

Forschungsbericht
PRO/T6035/02

Messungen am TULIPIIPPU-Pelletbrenner

Heikki Oravainen
Jyväskylä, den 27.3.2002

1. Einführung

Der Betriebsbereich Prozesse des Staatlichen Technischen Forschungsinstituts in Finnland (VTT) führte Brennversuche an einem von der Firma Tulipiippu Oy hergestellten TULIPIIPPU-Pelletbrenner durch. Das Ziel der Versuche bestand darin, die Eignung des Geräts für das Verbrennen von Holzpellets in einer Wärme speichernden Feuerstätte zu untersuchen. Zum Vergleich wurde auch ein Brennversuch mit normalen Birkenhackschnitzeln durchgeführt, bei dem der Energiebetrag dem der Pellets entsprach. Der TULIPIIPPU-Brenner fand in diesem Brennversuch keine Anwendung. Der Versuch verfolgte den Zweck, die Emissionen der Verbrennung sowie den Nutzwert zu vergleichen.

2. Messverfahren

2.1 Durchführung des Pelletversuches

Der TULIPIIPPU-Pelletbrenner wurde mit 12 kg Pellets befüllt, was einem Energiebetrag von 56 kWh entspricht. Der Pelletbrenner wurde auf den Rost eines Wärme speichernden Kaminofens gestellt. Der Kaminofen war ein von der Firma Kivia Oy hergestellter Specksteinofen (Modell Linda).

Für das Zünden des Pelletbrenners wurde eine kleine Menge Pellets mit flüssiger Anzündhilfe durchtränkt. Diese wurden auf den Boden des Flammrohrs, das sich in der Mitte des Brenners befindet, geschüttet. Der Brennstoff wurde durch das Luftrohr, das sich im unteren Teil des Geräts befindet, angezündet. Der Zündvorgang wurde den Anweisungen des Herstellers gemäß durchgeführt.



Bild1:



Bild2:

-2-

Nach dem Zünden wurde die Ofentür geschlossen und die Lüftungsöffnung des Kamins vollständig geöffnet. Der Anteil der Rauchgase CO_2 , O_2 , CO und der der Gesamtkohlenwasserstoffe (ORC = organic bound carbon) wurde ständig gemessen. Ferner wurden die Temperatur der Rauchgase und der Unterdruck im Abzug gemessen. In den Versuchen wurde der Unterdruck mit Hilfe einer automatischen Regeleinrichtung konstant gehalten. Die Veränderung der Oberflächentemperatur des Kaminofens wurde mit einem Handmessgerät ermittelt.

2.2. Durchführung des Hackschnitzelversuchs

Das Ziel des Hackschnitzelversuches bestand darin, die Sauberkeit und Effizienz des Hackschnitzelverbrennens auf dem Rost des Kaminofens mit dem Verbrennen von Holzpellets im TULIPIIPPU-Brenner zu vergleichen. Mit dem Versuch wurde ferner richtungsweisend der Nutzeffekt der Verbrennung verglichen, vom Zündzeitpunkt des Brennstoffes an bis zum nächsten Morgen.

Als Kriterien dienten in diesem Versuch die Veränderung der durchschnittlichen Oberflächentemperatur der Feuerstätte sowie die Endtemperatur nach der über Nacht angedauerten Abkühlung.

Im Hackschnitzeltest wurde der Abzug nach dem vollständigen Verbrennen der Hackschnitzel geschlossen. Dies entspricht dem Normalfall dieser Heizform, bei der die Drosselklappe nach dem Verbrennen geschlossen wird. Auf diese Weise wird der Wärmeverlust durch den Schornstein vermieden.

Beim Verbrennen von Holzpellets kann die Drosselklappe nicht geschlossen werden, weil das Verbrennen der sogenannten Glutphase lange nach dem eigentlichen Verbrennungsvorgang (mit Flammenbildung) weitergeht. Die Glut verbrennt langsam mit einer großen Überluftmenge, was vermutlich den Nutzeffekt im Vergleich zu einem normalen Holzverbrennungsvorgang mindert.

Es wurde dieselbe Energiemenge von Hackschnitzeln und Holzpellets verbrannt (56 kWh). Der Nutzeffekt der beiden Brennversuche wurde anhand der Entwicklung der Oberflächentemperaturen des Kaminofens verglichen.

Bei den Messergebnissen wurde der Nutzeffekt der beiden Brennversuche aufgrund der Durchschnittswerte der Messergebnisse in dem Zeitabschnitt berechnet, in dem die Hackschnitzel vollständig verbrannt waren und die Rauchklappe geschlossen wurde. Dieser Zeitraum betrug 4 Stunden und 43 Minuten. Im Fall der Holzpellets brennt die Glut auch nach diesem Zeitpunkt weiter, was aber bei der Berechnung des Nutzeffekts nicht berücksichtigt wurde. Die Glut erzeugt noch Energie, aber anhand direkter Messungen konnte nicht festgestellt werden, ob diese Energie von Nutzen ist oder zusammen mit dem Rauchgas aus dem Schornstein abzieht. Der Grund hierfür besteht darin, dass die Messung eines kleinen Rauchgasstromes zu ungenau ist. Diese Angelegenheit wurde indirekt anhand der Oberflächentemperaturmessung erforscht.

