

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Použití lambda sond BOSCH pro analýzu koncentrace O₂
ve spalinách peletkového kotle**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jakub HRBEK**
Osobní číslo: **E10B0160P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Použití lambda sond BOSCH pro analýzu koncentrace O₂ ve spalínách peletkového kotle**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Popište lambda sondy BOSCH a možnosti jejich využití.
2. Uveďte metodiku a realizační postup dlouhodobé zkoušky lambda sond v peletkovém kotli.
3. Analyzujte a vyhodnoťte výsledky dlouhodobé zkoušky.
4. Posuďte využitelnost lambda sond BOSCH v aplikaci spalování v kotli na dřevní peletky a srovnajte požadavky a technické vlastnosti lambda sond.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

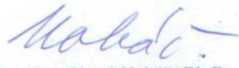
1. Ibler, Z. a kol.: Technický průvodce energetika, BEN, 2002

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2013
Termín odevzdání bakalářské práce: 9. června 2014


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na ověření použitelnosti lambda sondy BOSCH v kotli na dřevní pelety. Bakalářská práce se skládá z obecného popisu lambda sondy a jejího využití v praxi, metodiky a realizace dlouhodobé zkoušky a ze zhodnocení naměřených dat.

Klíčová slova

poměr paliva a vzduchu, emise, lambda sonda, Nernstův článek, peletkový kotel, emisní třídy kotlů, optimalizace spalování, dlouhodobá zkouška lambda sond v peletkovém kotli

Abstract

Objective of the bachelor's thesis is a verification of conditions under which Bosch oxygen sensors can be applied in wood pellets stoves. Bachelor's thesis contains general description of oxygen sensors and its practical usability, procedure and realization of long-term measurement and evaluation of measured data.

Key words

air to fuel ratio, emission, lambda sensor, Nernst cell, wood pellets stove, emission standards, optimization of burning process, long-term measurement on wood pellets stove

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 9.6.2014

Jakub Hrbek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Janu Škorpilovi, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce zadané externě firmou BOSCH. Dále bych rád poděkoval Dr. Janu Dvořákovi za čas, který mi věnoval, konzultace a připomínky ke zpracování práce a za celkové vedení práce ze strany firmy BOSCH.

Obsah

OBSAH	1
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	2
ÚVOD	3
1 OBECNÝ POPIS LAMBDA SOND	4
1.1 HISTORIE SONDY.....	6
1.2 PRINCIP LAMBDA SONDY	8
1.2.1 Skoková sonda.....	11
1.2.2 Širokopásmová sonda	15
2 APLIKACE LAMBDA SONDY V KOTLI SPALUJÍCÍ BIOMASU	20
2.1 PRŮBĚH SPALOVÁNÍ V KOTLI	20
2.2 EMISNÍ LIMITY PRO SPALOVACÍ STACIONÁRNÍ ZDROJE	21
2.3 SPALOVÁNÍ DŘEVNÍ PELETY	24
3 DLOUHODOBÁ ZKOUŠKA NA PELETKOVÉM KOTLI	27
3.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE.....	27
3.1.1 Zkušební zařízení	28
3.1.2 Seznam testovaných sond.....	30
3.1.3 Průběh zkoušky	31
3.2 NAMĚŘENÉ HODNOTY.....	31
3.3 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	35
4 ZÁVĚR	36
SEZNAM OBRÁZKŮ	37
SEZNAM TABULEK	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	38
PŘÍLOHY	40

Seznam symbolů a zkratk

U_n, U_s [V]	Nernstovo napětí
R [J.K ⁻¹ .mol ⁻¹]	molární plynová konstanta
T [K]	termodynamická teplota
F [C.mol ⁻¹]	Faradayova konstanta
n [-]	počet vyměněných elektronů
$p_{\text{ref}(O_2)}$ [Pa]	parciální tlak kyslíku na referenční elektrodě
$p_{\text{exh}(O_2)}$ [Pa]	parciální tlak kyslíku ve spalinách
I_p [A]	pumpovací proud
dI_p [A]	diference (změna) pumpovacího proudu
I_p^s [A]	pumpovací proud dle technických specifikací
I_p^m [A]	naměřený pumpovací proud
$p_{(O_2)}$ [Pa]	parciální tlak kyslíku ve směsi
$dp_{(O_2)}$ [Pa]	diference (změna) parciálního tlaku kyslíku
$dp_{(O_2)}^s$ [Pa]	parciální tlak kyslíku dle technických specifikací
$dp_{(O_2)}^m$ [Pa]	naměřený parciální tlak kyslíku
R_i [Ω]	vnitřní odpor sondy
r [%]	relativní odchylka pumpovacího proudu
t [%]	relativní odchylka zakřivení charakteristické křivky

Úvod

Hlavní tezí této práce je ověření použitelnosti lambda sondy BOSCH pro využití při optimalizaci spalování v aplikaci v kotli na dřevní pelety. K posouzení vhodnosti využití lambda sond BOSCH vzniklo v továrním objektu firmy Robert Bosch s.r.o. v Českých Budějovicích experimentální zkušební zařízení. Na tomto zařízení probíhala v období od března 2012 do března 2014 dlouhodobá zkouška zaměřená na ověření použitelnosti sond v kotli na spalování dřevních pelet. Díky smlouvě o spolupráci mezi firmou BOSCH a ZČU Plzeň bylo téma práce nabídnuto ke zpracování, resp. spolupráce na tomto projektu.

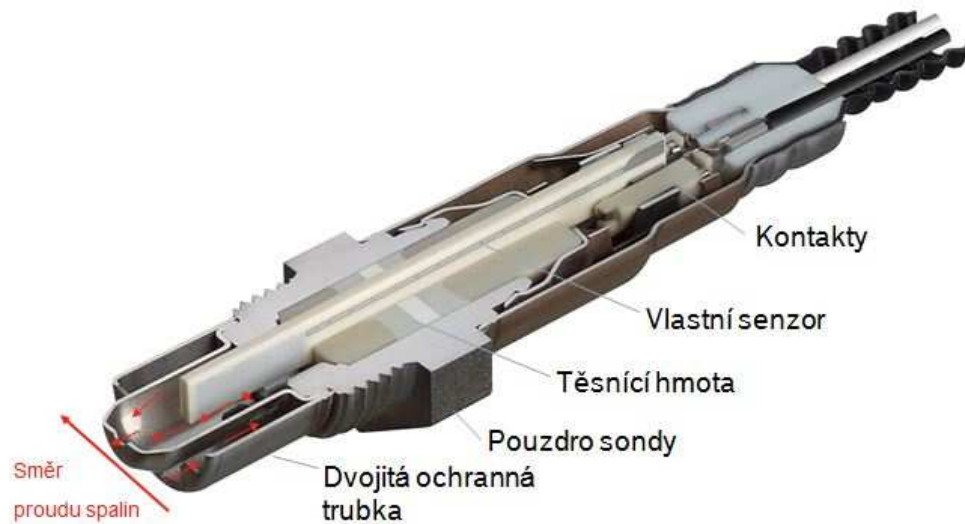
V úvodu práce je popsán proces spalování ve spalovacím motoru a jeho ovlivňující faktory jako je hodnota λ . Dále práce popisuje možnosti řízení procesu spalování s ohledem na výkon motoru, spotřebu i vypouštěné množství spalin (emisí). Práce také nastiňuje vývoj emisních limitů v automobilovém průmyslu a tím potřebu optimalizace spalování například pomocí lambda sondy. Dále práce obsahuje popis principu lambda sond, výrobu těchto senzorů a popis typů sond a jejich charakteristických parametrů. V závěru první části práce je naznačení praktického použití sond ve výfukovém potrubí automobilu.

V další části práce je popis spalování v kotli na biomasu, dále pak zaměřeno na spalování dřevní pelety. K popisu spalování je vysvětlen způsob regulace spalovacího procesu v kotli, zpřísnující se emisní limity a další legislativní požadavky na provoz kotle na biomasu. Dále je v této části popsána vzrůstající tendence spotřeby dřevních pelet a srovnání ceny vytápění s jinými druhy paliv. Kombinace ceny, výhřevnosti a vzrůstající spotřeby dělají z dřevních pelet moderní perspektivní palivo.

V poslední části této bakalářské práce je popis dlouhodobé zkoušky lambda sond v kotli na dřevní pelety, který obsahuje popis metodiky i realizace této zkoušky. Dále jsou v této části uvedeny postupy při vyhodnocování kvality výstupních hodnot zkoušky, které jsou graficky vyobrazeny. Na konci práce je zhodnocení jednotlivých typů sond nasazených při zkoušce a shrnutí výsledků práce. Výstupem práce je posouzení vhodnosti použití lambda sondy BOSCH v aplikaci v kotli na dřevní pelety.

1 Obecný popis lambda sond

Lambda sonda, také lambda senzor či kyslíkový senzor, je složen ze tří základních prvků: ochranného pouzdra s vlastním senzorem, kabelu pro převod signálu z vlastního senzoru na analogový signál a z řídicí elektroniky pro zpětnou vazbu a plynulou regulaci poměru vzduchu a paliva při spalování. Konstrukce těla sondy prošla dlouhým vývojem ke splnění daných požadavků (vodotěsnost, robustnost, odolnost proti teplotním šokům či mechanickému poškození). Sondy lze dle konstrukce rozdělit na planární (rovinné) a prstové. Práce popisuje zejména planární typ sondy (viz. Obr.: 1), který nahradil původní prstovou verzi (planární sonda BOSCH na trhu od roku 1993 [1]). [2]



Obr.: 1-Řez planární sondou s popisem hlavních částí [3]

Hodnota lambda:

Hodnota λ vyjadřuje poměr vzduchu a paliva (tj. air-to-fuel ration, A/F) ve směsi na vstupu do motoru vztažený na optimální poměr (dochází k úplnému spálení směsi), tj. stechiometrickou hodnotu - viz. vzorec (1).

$$\lambda = \frac{Air / Fuel_{actual}}{Air / Fuel_{stoichiometric}} \quad (1)$$

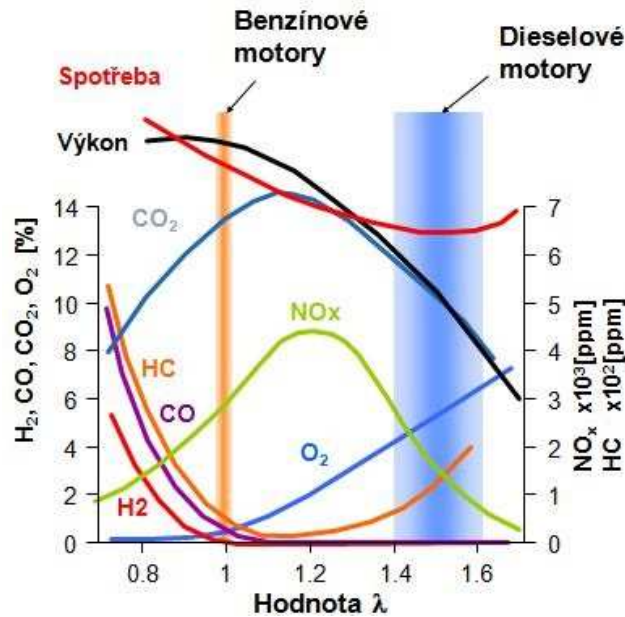
Při $\lambda=1$ se spaluje ideální směs paliva a vzduchu u benzinových motorů. Při tomto poměru směsi dochází ke snížení produkce emisí. Pokud je $\lambda < 1$, pak je spalovací směs příliš bohatá, obsahuje přebytek paliva, které se zcela nespálí, a při spalování vzroste ve výfukovém plynu koncentrace uhlovodíků (C_xH_y) a CO. Naopak je-li $\lambda > 1$, tak je směs příliš chudá, obsa-

huje přebytek vzduchu (N₂, O₂ aj.) a při spalování vzroste ve výfukovém plynu koncentrace NO_x. U benzínového motoru je ideální spalovací směs v poměru 14,7:1 (viz. Tab.: 1), který odpovídá směsi 14,7 kg vzduchu na 1 kg benzínu. [4]

Tab.: 1-Poměry A/F pro λ=0,7; 1,0; 1,3 pro různá paliva [4]

Lambda	Benzín	Propan	Methanol	Ethanol	Diesel
0,70	10,3	11,0	4,5	6,3	10,2
1,00	14,7	15,7	6,5	9,0	14,5
1,3	19,1	20,4	8,4	11,7	18,9

Pouze při dodržení ideálního poměru vzduchu a paliva směsi, tj. stechiometrického - při λ=1, lze dosáhnout snížení emisí ve výfukových plynech a nejlepšího poměru spotřeby paliva a výkonu motoru (viz.Obr.: 2). V kombinaci s třicestným katalyzátorem, který nechává vyprodukované spaliny reagovat navzájem a tím se rozkládat na méně nebezpečné sloučeniny (viz. rovnice (2), (3) a (4)), se u spalovacího motoru podařilo snížit emise až o 95 %. [1]



Obr.: 2-Produkce emisí, výkon a spotřeba v závislosti na hodnotě λ [5]



1.1 Historie sondy

Ve 40. letech 19. století se v Los Angeles, USA objevil dosud neznámý druh smogu mající nepříznivý vliv na lidské zdraví, zemědělskou produkci, přírodní ekosystémy či stálost některých materiálů. Dnes se tento typ smogu označuje jako losangeleský, kalifornský, oxidační či letní fotochemický. Bylo zjištěno, že největší podíl na vzniku tohoto typu smogu má kumulace přízemního ozónu. Vznik a zánik přízemního ozónu (viz. rovnice (5), (6) a (7)) závisí nejen na koncentraci jeho prekurzorů (NO_x a VOC¹), ale i na jejich vzájemném poměru, proudění vzduchu, míře slunečního záření, teplotě či vlhkosti vzduchu. Za normálních podmínek je rychlost vzniku a zániku ozónu stejná a lze pak tento systém nazvat rovnovážným stavem. Ke kumulaci ozónu pak dochází v případě, kdy je NO zoxidován na NO₂ jinou látkou, která je schopna reagovat s NO rychleji, než-li O₃ - takovými látkami jsou pak zejména VOC, případně jejich radikály. [6]



Na základě tohoto nového jevu se objevili první snahy o snížení emisí automobilů v 60. letech 19. století právě v Kalifornii, USA. A roku 1967 vešly v platnost první emisní limity tohoto druhu na americkém kontinentu - CARB² (v Evropě až roku 1971 vyhláškou EHK 15). [1]

K dosažení těchto nově vznikajících emisních limitů bylo potřeba přijít s novým řešením čištění výfukových spalin. Důležitým milníkem je představení třicestného katalyzátoru v kombinaci s lambda sondou - poprvé představeno za spolupráce BOSCH a Volvo roku 1976. [5]

¹ z ang. Volatile Organic Compounds, česky těkavé organické látky

² California Air Resources Board - kalifornský úřad vydávající emisní limity

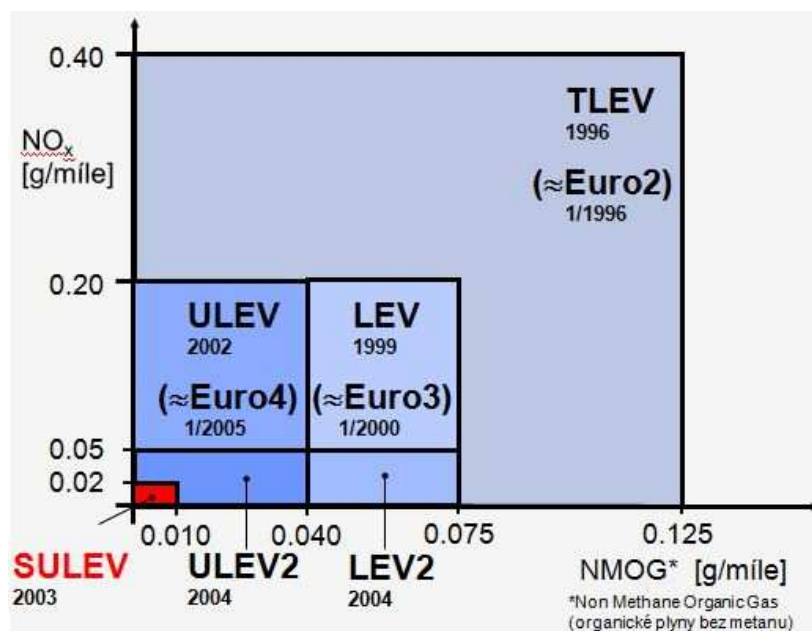
Vývoj lambda sondy BOSCH:

- 1976 – První sériově vyrobená sonda: v kombinaci s katalyzátorem dochází ke snížení emisí o 50 %. Životnost lambda sondy je 50-80 tisíc km.
- 1985 – Vyhřívané lambda sondy umožňují rychlejší zahřátí na provozní teplotu po startu motoru a udržet teplotu snímače vyšší než 350 °C. Životnost sondy je 100 až 160 tisíc km.
- 1990 – Rychlejší dosažení teploty: užitím vícevrstvých keramických fólií se sonda zahřeje na provozní teplotu dvakrát rychleji. To sníží emise v dříve kritické fázi studeného startu o dalších 50 %.
- 1999 – Sondy pro benzín, naftu i plyn: planární širokopásmová lambda sonda může regulovat a řídit i plynové a dieselové motory.
- 2002 – Moderní motorová vozidla využívají více sond ve výfukovém potrubí pro optimální chod a nízké emise (obvykle dvě či tři sondy). Vývoj universálních sond a konektorů. Životnost sondy je 160 tisíc km.
- V současné době jsou zkoumány možnosti využití lambda sond v neautomobilových odvětvích - spalování biomasy, gastronomie, aj. [5]

Přehled vývoje emisních limitů v automobilovém odvětví (USA x Evropa):

Emisní limity stanovují maximální hodnoty škodlivin vypouštěných ve výfukových plynech u nově vyrobených automobilů. Cílem emisních limitů je postupné snižování obsahu oxidů dusíku (NO_x), uhlovodíků (HC), oxidu uhelnatého (CO) a pevných částic (PM) v emisích. V současné době se objevují tendence o přiřazení i oxidu uhličitého (CO₂) na seznam sledovaných škodlivin. Největšími průkopníky emisních limitů jsou Japonsko a USA, kteří udávají směr zpřísnování limitů. Evropské standardy jsou mírnější než ty americké a vychází v platnost s několika ročním zpožděním. Na *Obr.: 3* je znázorněn vývoj limitů v USA (TLEV, LEV, ULEV, SULEV a PZEV)³ a v Evropě (Euro 2-4) s rokem uvedení v platnost (pozn.: hodnoty jsou uvedeny v gramech na míli, evropské limity se uvádějí v gramech na kilometr). [1] [7]

³ TLEV - Transitional Low-Emission Vehicle; LEV - Low-Emission Vehicle; ULEV - Ultra Low-Emission Vehicle; SULEV - Super Ultra Low-Emission Vehicle; PZEV - Partial Zero-Emission Vehicle



Obr.: 3-Přehled vývoje emisních limitů USA x Evropa [7]

V současnosti je v Evropě platná norma Euro 5 a od září 2014 má začít platit již Euro 6, které kladou důraz na snižování emisí zejména u dieselových motorů (u benzínových motorů dochází pouze k nepatrnému snížení od Euro 4).

