FAKULTA energetický
STROJNÍHO ústav
INŽENÝRSTVÍ

PROTOTYP KONDENZAČNÍHO PELETOVÉHO KOTLE 12 kW

Datum dosažení výsledku:	31. 3. 2025
Datum zhotovení zprávy:	20. 1. 2026
Typ výstupu:	Gprot – Prototyp
Autoři:	Ing. Martin Lisý, Ph.D., VUT v Brně Ing. David Jecha, Ph.D., VUT v Brně Ing. Jakub Lachman, Ph.D., VUT v Brně František Kudrna, Ekogalva s.r.o. Igor Miklós, Drahoš s.r.o.
Identifikační číslo výstupu:	TK05020105-V1
Vazba na projekt:	TK05020105: Efektivní peletový kotel s kondenzací spalin

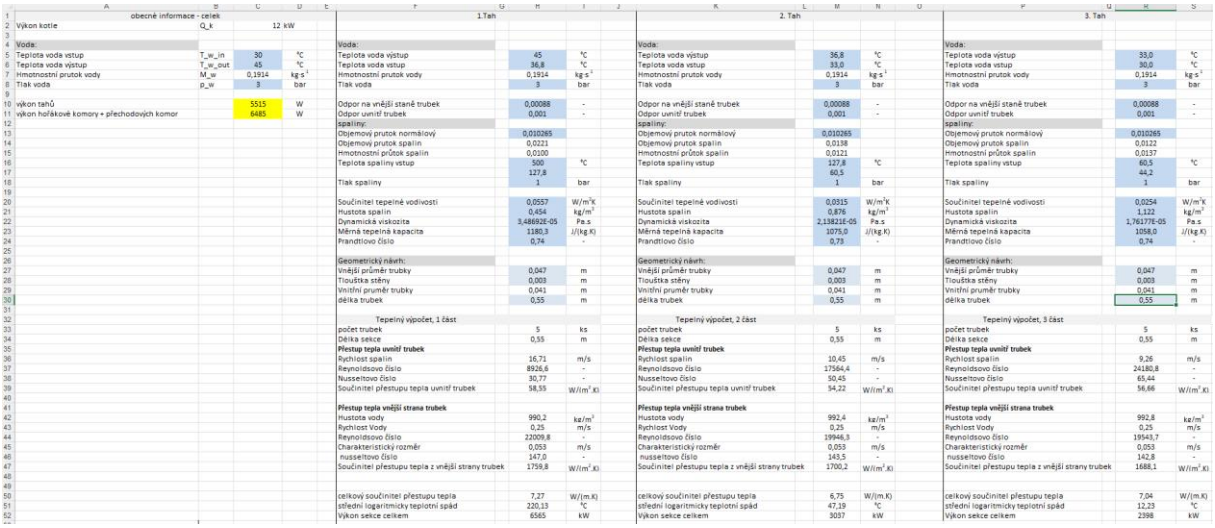
Fakulta strojního inženýrství
Odbor energetického inženýrství
Technická 2, 616 69 Brno

