

PROTOTYP KONDENZAČNÍHO PELETOVÉHO KOTLE 24 kW

Datum dosažení výsledku: 20. 12. 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-V2

Vazba na projekt: TK05020105: Efektivní peletový kotel s kondenzací spalín

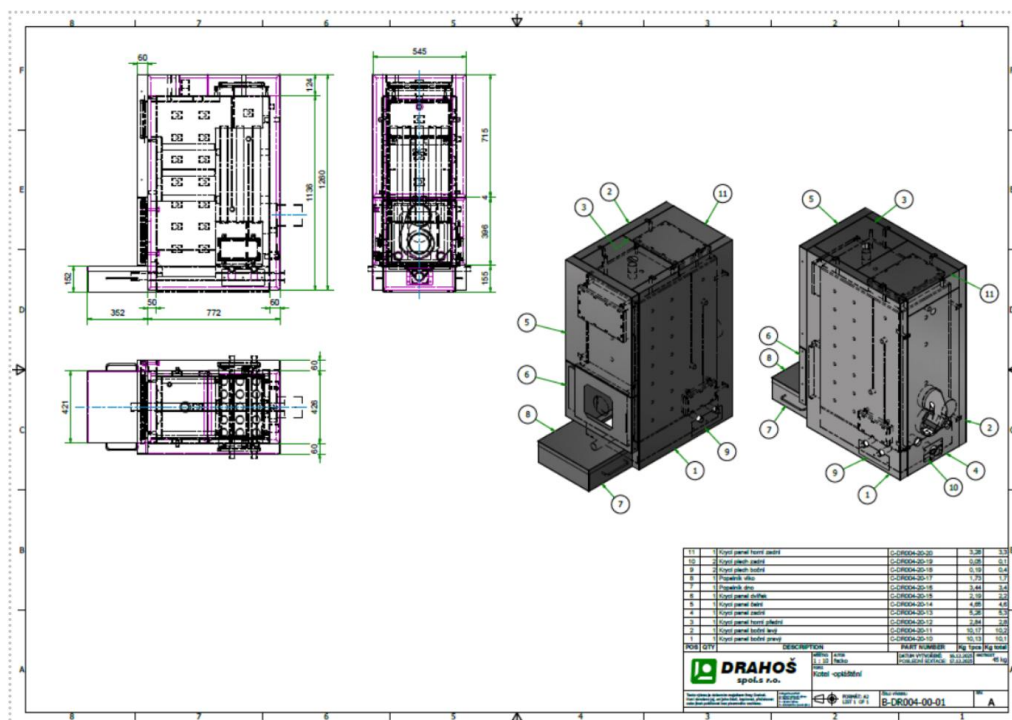
POPIS ZAŘÍZENÍ

Kotel byl navržen na základě poznatků získaných z testování pilotní jednotky TK05020105-V5. Pro účely návrhu kotle a jeho tělesa byly nejprve provedeny základní stechiometrické a tepelné výpočty, které sloužily jako podklady pro konstrukční návrh spalovací a výměňkové části. Konstrukční řešení kotlového tělesa bylo následně optimalizováno a ověřováno pomocí matematického modelu vytvořeného v programu CFD, určeného pro simulaci termofluidních dějů. Výsledky numerického modelování byly doplněny experimentálními měřeními, při nichž byla teplotní pole v klíčových místech kotle ověřována sadou termočlánků. Na základě principu scaling up a výsledků kombinace numerických a experimentálních analýz vznikl prototyp TK05020105-V2, který reflektuje získané poznatky a optimalizace předchozí pilotní jednotky.

Prototyp kotle o výkonu 24 kW byl navržen kombinací výpočtů (stechiometrie a tepelný výpočet, viz Obr. 1), matematického modelování a zkušeností získaných z konstrukčního a provozního provozu pilotního modelu. Tento postup zajistil, že prototyp kotle byl nejen správně dimenzován, ale zároveň optimalizován pro vysokou účinnost, spolehlivý provoz a bezpečné odvádění kondenzátu.

