



# Ekologiczne pelety z węgla brunatnego i biomasy

## Ecological pellets from brown coal and biomass

Pavel SEDLÁČEK<sup>1)</sup>, Tomáš MARTINEK<sup>2)</sup>, Peter FEČKO<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Ing.; VÚHU, a.s., Budovatelů 2830, Most 434 37, sedlacek@vuhu.cz

<sup>2)</sup> Ing.; VÚHU, a.s., Budovatelů 2830, Most 434 37

<sup>3)</sup> Prof. Ing.; VŠB – TU Ostrava, tř. 17. listopadu, Ostrava Poruba 708 32, peter.fecko@vsb.cz

RECENZENCI: Prof. dr. Gülhan ÖZBAYOGLU; dr inż. Zofia BLASCHKE

### Streszczenie

Jedną z możliwości bezpiecznego wprowadzenia odnawialnych źródeł energii w Republice Czeskiej jest zastosowanie wybranych rodzajów biomasy jako dodatku do produkcji pelet z węgla brunatnego. Przed procesem peletyzacji biomasa jest poddawana wstępnej przeróbce (suszenie, kruszenie). Biomasa może być traktowana jako dodatek obniżający zawartość siarki w peletach. Możliwość wytwarzania pelet z węgla brunatnego z dodatkiem biomasy była weryfikowana w ciągu ubiegłych kilku lat. Zmieszanie węgla z odpowiednimi substancjami obniżającymi zawartość siarki i produkcja, na bazie węgla brunatnego, nowego rodzaju paliwa, spełniającego wymogi ograniczenia (w szczególności SO<sub>2</sub>) w trakcie spalania, w specjalnych kotłach, pozwala na optymalne wykorzystanie wartości energetycznej węgla brunatnego.

Niektóre rodzaje materiału roślinnego (biomasy) mogą być komponentem paliwa produkowanego w procesie peletyzacji. Pelety wytworzone z węgla brunatnego pochodzącego z Kopalni Most (Mostecká Uhelná Společnost) w Republice Czeskiej z dodatkiem masy drzewnej oraz odpadów drewnianych (na bazie trocin i wiórów) i z dodatkiem słomy gorczycowej) były badane w minionych latach. Doświadczenia, których celem była weryfikacja możliwości produkcji pelet z dodatkiem różnego rodzaju biomasy pokazały możliwość wyprodukowania ekologicznego paliwa z wykorzystaniem biomasy jako dodatku do węgla brunatnego. Paliwo takie może być konkurencyjne dla spalania czystego węgla.

### Summary

One of the possibilities for securing the development of exerting recoverable sources of energy in the Czech Republic is to breed suitable types of biomass, which may be added into a pelletizing mixture after treatment (drying, crushing) in order to produce coal pellets with the admixture of biomass and a desulphurizing additive. Possibilities to pelletize brown coal with the admixture of an additive and, if need be, biomass were being verified in the past years. By adding a suitable desulphurizing additive into a coal mixture and by its converting into the shape of pellets having suitable dimensions, there is being produced a new type of an additived brown-coal fuel, which may be combusted in specific combustion facilities under a lower production of injurants, especially SO<sub>2</sub>, provided that optimum conditions have been met.

A certain share of a floral material, biomass, may be the next component of a fuel produced by the pelletization technology. Coal pellets made of the coal originating from the Most Brown-coal Mining District enriched with de-fibered wooden mass and wooden waste having (on a basis of sawdust with an admixture of shavings) and also with an addition of mustard straw) were being prepared in the past years. Tests executed in order to practically verify the production of pellets by using various types of biomass proved the reality of using biomass as a component of coal pellets and the fact that such pellets represented a new type of ecological fuel in comparison with the combustion of pure coal.

## 1. Wprowadzenie

W czasie weryfikacji możliwości produkcji ekologicznych pelet na bazie węgla brunatnego i biomasy dążono do wykorzystania węgla drobnouziarnionego i materiału roślinnego wysokiej jakości rosnącego naturalnie i nie posiadającego aktualnie nabywcy. Materiałem do badań był węgiel pochodzący z wybranej kopalni Most (Mostecká Uhelná Společnost) w Republice Czeskiej — Miał surowy (o uziarnieniu 0–10 mm), oraz Orzech 2 (uziarnienie 10–20 mm).