email: martin.lisy@vutbr.cz
http://eu.fme.vutbr.cz
telefon: 541 142 585

POPIS ZAŘÍZENÍ

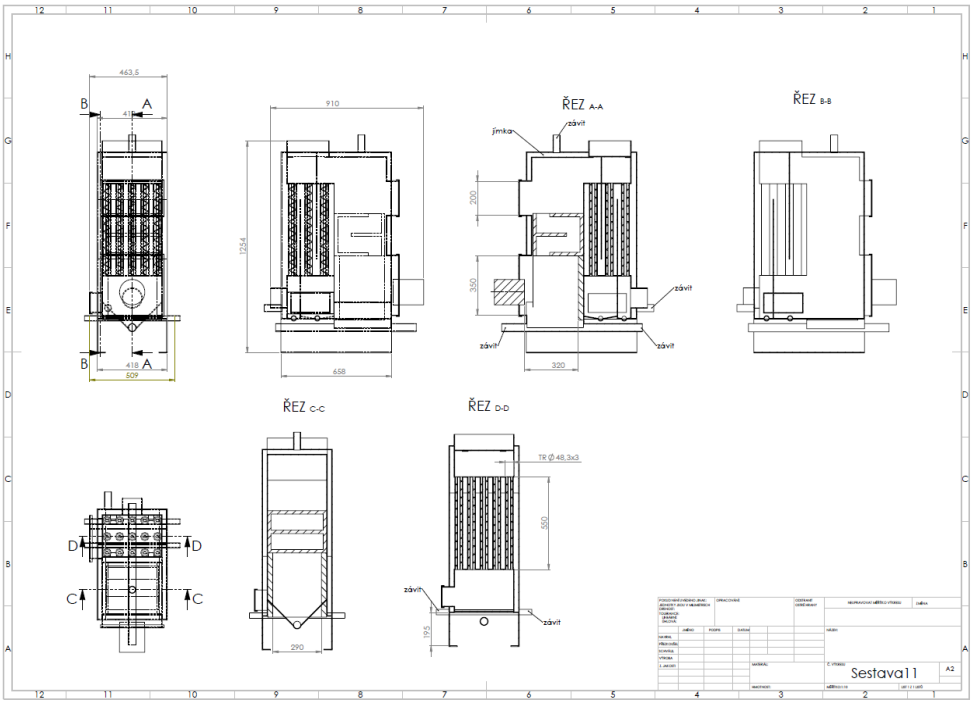
Kotel byl navržen na základě pilotní jednotky **TK05020105-V5**, která byla určena k ověření správnosti konstrukčního návrhu a k provedení rozsáhlého testování, směřujícího k vývoji plnohodnotného prototypu kotle. Původní pilotní jednotka byla během testování podrobena řadě úprav a optimalizací, jejichž cílem bylo zajistit lepší funkci, zvýšit účinnost a zlepšit spolehlivost provozu. Na základě těchto úprav vznikl výsledný prototyp **TK05020105-V1**, který je určen pro komercializaci a představuje finální podobu kotle vhodnou pro sériovou výrobu.

Prototyp kotle o výkonu 12kW byl navržen pomocí výpočtů (stechiometrie, tepelný výpočet (Obr. 1)) a s využitím matematického modelování a na základě konstrukčních a provozních zkušeností s pilotním modelem. Tento postup zajistil, že prototyp kotle byl nejen správně dimenzován, ale také optimalizován pro vysokou účinnost, spolehlivý provoz a bezpečné odvedení kondenzátu.

