 kW z BP na KGJ + 2387,2 kW z BP na kotlích = 6152 kW z BP	
Tepelný příkon zemního plynu		1717,9 kW z ZP	2356,1 kW z ZP		2918,4 kW z ZP	
Varianta 2 Využití tepelného příkonu bioplynu		707,4 kW z BP na KGJ + 3333,8 kW z BP na kotlích = 4041,2 kW	5343,8 kW z BP na kotlích		6152 kW z BP na kotlích	
Tepelný příkon zemního plynu		0 kW z ZP	236,8 kW ze ZP		799,2 kW ze ZP	

INTERPRETACE VÝSLEDKŮ BILANČNÍCH SCHÉMAT S SOUHRNNÝCH ÚDAJŮ

V bilančních schématech je vždy uveden hodinový průměr výkonů/příkonů a základem je dodat potřebné množství tepla pro technologii ČOV (ohřev VN/sušení kalu). Výstupem je pak přebytek, nebo deficit BP/ZP. Ve schématech je pak vždy uvedena jak potřeba tepla, tak příkon v palivu, který reflektuje ztráty a účinnosti zdrojů.

Jelikož ohřev VN nejede kontinuálně, máme uvedeny vždy hodiny provozu výměníků EW3 pro každou variantu. Násobek provozních hodin a výkonu koresponduje s teplem potřebným pro ohřev denního množství kalu a pro pokrytí tepelných ztrát vyhnívacích nádrží

Příklad variant V1A1 a V2A1

Sušárna potřebuje 2477,6 kW (vypočteno dle měrného příkonu na odpařenou vodu v sušárně)
Ohřev kalu 750,6 kW (souběh 3 výměníků EW3)
Cekem potřebují dodat do technologie 3228,2 kW špičkového výkonu. (příkon do technologie)

Pokud by to jelo všechno kontinuálně, tak to odpovídá průměrným hodnotám uvedených v bilančních schématech (ty nerozlišují denní dobu, či stav technologie = je to ustálený stav).

Ve skutečnosti nebude ohřev kalu provozován kontinuálně, proto při výpočtu spotřeby tepla je třeba s denní provozní dobou počítat.

Sušárny jedou 24 hod denně a spotřebují 59462,4 kWh tepla
Ohřev kalu jede 12,6 hod při výkonu 750,6 kW = 9457,56 kWh (ve schématech uvedeny i denní spotřeby rozdělené na ohřev kalu a ztráty VN)

Celkem za den je do technologie potřeba dodat 68920 kWh

Využití zdrojů varianty A1V1 – využití BP na KGJ:

Kogenerační jednotky po odečtení ztrát dodávají 1462 kW a za den vyrobí 35088 kWh
Dokonce zbyde bioplyn nevyužití KGJ (276,2 kW v palivu), který spálením na kotlích za den vyrobí 6165 kWh tepla.

Aby byla pokryta spotřeba technologie a ztráty v kotelně a rozvodech, je třeba do systému dodat dalších 29786 kWh, což při započtení účinnosti kotlů 93% je 32028 kWh příkonu ze zemního plynu = 3371,4 Nm³/den ZP.

Skutečná spotřeba zemního plynu je pak o něco nižší než hodnota vypočtená z průměrů v bilančních schématech.

Využití zdrojů varianty A1V2 – využití BP na kotlích:

Aby byla spotřeba pokryta, je využit bioplyn na kotlích s drobným přebytkem pro využití v kogenerační jednotce, která po odečtení ztrát dodává 289,2 kW a za den vyrobí 6940,8 kWh

Aby byla pokryta spotřeba technologie a ztráty v kotelně a rozvodech, je třeba do systému dodat 65843,2 kWh, což při započtení účinnosti kotlů je 70799,1 kWh příkonu z bioplynu. Balance je tak vyrovnaná a není třeba spotřeby ZP.

5. PŘÍLOHY

5.1 PŘÍLOHA 1 – PFD

5.2 PŘÍLOHA 2 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 1: VŠECHNY TŘI KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SPALUJÍ BIOPLYN; ALTERNATIVA 1: PRŮMĚRNÁ PRODUKCE KALU

5.3 PŘÍLOHA 3 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 1: VŠECHNY TŘI KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SPALUJÍ BIOPLYN; ALTERNATIVA 2: NÁVRHOVÁ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA -12°C

5.4 PŘÍLOHA 4 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 1: VŠECHNY TŘI KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SPALUJÍ BIOPLYN; ALTERNATIVA 3: NÁVRHOVÁ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA +40°C

5.5 PŘÍLOHA 5 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 1: VŠECHNY TŘI KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SPALUJÍ BIOPLYN; ALTERNATIVA 4: MAXIMÁLNÍ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA -12°C

5.6 PŘÍLOHA 6 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 1: VŠECHNY TŘI KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SPALUJÍ BIOPLYN; ALTERNATIVA 5: MAXIMÁLNÍ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA +40°C

5.7 PŘÍLOHA 7 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 2: TEPLA POTŘEBNÉ PRO PROVOZ TECHNOLOGIE ČOV VYRÁBÍ KOTELNA Č. 2 Z BIOPLYNU; ALTERNATIVA 1: PRŮMĚRNÁ PRODUKCE KALU

5.8 PŘÍLOHA 8 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 2: TEPLA POTŘEBNÉ PRO PROVOZ TECHNOLOGIE ČOV VYRÁBÍ KOTELNA Č. 2 Z BIOPLYNU; ALTERNATIVA 2: NÁVRHOVÁ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA -12°C

5.9 PŘÍLOHA 9 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 2: TEPLA POTŘEBNÉ PRO PROVOZ TECHNOLOGIE ČOV VYRÁBÍ KOTELNA Č. 2 Z

BIOPLYNU; ALTERNATIVA 3: NÁVRHOVÁ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA +40°C

5.10 PŘÍLOHA 10 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 2: TEPLA POTŘEBNÉ PRO PROVOZ TECHNOLOGIE ČOV VYRÁBÍ KOTELNA Č. 2 Z BIOPLYNU; ALTERNATIVA 4: MAXIMÁLNÍ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA -12°C

5.11 PŘÍLOHA 11 – SCHÉMA PROVOZNÍHO STAVU 2: TEPLA POTŘEBNÉ PRO PROVOZ TECHNOLOGIE ČOV VYRÁBÍ KOTELNA Č. 2 Z BIOPLYNU; ALTERNATIVA 5: MAXIMÁLNÍ PRODUKCE KALU A VENKOVNÍ TEPLOTA +40°C