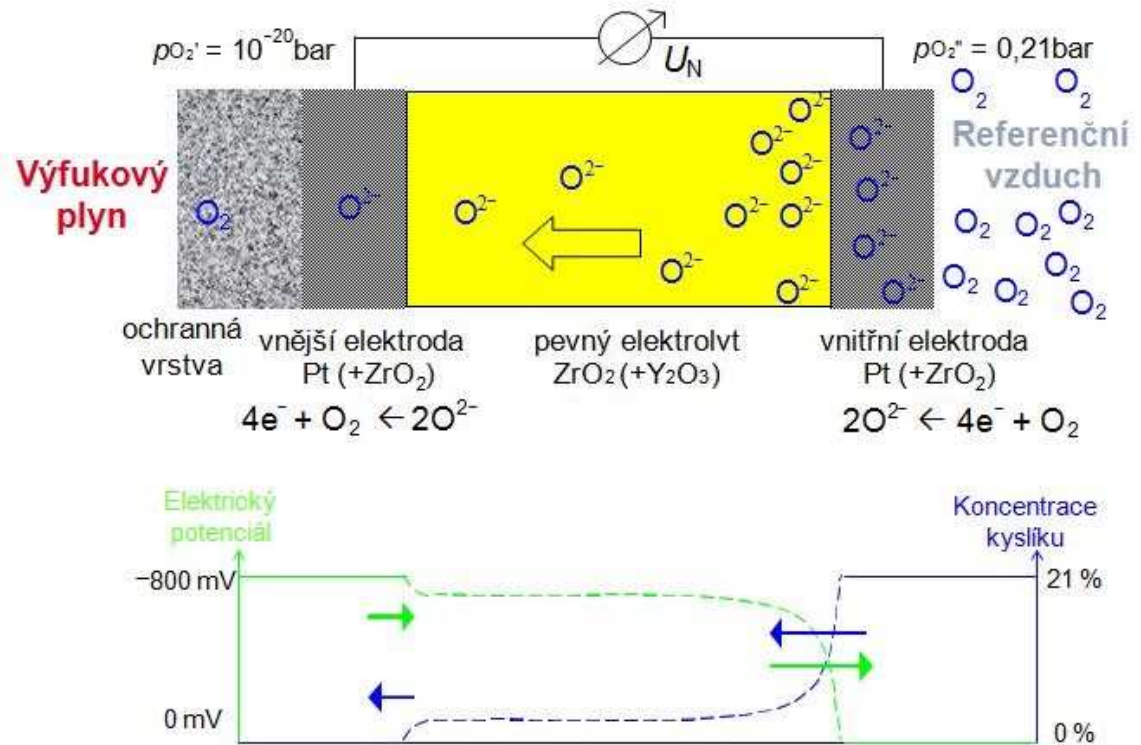
1.2 Princip lambda sondy

Lambda sonda obsahuje elektrochemický Nernstův článek s pevným elektrolytem, s jehož pomocí je možné měřit koncentraci kyslíku v měřeném plynu. Nernstův článek je tvořen pevným elektrolytem, který je vodivý pro ionty kyslíku a zároveň neprodyšný pro plyny, a dvou elektrod umístěných v měřeném a referenčním plynu. Na elektrodách dochází k obousměrné reakci podle rovnice (8). Elektrolyt lambda sond je obvykle vyroben z oxidu zirkoničitého (ZrO₂) dopovaného yttriem (Y) a elektrody z platiny (Pt). [1]



Na jedné z elektrod, označované jako vnitřní či referenční, dochází k disociaci molekul kyslíku na jednotlivé ionty (O²⁻). Tyto ionty kyslíku poté prochází elektrolytem směrem k vnější elektrodě vystavené měřenému plynu, ve kterém je nižší koncentrace kyslíku. Pohyb iontů je vyvolán difúzí ve směru gradientu koncentrace kyslíku na opačných stranách elektrolytu. Na vnější elektrodě předají ionty kyslíku svůj náboj a rekombinují za vzniku molekuly kyslíku O₂. Rozdílné koncentrace kyslíku na elektrodách mají za následek vznik rozdílných

elektrických potenciálů, tj. napětí. Tento princip poprvé představil W. Nernst a popsal ho rovnicí roku 1889 [11] - viz. rovnice (9). Průchod iontů kyslíku skrze pevný elektrolyt, uspořádání elektrod a elektrolytu článku a průběhy elektrického potenciálu a koncentrace kyslíku v článku jsou zobrazeny na Obr.: 4. [8]



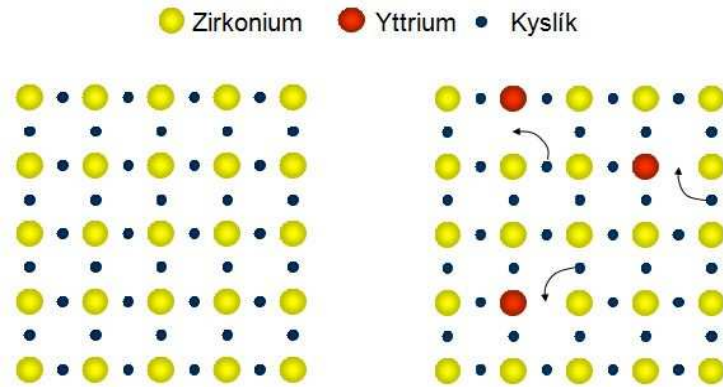
Obr.: 4-Princip Nernstova článku s průběhem napětí a koncentrace kyslíku v pevném elektrolytu [8]

Nernstův článek je tedy schopen generovat napětí závislé na rozdílu parciálních tlaků (resp. koncentrací) O₂ v prostředích obou elektrod - matematicky vyjádřeno rovnicí (9).

$$U_N = \frac{RT}{nF} \ln \frac{p_{Ref}(O_2)}{p_{exh}(O_2)} \quad (9)$$

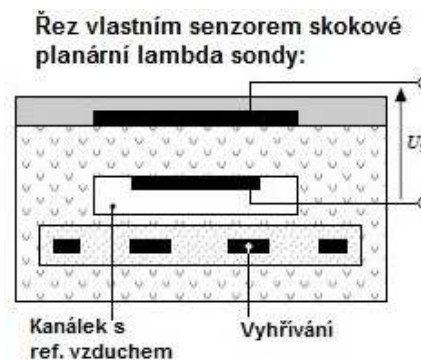
V případě lambda sondy BOSCH je Nernstův článek tvořen dvěma porézními platinovými elektrodami a pevným elektrolytem vyrobeným z oxidu zirkoničitého (ZrO₂) dotovaného 8 % yttria (Y). Tento keramický materiál se označuje jako YSZ⁴. Tato dotace je obdobná jako u polovodičů s nevlastní vodivostí - přidáním yttria vzniknou prázdné oblasti v krystalové mřížce (tzv. díry) - viz.: Obr.: 5. Při dostatečné koncentraci děr a teplotě elektrolytu T > 350 °C je možný pohyb kyslíkových iontů skrze pevný elektrolyt - ZrO₂. [9]

⁴ Yttria-Stabilized Zirconia, tj. yttriem stabilizovaný oxid zirkoničitý



Obr.: 5-Struktura mřížky nedotovaného a yttriem dotovaného ZrO₂ [2]

Vodivosti iontů kyslíku v keramickém elektrolytu je přímo úměrné teplotě elektrolytu. Dříve se využívalo tepla spalín k zahřátí sondy, to ale omezovalo její použití (sonda musela být bezprostředně za motorem). Proto dnešní moderní senzory obsahují zabudované topné tělísko pro vyhřívání elektrolytu (viz. Obr.: 6). S využitím zabudovaného vyhřívání do vlastního senzoru se rapidně snižuje doba potřebná k zahřátí sondy na provozní teplotu, tzv. light off time, a tím ke snížení vypouštěných emisí během studeného startu motoru (snížení doby vyhřívání z cca 2 minut na méně než 15 sekund). Sondu vybavenou vlastním vyhříváním lze tedy umístit do výfukového potrubí bez ohledu na teplotu spalín - dnes se obvykle využívá dvou až tří sond v automobilu a neslouží pouze k regulaci poměru vzduchu a paliva (viz. Obr.: 7), ale také ke kontrole správné činnosti katalyzátoru a sond samotných. [9]

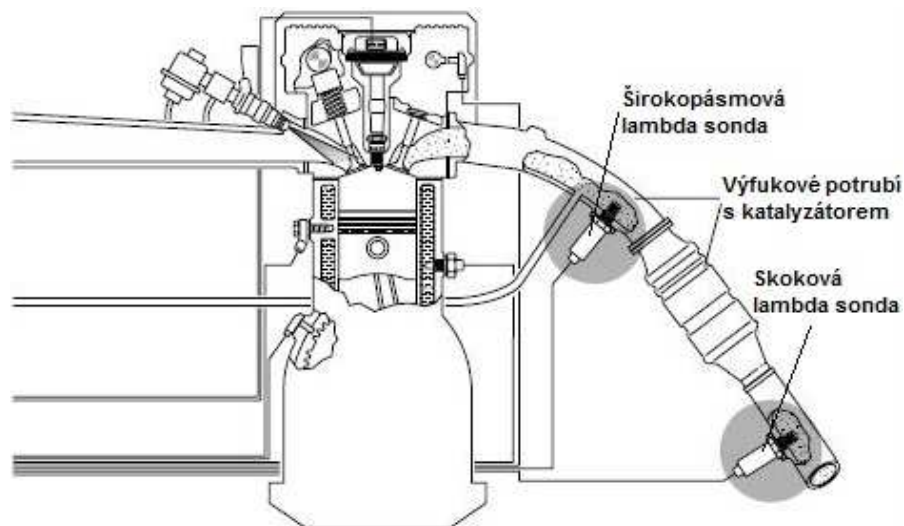


Obr.: 6-Řez vlastním senzorem lambda sondy [10]

Sondy lze rozdělit na dva základní typy podle jejich výstupní charakteristiky. První typ sondy, tzv. skoková sonda (firmou BOSCH označována jako LSF), je schopen rozlišit pouze zda-li je směs bohatá ($\lambda < 1$) či chudá ($\lambda > 1$), nikoliv určit hodnotu kyslíku ve směsi exaktně. Jedná se tedy o dvoustavovou regulaci, která je vhodná pro řízení poměru vzduchu a paliva v oblasti blízké $\lambda = 1$. Toho se využívá u benzínového motoru, kde nejvyšší účinnost katalyzátoru se pohybuje v relativně úzkém rozmezí (cca 0,98÷1,02). Pro použití v dieselových

motorech či benzínových s přímým (vrstveným) vstřikem paliva pracujících s chudou směsí (v intervalu $\lambda=1,4\div 1,6$) byl vyvinut nový typ sondy, tzv. širokopásmová (firmou BOSCH označována jako LSU). Signál širokopásmové sondy je spojitý monotónní v intervalu $0,7 < \lambda < \infty$, což umožňuje přesné měření množství O₂ v dané směsi.

V praxi se využívá kombinace obou sond, které společně s řídicí elektronikou (ECU) kontrolují správný poměr A/F, funkčnost katalyzátoru a mohou kontrolovat i svoji vlastní funkčnost. Na *Obr.: 7* je znázorněno typické uložení sond ve výfukovém systému s katalyzátorem - sonda blíže k motoru dává informaci o poměru vzduchu a paliva a uplatňuje se zde především širokopásmová sonda, sonda za katalyzátorem kontroluje správnou funkci katalyzátoru i širokopásmové sondy před ním, uplatňuje se zde skoková sonda. [1]

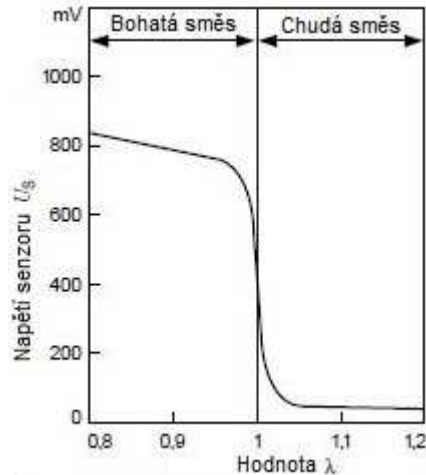


Obr.: 7-Motor a výfukový systém s dvěma lambda sondami [10]

Další popis funkce, charakteristik a praktického složení vlastního senzoru obou základních typů sond je popsán v následujících podkapitolách 1.2.1 a 1.2.2.

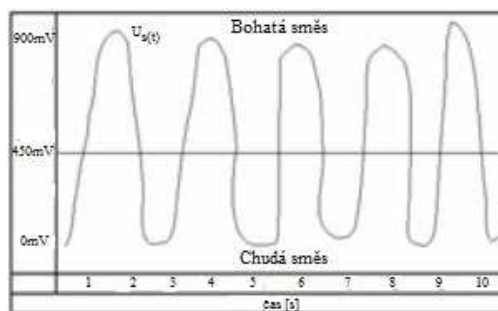
1.2.1 Skoková sonda

Skoková sonda je založena na principu Nenrstova článku. Jedna elektroda, označovaná jako vnější, je v prostředí spalin a druhá elektroda, vnitřní, v referenčním vzduchu (tj. okolnímu prostředí, které obsahuje přibližně 21 % kyslíku). Název tato sonda dostala podle své výstupní charakteristiky - viz. *Obr.: 8*. Tato sonda je tedy schopna velmi přesně regulovat poměr vzduchu a paliva na hodnotě $\lambda=1$, protože dojde-li k malé změně hodnoty λ , podstatně vzroste rozdíl potenciálů mezi elektrodami a dojde k charakteristickému skoku napětí vlastního senzoru. [11]



Obr.: 8-Napěťová charakteristika skokové lambda sondy při teplotě 600°C [10]

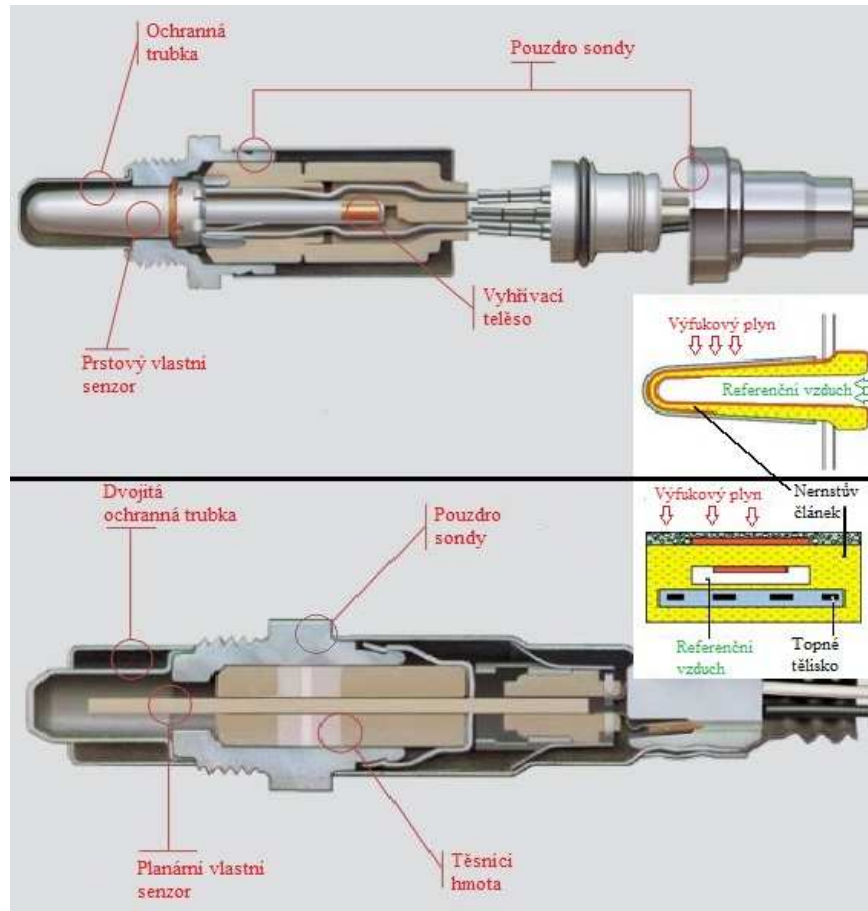
V praxi se rozdíl potenciálů pohybuje v rozmezí cca 0÷900 mV. Je-li směs příliš bohatá (tj. ve směsi je deficit kyslíku), pak je rozdíl parciálních tlaků maximální a rozdíl potenciálů je přibližně 900 mV. Naopak je-li směs příliš chudá (tj. ve směsi je přebytek kyslíku), pak je rozdíl parciálních tlaků minimální a rozdíl potenciálů klesne na hodnotu přibližně 0 mV (viz. Obr.: 8). Řídící jednotka (ECU) se snaží nastavit poměr vzduchu a paliva tak, aby se výstupní napětí pohybovalo okolo hodnoty $U_s=450$ mV - z Obr.: 8 je patrné, že tato hodnota odpovídá hodnotě $\lambda=1$, tj. ideální poměr vzduchu a paliva. V praxi ale není regulace na hodnotu $U_s=450$ mV možná a signál vlastního senzoru neustále "skáče" mezi hodnotami pro chudou a bohatou směs. Poměr paliva a vzduchu se reguluje tak, aby výsledná střední hodnota byla právě $U_s=450$ mV (viz. Obr.: 9). [10]



Obr.: 9-Výstupní napětí sondy v praxi (skoky mezi chudou a bohatou směsí) [10]

V zásadě dělíme skokové sondy na dva generační typy podle tvaru vlastního senzoru. Starší generace vlastního senzoru, nazývaná prstová, má tvar korespondující s názvem, tedy tvar prstu a lze je dále rozdělit podle toho, zda mají vlastní vyhřívání nebo se sondy vyhřívají pomocí tepla spalín (v současnosti se vyhřívání sond pomocí tepla již spalín nevyužívá, protože se tím prodlužuje doba vyhřátí vlastního senzoru na pracovní teplotu a tím se zvyšuje

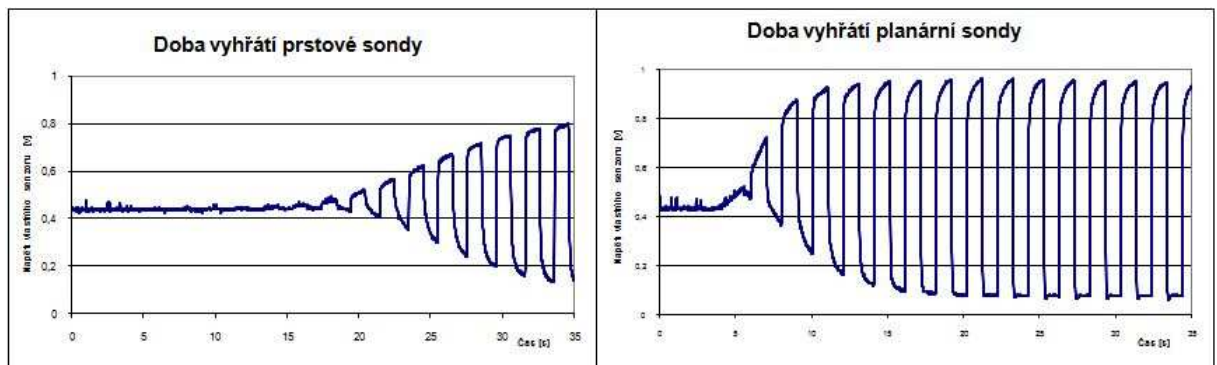
i produkce emisí v rané fázi studeného startu motoru). Nová generace vlastního senzoru, nazývaná planární (rovinná), se začala sériově vyrábět ve firmě BOSCH od roku 1997 [3]. Na Obr.: 10 jsou zobrazeny řezy oběma generacemi sond, řezy vlastním senzorem a popsány hlavní části.



Obr.: 10-Srovnání prstového typu sondy a moderní sondy s vrstveným vlastním senzorem (planární) [12]

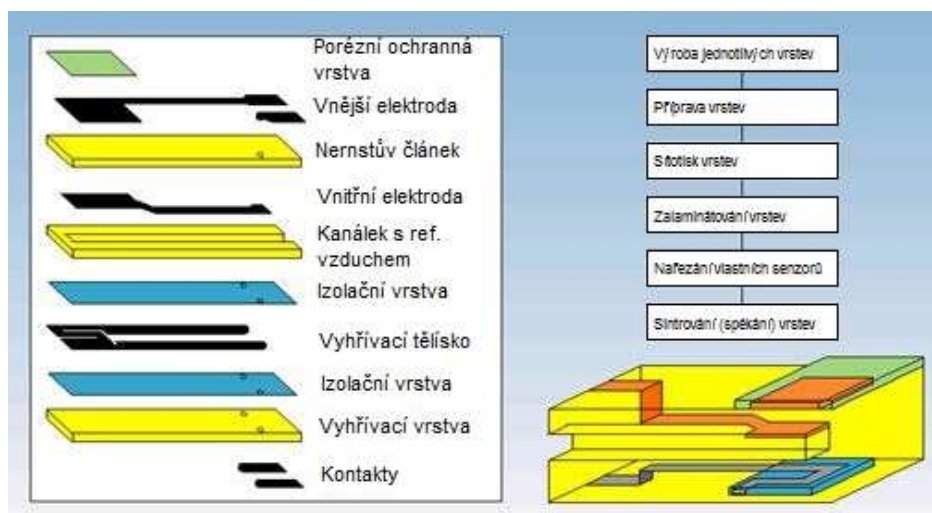
Přechod na moderní sondy s vrstveným (planárním) vlastním senzorem přináší několik významných vylepšení oproti prstové verzi. U prstové verze je vyhřívací těleso odděleno od samotného vlastního senzoru, proto docházelo k problémům s vyhříváním při měření studených spalin - vyhřívací těleso není schopné zahřát vlastní senzor okamžitě a dochází k situaci, kdy je topné těleso rozpálené na maximální hodnotu a vlastní senzor na teplotu spalin (resp. okolního vzduchu). Tento rozdíl teplot s sebou přináší mnoho problémů - velký teplotní gradient, rozdílná roztažnost materiálů vyhřívacího tělesa a vlastního senzoru, problémy s regulací napájení vyhřívání a další. U planární verze je vyhřívací těleso zabudováno do samotného vlastního senzoru, to odstraňuje problém s vyhříváním při měření studených spalin, zlepšuje se tím přenos tepla na vlastní senzor (přímé plošné spojení). To vede, společně se snížením zahřívané masy keramiky, ke snížení potřebného výkonu vyhřívacího tělesa.