Drugim celem było zweryfikowanie czy nowy produkt spełnia wymagania odnośnie ograniczenia emisji zgodnie z legislacją czeską (Decree of the Environmental Department No. 117/97 Coll.). Nisko zapopielony, wysoko kaloryczny węgiel brunatny jest wydobywany w kopalni odkrywkowej *Československá Armada*. Do produkcji pelet może być

## 1. Introduction

When verifying a possibility to produce mixed ecological pellets on a basis of brown coal and biomass, there was the endeavor to utilize naturally risen top-quality fine-grained fractions, which become non-saleable as time goes by, the primary reason. The matter in question is mainly a final sort of brown coal from Most — rough powder 1 (granularity of 0–10 mm), but also a rougher sort – nut 2 (granularity of 10–20 mm).

Next aim of verifying the production of this new product is the observance of emission limits assessed by the Decree of the Environmental Department No. 117/97 Coll., so as it fulfills legislative ecological requirements. Low-ash high-calorific sorts of coal exploited at the opencast mine of *Československá armáda*, which are suitable as input coal for the production of pellets, show the

wykorzystany węgiel o zawartości siarki  $S^d = 1,2 - 2,0\%$ . Bezpośrednie spalanie węgla o tak wysokiej zawartości siarki powoduje znaczą emisję  $SO_2$  — wynosi ona około  $3500 - 5000 \text{ mg/m}^3$ . Selektywna eksploatacja węgla o niższej zawartości siarki jest w warunkach kopalni *Československá Armáda* niemożliwa. Jedynym rozwiązaniem jest redukcja emisji  $SO_2$  w procesie spalania poprzez produkcję z węgla ekologicznych pelet z odpowiednimi dodatkami, obniżającymi zawartość siarki w spalinach.

Dodatek biomasy pozwoli na efektywne obniżenie zawartości siarki w peletach, jednocześnie poprawiając bilans  $CO_2$ . Sprawdzono jednocześnie, że dodatek substancji obniżającej zawartość siarki do produkcji pelet z drobnych frakcji węgla brunatnego powoduje, że emisja  $SO_2$  ze spalania pelet jest niższa niż emisja ze spalania węgla brunatnego sortymentu — Orzech 2 (wielkość ziaren 10–20 mm).

## 2. Ograniczenie emisji

Producenci węgla brunatnego usiłują opracować taki sposób jego przeróbki, który umożliwi ograniczenie emisji gazów w trakcie spalania u odbiorcy. Praktycznie odbywa się to poprzez wzbogacenie węgla przez dodatek substancji, które redukują część tlenków siarki. Proces spalania pelet jest zaliczany do niskich lub średnich źródeł emisji zanieczyszczeń gazowych. Spalanie pelet z węgla brunatnego nie powoduje przekroczenia dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń gazowych i może być zaliczone do ekologicznych sposobów spalania.

Na rysunku 1 przedstawiono obliczenia teoretycznych wielkości emisji  $SO_2$  dla Kopalń Węgla Brunatnego w Moście (Mosteckie Hněde Uhli). Mimo, że nie ma oszacowania wielkości emisji dla małych źródeł ze względu na małą skalę zanieczyszczeń, zmniejszenie emisji ma znaczenie ze względu na dużą ilość tych źródeł.

### **Biomasa**

Rośliny hodowane w innych celach niż dla przemysłu spożywczego lub na pasze nazywane są roślinami przemysłowymi. Rośliny hodowane w celu pozyskania energii nazywane są roślinami energetycznymi. Rola roślin energetycznych znacząco rośnie w związku z tendencją do ekologizacji przemysłu i rolnictwa.

Ogólnie biopaliwa można podzielić na stałe, ciekłe i gazowe. Biopaliwa, które mogą występować jako faza stała (materiały rozdrobnione, materiały sprasowane, brykiety, pelety etc), faza ciekła (olej roślinny, bio-olej, bio-etanol), faza gazowa (biogazy) powstają jako efekt hodowli roślin.