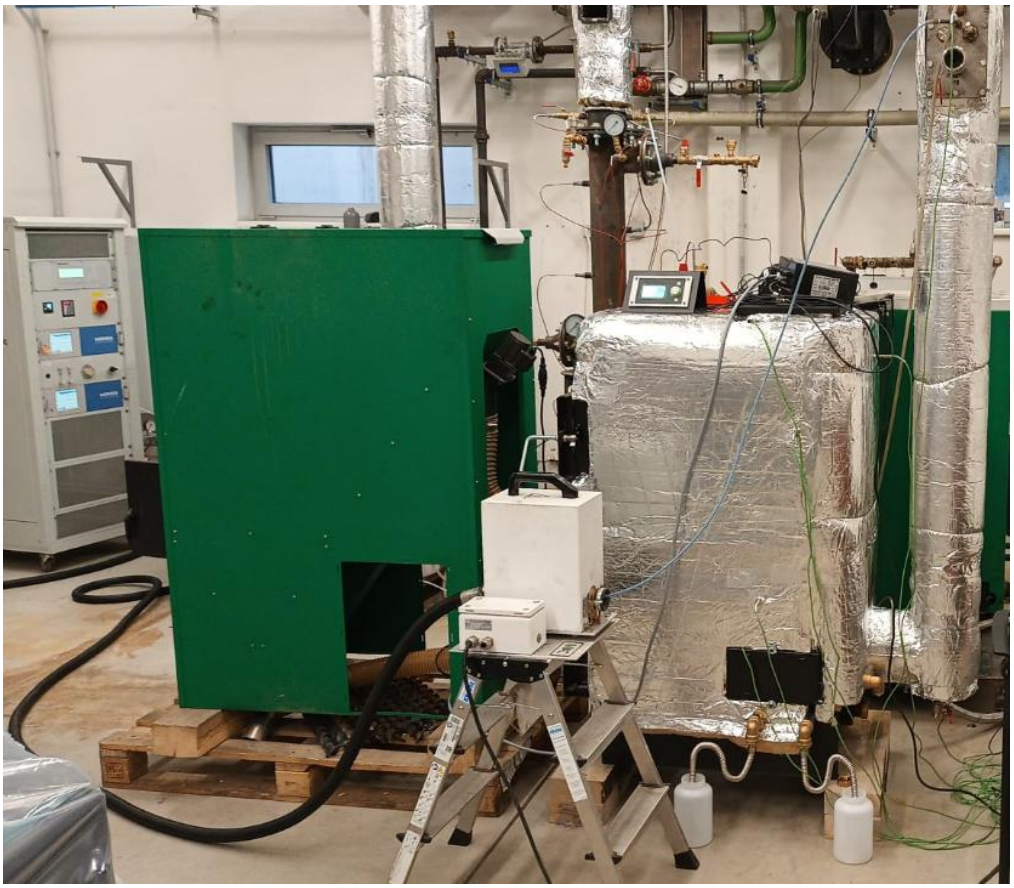


obecné informace - celek				1.Tah			2. Tah			3. Tah		
Výkon kotle	Q_k	12 kW										
Voda:				Voda:			Voda:			Voda:		
Teplota voda vstup	T_w_in	30	°C	Teplota voda výstup	45	°C	Teplota voda výstup	36,8	°C	Teplota voda výstup	33,0	°C
Teplota voda výstup	T_w_out	45	°C	Teplota voda vstup	36,8	°C	Teplota voda vstup	33,0	°C	Teplota voda vstup	30,0	°C
Hmotnostní prutok vody	M_w	0,1914	kg s^{-1}	Hmotnostní prutok vody	0,1914	kg s^{-1}	Hmotnostní prutok vody	0,1914	kg s^{-1}	Hmotnostní prutok vody	0,1914	kg s^{-1}
Tlak voda	p_w	3	bar	Tlak voda	3	bar	Tlak voda	3	bar	Tlak voda	3	bar
výkon tahů		5515	W	Odpor na vnější stanê trubek	0,00088	-	Odpor na vnější stanê trubek	0,00088	-	Odpor na vnější stanê trubek	0,00088	-
výkon hořákové komory + přechodových komor		6485	W	Odpor uvnitř trubek	0,001	-	Odpor uvnitř trubek	0,001	-	Odpor uvnitř trubek	0,001	-
				spaliny:			spaliny:			spaliny:		
				Objemový prutok normálový	0,010265		Objemový prutok normálový	0,010265		Objemový prutok normálový	0,010265	
				Objemový prutok spalin	0,0221		Objemový prutok spalin	0,0138		Objemový prutok spalin	0,0122	
				Hmotnostní průtok spalin	0,0100		Hmotnostní průtok spalin	0,0121		Hmotnostní průtok spalin	0,0137	
				Teplota spaliny vstup	500	°C	Teplota spaliny vstup	127,8	°C	Teplota spaliny vstup	60,5	°C
					127,8			60,5			44,2	
				Tlak spaliny	1	bar	Tlak spaliny	1	bar	Tlak spaliny	1	bar
				Součinitel tepelné vodivosti	0,0557	W/m^{2}K	Součinitel tepelné vodivosti	0,0315	W/m^{2}K	Součinitel tepelné vodivosti	0,0254	W/m^{2}K
				Hustota spalin	0,454	kg/m^3	Hustota spalin	0,876	kg/m^3	Hustota spalin	1,122	kg/m^3
				Dynamická viskozita	3,48692E-05	Pa.s	Dynamická viskozita	2,13821E-05	Pa.s	Dynamická viskozita	1,76177E-05	Pa.s
				Měrná tepelná kapacita	1180,3	J/(kg.K)	Měrná tepelná kapacita	1075,0	J/(kg.K)	Měrná tepelná kapacita	1058,0	J/(kg.K)
				Prandtlovo číslo	0,74	-	Prandtlovo číslo	0,73	-	Prandtlovo číslo	0,74	-
				Geometrický návrh:			Geometrický návrh:			Geometrický návrh:		
				Vnější průměr trubky	0,047	m	Vnější průměr trubky	0,047	m	Vnější průměr trubky	0,047	m
				Tloušťka stěny	0,003	m	Tloušťka stěny	0,003	m	Tloušťka stěny	0,003	m
				Vnitřní průměr trubky	0,041	m	Vnitřní průměr trubky	0,041	m	Vnitřní průměr trubky	0,041	m
				délka trubek	0,55	m	délka trubek	0,55	m	délka trubek	0,55	m
				Tepelný výpočet, 1 část			Tepelný výpočet, 2 část			Tepelný výpočet, 3 část		
				počet trubek	5	ks	počet trubek	5	ks	počet trubek	5	ks
				Délka sekce	0,55	m	Délka sekce	0,55	m	Délka sekce	0,55	m
				Přestup tepla uvnitř trubek			**Přestup tepla uvnitř trubek**			**Přestup tepla uvnitř trubek**		
				Rychlost spalin	16,71	m/s	Rychlost spalin	10,45	m/s	Rychlost spalin	9,26	m/s
				Reynoldsovo číslo	8926,6	-	Reynoldsovo číslo	17564,4	-	Reynoldsovo číslo	24180,8	-
				Nusseltovo číslo	30,77	-	Nusseltovo číslo	50,45	-	Nusseltovo číslo	65,44	-
				Součinitel přestupu tepla uvnitř trubek	58,55	W/(m^2.K)	Součinitel přestupu tepla uvnitř trubek	94,22	W/(m^2.K)	Součinitel přestupu tepla uvnitř trubek	56,66	W/(m^2.K)
				Přestup tepla vnější strana trubek			**Přestup tepla vnější strana trubek**			**Přestup tepla vnější strana trubek**		
				Hustota vody	990,2	kg/m^3	Hustota vody	992,4	kg/m^3	Hustota vody	992,8	kg/m^3
				Rychlost Vody	0,25	m/s	Rychlost Vody	0,25	m/s	Rychlost Vody	0,25	m/s
				Reynoldsovo číslo	22009,8	-	Reynoldsovo číslo	19946,3	-	Reynoldsovo číslo	19543,7	-
				Charakteristický rozměr	0,053	m/s	Charakteristický rozměr	0,053	m/s	Charakteristický rozměr	0,053	m/s
				nusseltovo číslo	147,0	-	nusseltovo číslo	143,5	-	nusseltovo číslo	142,8	-
				Součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek	1759,8	W/(m^2.K)	Součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek	1700,2	W/(m^2.K)	Součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek	1688,1	W/(m^2.K)
				celkový součinitel přestupu tepla	7,27	W/(m.K)	celkový součinitel přestupu tepla	6,75	W/(m.K)	celkový součinitel přestupu tepla	7,04	W/(m.K)
				střední logaritmický teplotní spád	220,13	°C	střední logaritmický teplotní spád	47,19	°C	střední logaritmický teplotní spád	12,23	°C
				Výkon sekce celkem	6565	kW	Výkon sekce celkem	3037	kW	Výkon sekce celkem	2398	kW