Další výhodou planární verze je rychlejší reakce okruhu vyhřívání na změnu teploty měřených spalin. Doba potřebná k zahřátí sondy na pracovní teplotu (light-off time) se snížila s planární technologií na méně než 10 vteřin (viz. Obr.: 11). Planární verze odhaluje také potenciál miniaturizace celé sondy (dochází ke zmenšení velikosti a váhy vlastního senzoru, resp. celé sondy) a poskytuje platformu modifikovatelnou pro další senzory (teplotní senzor, širokopásmová lambda sonda či selektivní senzory - HC, NO_x atd.). [13]



Obr.: 11-Doba potřebná k vyhřátí sondy na pracovní teplotu - light-off time [8]

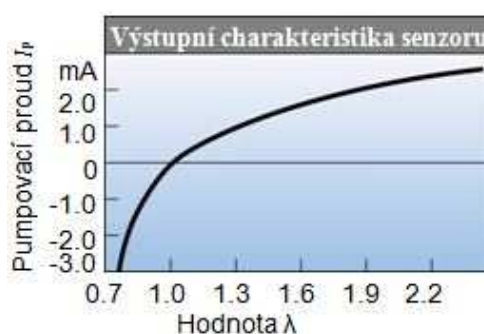
Moderní vrstvený vlastní senzor skokové sondy je složen ze dvou základních funkčních celků: Nernstova článku a vyhřívání. Nernstův článek se skládá z ochranné porézní vrstvy, vnější elektrody, keramického elektrolytu, vnitřní elektrody a keramické vrstvy s kanálem pro přívod referenčního vzduchu k vnitřní elektrodě. Vyhřívání je tvořeno odporovým tělesem, které je z obou stran odizolováno izolační vrstvou oxidu hlinitého (Al₂O₃). Vše je položeno na keramickou vrstvu s vývody pro napájení vyhřívání. Výroba jednotlivých vrstev se realizuje technologií sítotisku. Jednotlivé vrstvy se zalaminují do jednoditého celku, který je následně rozřezán na jednotlivé senzory. Dále jsou senzory sintrovány (spékány) v peci při 1300 °C a opracovány do požadovaného tvaru (broušením hran atd.). Složení jednotlivých vrstev skokové sondy je znázorněno na Obr.: 12.[7]



Obr.: 12-Složení a výroba vlastního senzoru skokové sondy [7]

1.2.2 Širokopásmová sonda

Skoková sonda je určena pro řízení hodnoty $\lambda=1$ a jejímu blízkému okolí, proto není vhodná pro motory spalující směs vzduchu a paliva v jiném poměru (chudou či bohatou směs). Proto není možné využít skokovou sondu pro motory zážehové (dieselové) či motory s přímým (vrstveným) vstřikováním, které pracují s chudou spalovací směsí. Pro aplikace vyžadující jiný poměr vzduchu a paliva než stechiometrický byl vyvinut nový typ sondy, který je schopen exaktně určit množství O₂ v měřené směsi v intervalu $\lambda=0,7\div\infty$ (viz. Obr.: 13). [14]



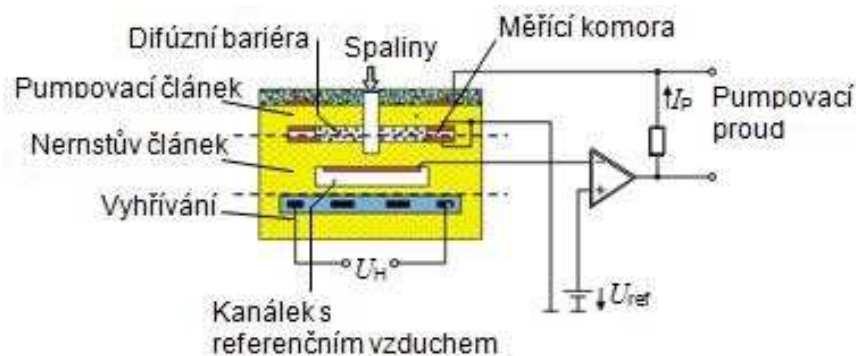
Obr.: 13-Výstupní charakteristika širokopásmového senzoru [14]

Vlastní senzor širokopásmové sondy je vyráběn pouze v planární verzi. Struktura vlastního senzoru je výrazně složitější, nicméně výroba jednotlivých vrstev a jejich následné spečení zůstává stejné jako u planární skokové sondy - tzn. jednotlivé vrstvy jsou vytisknuty metodou sítotisku, následně jsou na sebe zalaminovány v daném uspořádání, rozřezány, spečeny a obroušeny do finálního tvaru. U širokopásmové sondy je navíc nutné udělat korekci sklonu charakteristické křivky pomocí nastavitelného odporu. Složení vlastního senzoru s popisem jednotlivých vrstev je naznačeno na Obr.: 14. [7]



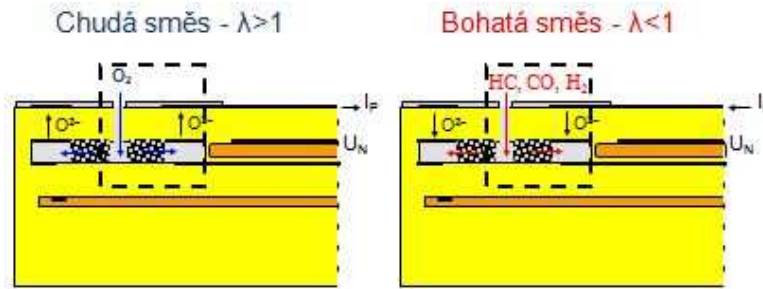
Obr.: 14-Složení vlastního senzoru širokopásmové sondy [8]

Základem širokopásmové sondy je opět princip Nernstova článku. Na rozdíl od skokové sondy obsahuje navíc tzv. pumpovací článek. Nernstův článek může fungovat i opačným směrem, lze tedy přiložením napětí na elektrody přečerpávat (pumpovat) ionty kyslíku z jedné elektrody na druhou. Směr čerpání iontů kyslíku je dán polaritou přiloženého napětí. Množství přečerpaného kyslíku je přímo úměrné proudu tvořeného elektrony vznikajících na elektrodách při přiložení napětí. Obvyklé uspořádání měřicí části (radiální symetrický tvar) vlastního senzoru je naznačeno na Obr.: 15. Uspořádání elektrod je u některých typů širokopásmových sond odlišné. [8]



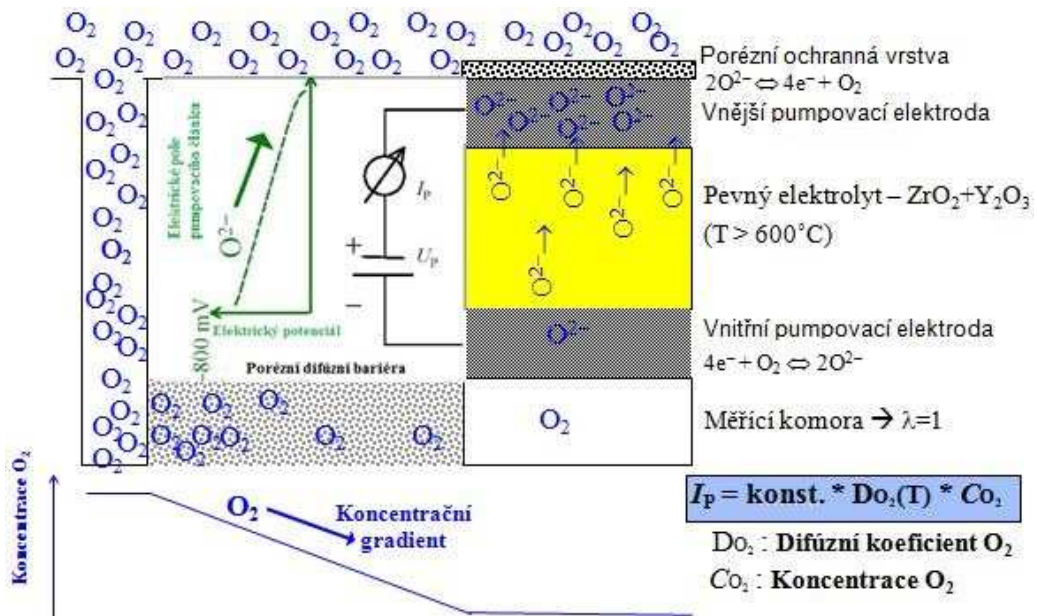
Obr.: 15-Řez měřicí částí vlastního senzoru širokopásmové sondy [14]

Pumpovací článek u širokopásmové sondy má za úkol čerpat z nebo do měřicí komory kyslík na základě změny hodnoty λ uvnitř měřicí komory, kde se snaží řídicí elektronika sondy udržet stálou hodnotu $\lambda=1$. Tato měřicí komora je oddělena od spalín difúzní bariérou, která pro jednotlivé složky spalín tvoří difúzní odpor a limituje tak maximální možný průtok. Popis funkce širokopásmové sondy lze rozdělit na měření chudé a bohaté směsi, tedy měření koncentrace přebytku a deficitu kyslíku - naznačeno na Obr.: 16. [8]



Obr.: 16-Princip pumpovacího článku širokopásmové sondy při spalování chudé a bohaté směsi [8]

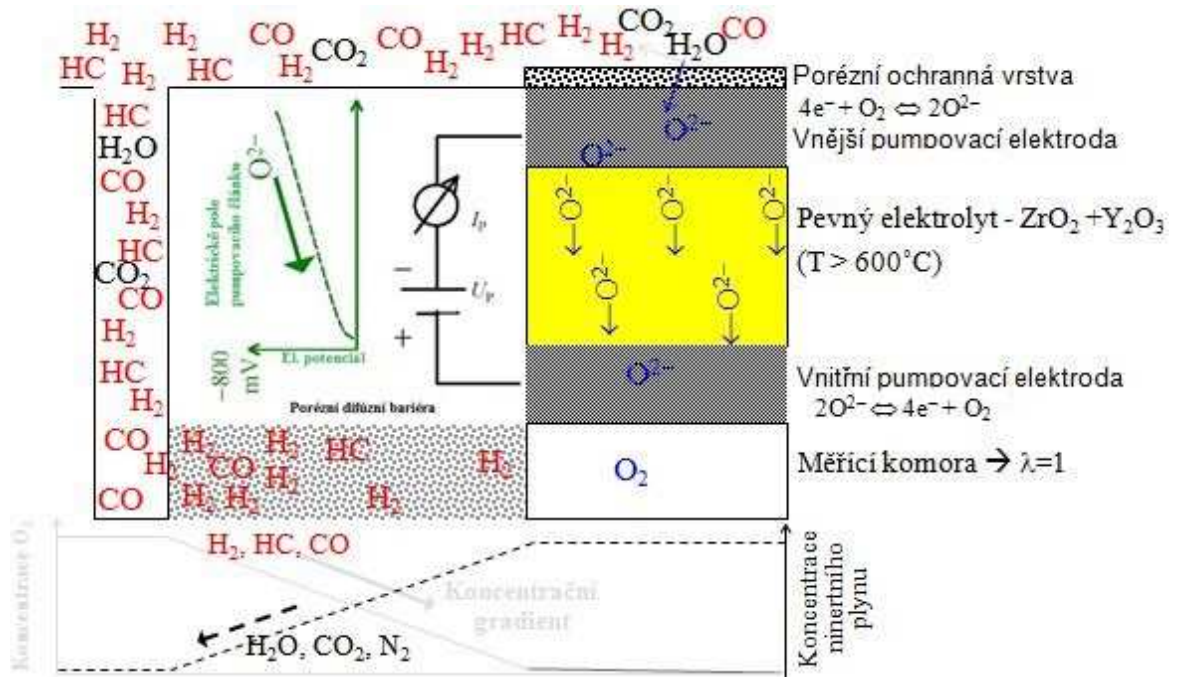
Při měření v chudé směsi (Obr.: 17) prochází difúzní bariérou molekuly kyslíku O₂ do měřicí komory, kde se zvýší hodnota λ . Zvýšení hodnoty λ v měřicí komoře znamená Nernstův článek. Napětí Nernstova článku řídí pumpovací napětí a udává tak, že k opětovnému dosažení hodnoty $\lambda=1$ je potřeba vyčerpat O₂ z měřicí komory. Na vnitřní pumpovací elektrodě dochází k disociaci O₂ na ionty O²⁻, ty prochází pumpovacím článkem na vnější elektrodu, kde zpětně rekombinují na O₂. Pumpovací proud potřebný k vyrovnání hodnoty λ v měřicí komoře na hodnotu $\lambda=1$ přímo udává koncentraci kyslíku v měřených spalínách. [14]



Obr.: 17-Pumpovací článek při měření chudé směsi [8]

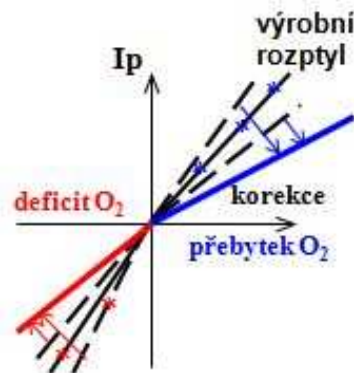
Při měření v bohaté směsi (Obr.: 18) difunduje difúzní bariérou směs s deficitem O₂ (obsahující H₂, CO, HC). V měřicí komoře se tím sníží hodnota λ pod hodnotu 1. Snížení hodnoty λ v měřicí komoře znamená Nernstův článek a reguluje pumpovací proud - obrací jeho směr, tedy i orientaci pumpovacího napětí a začne přečerpávat kyslík do měřicí komory. Na vnější elektrodě se po přiložení opačně orientovaného napětí začnou disociovat molekuly obsahující kyslík (H₂O, CO₂, NO_x, aj.) za vzniku iontů O²⁻. Ty dále přechází pevným elektrolytem na vnitřní elektrodu a do měřicí komory, kde reagují se spalínami na H₂O,

CO₂ a další inertní plyny. Ty následně odchází difúzní bariérou ven z měřicí komory. Výsledný pumpovací proud potřebný k vyrovnání měřicí komůrky na hodnotu $\lambda=1$ je opačně orientovaný než proud v předchozím případě a přímo udává deficit O₂ v měřených spalínách. [14]



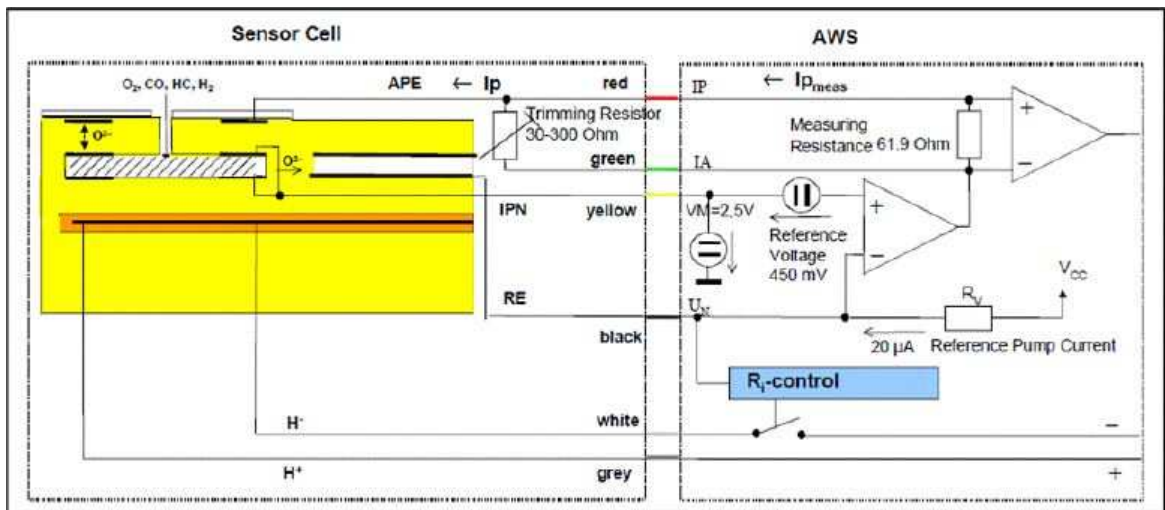
Obr.: 18-Pumpovací článek při měření bohaté směsi [8]

Závislost pumpovacího napětí na přebytku, nebo deficitu, O₂ v měřené směsi je dána difúzním odporem porézní difúzní bariéry. Možnost definovat porozitu difúzní bariéry ve výrobním procesu je omezena a proto je nezbytné výstupní signál dodatečně kalibrovat pro každou jednotlivou sondu. K této kalibraci slouží zabudovaný nastavitelný rezistor umístěný v konektoru sondy LSU4.9, kterým se nastaví požadovaný sklon křivky. Korekce charakteristické křivky, závislosti pumpovacího proudu na přebytku, nebo deficitu, O₂ v měřené směsi, je graficky znázorněna na Obr.: 19.



Obr.: 19-Korekce sklonu charakteristické křivky nastavitelným odporem - trimrem [8]

Nedílnou součástí lambda sondy je její řídicí elektronika (ECU). Schematické zapojení ECU je znázorněno na Obr.: 20. Tato elektronika je zodpovědná za řízení vyhřívání sondy, indikaci poruchy měřícího či vyhřívacího obvodu a zpracovávání dat z vlastního senzoru.



Obr.: 20-Zapojení řídicí elektroniky (ECU) širokopásmové sondy [3]

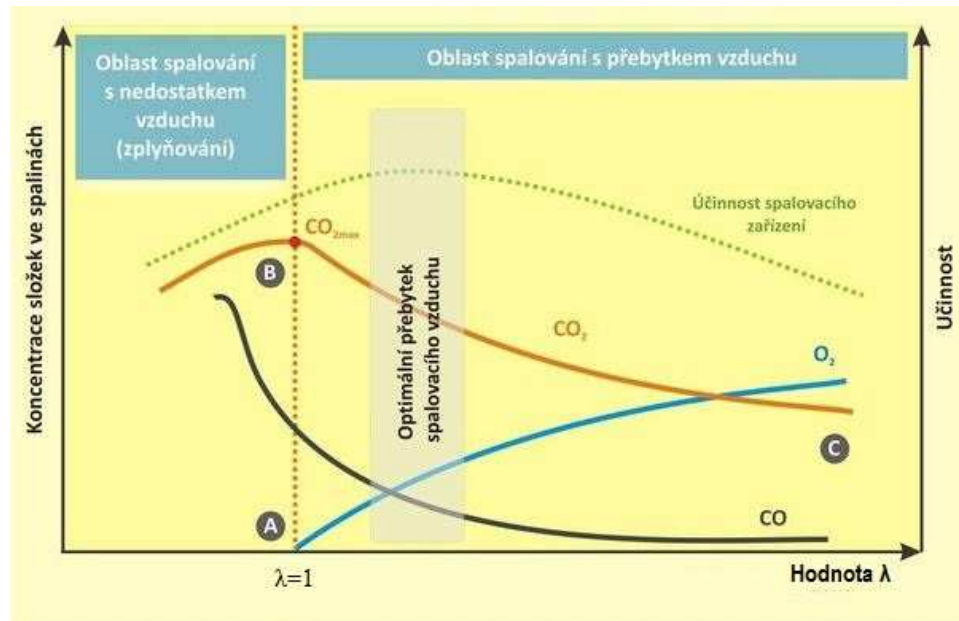
2 Aplikace lambda sondy v kotli spalující biomasu

Stejně jako u spalovacích motorů lze i v případě spalování biomasy vhodnou regulací přiváděného vzduchu nebo paliva, regulovat vypouštěné emise a účinnost spalování. Podobně jako v automobilovém průmyslu se zvyšují legislativní požadavky na měření a kontrolu emisí a účinnosti kotlů. Tyto kotle se rozdělují na tzv. emisní třídy zohledňující jejich jmenovitý výkon, způsob dodávky paliva do spalovací komory a druh spalovaného paliva. Lídry v oblasti legislativy spalování v kotlích jsou Německo a Rakousko. V kapitole bude popsán průběh a optimalizace spalování v kotli, legislativní požadavky na emise kotlů a popis způsobu řízení spalování pomocí lambda sondy.

Popis spalování, legislativy a aplikace sondy v kotli je zaměřen na spalování biomasy, jakožto moderního perspektivního druhu paliva, zejména dřevních pelet, vyznačujících se vynikajícím poměrem ceny a tepelné výhřevnosti. Popis a legislativa jsou dále zaměřeny na kotle jmenovitého výkonu do 300kW - dle zákona č.201/2012 Sb., o ochraně ovzduší (zákon dále kategorizuje malé stacionární zdroje do 65 kW reprezentující především vytápění rodinných domů).

2.1 Průběh spalování v kotli

Stejně jako u spalovacích motorů se při spalování pevných paliv v kotlích užívá hodnota λ k popisu míry přebytku/nedostatku vzduchu ve spalovací komoře. Množství potřebného vzduchu pro úplné (kompletní) spálení paliva odpovídá hodnotě $\lambda=1$. U kotlů se optimální pracovní oblast obvykle vyskytuje v části přebytku vzduchu při spalování. Pracovní oblast je individuální dle parametrů jednotlivých kotlů - závisí na způsobu dodávky paliva (ruční, automatické), typu pevného paliva (kusové dřevo, uhlí, brikety, pelety, atd.), typu kotle (zplyňovací, prohořivací, odhořivací, atd.) a dalších parametrech kotle. Vhodným nastavením hodnoty λ lze docílit optimálního poměru účinnosti spalování a produkce škodlivých emisí. Na Obr.: 21 je naznačena optimální pracovní oblast, závislost koncentrace CO a CO₂, přebytku kyslíku a účinnosti spalování na hodnotě λ . [15]



Obr.: 21-Účinnost, koncentrace škodlivin a přebytek vzduchu ve spalínách v závislosti na hodnotě λ [15]

Kvalita spalování nezávisí pouze na hodnotě λ , ale také na teplotě spalování. Při nedostatečné teplotě spalování dochází k nedohořívání paliva, tím vzroste množství spalin a komínová ztráta a nakonec vše vede ke snížení účinnosti celého spalovacího zařízení. To otvírá prostor pro širokopásmovou lambda sondu, kterou lze využít v kombinaci s teplotním senzorem k řízení procesu spalování kotle na pevná paliva. Regulace lambda sondou s teplotním čidlem umožňuje nepřetržitou kontrolu spalování a nastavení optimálního přebytku vzduchu k dosažení maximální účinnosti a minimální produkci emisí i pevných částic (popílků). [16]

2.2 Emisní limity pro spalovací stacionární zdroje

Maximální přípustné množství vypuštěných škodlivin, tj. emisní limity, zařízení do jmenovitého výkonu 300 kW je v současnosti stanoveno v příloze č.10 k zákonu č.201/2012 Sb., o ochraně ovzduší (v platnosti od 1.1. 2014) - viz. Tab.: 2. Ve stejném zákoně jsou uvedeny i emisní limity, které vejdou v platnost 1.1.2018 - viz. Tab.: 3. Evropská norma EN 303-5:2012 (dříve EN 303-5:1999) stanovuje emisní třídy 1-5. České a evropské emisní limity spolu navzájem korespondují - v ČR platné limity od roku 2014 odpovídají emisní třídě 3, limity platící od roku 2018 odpovídají emisní třídě 4. Průkopníky s nejtvrďšími emisními limity a komplexními státními dotačními systémy jsou Rakousko a Německo. Emisní limity jsou závazné pro nově certifikované zařízení a stanovují maximální hodnoty škodlivin ve spalínách při daných podmínkách (teplota 273,15 K, tlak 101,325 kPa, referenční obsah kyslíku

10 %) a při jmenovitém výkonu P_{jm} . Vývoj emisních limitů má klesající trend (obdobně jako v automobilovém průmyslu) tlačící výrobce spalovacích zařízení k zdokonalování a lepší kontrole procesu spalování a tím snižování vypouštěných škodlivin. [16]

Tab.: 2-Požadavky na spalovací stacionární zdroj na pevná paliva platné od 1.ledna 2014 [16]

Dodávka Paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	TOC ^{2),3)}	TZL
			mg.m ⁻³		
Ruční	Biologické	≤65	5 000	150	150
		>65 až 187	2 500	100	150
		>187 až 300	1 200	100	150
	Fosilní	≤65	5 000	150	125
		>65 až 187	2 500	100	125
		>187 až 300	1 200	100	125
Samočinná	Biologické	≤65	3 000	100	150
		>65 až 187	2 500	80	150
		>187 až 300	1 200	80	150
	Fosilní	≤65	3 000	100	125
		>65 až 187	2 500	80	125
		>187 až 300	1 200	80	125

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 10 %; pro sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti, se hodnoty vztahují k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %.