1.2 – 2.0% share of as-received sulphur ( $S^d$ ). By combusting a fuel with this sulphur content in non-ecologized heat consumers, there are being reached gaseous emissions of  $SO_2$  in combustion waste products in the amount of  $3500 - 5000 \text{ mg/m}^3$ . Selective exploitation of coal with a lower sulphur content under the conditions of the opencast mine of *Československá armáda* is not real. The only solution to reduce gaseous emissions of  $SO_2$  in combustion waste products is the selection of suitable additive pellets when these are being produced.

The addition of biomass will further reduce the sulphur content in pellets upon simultaneous improving the  $CO_2$  balance. There was also verified that an added desulphurization admixture used in the production of pellets from relatively fine fractions worked much more effectively as for the reduction of the  $SO_2$  emissions upon the combustion of pellets than upon the combustion of coal grains of nut 2 (size of grains: 10–20 mm) wrapped by a similar amount of a desulphurization admixture.

## 2. Emission limits

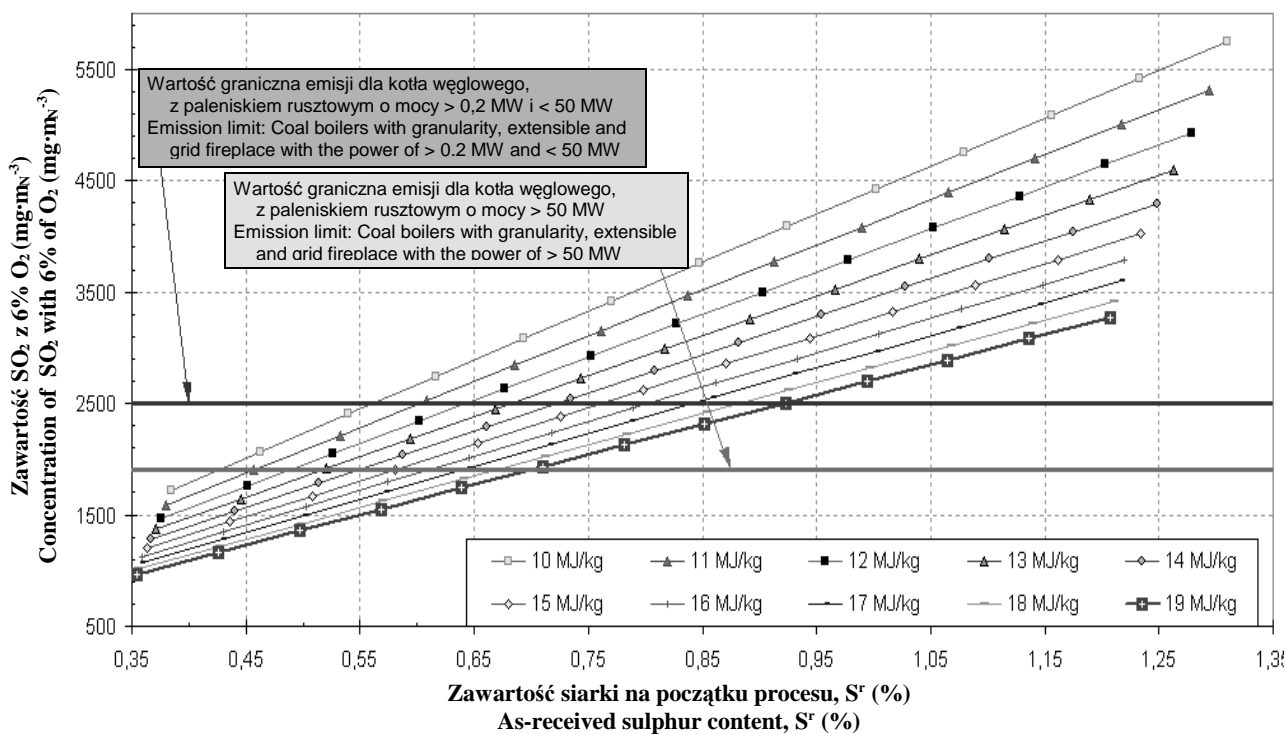
Brown coal producers endeavor to reach such a technological treatment, which allows to observe emission limits upon subsequent combusting at a customer. Practically, it represents to enrich coal with an addition of suitable substances (additives) fixing a part of rising oxides of sulphur prior to expedition. The combustion of pellets is supposed at small and medium sources of pollution. No emission limits are assessed for small sources. If emission limits are extended also to small sources, brown-coal pellets will keep these limits and thus be an ecological fuel for these facilities.