obecné informace - celá				1. Tah				2. Tah				3. Tah			
1	Výkon kotle	12 kW													
2															
3	Voda:			Voda:				Voda:				Voda:			
4	Tepelná voda vstup	$T_{w,in}$	20 °C	Tepelná voda vstup	$T_{w,in}$	45 °C		Tepelná voda vstup	$T_{w,in}$	26,8 °C		Tepelná voda vstup	$T_{w,in}$	39,0 °C	
5	Tepelná voda výstup	$T_{w,out}$	45 °C	Tepelná voda výstup	$T_{w,out}$	36,8 °C		Tepelná voda výstup	$T_{w,out}$	39,0 °C		Tepelná voda výstup	$T_{w,out}$	50,0 °C	
6	Hmotnostní průtok vody	$\dot{M}_{w}$	0,1914 kg/s	Hmotnostní průtok vody	$\dot{M}_{w}$	0,1914 kg/s		Hmotnostní průtok vody	$\dot{M}_{w}$	0,1914 kg/s		Hmotnostní průtok vody	$\dot{M}_{w}$	0,1914 kg/s	
7	Tlak vody	p_{w}	3 bar	Tlak vody	p_{w}	3 bar		Tlak vody	p_{w}	3 bar		Tlak vody	p_{w}	3 bar	
8															
9	Odpor na vnější straně trubek		0,0008	Odpor na vnější straně trubek		0,0008		Odpor na vnější straně trubek		0,0008		Odpor na vnější straně trubek		0,0008	
10	Odpor uvnitř trubek		0,001	Odpor uvnitř trubek		0,001		Odpor uvnitř trubek		0,001		Odpor uvnitř trubek		0,001	
11	Objemový průtok normální		0,00265	Objemový průtok normální		0,00265		Objemový průtok normální		0,00265		Objemový průtok normální		0,00265	
12	Objemový průtok spalin		0,0121	Objemový průtok spalin		0,0121		Objemový průtok spalin		0,0121		Objemový průtok spalin		0,0121	
13	Hmotnostní průtok spalin		0,0309	Hmotnostní průtok spalin		0,0309		Hmotnostní průtok spalin		0,0309		Hmotnostní průtok spalin		0,0309	
14	Tepelná spalinový vstup		500 °C	Tepelná spalinový vstup		500 °C		Tepelná spalinový vstup		500 °C		Tepelná spalinový vstup		500 °C	
15															
16	Tlak spalin		1 bar	Tlak spalin		1 bar		Tlak spalin		1 bar		Tlak spalin		1 bar	
17	Součinitel tepelné vodivosti		0,0597 W/mK	Součinitel tepelné vodivosti		0,0597 W/mK		Součinitel tepelné vodivosti		0,0597 W/mK		Součinitel tepelné vodivosti		0,0597 W/mK	
18	Hustota spalin		0,459 kg/m³	Hustota spalin		0,459 kg/m³		Hustota spalin		0,459 kg/m³		Hustota spalin		0,459 kg/m³	
19	Dynamická viskozita		3,48692E-05 Pa.s	Dynamická viskozita		3,48692E-05 Pa.s		Dynamická viskozita		3,48692E-05 Pa.s		Dynamická viskozita		3,48692E-05 Pa.s	
20	Měrná tepelná kapacita		1,2813 J/(kg.K)	Měrná tepelná kapacita		1,2813 J/(kg.K)		Měrná tepelná kapacita		1,2813 J/(kg.K)		Měrná tepelná kapacita		1,2813 J/(kg.K)	
21			0,74			0,74				0,74				0,74	
22	Geometrický náh:			Geometrický náh:				Geometrický náh:				Geometrický náh:			
23	Vnější průměr trubky		0,047 m	Vnější průměr trubky		0,047 m		Vnější průměr trubky		0,047 m		Vnější průměr trubky		0,047 m	
24	Tloušťka stěny		0,003 m	Tloušťka stěny		0,003 m		Tloušťka stěny		0,003 m		Tloušťka stěny		0,003 m	
25	Vnitřní průměr trubky		0,041 m	Vnitřní průměr trubky		0,041 m		Vnitřní průměr trubky		0,041 m		Vnitřní průměr trubky		0,041 m	