²⁾ TOC = celkový organický uhlík, kterým se rozumí úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu vyjádřená jako celkový uhlík.

³⁾ Nevztahuje se na sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti.

Tab.: 3-Požadavky na spalovací stacionární zdroj na pevná paliva platné od 1.ledna 2018 [16]

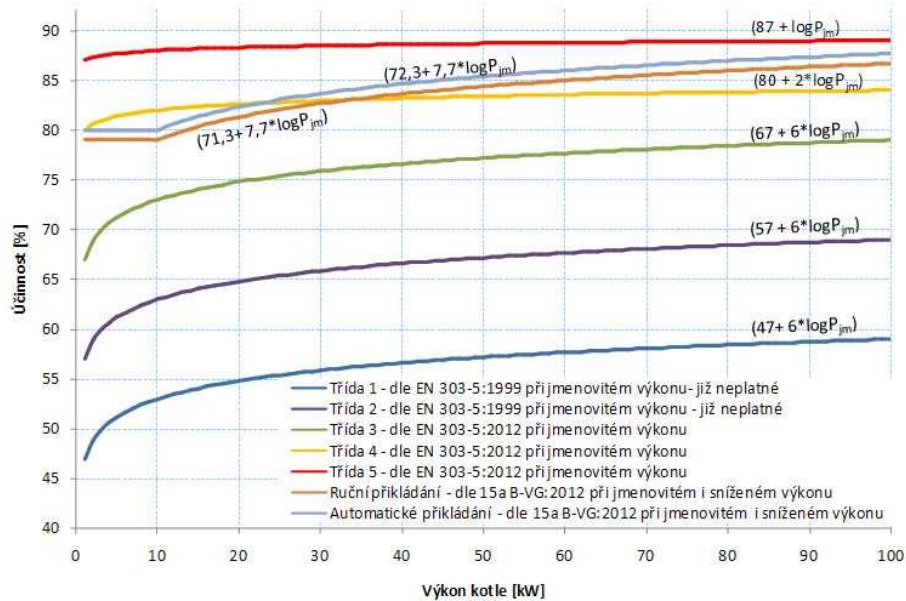
Dodávka Paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	TOC ^{2),3)}	TZL
			mg.m ⁻³		
Ruční	Biologické/ fosilní	≤ 300	1 200	50	75
Samočinná	Biologické/ fosilní	≤ 300	1 000	30	60

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 10 %; pro sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti, se hodnoty vztahují k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %.

²⁾ TOC = celkový organický uhlík, kterým se rozumí úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu vyjádřená jako celkový uhlík.

³⁾ Nevztahuje se na sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti.

Evropská norma navíc uvádí požadavky na minimální účinnost kotle pro jednotlivé emisní třídy - viz. Obr.: 22. Stejně jako emisní limity se minimální účinnost měří při jmenovitém výkonu kotle za daných podmínek a pouze při certifikaci zařízení na trh. Je důležité poznamenat, že dosažení účinnosti větší než 75 % není u zplyňovacích či automatických kotlů při jmenovitém výkonu problém, problém nastává až při provozu kotle při nižším výkonu, se kterým klesá i účinnost a kvalita spalování (zvýšení emisí). Kotel se nicméně neprovozuje po většinu topné sezóny při jmenovitém výkonu, ale právě při výkonu sníženém. [17]

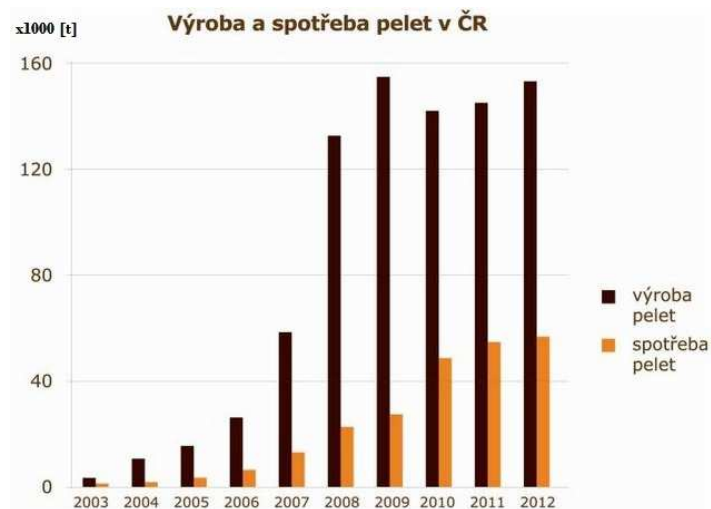


Obr.: 22-Požadavky na minimální účinnosti kotlů dle EN 303-5:1999, EN 303-5:2012 a 15a B-VG:2012 (Rakousko) [17]

Evropská i česká legislativa stanovují emisní limity pouze při jmenovitém výkonu a pouze při uvádění nových kotlů na trh. Nicméně tvorba emisí není závislá pouze na samotném zařízení, ale ovlivňuje ji i složení paliva, místo realizace kotle (přívod vzduchu, odvod spalín, kouřovod, aj.), stáří kotle, atd. Proto v Rakousku a Německu platí ohledně kontroly emisí a minimální účinnosti kotlů přísnější pravidla. Měření těchto parametrů neprobíhá pouze při certifikaci zařízení na trh, ale provádí se cyklicky každé dva roky přímo na místě realizace. Navíc se tyto hodnoty neměří pouze při jmenovitém výkonu zařízení, ale i při sníženém výkonu (30 % P_{jm}), kdy je podstatně složitější udržet vysokou minimální účinnost a nízké emise. Zvýšení potřebné odbornosti pracovníků pracujících v kominických firmách přináší zvýšení nákladů na tyto služby, nicméně tyto náklady jsou nesrovnatelné s ušetřenými náklady za palivo při správně nastavených spalovacích podmínkách. V některých speciálních případech se četnost zkoušení spalín zvyšuje na jednou ročně a probíhá i měření komínové ztráty. Navíc Rakousko a Německo mají pozitivně motivující státní dotační systémy, které upřednostňují nové šetrnější technologie spalování a zvýhodňují zařízení s co možná nejšetrnějším přístupem k životnímu prostředí (např. dotace při použití regulace přebytku vzduchu k dosažení maximální účinnosti a minimálních emisí za pomoci lambda sondy). Výrobci kotlů proto předpokládají obdobný průběh zpřísnování emisních limitů a nastavení státních dotačních programů pro spalování ve stacionárních zařízeních na pevná paliva i v ostatních státech EU. [18]

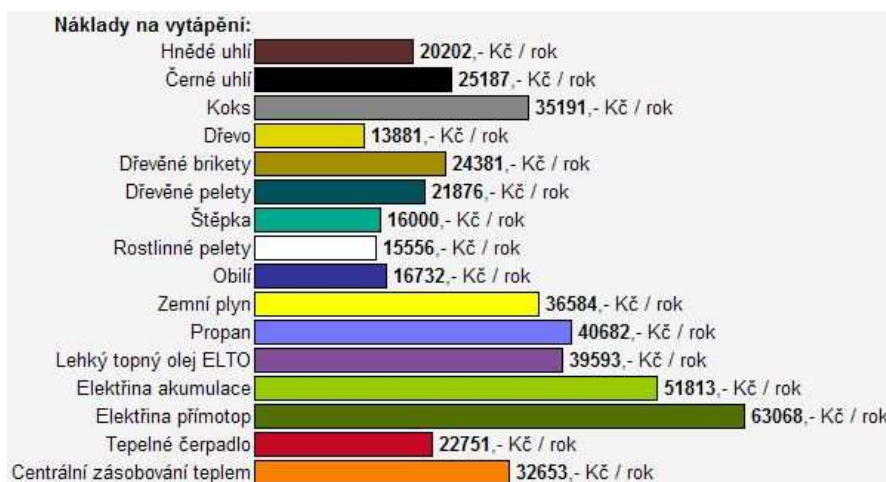
2.3 Spalování dřevní pelety

Kotle na spalování dřevní pelety (možné i v kombinaci se spalováním jiného paliva - kusové dřevo, rostlinné pelety, obilí či kukuřice) jsou technologicky moderními zařízeními a vyznačují se vysokou účinností spalování. Společně s výhodami dřevních pelet jako je výhřevnost, cena a jejich rozšiřující se trh nabízí kotle na spalování pelet velmi zajímavou alternativu vytápění k dnes konvenčním typům kotlů. To potvrzuje i narůstající trend využití kotlů na dřevní pelety v ČR i EU (viz. *Obr.: 23*), resp. kotlů na biomasu celkově. Parametry dřevních pelet jsou dány jejich složením, proto existují certifikace a normy zaručující jejich složení, tím i výhřevnost atd. [18]



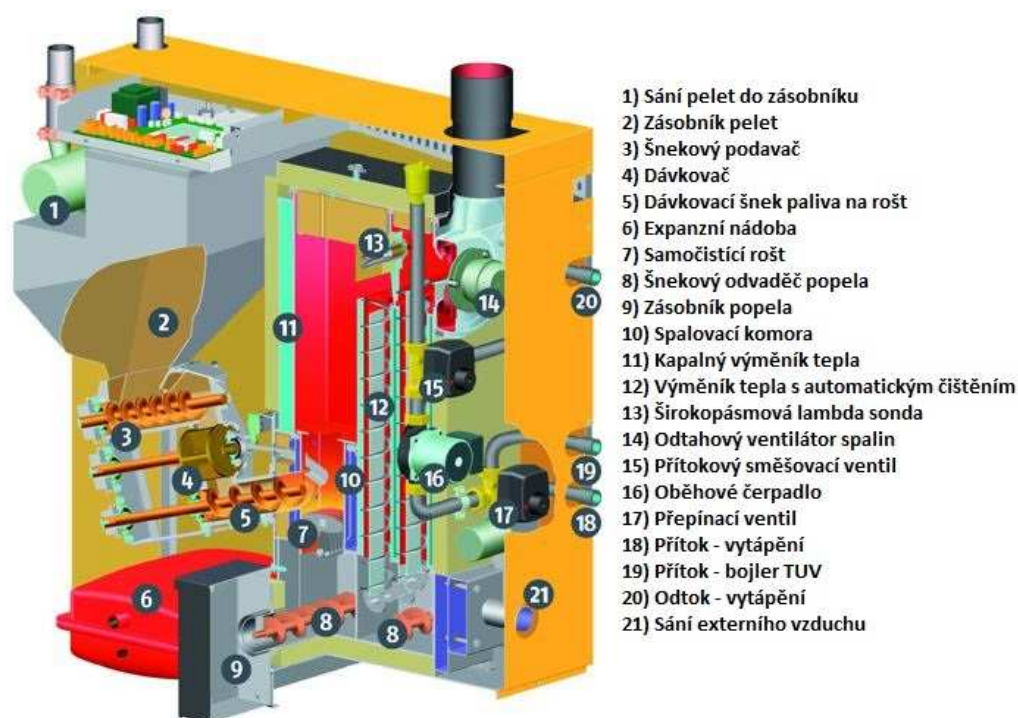
Obr.: 23-Výroba a spotřeba pelet v ČR [18]

Jednou z největších výhod kotle na dřevní pelety jsou roční náklady na vytápění. Cena pelet není nejnižší proti jiným palivům a pohybuje se okolo 5 000 Kč za tunu, což je stále výhodnější než v zahraničí (např. v Rakousku se pelety prodávají okolo 200 eur/t, tj. 5 500 Kč/t). Nicméně při zahrnutí vysoké výhřevnosti a účinnosti kotlů na pelety se celkové náklady na vytápění drží ve spodní polovině žebříčku - viz. *Obr.: 24*. Dalšími výhodami dřevních pelet jsou nenáročnost skladování a uživatelsky přívětivá dodávka - pelety nepodléhají zkáze a lze je tedy nakoupit v období letní sezóny, kdy se jejich cena pohybuje nejnižší v celém roce (a tím ušetřit ještě více finančních prostředků) a dodávka pelet se realizuje většinou tlakovým vháněním z cisterny do zásobníku. [18]



Obr.: 24-Srovnání nákladů na vytápění pro různá paliva (průměrný RD - 80 GJ/rok) [19]

Řízení spalování pomocí lambda sondy dále optimalizuje účinnost spalování. Pro účely dlouhodobé zkoušky v kapitole 3 byl vybrán právě kotel na dřevní pelety. Na Obr.: 25 je znázorněno uložení lambda sondy v kotli ETA PeletsUnit 11 kW. Tento kotel je vybaven vlastním zásobníkem pelet o kapacitě 30 kg, která je dle potřeby doplňována z hlavního skladu pelet (v hlavní topné sezóně cca 1x denně). Dále je vybaven samočinným příkladačem a dávkovačem paliva na rošt. Obsluha zařízení tedy spočívá pouze v nastavení teploty a občasného vynesení zásobníku popela, na které kotel sám upozorní. Tento kotel je vybaven patentovaným výklopným roštem s čistícím hřebem, který periodicky pročišťuje rošt a tím zaručuje dokonalé vyhoření. [20]



Obr.: 25-Popis částí kotle ETA PeletsUnit 11 kW [20]

Kotel ETA PeletsUnit 11 kW obsahuje již v základním provedení lambda sondu. Díky regulaci přebytku vzduchu za pomoci lambda sondy a sledování teploty spalování teplotním čidlem lze u těchto kotlů splnit požadavky na emisní třídu 5, tedy zatím nejpřísnější kategorii kotlů, na kterou se v některých zemích vztahují dotace motivující ke koupi co možná nejšetrnějšího kotle. [20]

3 Dlouhodobá zkouška na peletkovém kotli

Hlavním cílem zkoušky bylo zjistit zda, širokopásmová lambda sonda LSU4.9 je vhodná pro měření koncentrace O₂ ve spalínách kotle na dřevní pelety. Zkouška byla zaměřena na širokopásmovou sondu typu LSU4.9, u které se předpokládá, že díky své vysoké robustnosti je pro optimalizaci spalování v kotli nejvhodnější. Vedle sond LSU4.9 se standardním nastavením řídicí elektroniky byly zkoušeny alternativní parametrizace řídicí elektroniky. Při této zkoušce byl použit kotel ETA PeletsUnit 11 kW, který byl popsán v předchozí kapitole 2.3. Součástí zkoušky je i zhodnocení výsledků zkoušky.

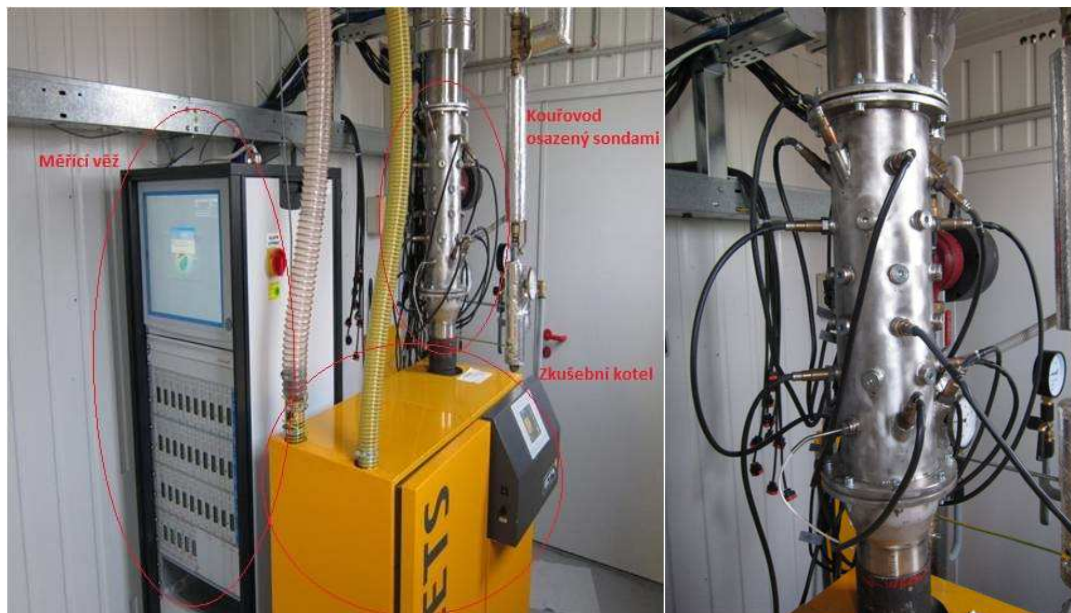
3.1 Základní údaje

Dlouhodobá zkouška širokopásmových sond v kotli na pelety probíhala od března 2012 do února 2014. Za toto období většina sond naměřila ve zkušebním zařízení přes 8000 hodin (to odpovídá zhruba třem topným obdobím - při 230 dnech za topnou sezónu a provozu kotle 12 hodin denně). Některé sondy byly v průběhu zkoušky přidány či odebrány a proto dosáhly kratších provozních časů. U hlavního zkoumaného vzorku širokopásmových sond LSU4.9 se standardními parametry řídicí jednotky se během celého měření porucha nevyskytla.

3.1.1 Zkušební zařízení

Zkušební zařízení se nachází v závodu Robert Bosch České Budějovice spol. s.r.o. a skládá se ze tří hlavních částí (viz. Obr.: 26):

- 1.) kotel ETA PeletsUnit 11 kW
- 2.) svislý kouřovod osazený zkoušenými sondami
- 3.) měřicí věž s PC a řídicí elektronikou



Obr.: 26-Zkušební zařízení dlouhodobé zkoušky sond v peletkovém kotli a kouřovod osazeným sondami [foto: J. Dvořák]

Měřicí věž obsahuje PC, elektroniku jednotlivých sond a zdroje napětí pro napájení sond a elektronik. Měřicí věž s PC zaznamenávají hodnoty elektronik průběžně a slouží k bezprostřednímu hlášení chyb během probíhající zkoušky. Mimo kouřovod byly osazeny tři sondy a teplotní čidlo přímo v kotli v místě, kde je standardně umístěna lambda sonda v sériových kotlích (viz. Obr.: 25). [21]

Pro vyhodnocení byly k dispozici dvě sady dat. V prvním případě byl signál lambda sond monitorován on-line během průběhu zkoušky a díky tomu bylo možno zjistit první indikace poškození vlastního senzoru nebo elektroniky. Hodnoty z on-line měření slouží spíše orientačně a provádí se u všech typů měřených sond. Zároveň se sondy při změně jednotlivých režimů cyklu dlouhodobé zkoušky měřily na vzduchu (obsah O₂ 20,95 %). Hodnoty z měření na vzduchu byly výchozími pro sondy, které nebyly hlavním sledovaným vzorkem a nebyly testovány v kalibrovaném plynovém měřicím stavu.

Funkce sond z cílové skupiny dlouhodobé zkoušky - sondy LSU4.9 se standardně parametrizovanou elektronikou - byla v pravidelných intervalech ověřována v kalibrovaném plynovém měřicím stavu, tzv. LSU testbench (informace z technických specifikací v příloze č.1) umístěném v plynové laboratoři. Na tomto měřicím stavu se měří signál širokopásmové lambda sondy v plynech s definovaným složením, tlakem a teplotou (teplota plynu 20 °C, tlak spalin 1013 hPa). Zkouška se dělí na proměřování chudé a bohaté směsi a proměřuje se v několika hodnotách λ , resp. obsahu O₂ (př. 8,29 % O₂, 20,95 % O₂, aj.). Díky měření v plynech s různou koncentrací O₂ je možné u měřených sond ověřit jejich charakteristickou křivku. K měření chudé části charakteristické křivky se používá směs N₂ a vzduchu (20,95 % O₂), naopak k měření bohaté části charakteristické křivky se používá směs N₂ a syntetického bohatého plynu (tzv. SFG). Ke kontrole složení směsi přímo v komoře zkušebního stavu slouží dvě referenční lambda sondy s vysokou přesností.

Jedním z výstupů vyhodnocování naměřených hodnot, ať už z on-line měření, tak měření na kalibrovaném plynovém měřicím stavu, je relativní odchylka pumpovacího proudu zkoušené sondy oproti referenční hodnotě, tj. hodnota r - viz. rovnice (10), kde dI_p/I_p je vypočtená relativní odchylka, I_p^m je naměřená hodnota ve zkušebním stavu, I_p^s je hodnota uvedená ve specifikaci sondy.

$$r = \frac{dI_p}{I_p} = \frac{I_p^m - I_p^s}{I_p^s} \quad (10)$$

Dalším měřeným parametrem je míra zakřivení charakteristické křivky, tj. hodnota t . Obdobně jako u pumpovacího proudu se u zakřivení charakteristické křivky používá k popsání stavu relativní odchylka od referenční hodnoty. Výpočet relativní odchylky zakřivení charakteristické křivky je znázorněn rovnicí (11), kde $dp_{(O_2)}^m$ je naměřená hodnota a $dp_{(O_2)}^s$ je hodnota uvedená ve specifikaci sondy.

$$t = \frac{dp_{(O_2)}}{p_{(O_2)}} = \frac{dp_{(O_2)}^m - dp_{(O_2)}^s}{dp_{(O_2)}^s} \quad (11)$$

Pro relativní odchylku pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky jsou v technických specifikacích uvedeny jejich standardní hodnoty. Společně s těmito hodnotami

uvádí technická specifikace sond mezní povolené odchylky těchto hodnot. Pro hodnotu r jsou stanoveny meze v rozmezí $\pm 12\%$ a pro hodnotu t jsou v rozmezí $\pm 2\%$. Jsou-li tyto hodnoty v daných mezních limitech, pak je funkce sondy správná a její signál odpovídá složení měřené směsi.