Fig. 1 shows a theoretical calculation of  $SO_2$  emissions for MHU (brown-coal from Most). Despite no assessment of emission limits for small sources in the field of small-scale consumption, the impact of reducing emission load together with a high number of these sources is apparent and negligible.

### **Biomass**

Plants bred for other purposes than obtaining groceries and pasture is, are called technical growths. Technical growths bred in order to obtain energy have a deep-rooted name of energetic growths. The role of technical and energetic growths is significantly increasing upon the existing super-production of groceries and a significant need for the ecologization of industry and agriculture.

Bio-fuels (phyto-fuels), which may be solid (shreddings, packages, briquettes, pellets, etc.), liquid (vegetable oils, bio-oil, bio-ethanol) and also gaseous (bio-gas) represent a final result of energetic growths.



Rys. 1  
Obliczona wartość emisji SO<sub>2</sub> dla węgla brunatnych z Mostu

Fig. 1  
Theoretical calculation of SO<sub>2</sub> emissions for MHU

Z punktu widzenia bilansu energetycznego biopaliwa reprezentują najwyższy poziom efektywności wykorzystania biomasy, co oznacza, że wkład energii w produkcję i przeróbkę biomasy jest istotnie niższy od wartości energetycznej produktów końcowych.

Tradycyjne uprawy rolne (szczególnie charakteryzujące się rocznym cyklem uprawy) nie będące uprawami rolnymi mogą być traktowane jako uprawy energetyczne.

Znaczenie mają rośliny hodowlane, o dużym przyroście rocznym biomasy. Istnieje również cały szereg roślin, które nie są roślinami hodowlanymi (chwasty), charakteryzują się jednakowoż dużymi przyrostami masy w ciągu roku (np. komosa piżmowa).

Słoma zbożowa jest zazwyczaj traktowana jako materiał łatwy w uprawie i odpowiedni dla procesu spalania. Jako przykład rośliny spełniającej wymagania stawiane roślinom energetycznym można przytoczyć cisak (kobyłak) (jest to roślina wieloletnia, o dużym przyroście rocznym), wymagająca niskich kosztów produkcji.

W ramach testów, których celem było przeprowadzenie procesu peletyzacji węgla brunatnego z dodatkiem biomasy przeprowadzono próby z wykorzystaniem słomy gorczycowej w ilości 10–20% nadawy.

Wykorzystywana biomasa była mielona do uziarnienia poniżej 2 mm (czyli takiego jak uziarnienie

From the energetic balance point of view, solid phyto-fuels represent the highest energetic effectiveness as for the utilization of biomass, which fact means that energetic inputs into production and treatment of biomass are substantially lower than the content of dispensable energy in final production.

As traditional agricultural growths (mainly annuals), so non-traditional plants (generally non-agricultural species) may be used as technical and energetic growths.

Annual energetic growths are predominantly cultural plants, which may be used for phyto-energetic purposes as well. However, there also exist non-cultural (weed) species of annuals producing a high volume of biomass, thus being perspective for phyto-energetic purposes (eg. goosefoot, etc.).

Cereal straw is a commonly available and likely perspective material suitable for combustion. Feeding sorrel (perennial plant with high yields) requiring low costs for production is a representative of considerably perspective energetic growths, according to the results of the above-mentioned study.

Within the framework of tests aimed at pressing pellets with the addition of biomass, there were prepared samples of pellets made of mustard straw with the 10–20% content of feeding sorrel.

The used biomass was being milled in order to reach the granularity lower than 2 mm (the same as

węgla poddawanego peletyzacji) z uwagi na konieczność homogenizacji materiału wsadowego.