26	Velikost trubky		0,35 m	Velikost trubky		0,35 m		Velikost trubky		0,35 m		Velikost trubky		0,35 m	
27															
28	Tepelný výpočet, 2 část														
29	počet trubek		5 ks	počet trubek		5 ks		počet trubek		5 ks		počet trubek		5 ks	
30	Dejka sekce		0,35 m	Dejka sekce		0,35 m		Dejka sekce		0,35 m		Dejka sekce		0,35 m	
31	Průtok tepelná voda vnější		10,45 m³/s	Průtok tepelná voda vnější		10,45 m³/s		Průtok tepelná voda vnější		10,45 m³/s		Průtok tepelná voda vnější		10,45 m³/s	
32	Rychlost spalin		17,94 m/s	Rychlost spalin		17,94 m/s		Rychlost spalin		17,94 m/s		Rychlost spalin		17,94 m/s	
33	Reynoldsovo číslo		37564,4	Reynoldsovo číslo		37564,4		Reynoldsovo číslo		37564,4		Reynoldsovo číslo		37564,4	
34	Nusseltovo číslo		50,45	Nusseltovo číslo		50,45		Nusseltovo číslo		50,45		Nusseltovo číslo		50,45	
35	Součinitel přestupu tepla uvnitř trubek		58,35 W/(m².K)	Součinitel přestupu tepla uvnitř trubek		58,35 W/(m².K)		Součinitel přestupu tepla uvnitř trubek		58,35 W/(m².K)		Součinitel přestupu tepla uvnitř trubek		58,35 W/(m².K)	
36	Průtok tepelná voda vnější strana trubek														
37	Hustota vody		992,4 kg/m³	Hustota vody		992,4 kg/m³		Hustota vody		992,4 kg/m³		Hustota vody		992,4 kg/m³	
38	Rychlost vody		0,25 m/s	Rychlost vody		0,25 m/s		Rychlost vody		0,25 m/s		Rychlost vody		0,25 m/s	
39	Reynoldsovo číslo		22008,8	Reynoldsovo číslo		22008,8		Reynoldsovo číslo		22008,8		Reynoldsovo číslo		22008,8	
40	Charakteristický rozměr		0,033 m	Charakteristický rozměr		0,033 m		Charakteristický rozměr		0,033 m		Charakteristický rozměr		0,033 m	
41	Nusseltovo číslo		147,0	Nusseltovo číslo		147,0		Nusseltovo číslo		147,0		Nusseltovo číslo		147,0	
42	Součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek		1759,8 W/(m².K)	Součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek		1759,8 W/(m².K)		Součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek		1759,8 W/(m².K)		Součinitel přestupu tepla z vnější strany trubek		1759,8 W/(m².K)	
43	Celkový součinitel přestupu tepla														
44	celkový součinitel přestupu tepla		7,27 W/(m.K)	celkový součinitel přestupu tepla		7,27 W/(m.K)		celkový součinitel přestupu tepla		7,27 W/(m.K)		celkový součinitel přestupu tepla		7,27 W/(m.K)	
45	efektivní logaritmičeský teplotní spád		220,13 °C	efektivní logaritmičeský teplotní spád		220,13 °C		efektivní logaritmičeský teplotní spád		220,13 °C		efektivní logaritmičeský teplotní spád		220,13 °C	
46	Výkon sekce celkem		6965 kW	Výkon sekce celkem		6965 kW		Výkon sekce celkem		6965 kW		Výkon sekce celkem		6965 kW	
47															
48															
49															
50															
51															
52															