Obr. 1 Printscreen výpočtového modelu kotle 12 kW



Obr. 2 Návrh nové pilotní jednotky kotle 12 kW



Obr. 3 Instalace kotle na zkušebně

Jedná se o žárotrubný kondenzační peletový kotel s vertikálně uspořádanými trubkami výměníku a čtyřtahovým uspořádáním. Nultý tah tvoří spalovací a dohořívací komora, ve které probíhá kompletní proces spalování paliva. První tah slouží jako spalovací část, zatímco druhý až čtvrtý tah jsou konvekční a jsou osazeny turbulátory spalin, jejichž primární funkcí je zvýšení turbulence spalin za účelem intenzifikace přestupu tepla. Sekundární funkcí turbulátorů je odloučení drobného množství prachových částic emitovaných z hořáku. Turbulátory jsou navrženy jako šnek s pevnou osou, tedy jako rotující spirálová čepel na hřídeli, přičemž velikost hřídele byla optimalizována s ohledem na účinnost přestupu tepla a tlakové ztráty. Ve vodním výměníku jsou instalovány přepážky, které zajišťují postupný tok vody podél jednotlivých tahů směrem od zadní části kotle ke spalovací komoře. Toto uspořádání umožňuje, aby nejchladnější voda ochlazovala kondenzační tah, čímž se maximalizuje míra kondenzace spalin a zvyšuje celková účinnost kotle. Za každým tahem v trubkové části se nachází obratová komora, kde dochází k odloučení tuhých znečišťujících látek a kondenzátu. Jednotlivé obratové komory v dolní části kotle, včetně oblasti napojení komínu, jsou konstrukčně uzpůsobeny pro odvod kondenzátu. Spalovací komora je vybavena dvěma dvířky. Ve spodních dvířkách je instalován hořák, přičemž jeho umístění přímo ve dvířkách umožňuje jednoduchou montáž a demontáž. Horní dvířka (pouze revizní) slouží k čištění horní obratové komory a k vkládání žárobetonových desek do dohořívací části spalovací komory. Kotel je dále vybaven spalinovým ventilátorem, který zajišťuje optimální proudění spalin a zvyšuje účinnost tepelného přestupu. Spalovací vzduch je do kotle přisáván samovolně díky podtlaku ve spalovací komoře, takže není nutné použití samostatného vzduchového ventilátoru. Odvod popela je řešen pomocí šnekového vynašeče do uzavřeného popelníku. Kontinuální odvod kondenzátu z kotle je zajištěn prostřednictvím sběrné nádoby se sifonem, která umožňuje bezpečné a efektivní odvádění kondenzátu během provozu. Pro kondenzát vznikající až v tělese komínu je nutné