Další nedílnou součástí zkušebního zařízení je nádoba se zásobou pelet a samočinné zařízení pro jejich dávkování do kotle. Kvalita a složení dřevních pelet odpovídá normě DIN EN 14961-2: vlhkost $< 10\%$, hustota 650 kg/m^3 a výhřevnost 17 MJ/kg (viz. příloha č.2).

3.1.2 Seznam testovaných sond

Zkušebním zařízením prošlo celkem 37 sond, z toho 13 sond bylo typu LSU4.9 při standardním nastavení elektroniky, tj. hlavní zkoumaný vzorek zkoušky, ostatní sondy byly zkoumány pro další interní využití firmou BOSCH. Pro určení vlivu montážní pozice, kouřovodu a úhlu zamontování lambda sondy na funkci senzoru byly některé montážní pozice pod úhly $\pm 30^\circ$ a $\pm 45^\circ$. Pro sledování teploty spalín v kouřovodu byla navíc namontována tři teplotní čidla. Seznam všech zkoušených sond:

- 13x LSU4.9 $R_i=300 \Omega$ → *hlavní zkoumaný vzorek*
- 2x LSU4.9 $R_i=200 \Omega$
- 2x LSU4.9 $R_i=150 \Omega$
- 4x LSU4.9 PUK
- 4x LSU4.9 iCable: 2x iCable s PUK
2x iCable bez PUK

Ostatní zkoušené sondy, které nepatří do hlavního zkoumaného vzorku, byly osazeny při zkoušce zejména k posouzení vlivu různých parametrizací elektroniky a pracovní teploty. U sond označených jako LSU4.9 $R_i=200 \Omega$ a 150Ω se měnilo nastavení regulace teploty pomocí rozdílného vnitřního odporu sondy R_i , což odpovídá různé provozní teplotě vlastního senzoru. Vliv různých parametrizací elektronik byl sledován na zbylých sondách označovaných iCable a PUK. Sondy s PUK jsou opatřeny pravidelnou regenerací elektrod a vliv těchto elektronik byl také sledován.

3.1.3 Průběh zkoušky

Pro otestování co možná nejširšího rozsahu provozních podmínek v kotli byl testovací cyklus rozdělen na tři režimy nastavení kotle. Tyto režimy měly nasimulovat provozní stavy kotle v praxi a otestovat lambda sondu ve všech možných provozních podmínkách a kritických stavech, které mohou v kotli nastat (opětovné zapalování paliva, vysoká teplota, aj.). Cyklus zkoušky je složen ze tří režimů⁵:

- 1.) Volllast (plný výkon) - kotel nastaven po celou dobu běhu na 100 % výstupního výkonu
- 2.) Taktbetrieb (přerušovaný chod) - nastavení výstupního výkonu se v intervalu 2 hodin mění z 100 % na stav "vypnuto" (0 % výkonu)
- 3.) Teillast (částečný výkon) - kotel nastaven po dobu běhu na minimální výstupní výkon (~30 % výkonu)

Při plném výkonu kotle dochází k zvýšení teploty a průtoku spalin, při částečném výkonu se vytváří větší množství sazí a při přerušovaném výkonu dochází k opakovanému zapalování a odhořívání paliva. Tyto režimy se střídaly cca po 500 provozních hodinách. Po skončení každého cyklu, každých 1500 hodin byly sondy vyjmuty a otestovány v laboratoři na měřících stavech pro charakteristiku širokopásmových sond LSU v kalibrovaných měřících plynech. Měření se provádělo na několika hodnotách O₂ ve směsi plynu tak, aby se zjistila charakteristická křivka sondy. Během průběhu celé zkoušky byly sondy měřeny a kontrolovány pomocí tzv. online měření. Výstup z obou těchto měření byl nadále zpracován a porovnáván s výchozími hodnotami z technické specifikace sondy. Z těchto měření byla vypočtena relativní odchylka, která poukazuje na kvalitu sondy. V případě odchylky přes mezní hodnoty byly sondy individuálně zkoumány a vyhodnocovány v laboratoři.

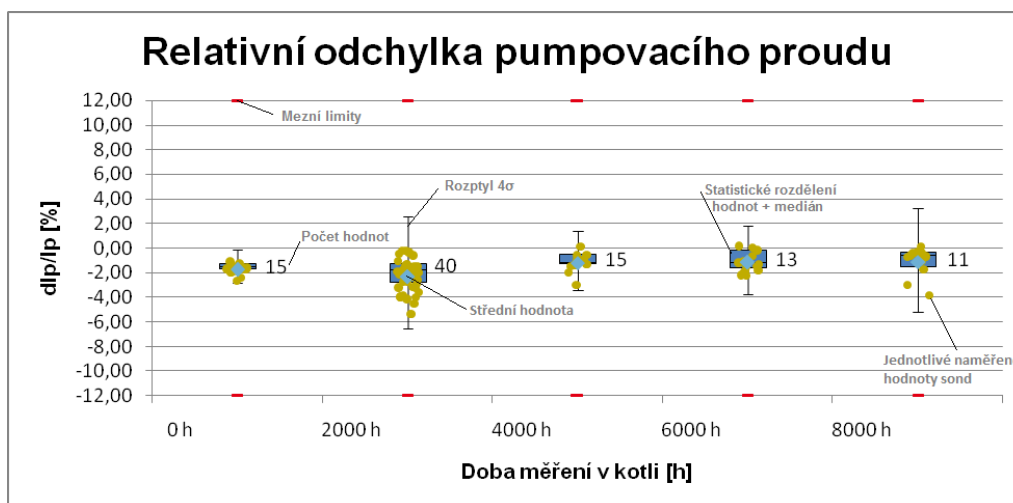
3.2 Naměřené hodnoty

Výstupem zkoušky na měřících stavech pro charakteristiku širokopásmových sond LSU jsou relativní odchylky pumpovacího proudu na vzduchu a zakřivení charakteristické křivky od standardní hodnoty uvedené v technické specifikaci sondy. V grafech jsou vyznačeny naměřené hodnoty jednotlivých zkoušených sond a jejich střední hodnota, dále je graficky znázorněno statistické rozdělení těchto hodnot, medián a rozptyl 4σ tohoto rozdělení, v neposlední řadě je zobrazen počet hodnot, z kterých se vycházelo. Mezní limity pro naměřené

⁵ Volllast, Taktbetrieb a Teillast jsou originální názvy v němčině, v závorce uveden překlad do češtiny

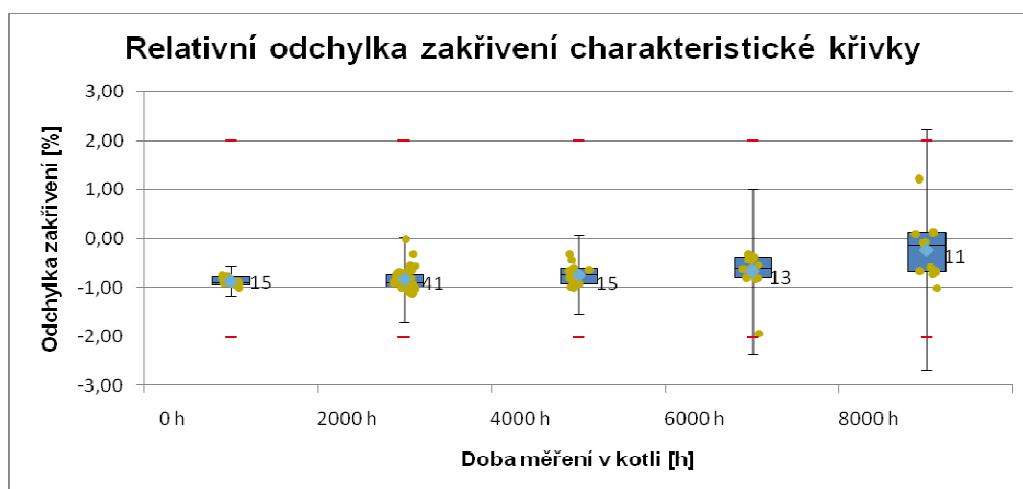
hodnoty jsou v grafech označeny červeně. V příloze č.3 je ukázka výstupních dat a graf průběhů teplot a signálů ze sond při cyklu Taktbetrieb (přerušovaný chod).

Hlavní zkoumaný vzorek je složen z 13 sond LSU4.9 se standardním nastavením elektroniky ($R_i=300 \Omega$). Na Obr.: 27 a Obr.: 28 jsou vyneseny výsledné hodnoty zkoušek LSU pro relativní odchylku pumpovacího proudu na vzduchu a zakřivení charakteristické křivky.



Obr.: 27-Relativní odchylka charakteristické křivky pro pumpovací proud pro LSU4.9 - $R_i=300 \Omega$

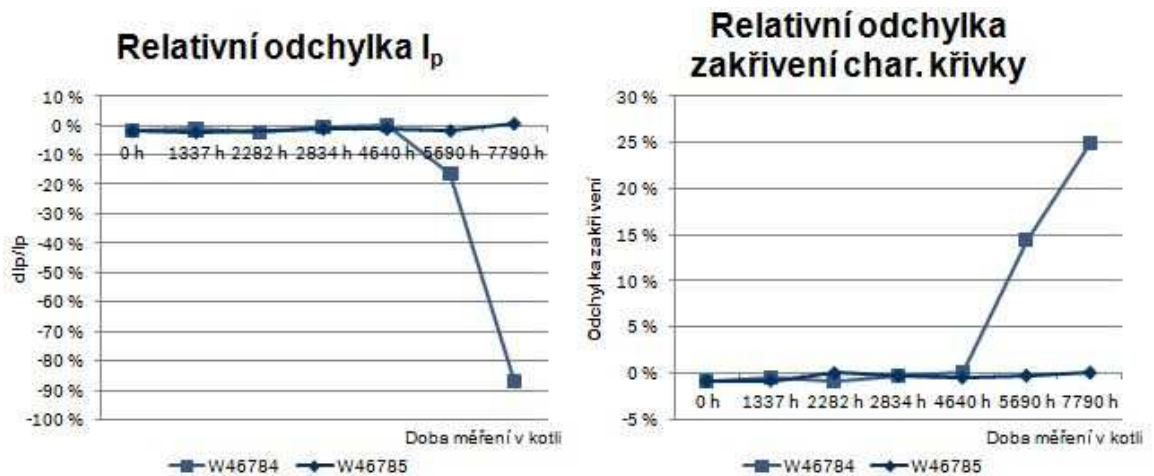
Všechny naměřené hodnoty dI_p/I_p jsou v rozmezí od +1 % do -6 % bez ohledu na stáří sondy. Plní stanovené mezní limity ± 12 % se značnou rezervou po celou dobu průběhu dlouhodobé zkoušky.



Obr.: 28-Relativní odchylka zakřivení charakteristické křivky pro LSU4.9 - $R_i=300 \Omega$

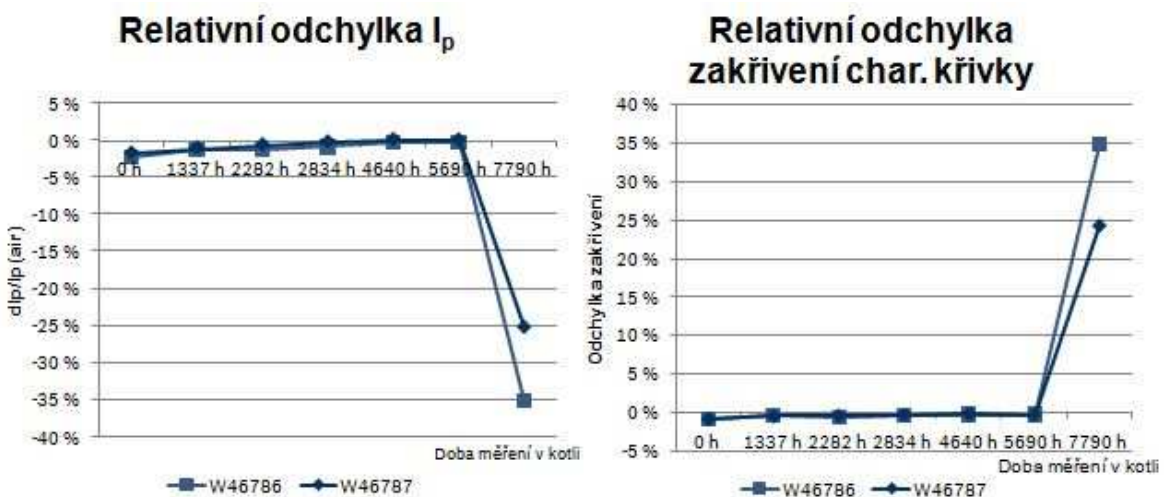
U měření odchylky zakřivení charakteristické křivky se naměřené hodnoty pohybují v intervalu od +0,1 % do -1,2 % mimo dvou abnormálních hodnot. Nicméně tyto hodnoty jsou stále v mezních limitech a sondy je plní po celou dobu zkoušky.

U měření s alternativním nastavením elektronik není pro nízký počet měřených sond možno použít statistického vyhodnocování. Na Obr.: 29 a Obr.: 30 jsou hodnoty sond s nastaveným vnitřním odporem na $R_i=200\ \Omega$ a $R_i=150\ \Omega$.



Obr.: 29-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro LSU4.9 - $R_i=200\ \Omega$

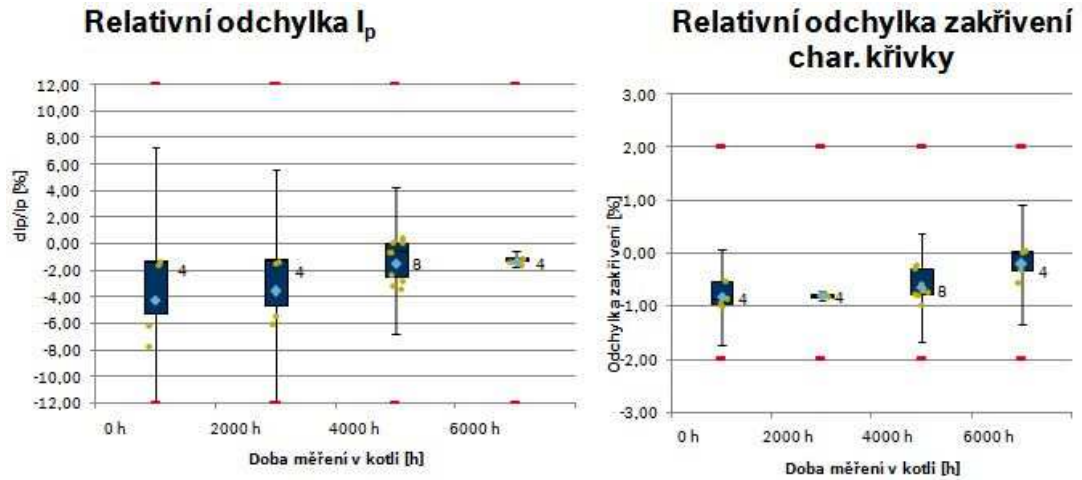
Hodnoty dI_p/I_p jedné sondy s $R_i=200\ \Omega$ se pohybují v intervalu $\pm 1\ %$ a splňují mezní limity po celou dobu zkoušky. Nicméně u druhé sondy je zaznamenána hodnota $-18\ %$ pro 5690 hodin provozu a $-88\ %$ pro 7790 hodin. Obdobně je u odchylek zakřivení jedna sonda v mezních limitech po celou dobu zkoušky a druhá mimo mezní limity od 5690 hodin provozu.



Obr.: 30-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro LSU4.9 - $R_i=150\ \Omega$

U sond s $R_i=150\ \Omega$ dochází k abnormálnímu zhoršení hodnot dI_p/I_p i odchylek zakřivení charakteristické křivky u obou sond po 7790 hodinách. Hodnoty jsou v limitních mezích do 5690 hodin provozu. [21]

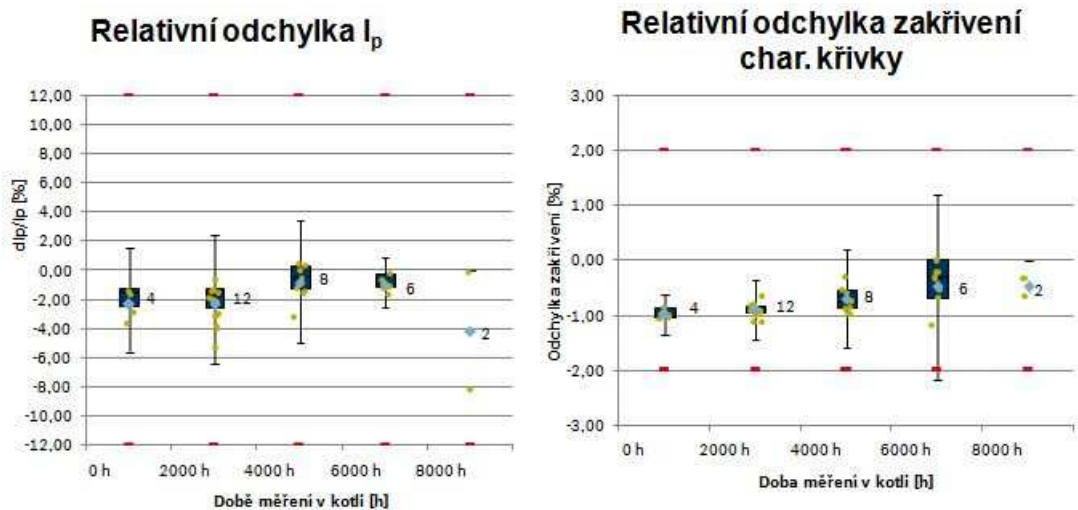
Dalším typem testovaných sond byly tzv. iCable sondy. Na Obr.: 31 jsou graficky zobrazeny naměřené hodnoty těchto sond.



Obr.: 31-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro iCable sondy

Naměřené hodnoty dI_p/I_p sond iCable jsou v limitních mezích v intervalu od -8 % do +1 %. Obdobně u relativních odchylek zakřivení charakteristické křivky jsou hodnoty v mezích a to v rozmezí od -1 % do 0 %.

Dále byly vyhodnoceny sondy s provozní elektronikou jednotkou s regenerací PUK. Výsledky těchto sond jsou graficky znázorněny na Obr.: 32.



Obr.: 32-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro sondy vybavené regenerační jednotkou PUK

U sond PUK vybavených pravidelnou regenerací elektrod jsou naměřené hodnoty dI_p/I_p po dobu celé zkoušky v mezních limitech a to v rozmezí od -8 % do +1 %. U zakřivení je odchylka v intervalu od -1,2 % do 0 % po dobu zkoušky.

3.3 Zhodnocení výsledků

Pro stanovení kvality sondy slouží porovnání s hodnotami relativních odchylek pumpovacího proudu na vzduchu a zakřivení charakteristické křivky uvedenými v technické specifikaci. Pro sondy LSU4.9 jsou všechny naměřené hodnoty jednotlivých sond (v grafech na *Obr.: 27* a *Obr.: 28*) v mezních hodnotách. U odchylky zakřivení charakteristické křivky je zřejmé, že od 6000 hodin měření v kotli se jedna sonda mírně odklání od střední hodnoty testovaného vzorku, nicméně její hodnoty jsou stále v stanovených mezích. Z těchto hodnot vyplývá, že širokopásmové planární sondy BOSCH LSU4.9 vydržely provoz v kotli na dřevní pelety podle normy DIN EN 14961-2 po dobu minimálně 8000 hodin provozu bez viditelného poškození.

U sond s alternativním nastavením elektroniky ($R_i=200\ \Omega$ a $R_i=150\ \Omega$), tj. vyhříváním na jinou teplotu vlastního senzoru, se neprovádělo statistické vyhodnocení z důvodu jejich nízkého počtu a tudíž nerepresentativního vzorku. U těchto sond se vyskytl problém s vyhříváním, čímž došlo k nezvratnému poškození vlastních senzorů.

Naměřené hodnoty odchylek pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky u sond iCable a sond s regenerací jsou v mezních hodnotách a stejně jako sondy se standardním nastavením elektroniky vydržely po dobu 8000 hodin provozu. Dále se u těchto sond ověřovala funkce regenerační jednotky PUK. Do sond iCable vybavených regenerační jednotkou PUK byly nasazeny již zestárlé vlastní senzory a sledovalo se, zda se jejich odchylky zlepší. [21]

4 Závěr

Bakalářská práce byla rozdělena na tři hlavní části. V první části je popsána lambda sonda, její princip a možnost regulace účinnosti spalování a produkce emisí s jejím využitím. Druhá část popisuje možnosti využití lambda sondy při spalování v kotli menšího rozměru, legislativu vztahující se ke spalování v kotlích a popis peletkového kotle, který je v třetí části použit. Třetí část obsahuje popis dlouhodobé zkoušky lambda sond BOSCH v peletkovém kotli a zhodnocení naměřených výsledků. S ohledem na výzkumný charakter dlouhodobé zkoušky bude práce po dobu stanovenou vysokoškolským zákonem nezveřejněna (viz. příloha č.4).