### **Dodatki (spoiwo)**

Środek wiążący jest ostatnim składnikiem dodawanym do masy, do peletyzacji. Jako spoiwo wybrano wodorotlenek wapnia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Wodorotlenek wapnia jest źródłem jonów  $\text{Ca}^{2+}$  tworzących wiązania międzycząsteczkowe w peletach. Jednocześnie wapno dobrze wpływa na proces przygotowania masy do peletowania. Dzięki niemu masa jest bardziej plastyczna i łatwiej się formuje w procesie peletyzowania. Zawartość  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dodawanego do masy, do peletyzowania była uzależniona od zawartości siarki  $\text{S}^d$  w masie węgla do peletyzowania, tak by uzyskać optymalną zawartość powstającego w procesie spalania  $\text{CaSO}_4$ .

### **Wytwarzanie pelet**

Rozdrobniona i shomogenizowana mieszanina jest dostarczana do przestrzeni roboczej prasy od góry i tworzy dywan materiału na matrycy. Obracające się koła zgniatające mają za zadanie wyrównać warstwę materiału leżącego na matrycy i przepchnąć go do kanału matrycy. Koła zgniatające są zamocowane na stałej osi przechodzącej przez środek głowicy, dwa koła tworzą jedną przestrzeń roboczą. Głowica koła zgniatającego jest zamocowana na wale i obraca się ponad matrycę. Odległość pomiędzy kołami zgniatającymi i matrycą jest zmienna i może być regulowana. Cykl wytwarzania pelet zawiera wstępne przemieszczenie materiału znajdującego się na matrycy — koła zgniatające wstępnie kompaktują materiał — a następnie przesuwają go do kanału prasującego matrycy gdzie następuje formowanie pelet. Kanały są ukształtowane tak aby uzyskać pelety o kształcie walca. Po sprasowaniu materiał opuszcza urządzenie. Materiał jest następnie cięty na pelety o wymaganej długości. Prasa jest wyposażona w urządzenie umożliwiające zmianę prędkości obrotowej. Prasa jest wyposażona w silnik z możliwością zmiany obrotów. W skład stanowiska badawczego wchodzi prasa, silnik i urządzenia elektryczne. Urządzenie może produkować pelety o wymiarach od 2 do 15 mm.

### **Oszacowanie i receptura produkcji pelet do spalania**

W przeprowadzanych testach, które miały określić właściwości pelet w procesie spalania, receptura przewidywała całkowitą wilgotność na poziomie 37% i udział pozostałych składników w masie suchej w poniższych proporcjach:

in the case of coal component) for the reason of a better homogenization of the material.

### **Additive**

An additive agent is the last component added into a pelletization mixture. Calcareous hydroxide  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  was selected as an additive agent. Calcareous hydroxide is a source of  $\text{Ca}^{2+}$  recuperating the coupling forces of pellets. But at the same time, this calcareous hydroxide favorably influences forming the prepared pelletization mixture. Due to its influence, the mixture acquires a better plasticity and is able to form itself better in a pelletization press. The content of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  added into a basic pelletization mixture was assessed with respect to the content of  $\text{S}^d$  in input coal mass so as „optimum pre-requisites“ were created for the rise of  $\text{CaSO}_4$  fixed in ash matter in combustion process.

### **Pressing pellets**

A finely crushed and homogenized product comes into a pressing space through its top and then creates a material carpet on the matrix. Rotating crushing wheels have a task to refine the material lying on the matrix and push it into the matrix channels. Crushing wheels are loose-rotating, mounted on a fixed axis in the center of a wheel head, thus two crushing wheels create one entity after having been placed and fixed. A crushing wheel head is fixed on a royal shaft and rotates above the matrix. The distance between crushing wheels and the matrix is controllable and changeable by means of a hat nut. The course of pressing itself consists of re-rolling the input material located on the matrix by means of crushing wheels whereat re-compacting comes to pass, and subsequent pushing the material into pressing channels of the matrix. These channels are shaped so as the material pressed is re-compacted and a cylindrical rope of the pressed material is then being pushed out from the matrix. This material is then being broken to required length by means of a cutting device. The press is equipped with a device allowing changes of revolutions per minute on the royal shaft. The service of the press is being secured by a motor with frequency transducer. The whole equipment, ie. press, motor and electric appliances then form one complete entity. The equipment may produce pellets having a diameter of 2–15 mm.