jeho napojení na kanalizaci přes sifon, například pomocí HT potrubí s minimální světlostí DN25.

Z naměřených hodnot vyplývá, že geometrie a konstrukce spalovací komory umožňují rychlé ochlazení spalin a odebrání významné části tepelného výkonu přímo v ohništi. Díky vhodnému uspořádání šamotových přepážek dochází k úplnému vyhoření paliva, což se projevuje nízkými hodnotami emisí, CO a TOC. Teplota spalin za prvním konvekčním výměníkem byla při nominálním výkonu již dostatečně nízká (74 °C), aby při kontaktu spalin se studenou plochou výměníku (teplota vody přibližně 35 °C) docházelo k povrchové kondenzaci. Při průchodu spalin posledním tahem kotle byla teplota ve všech případech pod rosným bodem, takže kondenzace mohla probíhat i přímo v proudu spalin. Průtoky kondenzátu v obou lokalitách při nominálním výkonu překračovaly 300 ml/h. Při provozu na sníženém výkonu se kondenzace v posledním tahu kotle projevovala výrazněji, což bylo důsledkem nižších rychlostí proudění spalin.

Tabulka 1 Základní naměřené parametry kotle a emisní hodnoty

režim	**výkon kotle**	**teplotní spád**	**účinnost**	**teplota spalin**	**O_2**	**NO_x**	**CO**	**TOC**	**TZL**
	kW	**°C**	**%**	**°C**	**%**	**mg/m³ (10 % O_2)**			
nominální výkon 1	12,2	45/30	100,7	40	9,6	150	36	1,1	21,2
snížený výkon 1	4,1	45/30	99,6	33	9,4	137	80	0,1	26,9
	sezónní emise					**139**	**74**	**0,3**	**26**
nominální výkon 2	12,2	75/60	94,8	62	8,84	154	10	9,4	21,2

Tabulka 1 shrnuje výsledky měření provedených na finálním prototypu kotle. Uvedených hodnot bylo dosaženo po instalaci odtahového ventilátoru, jehož provozní parametry byly v rámci série měření postupně laděny v závislosti na obsahu kyslíku ve spalinách. Hodnoty uvedené pro nominální výkon 2 odpovídají provozu kotle při standardním teplotním spádu otopné soustavy 75/60 °C. Za těchto podmínek je teplota napájecí vody vyšší než rosný bod spalin, a proto je kondenzační režim potlačen a teplota spalin dosahuje maximálních hodnot. Přesto je dochlazení spalin i v tomto případě velmi účinné rozdíl mezi výstupní teplotou spalin a vstupní teplotou vody činil přibližně 2 °C. To potvrzuje schopnost kotlového tělesa efektivně odebírat tepelný výkon i při běžných provozních teplotách otopné soustavy. V důsledku potlačení kondenzace však není ze spalin využíváno latentní teplo vodní páry, což se projevuje nižší celkovou účinností ve srovnání s kondenzačním režimem. Pro dosažení návrhového výkonu 12 kW bylo proto nutné navýšit přísun paliva do kotle.

Výše popsané vlastnosti prototypu byly zdárně ověřeny testováním na zkušebnách a tento prototyp je plně funkční.

UMÍSTĚNÍ

Vysoké učení technické v Brně,

Fakulta strojního Inženýrství,

Technická 2896/2, 616 69 Brno