Hlavním cílem dlouhodobé zkoušky je ověřit použitelnost lambda sond BOSCH v aplikaci v kotli na spalování dřevní pelety. Lambda sonda slouží v kotli k regulaci přebytku vzduchu při spalování paliva, tím lze nastavit pracovní oblast kotle, kdy pracuje při nejvyšší možné účinnosti a přitom produkuje co nejnižší množství emisí CO a CO₂. Při zhodnocování výsledků zkoušky pro aplikaci sond v peletkovém kotli vyplývá, že je jejich funkčnost po dobu 8000 hodin provozu kotle v mezních limitech. Na základě této zkoušky a trendu zpřísňování emisních limitů pro kotle, stejně jako v minulosti v automobilovém průmyslu, lze předpovídat nasazení lambda sond pro regulaci podmínek spalování v kotli na dřevní pelety.

Seznam obrázků

Obr.: 1-Řez planární sondou s popisem hlavních částí [3]	4
Obr.: 2-Produkce emisí, výkon a spotřeba v závislosti na hodnotě λ [5]	5
Obr.: 3-Přehled vývoje emisních limitů USA x Evropa [7]	8
Obr.: 4-Princip Nernstova článku s průběhem napětí a koncentrace kyslíku v pevném elektrolytu [8]	9
Obr.: 5-Struktura mřížky nedotovaného a yttriem dotovaného ZrO ₂ [2]	10
Obr.: 6-Řez vlastním senzorem lambda sondy [10]	10
Obr.: 7-Motor a výfukový systém s dvěma lambda sondami [10]	11
Obr.: 8-Napěťová charakteristika skokové lambda sondy při teplotě 600°C [10]	12
Obr.: 9-Výstupní napětí sondy v praxi (skoky mezi chudou a bohatou směsí) [10]	12
Obr.: 10-Srovnání prstového typu sondy a moderní sondy s vrstveným vlastním senzorem (planární) [12] ...	13
Obr.: 11-Doba potřebná k vyhřátí sondy na pracovní teplotu - lighth-off time [8]	14
Obr.: 12-Složení a výroba vlastního senzoru skokové sondy [7]	15
Obr.: 13-Výstupní charakteristika širokopásmového senzoru [14]	15
Obr.: 14-Složení vlastního senzoru širokopásmové sondy [8]	16
Obr.: 15-Řez měřicí částí vlastního senzoru širokopásmové sondy [14]	16
Obr.: 16-Princip pumpovacího článku širokopásmové sondy při spalování chudé a bohaté směsi [8]	17
Obr.: 17-Pumpovací článek při měření chudé směsi [8]	17
Obr.: 18-Pumpovací článek při měření bohaté směsi [8]	18
Obr.: 19-Korekce sklonu charakteristické křivky nastavitelným odporem - trimrem [8]	18
Obr.: 20-Zapojení řídicí elektroniky (ECU) širokopásmové sondy [3]	19
Obr.: 21-Účinnost, koncentrace škodlivin a přebytek vzduchu ve spalínách v závislosti na hodnotě λ [15]	21
Obr.: 22-Požadavky na minimální účinnosti kotlů dle EN 303-5:1999, EN 303-5:2012 a 15a B-VG:2012 (Rakousko) [17]	23
Obr.: 23-Výroba a spotřeba pelet v ČR [18]	24
Obr.: 24-Srovnání nákladů na vytápění pro různá paliva (průměrný RD - 80 GJ/rok) [19]	25
Obr.: 25-Popis částí kotle ETA PeletsUnit 11 kW [20]	25
Obr.: 26-Zkušební zařízení dlouhodobé zkoušky sond v peletkovém kotli a kouřovod osazeným sondami [foto: J. Dvořák]	28
Obr.: 27-Relativní odchylka charakteristické křivky pro pumpovací proud pro LSU4.9 - R _i =300 Ω	32
Obr.: 28-Relativní odchylka zakřivení charakteristické křivky pro LSU4.9 - R _i =300 Ω	32
Obr.: 29-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro LSU4.9 - R _i =200 Ω .	33
Obr.: 30-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro LSU4.9 - R _i =150 Ω .	33
Obr.: 31-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro iCable sondy	34
Obr.: 32-Relativní odchylka pumpovacího proudu a zakřivení charakteristické křivky pro sondy vybavené regenerační jednotkou PUK	34

Seznam tabulek

Tab.: 1-Poměry A/F pro $\lambda=0,7; 1,0; 1,3$ pro různá paliva [4]	5
Tab.: 2-Požadavky na spalovací stacionární zdroj na pevná paliva platné od 1.ledna 2014 [16]	22
Tab.: 3-Požadavky na spalovací stacionární zdroj na pevná paliva platné od 1.ledna 2018 [16]	22

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Clean Exhaust Thanks to Ceramic Sensors*. Physic Journal: Gasoline Systems. 2006, s. 9.
- [4] HITICAS, Ioan, Danila IORGA, Liviu MIHON, Emanuel RESIGA a Narcis URICANU. *Studies and experimental research concerning the performances of the internal combustion engine, controlled over the powertrain control module* [online]. University of Timisoara, Romania, 2012 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: http://www.utgjiu.ro/rev_mec/mecanica/pdf/2012-01.Supliment/4_Ioan%20Hiticas,%20Danila%20Iorga,%20Liviu%20Mihon,%20Emanuel%20Resiga,%20Narcis%20Uricanu.pdf
- [5] SAJDL, Jan. *Lambda sonda* [online]. Internetový informační portál Autolexicon.net [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/lambda-sonda/>
- [6] MATOUŠKOVÁ, Leona. *Znečištění ovzduší přízemním ozonem*. In: [online]. CENIA-Česká informační agentura životního prostředí [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: [http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPEBFL8NIS5](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPEBFL8NIS5)
- [9] GÖPEL, Reinhardt GÖTZ a Martin RÖSCH. *Trends in the development of solid state amperometric and potentiometric high temperature sensors*. In: s. 13. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com/S0167273800004100/1-s2.0-S0167273800004100-main.pdf?_tid=47e13bf6-ef2a-11e3-ab4b-00000aacb35d&acdnat=1402245242_3b9abca89974630f14563e3703a90a1e
- [10] *Oxygen sensors* [katalog]. 2009/2010, 184 s. ROBERT BOSCH (AUSTRALIA). [cit. 8.6.2014]. Dostupné z: http://www.bosch.com.au/car_parts/en/downloads/Oxgen_Sensor__Cat_WEB.pdf
- [11] RIEGEL, J., H. NEUMANN a H.-M. WIEDENMANN. *Exhaust gas sensors for automotive emission control*. In: s. 18. Dostupné z: http://ac.els-cdn.com/S0167273802003296/1-s2.0-S0167273802003296-main.pdf?_tid=75630716-ef2b-11e3-a3ff-00000aacb35e&acdnat=1402245748_af223bfeaf2b47ebbf25d743d5b759ad
- [12] BOSCH autoparts web-site: Oxygen sensors. ROBERT BOSCH GMBH. [online]. [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://www.boschautoparts.com/OxygenSensors/Pages/OxygenSensors.aspx>
- [13] *Oxygen sensors* [online]. The Clemson University Vehicular electronics laboratory [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://www.cvel.clemson.edu/auto/sensors/oxygen.html>
- [15] HORÁK, Jiří a Petr KUBESA. *O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích: aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy* [online]. 2012 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>
- [16] Zákon č.201/2012 Sb., o ochraně ovzduší
- [17] HORÁK, Jiří, Petr KUBESA, Lubomír MARTINÍK, Kamil KRPEC, Jiří DVOŘÁK, František HOPAN, Zuzana JANKOVSKÁ a Vendula DRASTICHOVÁ. *Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě* [online]. 2012 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9665-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva-legislativa-v-cr-a-evrope>
- [18] KLASTR ČESKÁ PELETA, z.s.p.o. *Komfortní teplíčko*. Brno: MANOFI, s.r.o., podzim 2012.
- [19] TŮMOVÁ, Martina. *Biomasa zdražuje: Ceny pelet a briket zvýší o tisíce náklady na topení*. In: [online]. www.nazeleno.cz, 2009 [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/vytapani/biomasa/biomasa-zdrazuje-ceny-pelet-a-briket-zvysi>

o-tisice-naklady-na-topeni.aspx



- [20] *ETA Pellets Unit PU* [online]. ETAenergy.eu [cit. 2014-06-08]. Dostupné z: <http://etaenergy.eu/produkty/eta-pellets-unit-pu/>

interní dokumenty BOSCH:

- [2] DVOŘÁK, Jan. *Lambdasonden in der Holzfeuerung*, interní č.0127, 24.2.2014
- [3] *General product presentation LSF LSU - Focus on clean air*, GS-SI/ENX-TCS-Ro, ROBERT BOSCH GMBH, interní č. F10_0809, 6.4.2010
- [7] *Oxygen sensors and application*, GS-SI/ENX-Hans, ROBERT BOSCH GMBH, interní č. F11_1642, 10.11.2011
- [8] *Technical training*, GS-EX/MKT (GS-EX/ENG) ROBERT BOSCH GMBH, interní č.11_0021, 17.1.2006
- [14] DVOŘÁK, Jan. *Bosch Automotive Sensoren für Feuerungstechnik*, interní č.13_0003, 16.1.2013
- [21] *Pellet Stove Endurance Run - final report*, GS-SI/ENG2-Bj., ROBERT BOSCH GMBH, interní č.13_0055, 4.2.2014

Přílohy

Příloha č.1:

		Technische Kundenunterlage Technical Customer Information	Y 258 E00 005e
			Seite/Page 1 von/of 2 Datum/Date 10.8.2000

Produkt / Product: Heated Lambda Sensor

Typ / Type: LSU


Bestellnummer / Part Number: 0 258 ...

Gültig ab / Valid from: 10.8.2000

Test Bench for Rich and Lean Characteristic of LSU Lambda Sensors Measuring Method

Nr. Index	Seite Page	Änderung Revision	Datum Date	K3/ESV6-Hamann	K3/ESV6	K3/ESV
-	-	Erstausgabe / First Edition as Y 258 G00 035	8/97			
-	-	Change of reg. number and form sheet to TKU standard	10.8.00	gez. Hamann	gez. Meier	gez. Neumann

©Alle Rechte bei Robert Bosch GmbH, auch für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen. Jede Verfügungsbefugnis, wie Kopier- und Weitergaberecht, bei uns.
©Robert Bosch GmbH reserves all rights even in the event of industrial property. We reserve all rights of disposal such as copying and passing on to third parties

BOSCH 	Technische Kundenunterlage Technical Customer Information	Y 258 E00 005e
		Seite/Page 2 von/of 2
		Datum/Date 10.8.2000

1. Design of the test bench

The LSU test bench is designed to measure the LSU characteristic line under rich and under lean conditions. It consists of 2 separate test places, one for rich and one for lean gas. The test gas is mixed from 2 components, N₂ and air for lean measurement, synthetic rich gas (SFG) and N₂ for rich measurement. The rich gas can be humidified by an additional water storage to ensure enough oxygen-containing gas components which can be reduced to deliver the pumping current.

2 reference LSU sensors in the test chamber input and output are used to measure the exact O₂ concentration resp. the lambda value of the test gas. The gas pressure is measured by a pressure sensor in the test chamber and regulated by a throttle valve after the test chamber.

The sensors are operated with a LSU control unit (AWS) in this test.

The test procedure (including adjustment of test gases) and measurement is automatically controlled by computer.

2. Measurement procedure

Stabilization time before measurement to ensure stable gas and temperature conditions: 30sec.

Test gas temperature: 20°C

Test gas pressure: 1013 hPa

Lean gas composition: Air in N₂, O₂ content 8.29% ($\lambda=1.7$)

Rich base gas composition (SFG): 7%CO₂, 7%H₂, 9%CO, rest N₂

SFG gas is mixed with N₂ to reach the specified rich gas composition at $\lambda=0.80$, 3.15% CO₂, 3.15% H₂, 4.05% CO rest N₂

3. Test bench calibration



To compensate failures of the mass flow controller and to ensure exact gas composition the test results are corrected using the reference LSU sensors in the test chamber.

The reference sensors are calibrated using a certified reference test gas with high accuracy (<0.2% rel. for lean gas, <0.7% rel. for each rich gas component).

From this calibration the nominal measurement value of the reference sensor is known. By using the reference sensors the gas composition for the measurement is controlled.

When the actual measurement takes place, the signal output value of the reference sensor is taken to calculate the deviation of the test gas from the ideal value and to correct the output signal of the tested sensors.

Příloha č.2:

DEUTSCHE NORM		September 2011
	DIN EN 14961-2	
ICS 75.100.10	Ersatzvermerk siehe unten	
Feste Biobrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen – Teil 2: Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung; Deutsche Fassung EN 14961-2:2011		
Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Wood pellets for non-industrial use; German version EN 14961-2:2011		
Biocombustibles solides – Classes et spécifications des combustibles – Partie 2: Granulés de bois densifié à usage non industriel; Version allemande EN 14961-2:2011		
Ersatzvermerk		
Mit DIN EN 14961-1:2010-04 und DIN EN 14961-3:2011-09 Ersatz für DIN 51731:1998-10; mit DIN EN 14961-1:2010-04 Ersatz für die 2010-04 zurückgezogene Norm DIN CEN/TS 14961:2005-05		
Gesamtumfang 14 Seiten		
Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN		
<small>© DIN Deutsches Institut für Normung e. V. · Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet. Alleinverkauf der Normen durch Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin</small>		
<small>Preisgruppe 9 www.din.de www.beuth.de</small>		 <small>1754177</small>

DIN EN 14961-2:2011-09 NormMaster

Robert Bosch GmbH

DIN EN 14961-2:2011-09

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14961-2:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 335 „Feste Biobrennstoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SIS (Schweden) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-05-82 AA „Feste Biobrennstoffe“ im Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN.

Änderungen

Gegenüber DIN 51731:1996-10 und DIN CEN/TS 14961:2005-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Änderungen gegenüber DIN 51731:1996-10:

- a) Inhalt in DIN EN 14961-1, DIN EN 14961-2 und DIN EN 14961-3 überführt;
- b) Titel der Norm geändert;
- c) Anwendungsbereich geändert;
- d) terminologische Festlegungen geändert und ergänzt;
- e) Klassifizierung nach Herkunft und Quelle der Pellets zusätzlich aufgenommen;
- f) Klassenbezeichnungen geändert;
- g) Anzahl der Kennwert-Klassen und sämtliche Festlegungen zu Kennwerten geändert;
- h) Klassen für mechanische Festigkeit und Angabe von Additiven und des Ascheschmelzverhaltens festgelegt;
- i) Inhalt redaktionell überarbeitet.

Änderungen gegenüber DIN CEN/TS 14961:2005-05:

- a) Vormormcharakter aufgehoben und in eine sechsteilige Normenreihe umgewandelt;
- b) normative Verweisungen aktualisiert;
- c) informativer Anhang zu A-Abweichungen in Frankreich und Italien aufgenommen;
- d) Inhalt umfassend redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 51731: 1993-05, 1996-10
DIN CEN/TS 14961: 2005-05

DVJ2BJ 2013-03-29 NormMaster

Robert Bosch GmbH

2

EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE

EN 14961-2

Juni 2011

ICS 75.160.10

Deutsche Fassung

**Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen -
Teil 2: Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung**

Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2:
Wood pellets for non-industrial use

Biocombustibles solides - Classes et spécifications des
combustibles - Partie 2: Granulés de bois densifié à usage
non industriel

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 18. Januar 2011 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

DVZ/BJ 2013-03-29 NormMaster



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2011 CEN Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem
Verfahren, sind weltweit den nationalen Mitgliedern von CEN vorbehalten.

Ref. Nr. EN 14961-2:2011 D

Robert Bosch GmbH

DIN EN 14961-2:2011-09
EN 14961-2:2011 (D)

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	6
5 Spezifikation von Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung	7
Anhang A (informativ) A-Abweichungen	10
Literaturhinweise	12

DIN EN 14961-2:2011-09 NormMaster

Robert Bosch GmbH

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14961-2:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 335 „Feste Biobrennstoffe“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SIS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2011, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2011 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Zu der Europäischen Normenreihe EN 14961 „Feste Biobrennstoffe — Brennstoffspezifikationen und -klassen“ gehören eine Norm, allgemeine Anforderungen betreffend, und ergänzende Produktnormen. Weitere Produktnormen können diese Reihe zukünftig erweitern.

EN 14961 „Feste Biobrennstoffe — Brennstoffspezifikationen und -klassen“ besteht aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- Teil 2: Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung
- Teil 3: Holzbriketts für nichtindustrielle Verwendung
- Teil 4: Holzhackschnitzel für nichtindustrielle Verwendung
- Teil 5: Stückholz für nichtindustrielle Verwendung
- Teil 6: Nicht-holzartige Pellets für nichtindustrielle Verwendung (in Vorbereitung)

Obwohl diese Produktnormen einzeln erworben werden können, erfordern sie ein allgemeines Verständnis der auf EN 14961-1 beruhenden und unterstützenden Normen. Es wird empfohlen, EN 14961-1 im Zusammenhang mit diesen Normen zu erwerben und zu verwenden.

ANMERKUNG In diesen Produktnormen steht nichtindustrielle Verwendung für Brennstoffe, die für die Verwendung in kleineren Geräten, wie z. B. in Haushalten, sowie kleinen Gebäuden des gewerblichen und öffentlichen Sektors, vorgesehen sind.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

DIN EN 14961-2:2011-09
EN 14961-2:2011 (D)

Einleitung

Diese Europäische Norm, *Brennstoffspezifikationen und -klassen — Teil 2: Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung*, wurde von der Arbeitsgruppe „Anforderungen an Brennstoffe, Klassen und Qualitätssicherung“ des CEN/TC 335 „Feste Biobrennstoffe“ erarbeitet.

Das Ziel dieser Europäischen Norm besteht in der Bereitstellung von eindeutigen und klaren Klassifizierungsprinzipien für feste Biobrennstoffe und somit eines Arbeitsmittels, das einen effizienten Handel mit Biobrennstoffen und eine einfache Verständigung zwischen Verkäufer und Kunden ermöglicht, sowie eines Arbeitsmittels zur Verständigung mit Geräteherstellern. Diese Norm erleichtert auch genehmigungspflichtige Verfahren und die Berichterstattung.

Diese Europäische Norm wurde erstellt, um die Verwendung von Holzpellets im nichtindustriellen Bereich und besonders auf dem Binnenmarkt/durch Hausinhaber bestimmten Markt und im Fall von kleineren gewerblichen Heizkesselanlagen zu unterstützen, wo die Empfindlichkeit gegenüber der Brennstoffqualität zu größeren Problemen führen kann. Diese Kunden bedürfen aus folgenden Gründen besonderer Beachtung:

- Kleingeräte verfügen üblicherweise nicht über eine hochentwickelte Steuerung und Abgasreinigung;
- sie werden im Allgemeinen nicht von fachkundigen Heizungstechnikern gehandhabt;
- sie befinden sich häufig in Wohngebieten und besiedelten Gebieten.

ANMERKUNG Die nach der vorliegenden Europäischen Norm hergestellten Pellets können in Pelletöfen, die nach EN 14785 geprüft wurden, in nach EN 15270 geprüften Pelletbrennern und Pellet-Heizkesseln oder Systemen mit integriertem Pelletbrenner, die nach EN 303-5 ($\leq 500 \text{ kW}_m$) geprüft wurden, verwendet werden.

DIN EN 14961-2:2011-09 NormMaster

Robert Bosch GmbH

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die qualitätsbezogenen Brennstoffklassen und -spezifikationen für Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung fest. Die vorliegende Europäische Norm umfasst nur Holzpellets, die aus folgenden Rohmaterialien hergestellt wurden (siehe EN 14961-1:2010, Tabelle 1):

- 1.1 Wald- und Plantagenholz sowie anderes erntefrisches Holz;
- 1.2 Industrie-Restholz;
- 1.3 Gebrauchtholz.

ANMERKUNG 1 Um keine Zweifel aufkommen zu lassen, wurde Abbruchholz nicht in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm aufgenommen. Abbruchholz ist „Gebrauchtholz, das aus dem Abriss von Gebäuden oder sonstigen Bauwerken stammt“ (EN 14588:2010, 4.52).

ANMERKUNG 2 Torrefizierte (Geröstete) Pellets fallen nicht in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm. Torrefikation (Torrefizierung, Röstung) ist eine milde Vorbehandlung von Biomasse bei einer Temperatur zwischen 200 °C und 300 °C.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 14588:2010, *Feste Biobrennstoffe — Terminologie, Definitionen und Beschreibungen*

EN 14774-1, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des Wassergehaltes — Ofentrocknung — Teil 1: Gesamtgehalt an Wasser — Referenzverfahren*

EN 14774-2, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des Wassergehaltes — Ofentrocknung — Teil 2: Gesamtgehalt an Wasser — Vereinfachtes Verfahren*

EN 14775, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des Aschegehaltes*

EN 14918, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des Heizwertes*

EN 14981-1:2010, *Feste Biobrennstoffe — Brennstoffspezifikationen und -klassen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN 15103, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung der Schüttdichte*

EN 15104, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des Gesamtgehaltes an Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff — Instrumentelle Verfahren*

EN 15149-1, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung der Partikelgrößenverteilung — Teil 1: Rüttelsiebverfahren mit Sieb-Lochgrößen von 1 mm und darüber*

EN 15210-1, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung der mechanischen Festigkeit von Pellets und Briketts — Teil 1: Pellets*

EN 15289, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des Gesamtgehaltes an Schwefel und Chlor*

EN 15297, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung von Spurenelementen — As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V und Zn*

prEN 16127, *Feste Biobrennstoffe — Bestimmung der Länge und des Durchmessers von Pellets und zylinderförmigen Briketts*

DIN EN 14961-2:2011-09
EN 14961-2:2011 (D)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 14588:2010 und die folgenden Begriffe.