### **Assessment of prescriptions and production of pellets for a combustion test**

From the executed tests, there were chosen in order to verify attributes of pellets upon combustion, the prescriptions having the total moisture of the mixture of 37% and a subsequent ratio of individual components in the dried mass as follows:

Węgiel o uziarnieniu 0–2 mm 100 części  
 Biomasa o uziarnieniu 0–2 mm 10 części  
 Wodorotlenek wapnia 6 części

Próba spalania pelet była przeprowadzona w kotle typu Ling 25 sterowanym automatycznie, w Centrum Badawczym Energetyki Wysokiej Szkoły Ban-skiej – Technická Universita w Ostravie.

Do spalania przygotowano sześć próbek pelet z węgla brunatnego. Paliwo zostało dostarczone w plastikowych torebkach. Receptura produkcji pelet została przedstawiona w tablicy 1.

Coal with granularity of 0–2 mm 100 shares  
 Biomass with granularity of 0–2 mm 10 shares  
 Calcareous hydrate 6 shares

Combustion tests with the pellets prepared were executed in the automatic warm-water boiler Ling 25 in the Research Energetic Center of the Mining University – Technical University Ostrava.

Six samples of brown-coal pellets were prepared for combustion tests. A fuel was supplied in plastic bags. Prescriptions for the production of pellets are shown in Table 1.

Tablica 1  
 Receptura produkcji pelet

Table 1  
 Prescriptions for production of pellets

Wyszczególnienie Identification	Sortyment węgla Coal sort	Udział składników Shares of components			
		Węgiel Coal	Wodorotlenek wapnia Calcareous hydrate	Słoma zbożowa Cereal straw	Cisak (kobyłak) Feeding sorrel
Pelety 1 Pellets 1	Miał surowy Rough powder	100	6	0	0
Pelety 2 Pellets 2	Miał surowy Rough powder	100	6	10	0
Pelety 3 Pellets 3	Miał surowy Rough powder	100	6	0	10
Pelety 4 Pellets 4	Orzech 2 Nut 2	100	6	0	0
Pelety 5 Pellets 5	Orzech 2 Nut 2	100	6	10	0
Pelety 6 Pellets 6	Orzech 2 Nut 2	100	6	0	10

Wyniki analiz wybranych parametrów jakościowych zostały zestawione w tablicy 2.

Results of the analysis of characteristic parameters of fuels are shown in Table 2.

Tablica 2  
 Analiza techniczna pelet.

Table 2  
 Basic technological analysis of pellets

Wyszczególnienie Identification	Parametry jakościowe Quality parameters									
	$W_i^r$	$A^r$	$A^d$	$Q_s^d$	$Q_s^{daf}$	$Q_i^r$	$Q_i^d$	$Q_i^{daf}$	$S^d$	$H^{daf}$
	[%]	[%]	[%]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[MJ/kg]	[%]	[%]
Pelety 1 Pellets 1	18,85	12,40	15,29	25,97	30,66	19,78	24,96	29,46	1,52	5,5
Pelety 2 Pellets 2	21,67	12,14	15,50	24,97	29,56	18,16	23,87	28,25	1,54	6,0
Pelety 3 Pellets 3	18,07	11,65	14,22	25,37	29,57	19,47	24,32	28,35	1,39	5,6
Pelety 4 Pellets 4	19,21	9,32	11,54	27,93	31,57	21,19	26,82	30,32	1,05	5,7
Pelety 5 Pellets 5	15,69	9,40	11,15	27,09	30,49	21,48	25,94	29,19	1,03	6,0
Pelety 6 Pellets 6	16,27	1,78	2,13	27,21	27,80	21,45	26,10	26,67	0,92	5,2

Badanie procesu spalania pelet było przeprowadzone w automatycznie sterowanym kotle typu Ling 25, w warunkach nominalnych dla kotła. W trakcie spalania mierzono w spalinach zawartości: CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> i smoły. Mierzono również temperaturę w kotle i temperaturę produktów spalania. W tabelicy 3 zestawiono wyniki pomiarów SO<sub>2</sub> w spalinach.