Obr. 1 Printscreen výpočtového modelu kotle 24 kW



Obr. 2 Návrh kotle o výkonu 24 kW



Obr. 3 Prototyp kotle 24 kW instalovaný na zkušebně

Vyvinutý kotel o výkonu 24 kW je teplovodní žárotrubný kondenzační kotel na spalování dřevních pelet, navržený s důrazem na vysokou účinnost, nízké emise a stabilní provoz v kondenzačním i nekondenzačním režimu. Konstrukce spalovací a výměňkové části byla optimalizována s využitím CFD modelování termofluidních dějů, které umožnilo detailní analýzu teplotních a rychlostních polí spalin v celém kotlovém tělese. Výsledky simulací byly ověřeny experimentálními měřeními teplot v klíčových místech kotle. Spalovací komora je vybavena šamotovou vyzdívkou, která podporuje dopalování zbytkových koncentrací CO, prodlužuje dobu setrvání spalin a omezuje vznik tuhých znečišťujících látek. Proudění spalin v dohořivací části je cíleně usměrněno, což zajišťuje intenzivní promíchání a dokončení spalovacího procesu. Nulový tah tvoří spalovací a dohořivací komoru, zatímco první tah slouží jako spalovací část. Druhý až čtvrtý tah jsou konvekční, vybavené turbulátory spalin. Primární funkcí turbulátorů je zvýšení turbulence spalin za účelem intenzifikace přestupu tepla, sekundární funkcí pak odloučení drobného množství prachových částic emitovaných z hořáku. Turbulátory jsou navrženy jako šnek s pevnou osou, tedy rotující spirálová čepel na hřídeli, přičemž jejich velikost byla optimalizována s ohledem na účinnost přestupu tepla a tlakové ztráty. Pro eliminaci vysoké teploty popelníku oproti pilotnímu modelu bylo upraveno uspořádání šamotové vyzdívky v prvním tahu část vyzdívky byla odstraněna a vynechána jedna příčná vrstva. S tímto opatřením byly uzpůsobeny také vnitřní pomocné konstrukce pro fixaci vyzdívek. Konstrukce dvířek byla rovněž drobně upravena: změnil se způsob jejich uchycení, žárobeton byl nahrazen tepelnou izolací ke snížení tepelného toku, dvířka byla zmenšena a jejich umístění na přední straně lehce posunuto. Tyto úpravy zároveň umožnily zvětšení vodní plochy na přední straně kotle, čímž se minimalizovaly tepelné ztráty a přehřívání nechlazených ploch, a snížila se hmotnost celého zařízení. První obratová komora zajišťuje zdržení spalin pro dokončení chemických reakcí, odloučení tuhých znečišťujících látek a přestup tepla. Výměňková část kotle je tvořena vícetahovým trubkovým výměníkem, kde dochází k výraznému ochlazení spalin. Více než polovina celkového tepelného výkonu je odebrána již v prvních tazích kotle, což snižuje teplotu spalin pod rosný bod a umožňuje efektivní využití kondenzačního režimu. Proud spalin je v trubkovém výměníku zrychlován, aby se zlepšil přestup tepla a podpořila kondenzace. Po každém tahu následuje obratová komora, kde dochází

k odloučení tuhých částic i kondenzátu. Celková konstrukce kotle byla optimalizována nejen z hlediska přestupu tepla a kondenzace, ale také s ohledem na tlakové ztráty a dlouhodobou provozní spolehlivost, čímž je zajištěn stabilní, účinný a bezpečný provoz zařízení.

Tabulka 1 Základní provozní parametry kotle a hodnoty emisí z optimálního provozu

režim	výkon kotle	teplotní spád	účinnost	teplota spalin	O ₂	NO _x	CO	TOC	TZL
	kW	°C	%	°C	%	mg/m ³ (10 % O ₂)			
nominální výkon	23,74	45/30	101,1	47	8,3	152	16	4,9	16,5
snížený výkon	7,96	45/30	100,5	30	8,8	144	179	13	36,6
sezónní emise						145	155	12	34

Tabulka 1 uvádí výsledky testování již optimalizované verze kotle o výkonu 24 kW. Poslední optimalizace se týkala především dílčích úprav s cílem zlepšit odvod tepla z ohniště a chlazení hořáku. Po instalaci a uvedení kotle do provozu byl proveden dlouhodobější test, který potvrdil jeho funkčnost a bezpečnost provozu, a zároveň byly ověřeny emisní parametry. Sérií testů byly postupně doladěny provozní parametry hořáku, zejména výkon podavače paliva, dále byly seřizeny otáčky odtahového ventilátoru a nastaven časovač vynašeče popela. Během celého testování byla řídicí jednotka kotle provozována v manuálním režimu, aby bylo možné měnit všechny provozní parametry v plném rozsahu. Po nalezení vhodných podmínek byly otáčky ventilátoru spřaženy s obsahem kyslíku ve spalínách. Tím bylo zajištěno, že při standardním komínovém tahu 12 Pa dochází k dostatečnému přívodu spalovacího vzduchu, aniž by docházelo k nežádoucímu ochlazení plamene. Výsledky ukazují, že kotlové těleso umožňuje stabilní provoz na nominální výkonové hladině 24 kW s dostatečným vychlazením spalín. Při provozu na sníženém výkonu je, vzhledem k nižšímu průtoku spalín, jejich výstupní teplota téměř rovna teplotě napájecí vody. Mírně nižší účinnost v tomto režimu je způsobena především nedokonalým vyhořením paliva, což se projevuje vyššími emisemi, CO a TOC. Přesto sezónní emise zůstávají významně pod současnými emisními limity, což potvrzuje vhodnost navrženého řešení pro ekologický a stabilní provoz.

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