3.1

Holzpellet

mit Additiven oder ohne Additive gepresster Biobrennstoff aus pulverisierter holzartiger Biomasse, gewöhnlich in zylindrischer Form mit gebrochenen Enden; die Streubreite der Länge beträgt typischerweise 5 mm bis 40 mm

ANMERKUNG Das Rohmaterial für Holzpellets ist holzartige Biomasse nach EN 14961-1:2010, Tabelle 1. Die Pellets werden üblicherweise in einer Matrizenpresse hergestellt; der Gehalt an Gesamtwasser ist gewöhnlich kleiner 10 % auf Basis der Feuchtmasse.

3.2

Additiv

Material, das die Qualität von Brennstoffen (z. B. die Verbrennungseigenschaften) verbessert, Emissionen verringert oder eine effizientere Herstellung ermöglicht

3.3

chemische Behandlung

beliebige Behandlung mit Chemikalien, ausgenommen Luft, Wasser oder Hitze (z. B. Leim und Farbe)

ANMERKUNG Beispiele für chemische Behandlungen sind in EN 14961-1:2010, Anhang C, aufgeführt.

4 Symbole und Abkürzungen

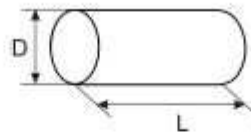
Die in dieser Europäischen Norm verwendeten Symbole und Abkürzungen stimmen, soweit wie möglich, mit dem Internationalen Einheitensystem (SI) überein.

d	wasserfreie Bezugsbasis
ar	im Anlieferungszustand
m-%	Massenanteil in Prozent
A	Bezeichnung für den Aschegehalt A_d [m-%, wasserfreie Bezugsbasis] ¹⁾
BD	Bezeichnung für Schüttdichte im Anlieferungszustand [kg/m^3] ¹⁾
D	Bezeichnung für Durchmesser im Anlieferungszustand, D [mm] ¹⁾
DU	Bezeichnung für mechanische Festigkeit im Anlieferungszustand [m-%] ¹⁾
F	Bezeichnung für den Feingutanteil [m-%, Partikel kleiner 3,15 mm] ¹⁾
L	Bezeichnung für die Länge im Anlieferungszustand, L [mm] ¹⁾
M	Bezeichnung für den Wassergehalt im Anlieferungszustand, Bezugsbasis Feuchtmasse, M_{gr} [m-%] ¹⁾
Q	Bezeichnung für den Heizwert im Anlieferungszustand, $q_{p,net,ar}$ bei konstantem Druck [MJ/kg , kWh/kg oder MWh/t] ¹⁾

ANMERKUNG 1 MJ/kg ist gleich 0,277 8 kWh/kg (1 kWh/kg ist gleich 1 MWh/t, und 1 MWh/t ist gleich 3,6 MJ/kg).
1 g/cm³ ist gleich 1 kg/dm³.

1) Symbole zur Bezeichnung werden in Verbindung mit einer Zahl verwendet, um Eigenschaftswerte in Tabelle 1 zu spezifizieren. Zur Bezeichnung von chemischen Eigenschaften werden chemische Symbole, wie z. B. S (Schwefel), Cl (Chlor), N (Stickstoff), verwendet, und der Wert wird am Ende des Symbols hinzugefügt.

6



Legende

- D Durchmesser
- L Länge

Bild 1 — Maße von Pellets

5 Spezifikation von Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung

Die Spezifikation der Holzpellets erfolgt nach Tabelle 1. Die Probenahme und die Bestimmung der Eigenschaften müssen nach den in den normativen Verweisungen angeführten Verfahren durchgeführt werden.

Die Eigenschaftsklassen A1 und A2 stellen erntefrisches Holz und chemisch unbehandelte Holzrückstände dar. A1 enthält Brennstoffe mit geringem Asche- und Stickstoffgehalt, während Klasse A2 einen geringfügig höheren Asche- und Stickstoffgehalt aufweist. Eigenschaftsklasse B umfasst chemisch behandeltes Industrie-Restholz und Gebrauchtholz.

Chemisch behandelte Holzrückstände aus der Holzbearbeitung und Gebrauchtholz gehören in Klasse B, solange sie keine Schwermetalle oder halogenierten organischen Verbindungen im Ergebnis der Behandlung mit Holzschutzmitteln oder der Aufbringung von Beschichtungen enthalten. Im Fall von Rohmaterialien, die zu 1.2.2 und 1.3.2 (chemisch behandeltes Holz) gehören, muss die tatsächliche Herkunft der Rohmaterialien exakter beschrieben werden, z. B. 1.2.2, Rückstände aus der Schichtholzherstellung.

Wenn die festgelegten Eigenschaften aufgrund von Angaben über Herkunft und Handhabung (oder das Herstellungsverfahren in Verbindung mit Erfahrung) hinreichend bekannt sind, dann ist möglicherweise keine physikalische/chemische Analyse notwendig.

Zur Sicherstellung einer angemessenen Nutzung der Ressourcen und einer exakten Deklaration ist die geeignetste der nachstehend angeführten Maßnahmen anzuwenden:

- a) Verwendung typischer Werte, die z. B. in EN 14961-1:2010, Anhang B, aufgeführt sind oder durch Erfahrung gewonnen wurden;
- b) Berechnung von Eigenschaften, z. B. unter Verwendung typischer Werte und Berücksichtigung dokumentierter spezifischer Werte;
- c) Durchführung von Analysen:
 - 1) unter Anwendung vereinfachter Verfahren, falls verfügbar.
 - 2) unter Anwendung von Referenzverfahren.

Die Verantwortung des Herstellers oder Lieferanten für die Bereitstellung korrekter und genauer Angaben ist immer gleich, unabhängig davon, ob Laboranalysen durchgeführt werden oder nicht. Typische Werte befreien den Hersteller oder Lieferanten nicht von der Bereitstellung exakter und zuverlässiger Angaben.

Um sicherzustellen, dass der Endverbraucher Pellets mit einer geringen Menge an Feingut erhält, muss die Menge an Feingut $\leq 1\%$ betragen, wenn die Pellets die End-Ladestelle zur Lieferung an den Endverbraucher, d. h. den letzten Lagerort oder das Werk bei direkter Lieferung an den Endverbraucher, verlassen. Die Menge an Feingut, die das Werkstor verlässt, muss ebenfalls $\leq 1\%$ betragen (es sei denn, es liegt eine andere Vereinbarung zwischen dem Hersteller und dem Kunden vor), auch wenn die Lieferung nicht direkt an den Endverbraucher erfolgt.

DIN EN 14961-2:2011-09
EN 14961-2:2011 (D)

Um die Aufrechterhaltung der Qualität der Pellets sicherzustellen, müssen die Handhabung und die Lagerung (einschließlich der Geräte) auf den unterschiedlichen Stufen der Lieferkette bis hin zur Lagerung beim Endverbraucher geeignet sein.

ANMERKUNG Die Anforderung an das Feingut wurde aufgenommen um sicherzustellen, dass Verwender von Kleingeräten beim Betrieb ihrer Verbrennungsanlage/-einrichtung vor Problemen bei der Handhabung und Verbrennung geschützt sind.

Die Qualität muss entweder in der Produktdeklaration (prEN 15234-2) oder durch ein entsprechendes Etikett auf der Verpackung angegeben werden.

DV.28.J.2013-03-29 NormMaster

Robert Bosch GmbH;

Tabelle 1 — Spezifikation von Holzpellets für nichtindustrielle Verwendung

Eigenschaftsklasse/ Bestimmungsverfahren	Einheit	A1	A2	B
Herkunft und Quelle, EN 14961-1		1.1.3 Stammholz 1.2.1 Chemisch unbehandelte Holzrückstände	1.1.1 Vollbäume ohne Wurzeln 1.1.3 Stammholz 1.1.4 Waldrestholz 1.2.1.5 Rinde (aus Industriellen Prozessen) 1.2.1 Chemisch unbehandelte Holzrückstände	1.1 Wald- und Plantagenholz sowie anderes erntebrisches Holz 1.2 Industrie- Restholz 1.3 Gebrauchtholz
Durchmesser D^a und Länge L^b , prEN 15127 Siehe Bild 1	mm	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08, 8 ± 1 3,15 ≤ L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40
Wassergehalt, M , EN 14774-1, EN 14774-2	Im Anlieferungszustand, m-% Bezugsbasis Feuchtmasse	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
Aschegehalt, A , EN 14775	m-% wasserfrei	A0.7 ≤ 0,7	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3,0
Mechanische Festigkeit, DU , EN 15210-1	Im Anlieferungszustand, m-%	DU97.5 ≥ 97,5	DU97.5 ≥ 97,5	DU96.5 ≥ 96,5
Feingut am Werkstor beim Transport von Schüttgut (zum Zeitpunkt der Verladung) und in kleinen (bis zu 20 kg) und großen Säcken (zum Zeitpunkt des Abpackens oder bei der Lieferung an den Endverbraucher), F , EN 15210-1	m-% im Anlieferungszustand	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0
Additive ^c	m-% wasserfrei	≤ 2 m-% Art und Menge sind anzugeben	≤ 2 m-% Art und Menge sind anzugeben	≤ 2 m-% Art und Menge sind anzugeben
Heizwert, Q , EN 14918	Im Anlieferungszustand, MJ/kg oder kWh/kg	Q16.5, 16,5 ≤ Q ≤ 19 oder Q4.6, 4,6 ≤ Q ≤ 5,3	Q16.3, 16,3 ≤ Q ≤ 19 oder Q4.5, 4,5 ≤ Q ≤ 5,3	Q16.0, 16,0 ≤ Q ≤ 19 oder Q4.4, 4,4 ≤ Q ≤ 5,3
Schüttdichte, BD , EN 15103	kg/m ³	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
Stickstoff, N, EN 15104	m-% wasserfrei	N0.3 ≤ 0,3	N0.5 ≤ 0,5	N1.0 ≤ 1,0
Schwefel, S, EN 15289	m-% wasserfrei	S0.03 ≤ 0,03	S0.03 ≤ 0,03	S0.04 ≤ 0,04
Chlor, Cl, EN 15289	m-% wasserfrei	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.03 ≤ 0,03
Arsen, As, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Cadmium, Cd, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Chrom, Cr, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Kupfer, Cu, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Blei, Pb, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Quecksilber, Hg, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Nickel, Ni, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Zink, Zn, EN 15297	mg/kg wasserfrei	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Informativ: Asche-Schmelzverhalten ^d , prEN 15370	°C	Sollte angegeben werden	Sollte angegeben werden	Sollte angegeben werden

a Anzugebender Ist-Durchmesser der Pellets.
b Die Menge von Pellets, die länger als 40 mm sind, kann 1 % (Massenanteil) betragen. Die maximale Länge muss < 45 mm sein.
c Art der Additive, um die Produktion, Lieferung oder Verbrennung zu unterstützen (z. B. Presshilfen, Verschlackungs-inhibitoren oder andere Additive, wie Stärke, Malzmehl, Kartoffelmehl, pflanzliches Öl, ...). Auch Additive, die nach der Produktion und vor Abladen beim Endverbraucher verwendet werden, müssen in gleicher Weise angegeben werden (Art und Menge).
d Sämtliche charakteristischsten Temperaturen (Temperatur am Beginn der Schrumpfung (SST), Erweichungstemperatur (DT), Halbkugelttemperatur (HT) und Fließtemperatur (FT)) in oxidierten Zuständen sollten angegeben werden.

DIN EN 14961-2:2011-09 NormMasStar

Robert Bosch GmbH

DIN EN 14961-2:2011-09
EN 14961-2:2011 (D)

Anhang A (informativ)

A-Abweichungen

A-Abweichung: Nationale Abweichung, die auf Vorschriften beruht, deren Veränderung zum gegenwärtigen Zeitpunkt außerhalb der Kompetenz des CEN-Mitglieds liegt.

Diese Europäische Norm fällt nicht unter eine EU-Richtlinie.

In den betreffenden CEN-Ländern gelten diese A-Abweichungen anstelle der Festlegungen der Europäischen Norm so lange, bis sie zurückgezogen sind.

DVI2BJ2013-03-29 NormMaster

Frankreich	Nationale Vorschrift
	<p>Rubrique 2910 A de la nomenclature ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement) – Décret n° 2010-419 du 28 avril 2010 modifiant la nomenclature des installations classées</p> <p>Die französische Vorschrift erlaubt nur das Verbrennen von Biomasse im erntefrischen Zustand in Anlagen/ Einrichtungen, die in „Kategorie 2910 A“ der ICPE-Vorschriften (Classified installation for the protection of the environment regulation) festgelegt sind. Sämtliches chemisch behandelte Holz gilt als Abfall und kann nicht ohne besondere Bedingungen und ohne eine Genehmigung von nationalen Behörden verbrannt werden.</p>
Unterabschnitt 1.2 und 1.3	<p>Die Norm lässt die Möglichkeit offen, chemisch behandeltes Holz in „nichtindustriellen Bereich und besonders auf dem Binnenmarkt/durch Hausinhaber bestimmten Markt und im Fall von kleineren gewerblichen Heizkesselanlagen“ zu verbrennen, obwohl sich die Einleitung auf die Notwendigkeit der Stärkung der Sicherheit der Verbraucher konzentriert (d. h. „wo die Empfindlichkeit gegenüber der Brennstoffqualität zu größeren Problemen führen kann“).</p> <p>Nur die Klassen 1.1.1, 1.1.3, 1.1.4, 1.1.6, 1.2.1 und 1.3.1 für Rohmaterial in Tabelle 1 von EN 14961-1 und die Klassen A1 und A2 in Tabelle 1 von EN 14961-2 sind zulässig.</p>
Abschnitt 5 2. Absatz letzter Satz und 3. Absatz	Die französische Vorschrift untersagt das Verbrennen von Produkten der Klasse B, wie in den beiden Absätzen festgelegt.
Tabelle 1 Produkte der Klasse B	Die französische Vorschrift untersagt das Verbrennen von Produkten der Klasse B, wie in der 6. Spalte festgelegt.

Robert Bosch GmbH;

<u>Italien</u>	<u>Nationale Verordnung</u>
<p>EN 14961-2 steht im Widerspruch zum italienischen Gesetz, das hinsichtlich der zulässigen Biomassen, die für die Energiegewinnung zu verwenden sind, strengere Grenzen hat, deshalb ist es notwendig die folgende Abweichung einzubeziehen.</p> <p>Abschnitt 1 — Anwendungsbereich</p> <p>Diese Europäische Norm legt die qualitätsbezogenen Brennstoffklassen und -spezifikationen für Holzpellets für nicht-industrielle Verwendung fest. Die vorliegende Europäische Norm umfasst nur Holzpellets, die aus den folgenden Rohmaterialien hergestellt werden (siehe EN 14961-1:2010, Tabelle 1):</p> <p>1.1 Wald- und Plantagenholz sowie anderes erntefrisches Holz</p> <p>1.2.1 Industrie-Restholz — Chemisch unbehandelte Holzrückstände</p> <p>1.3.1 Gebrauchsholz — Chemisch unbehandeltes Holz</p> <p>ANMERKUNG Um keine Zweifel aufkommen zu lassen, wurde sowohl chemisch behandelte Biomasse als auch Abbruchholz nicht in den Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm aufgenommen. Abbruchholz ist „Gebrauchsholz, das aus dem Abriss von Gebäuden oder sonstigen Bauwerken stammt“ (EN 14588).</p> <p>Abschnitt 5 — Spezifikation von Holzpellets für nicht-industrielle Verwendung</p> <p>Der 2. Absatz wird wie folgt modifiziert, wobei der letzte Satz gestrichen wird:</p> <p>Die Eigenschaftsklassen A1 und A2 stellen erntefrisches Holz und chemisch unbehandelte Holzrückstände dar. A1 repräsentiert Brennstoffe mit geringem Asche-, Stickstoff- und Chlorgehalt sowie mit geringem Schmelzverhalten der Asche, während Klasse A2 einen geringfügig höheren Asche-, Stickstoff-, Chlorgehalt und ein geringfügig höheres Schmelzverhalten der Asche aufweist. Eigenschaftsklasse B umfasst chemisch behandeltes Industrie-Restholz und Gebrauchsholz.</p> <p>Der 3. Absatz wird gestrichen:</p> <p>Chemisch behandelte Holzrückstände aus der Holzbearbeitung und Gebrauchsholz gehören in Klasse B, solange sie keine Schwermetalle oder halogenierten organischen Verbindungen im Ergebnis der Behandlung mit Holzschutzmitteln oder der Aufbringung von Beschichtungen enthalten. Im Fall von Rohmaterialien, die zu 1.2.2 und 1.3.2 (chemisch behandeltes Holz) gehören, muss die tatsächliche Herkunft der Rohmaterialien exakter beschrieben werden, z. B. 1.2.2, Rückstände aus der Schichtholzherstellung.</p> <p>Tabelle 1 – 2. Reihe, 6. Spalte (Klasse B)</p> <p>Herkunft und Quelle müssen mit dem Anwendungsbereich vereinbar sein, wie in dieser Abweichung festgelegt.</p>	<p>Decreto legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 „Norme in materia ambientale“ (G.U. Serie generale n. 88 – 14/4/2006)</p> <p>(Gesetzesvertretendes Dekret Nr. 152 vom 3. April 2006 — „Regulation on environmental matter“ — G.U. General Nr. 88 — 14/4/2006)</p> <p>Parte 5, Allegato X, Parte 2, Sezione 4</p> <p>(Teil 5, Anhang X, Teil 2, Abschnitt 4)</p> <p>Hinsichtlich der Biomassen und der betreffenden Behandlungen zur Energiegewinnung erlaubt die Verordnung nur die Verwendung von:</p> <p>1. Typologie und Herkunft</p> <p>Pflanzliches Material aus der Forstwirtschaft, der Waldpflege und Baumschnitt (vorwiegend zusammengestellt aus der Klasse 1.1 in EN 14961-1);</p> <p>Pflanzliches Material, hergestellt ausschließlich durch mechanische Prozesse: aus unbehandeltem Holz hergestellte Rinde, Sägespäne, Hackschnittel, ... (Auslassung), nicht mit Schadstoffen kontaminiert (vorwiegend zusammengestellt aus der Klasse 1.2.1 in EN 14961-1).</p>

DWZBJ 2013-03-29 NormMaStar

Robert Bosch GmbH

DIN EN 14961-2:2011-09
EN 14961-2:2011 (D)

Literaturhinweise

- [1] EN 303-5, Heizkessel — Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe, hand- und automatisch beschickte Feuerungen, Nenn-Wärmeleistung bis 300 kW — Begriffe, Anforderungen, Prüfungen und Kennzeichnung
- [2] prEN 14778, Feste Biobrennstoffe — Probenahme
- [3] prEN 14780, Feste Biobrennstoffe — Probenherstellung
- [4] EN 14785, Raumheizer zur Verfeuerung von Holzpellets — Anforderungen und Prüfverfahren
- [5] EN 15105, Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des wasserlöslichen Gehaltes an Chlorid, Natrium und Kalium
- [6] EN 15234-1, Feste Biobrennstoffe — Qualitätssicherung von Brennstoffen — Teil 2: Allgemeine Anforderungen
- [7] EN 15270, Pelletbrenner für kleine Heizkessel — Definitionen, Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung
- [8] prEN 15234-2, Feste Biobrennstoffe — Qualitätssicherung von Brennstoffen — Teil 2: Holzpellets für nichtindustrielle Anwendung
- [9] prEN 15370, Feste Biobrennstoffe — Bestimmung des Schmelzverhaltens der Asche

DW28BJ 2013-03-29 NormMasStar

Robert Bosch GmbH

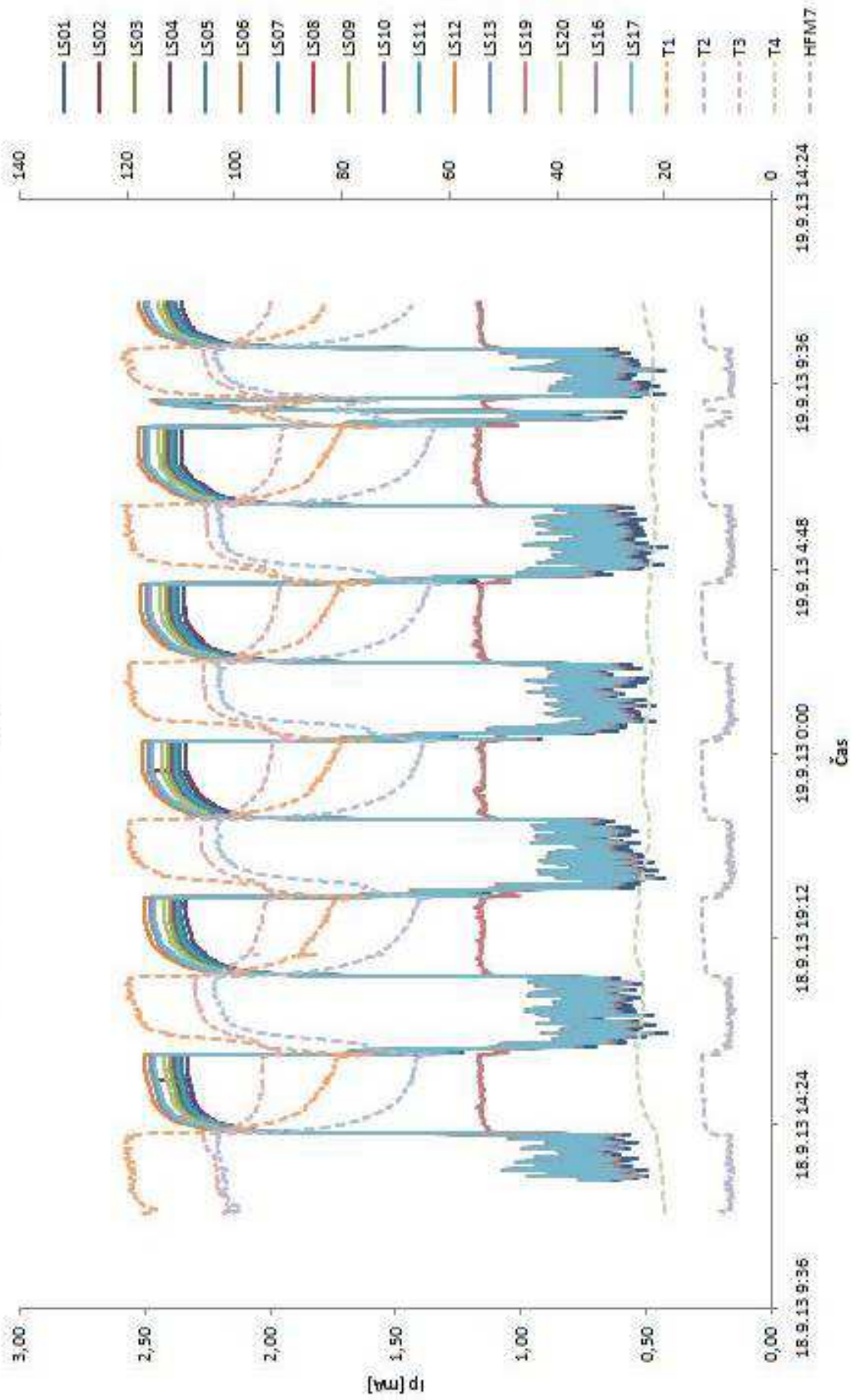
Příloha č. 3:

Tabulka naměřených hodnot Ip																	
Date and Time	LS01	LS02	LS03	LS04	LS05	LS06	LS07	LS08	LS09	LS10	LS11	LS12	LS13	LS19	LS20	LS16	LS17
18.9.13 17:55	0,73	0,81	0,80	0,76	0,77	0,80	0,79	0,78	0,80	0,78	0,78	0,83	0,83	0,79	0,81	0,82	0,82
18.9.13 17:56	0,69	0,76	0,74	0,70	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,76	0,76	0,73	0,75	0,76	0,76
18.9.13 17:57	0,83	0,91	0,89	0,85	0,86	0,90	0,88	0,88	0,89	0,87	0,87	0,93	0,92	0,89	0,90	0,92	0,91
18.9.13 17:58	0,85	0,93	0,90	0,86	0,88	0,91	0,89	0,89	0,90	0,89	0,89	0,94	0,93	0,90	0,92	0,93	0,93
18.9.13 17:59	0,64	0,73	0,71	0,68	0,69	0,72	0,70	0,70	0,71	0,70	0,70	0,74	0,74	0,71	0,72	0,73	0,73
18.9.13 18:00	0,64	0,72	0,70	0,66	0,68	0,70	0,69	0,69	0,70	0,69	0,68	0,72	0,72	0,69	0,71	0,72	0,72
18.9.13 18:01	0,69	0,77	0,76	0,72	0,73	0,76	0,74	0,74	0,75	0,74	0,74	0,78	0,78	0,75	0,77	0,78	0,77
18.9.13 18:02	0,52	0,59	0,58	0,54	0,56	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56	0,59	0,59	0,57	0,59	0,59	0,59
18.9.13 18:03	0,83	0,91	0,88	0,84	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88	0,87	0,86	0,91	0,91	0,88	0,90	0,91	0,90
18.9.13 18:04	0,90	0,96	0,94	0,89	0,91	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,91	0,96	0,96	0,91	0,95	0,97	0,96
18.9.13 18:05	0,82	0,92	0,90	0,87	0,88	0,92	0,89	0,89	0,90	0,88	0,89	0,96	0,95	0,89	0,91	0,93	0,93
18.9.13 18:06	0,69	0,76	0,75	0,71	0,72	0,75	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,77	0,77	0,74	0,76	0,77	0,76
18.9.13 18:07	0,67	0,75	0,73	0,70	0,71	0,73	0,73	0,72	0,73	0,72	0,72	0,76	0,76	0,73	0,75	0,76	0,75
18.9.13 18:08	0,62	0,70	0,69	0,65	0,66	0,69	0,68	0,67	0,68	0,67	0,67	0,71	0,71	0,68	0,70	0,71	0,70
18.9.13 18:09	0,61	0,68	0,66	0,63	0,64	0,66	0,65	0,65	0,66	0,65	0,64	0,68	0,68	0,65	0,67	0,68	0,68
18.9.13 18:10	0,84	0,91	0,89	0,85	0,87	0,88	0,88	0,88	0,89	0,87	0,87	0,92	0,92	0,89	0,90	0,92	0,91
18.9.13 18:11	0,70	0,79	0,77	0,73	0,75	0,78	0,76	0,76	0,77	0,75	0,76	0,81	0,80	0,77	0,78	0,79	0,79
18.9.13 18:12	0,95	1,01	0,98	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	1,00	1,00	0,94	1,00	1,01	1,00
18.9.13 18:13	1,45	1,52	1,48	1,43	1,45	1,46	1,47	1,47	1,48	1,46	1,45	1,53	1,52	1,07	1,50	1,53	1,52
18.9.13 18:14	1,73	1,80	1,74	1,69	1,71	1,72	1,73	1,73	1,74	1,72	1,71	1,80	1,79	1,10	1,77	1,80	1,79
18.9.13 18:15	1,87	1,95	1,89	1,84	1,86	1,88	1,87	1,89	1,89	1,87	1,87	1,97	1,96	1,12	1,92	1,95	1,95
18.9.13 18:16	1,95	2,04	1,98	1,92	1,94	1,96	1,95	1,97	1,98	1,96	1,95	2,06	2,04	1,13	2,00	2,04	2,03
18.9.13 18:17	2,01	2,10	2,04	1,98	2,00	2,02	2,01	2,03	2,04	2,01	2,01	2,12	2,10	1,14	2,06	2,10	2,09
18.9.13 18:18	2,05	2,14	2,08	2,02	2,04	2,06	2,05	2,07	2,08	2,05	2,05	2,16	2,15	1,13	2,10	2,14	2,13
18.9.13 18:19	2,09	2,17	2,11	2,05	2,07	2,10	2,09	2,10	2,11	2,09	2,08	2,19	2,18	1,14	2,13	2,17	2,17
18.9.13 18:20	2,12	2,20	2,14	2,08	2,10	2,13	2,12	2,13	2,14	2,12	2,11	2,23	2,21	1,15	2,16	2,21	2,20
18.9.13 18:21	2,14	2,23	2,16	2,10	2,12	2,15	2,14	2,15	2,16	2,14	2,13	2,25	2,23	1,14	2,19	2,23	2,22
18.9.13 18:22	2,13	2,23	2,17	2,11	2,13	2,16	2,14	2,16	2,17	2,14	2,14	2,26	2,24	1,14	2,19	2,23	2,23
18.9.13 18:23	2,13	2,24	2,17	2,11	2,13	2,16	2,15	2,16	2,17	2,15	2,14	2,26	2,25	1,15	2,20	2,24	2,23
18.9.13 18:24	2,15	2,26	2,19	2,13	2,15	2,18	2,16	2,18	2,19	2,17	2,16	2,28	2,26	1,14	2,21	2,26	2,25
18.9.13 18:25	2,17	2,27	2,20	2,14	2,16	2,19	2,18	2,19	2,20	2,18	2,17	2,29	2,28	1,15	2,22	2,27	2,26
18.9.13 18:26	2,18	2,28	2,21	2,15	2,17	2,20	2,19	2,20	2,21	2,19	2,18	2,30	2,29	1,16	2,24	2,28	2,27
18.9.13 18:27	2,19	2,29	2,22	2,16	2,18	2,21	2,20	2,22	2,22	2,20	2,19	2,31	2,30	1,15	2,25	2,29	2,28
18.9.13 18:28	2,20	2,30	2,23	2,17	2,20	2,23	2,21	2,23	2,24	2,21	2,21	2,33	2,31	1,15	2,26	2,30	2,30
18.9.13 18:29	2,20	2,30	2,23	2,17	2,19	2,22	2,20	2,22	2,23	2,21	2,20	2,32	2,31	1,16	2,25	2,30	2,29
18.9.13 18:30	2,21	2,31	2,24	2,18	2,20	2,23	2,22	2,24	2,24	2,22	2,21	2,34	2,32	1,16	2,27	2,31	2,31
18.9.13 18:31	2,22	2,32	2,25	2,19	2,21	2,24	2,22	2,24	2,25	2,23	2,22	2,34	2,33	1,15	2,27	2,32	2,31
18.9.13 18:32	2,23	2,32	2,26	2,20	2,22	2,25	2,23	2,25	2,26	2,23	2,23	2,35	2,33	1,15	2,28	2,33	2,32
18.9.13 18:33	2,24	2,33	2,26	2,20	2,22	2,25	2,24	2,26	2,26	2,24	2,24	2,36	2,34	1,17	2,29	2,33	2,33
18.9.13 18:34	2,25	2,34	2,27	2,21	2,23	2,26	2,25	2,26	2,27	2,25	2,24	2,37	2,35	1,16	2,30	2,34	2,33
18.9.13 18:35	2,25	2,34	2,27	2,21	2,23	2,26	2,24	2,26	2,27	2,25	2,24	2,36	2,35	1,16	2,29	2,34	2,33
18.9.13 18:36	2,25	2,34	2,27	2,21	2,24	2,27	2,25	2,27	2,28	2,25	2,25	2,37	2,35	1,16	2,30	2,35	2,34
18.9.13 18:37	2,26	2,35	2,28	2,22	2,24	2,27	2,26	2,28	2,28	2,26	2,25	2,38	2,36	1,16	2,31	2,35	2,35
18.9.13 18:38	2,26	2,36	2,29	2,23	2,25	2,28	2,26	2,28	2,29	2,27	2,26	2,38	2,37	1,17	2,31	2,36	2,35
18.9.13 18:39	2,27	2,36	2,29	2,23	2,25	2,28	2,27	2,29	2,29	2,27	2,26	2,39	2,37	1,16	2,32	2,36	2,36
18.9.13 18:40	2,28	2,37	2,30	2,24	2,26	2,29	2,27	2,29	2,30	2,28	2,27	2,39	2,38	1,17	2,32	2,37	2,36

Tabulka naměřených hodnot O₂

Date and Time	LS01	LS02	LS03	LS04	LS05	LS06	LS07	LS08	LS09	LS10	LS11	LS12	LS13	LS19	LS20	LS16	LS17
18.9.13 17:55	6,81%	7,52%	7,38%	7,09%	7,19%	7,44%	7,29%	7,28%	7,37%	7,25%	7,25%	7,68%	7,64%	7,35%	7,48%	7,59%	7,54%
18.9.13 17:56	6,56%	7,07%	6,92%	6,60%	6,73%	6,83%	6,87%	6,85%	6,87%	6,81%	6,75%	7,06%	7,05%	6,86%	7,03%	7,10%	7,06%
18.9.13 17:57	7,61%	8,29%	8,13%	7,81%	7,91%	8,18%	8,01%	8,03%	8,11%	7,98%	7,99%	8,44%	8,39%	8,09%	8,23%	8,34%	8,29%
18.9.13 17:58	7,78%	8,41%	8,23%	7,91%	8,02%	8,25%	8,13%	8,15%	8,21%	8,10%	8,08%	8,51%	8,46%	8,20%	8,34%	8,45%	8,40%
18.9.13 17:59	6,12%	6,81%	6,71%	6,41%	6,51%	6,78%	6,62%	6,59%	6,68%	6,57%	6,57%	6,96%	6,93%	6,66%	6,78%	6,87%	6,84%
18.9.13 18:00	6,10%	6,72%	6,60%	6,30%	6,40%	6,62%	6,53%	6,51%	6,57%	6,48%	6,45%	6,80%	6,78%	6,54%	6,69%	6,76%	6,72%
18.9.13 18:01	6,53%	7,17%	7,04%	6,74%	6,84%	7,06%	6,96%	6,95%	7,01%	6,91%	6,90%	7,28%	7,24%	7,00%	7,13%	7,22%	7,17%
18.9.13 18:02	5,16%	5,72%	5,64%	5,34%	5,44%	5,65%	5,57%	5,55%	5,59%	5,52%	5,47%	5,74%	5,74%	5,55%	5,68%	5,74%	5,71%
18.9.13 18:03	7,68%	8,25%	8,07%	7,73%	7,85%	8,00%	7,99%	7,98%	8,04%	7,94%	7,89%	8,28%	8,26%	8,01%	8,18%	8,28%	8,23%
18.9.13 18:04	8,20%	8,71%	8,49%	8,16%	8,29%	8,42%	8,43%	8,44%	8,46%	8,39%	8,31%	8,69%	8,66%	8,30%	8,62%	8,73%	8,67%
18.9.13 18:05	7,54%	8,36%	8,23%	7,92%	8,02%	8,38%	8,08%	8,09%	8,23%	8,07%	8,12%	8,64%	8,57%	8,11%	8,31%	8,44%	8,42%
18.9.13 18:06	6,49%	7,09%	6,97%	6,65%	6,76%	6,97%	6,88%	6,88%	6,94%	6,84%	6,81%	7,17%	7,13%	6,91%	7,05%	7,13%	7,09%
18.9.13 18:07	6,36%	7,01%	6,87%	6,58%	6,69%	6,87%	6,81%	6,78%	6,84%	6,75%	6,73%	7,09%	7,06%	6,83%	6,97%	7,06%	7,02%
18.9.13 18:08	5,94%	6,60%	6,49%	6,19%	6,31%	6,50%	6,42%	6,39%	6,45%	6,37%	6,35%	6,70%	6,68%	6,44%	6,58%	6,65%	6,62%
18.9.13 18:09	5,86%	6,42%	6,31%	6,00%	6,11%	6,31%	6,24%	6,22%	6,27%	6,18%	6,14%	6,46%	6,43%	6,24%	6,38%	6,45%	6,40%
18.9.13 18:10	7,71%	8,30%	8,12%	7,79%	7,92%	8,07%	8,04%	8,04%	8,09%	8,00%	7,96%	8,35%	8,32%	8,08%	8,23%	8,34%	8,30%
18.9.13 18:11	6,56%	7,29%	7,18%	6,87%	6,97%	7,28%	7,06%	7,06%	7,16%	7,03%	7,05%	7,48%	7,43%	7,13%	7,25%	7,35%	7,31%
18.9.13 18:12	8,61%	9,07%	8,83%	8,47%	8,61%	8,67%	8,76%	8,78%	8,78%	8,73%	8,63%	8,99%	8,98%	8,54%	8,96%	9,07%	9,02%
18.9.13 18:13	12,61%	13,18%	12,83%	12,44%	12,58%	12,68%	12,73%	12,76%	12,80%	12,70%	12,64%	13,24%	13,17%	9,60%	13,02%	13,21%	13,15%
18.9.13 18:14	14,81%	15,38%	14,93%	14,50%	14,65%	14,75%	14,81%	14,87%	14,91%	14,79%	14,71%	15,42%	15,34%	9,83%	15,13%	15,39%	15,31%
18.9.13 18:15	15,95%	16,62%	16,16%	15,72%	15,86%	16,05%	15,99%	16,08%	16,15%	15,99%	15,94%	16,76%	16,65%	9,98%	16,34%	16,64%	16,57%
18.9.13 18:16	16,61%	17,29%	16,81%	16,36%	16,51%	16,71%	16,64%	16,73%	16,81%	16,64%	16,60%	17,45%	17,33%	10,01%	16,99%	17,30%	17,24%
18.9.13 18:17	17,08%	17,77%	17,28%	16,83%	16,98%	17,20%	17,11%	17,21%	17,28%	17,11%	17,07%	17,95%	17,83%	10,09%	17,47%	17,79%	17,73%
18.9.13 18:18	17,41%	18,11%	17,61%	17,14%	17,30%	17,52%	17,43%	17,53%	17,61%	17,43%	17,39%	18,28%	18,16%	10,07%	17,79%	18,12%	18,06%
18.9.13 18:19	17,68%	18,37%	17,87%	17,41%	17,56%	17,78%	17,68%	17,80%	17,87%	17,70%	17,65%	18,56%	18,43%	10,11%	18,06%	18,39%	18,33%
18.9.13 18:20	17,95%	18,64%	18,12%	17,66%	17,82%	18,05%	17,94%	18,06%	18,13%	17,96%	17,90%	18,82%	18,71%	10,22%	18,31%	18,65%	18,60%
18.9.13 18:21	18,12%	18,81%	18,28%	17,82%	17,98%	18,21%	18,10%	18,21%	18,29%	18,12%	18,06%	19,00%	18,87%	10,13%	18,48%	18,82%	18,77%
18.9.13 18:22	18,02%	18,85%	18,32%	17,85%	18,02%	18,26%	18,12%	18,25%	18,33%	18,15%	18,10%	19,05%	18,92%	10,15%	18,51%	18,86%	18,81%
18.9.13 18:23	18,06%	18,90%	18,37%	17,90%	18,06%	18,31%	18,17%	18,31%	18,37%	18,20%	18,15%	19,09%	18,97%	10,16%	18,56%	18,91%	18,86%
18.9.13 18:24	18,22%	19,04%	18,50%	18,02%	18,19%	18,43%	18,31%	18,43%	18,51%	18,33%	18,28%	19,22%	19,09%	10,15%	18,69%	19,04%	18,99%
18.9.13 18:25	18,33%	19,14%	18,60%	18,12%	18,29%	18,53%	18,40%	18,54%	18,61%	18,43%	18,37%	19,33%	19,20%	10,20%	18,79%	19,15%	19,09%
18.9.13 18:26	18,45%	19,23%	18,69%	18,21%	18,38%	18,62%	18,50%	18,62%	18,70%	18,52%	18,46%	19,42%	19,29%	10,24%	18,89%	19,24%	19,19%
18.9.13 18:27	18,53%	19,33%	18,78%	18,31%	18,47%	18,72%	18,59%	18,72%	18,79%	18,61%	18,56%	19,52%	19,39%	10,23%	18,98%	19,34%	19,28%
18.9.13 18:28	18,63%	19,42%	18,87%	18,40%	18,56%	18,81%	18,67%	18,81%	18,88%	18,70%	18,65%	19,61%	19,48%	10,22%	19,07%	19,42%	19,37%
18.9.13 18:29	18,58%	19,37%	18,82%	18,35%	18,52%	18,76%	18,62%	18,77%	18,84%	18,65%	18,60%	19,57%	19,44%	10,24%	19,02%	19,38%	19,32%
18.9.13 18:30	18,72%	19,50%	18,94%	18,46%	18,63%	18,87%	18,75%	18,88%	18,95%	18,77%	18,72%	19,69%	19,56%	10,24%	19,14%	19,50%	19,44%
18.9.13 18:31	18,78%	19,54%	18,98%	18,51%	18,68%	18,92%	18,79%	18,93%	19,00%	18,81%	18,76%	19,73%	19,60%	10,24%	19,19%	19,55%	19,49%
18.9.13 18:32	18,83%	19,60%	19,04%	18,56%	18,74%	18,98%	18,84%	18,99%	19,06%	18,87%	18,82%	19,79%	19,67%	10,24%	19,25%	19,61%	19,55%
18.9.13 18:33	18,90%	19,66%	19,10%	18,62%	18,80%	19,03%	18,91%	19,05%	19,12%	18,94%	18,88%	19,85%	19,73%	10,33%	19,31%	19,67%	19,61%
18.9.13 18:34	18,97%	19,72%	19,16%	18,69%	18,86%	19,10%	18,97%	19,11%	19,17%	19,00%	18,94%	19,92%	19,79%	10,24%	19,37%	19,73%	19,67%
18.9.13 18:35	18,97%	19,71%	19,16%	18,68%	18,84%	19,09%	18,95%	19,10%	19,17%	18,99%	18,93%	19,91%	19,78%	10,26%	19,35%	19,72%	19,66%
18.9.13 18:36	19,00%	19,76%	19,19%	18,72%	18,89%	19,13%	19,00%	19,14%	19,21%	19,03%	18,97%	19,96%	19,83%	10,27%	19,40%	19,76%	19,71%
18.9.13 18:37	19,08%	19,82%	19,25%	18,77%	18,94%	19,19%	19,06%	19,20%	19,27%	19,09%	19,03%	20,02%	19,88%	10,28%	19,46%	19,83%	19,76%
18.9.13 18:38	19,12%	19,85%	19,29%	18,81%	18,98%	19,22%	19,09%	19,24%	19,31%	19,13%	19,06%	20,06%	19,92%	10,32%	19,50%	19,87%	19,81%
18.9.13 18:39	19,17%	19,91%	19,35%	18,86%	19,03%	19,27%	19,14%	19,29%	19,35%	19,17%	19,12%	20,11%	19,98%	10,31%	19,55%	19,91%	19,85%
18.9.13 18:40	19,22%	19,94%	19,38%	18,90%	19,07%	19,31%	19,19%	19,33%	19,40%	19,22%	19,16%	20,15%	20,02%	10,32%	19,59%	19,96%	19,90%

Naměřené hodnoty Ip - Taktbetrieb3-2013



příloha č.4:



Věc: Udělení výjimky ve věci zveřejnění bakalářské práce

Vážený studente p. Jakube Hrbku, E10B0160P

s dovoláním na zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, Vám uděluji výjimku, týkající se Směrnice rektora č. 24/2006 – Zveřejňování kvalifikačních prací včetně Dodatku č.2.

Univerzitní knihovně bude předána Vaše bakalářská práce na téma **Použití lambda sond BOSCH pro analýzu koncentrace O₂ ve spalinách peletkového kotle**, včetně všech dalších náležitostí a knihovnou bude zaručeno, že práce nebude půjčována. Též elektronická verze práce nebude zpřístupněna.

S pozdravem

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta elektrotechnická
děkan

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.d.
děkan FEL ZČU

V Plzni dne 31-03-2014

Adresa ZČU: Univerzitní 8, 306 14 Plzeň
ZČU zřízena zvl. zák. č. 314/1991 Sb.
Adresa pracoviště: Univerzitní 26

IČ: 49777513
DIČ: CZ 49777513

Telefon / fax :
E-mail :