Tablica 3  
Mierzone wartości SO<sub>2</sub>

Paliwo Fuel	Wartości SO <sub>2</sub> [mg·m <sup>-3</sup> ] Values of SO <sub>2</sub> [mg·m <sup>-3</sup> ]
Pelety 1 Pellets 1	2 867
Pelety 2 Pellets 2	2 387
Pelety 3 Pellets 3	2 446
Pelety 4 Pellets 4	1 544
Pelety 5 Pellets 5	1 736
Pelety 6 Pellets 6	1 482

### 3. Wnioski

Celem niniejszej pracy było zweryfikowanie możliwości produkcji nowego typu paliwa ekologicznego z węgla brunatnego i odpowiednio dobraną biomasą oraz dodatkiem innych substancji, które może być spalane w kotłach bez przekraczania poziomu emisji zanieczyszczeń gazowych określonych obowiązującym prawem.

Do produkcji pelet służyły: węgiel z kopalni odkrywkowej *Československá Armada* (ČSA) charakteryzujący się wysoką zawartością siarki, biomasa wyprodukowana na rekultywowanych terenach oraz dodatek wodorotlenku wapna.

Wyprodukowano sześć próbek o różnych proporcjach składników. Pelety były spalane w kotle o nominalnej mocy 25 kW. Stwierdzono, że wyprodukowane w ten sposób pelety mogą być traktowane jako nowy rodzaj paliwa spełniający normy ekologiczne.

*Praca niniejsza została zrealizowana w ramach grantu No. 105/02/1229. finansowanego przez GAČR (Grantowa Agentura Českéj Republiki)*

Tłumaczenie na język polski: dr inż. Barbara Tora

Combustion tests were executed in the automatic warm-water boiler Ling 25 upon combusting the above-mentioned samples of fuels. Combustion tests were done upon a nominal output. Concentrations of CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> and tar were measured. Further, there was measured the temperature of combustion waste products behind the boiler, in nozzles, above the retort and in an agglomerate. The measured values of SO<sub>2</sub> are shown in Table 3.

Table 3  
Measured values of SO<sub>2</sub>

### 3. Conclusions

The task was aimed at verifying the possibility to produce a new type of fuel by means of a suitably selected combination of coal and biomass with the addition of an additive agent, which could be combusted in coal boilers without exceeding emission limits assessed by valid legislative.

The coal from the opencast mine of ČSA with a high sulphur content, biomass bred on reclaimed areas and calcareous hydrate as an additive agent were used for these purposes.

WE pressed the total number of six samples of pellets with various ratios of individual components. These pellets were subsequently combusted in a boiler having a nominal output of 25 kW and the results proved that pellets produced in this way could be a new fuel corresponding to emission limits.

*This compilation study was realized under a financial support of GAČR, grant No. 105/02/1229.*

## Literatura — References

1. Fečko, P., Sedláček, P., Valeš, J., Čablík, V.: *Verification of ground rough dross suitability for production of pellets: 6th Conference on Environment and Mineral Processing, part II, s.797-802, ISBN 80-248-0072-1*
2. Fečko, P., Sedláček, P., Valeš, J.,: *Vliv zrnitosti při výrobě hnědouhelných pelet, Sborník.: ODPADY 2002, s.222-226, ISBN 80-968214-2-3*
3. Sedláček, P., Valeš, J., Fečko, P., Čablík, V.: *Ověření vhodnosti mletého hruboprachu pro výrobu pelet, Sborník.: Recyklace odpadu VI, Kosice, 10.-11.10.2002, s.185-196 ISBN 80-248-0165-5*
4. Chudek M., Hycnar J., Janiczek S., Plewa F.: *Wegiel brunatny – untylizacja surowców towarzyszących i odpadów elektrownianych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999*
5. Licznerski E.: *Brykietowanie wgli, Wydawnictwo „Ślask“, Katowice 1970*