3. Messergebnisse

3.1 Abgase, Verluste und Nutzeffekt

In Tabelle 1 werden der durchschnittliche Gehalt der Rauchgase vom Zünden bis zum Zeitpunkt von 4 Stunden und 43 Minuten (d.h. solange bis die Hackschnitzel vollständig verbrannt sind und der Rauchzug geschlossen wurde) dargestellt. Dieselbe Tabelle präsentiert ferner die Verluste und den Nutzeffekt, die aufgrund dieser Werte und der Brennstoffwerte berechnet wurden. Der Nutzeffekt wurde gemäß dem DIN 1942-Standard berechnet. Die Brennstoffe wurden nicht exakt analysiert. Bei der Berechnung wurden in der Fachliteratur

verwendete Werte für die Brennstoffeigenschaften verwendet. Der Feuchtigkeitsprozent der Holzpellets betrug 8 % und derjenige der Hackschnitzel 12%.

Tabelle 1 Abgase, Verluste und Nutzeffekt

Gemessene Größe	Holzpellets	Hackschnitzel
Gehalt des Rauchgases		
CO ₂ -Gehalt (%)	2,83	2,89
O ₂ -Gehalt (%)	18,5	17,7
CO-Gehalt (%)	0,09	0,18
OGC-Gehalt (%) (mg C/nm ³)	169	644
Rauchgastemperatur C	150	186
CO-Gehalt @13% O	0,29	0,44
OGC-Gehalt @13% O ₂	541	1561
Berechnung des Nutzeffekts (DIN 1942)		
Rauchgasenthalpie	35,24	34,20
Enthalpie des Brennbaren (%)	2,36	3,51
Nutzeffekt (%)	62,4	62,3

3.2 Durchschnittliche Oberflächentemperatur des Kaminofens als Zeitfunktion

In Tabelle 2 wird die Oberflächentemperatur der Feuerstätte als Zeitfunktion dargestellt. Das Ergebnis wird als Durchschnittswert von 16 verschiedenen Messstellen des Ofens mitgeteilt.

-4-

Tabelle 2 Durchschnittliche Oberflächentemperatur des Kaminofens in den einzelnen Versuchen

Brennstoff	2 St. 15 Min. nach dem Zünden	5 St.	19 St.
Pellets	51 Grad Celsius	62 C	41 C
Birkenhack- schnittel	73 Grad Celsius	80 C	41 C

4. Auswertung der Ergebnisse

Das Verbrennen von Holzpellets im TULIPIIPPU-Brenner unterscheidet sich in gewissem Maße vom Verbrennen von Hackschnitzeln auf dem Rost einer Feuerstätte. Aus den Diagrammen der Anlage, die die Rauchgastemperaturen der beiden Brennversuche darstellen, geht dieser Unterschied klar hervor. Achtung! Die Zeitachsen unterscheiden sich ein wenig voneinander. Die Vertikalachse, die das Rauchgas bezeichnet, ist dieselbe.

Auf dem Temperaturbild, das das Verbrennen der Hackschnitzel darstellt, gibt es vier Kulminationspunkte, die widerspiegeln, dass der Brennstoff in vier Posten aufgeteilt wurde. Diese Posten betragen 3,02 kg, 3,00 kg, 3,12 kg und 3,16 kg - insgesamt also 12,3 kg. Auf dem letzten Kulminationspunkt steigt die Temperatur auf über 300 Grad Celsius an. Die Pellets brennen gleichmäßiger. Die Brennstoffmenge zündet relativ langsam, bis zum Beginn der aktiven Brennphase dauerte es ca. 50 min.. Die Brennleistung ist jedoch gleichmäßiger. Die Höchsttemperatur des Rauchgases ist bei Pellets ca. 80 Grad Celsius niedriger als bei Hackschnitzeln. Diese hat während der intensiven Brennphase eine optimale Auswirkung auf den Nutzeffekt.

Anhang 3 stellt den Kohlenmonoxidgehalt (CO) und den Sauerstoffgehalt (O₂) im Pelletbrennversuch während der gesamten Messungsperiode vom Zünden bis zum nächsten Morgen dar. Daraus geht hervor, dass die Rauchgase während der gesamten Zeit Kohlenmonoxid enthielten. Das heißt, die Restglut brennt sehr langsam und der Abzugskanal darf nicht geschlossen werden bevor die Glut mit Sicherheit erloschen ist. Deswegen entströmt die bei der Glutbrennung entstehende Wärmeenergie zumindest teilweise mit den Rauchgasen.

Aufgrund der Oberflächentemperaturmessungen (Tabelle 2) kann festgestellt werden, dass die Feuerstätte beim Verbrennen von Hackschnitzeln schneller eine größere Menge Wärmeenergie freisetzt, da die Oberflächentemperatur nach 2 Stunden und 15 Minuten höher ist. Statt dessen ist die Oberflächentemperatur in beiden Brennversuchen nach 18 Stunden auf 41 Grad Celsius gesunken. Das bedeutet, dass die Wärmeabgabeleistung in dieser Phase gleich ist. Aus den Oberflächentemperaturmessungen des Kaminofens kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass beim Verbrennen von Hackschnitzeln mehr Energie in den Innenraum freigesetzt wird.

Gemäß der Emissionswerte in Tabelle 1 sind die Emissionen beim Verbrennen von Hackschnitzeln höher. Der Kohlenmonoxidgehalt ist 1,5 mal und der Kohlenwasserstoffgehalt 2,9 mal so hoch wie in den Emissionen des Holzpelletversuchs.

-5-

Bei der Holzpelletverbrennung ist die durchschnittliche Temperatur der Rauchgase niedriger, aber der durchschnittliche Luftfaktor höher, weswegen der Enthalpieverlust beim Verbrennen von Pellets etwas größer ist (34,20 % und 35,24 %). Dagegen war der Kohlenmonoxidgehalt der Rauchgase beim Verbrennen von Holzpellets niedriger, weswegen der von brennbaren Gasen verursachte Verlust geringer ist (2,36 % und 3,51 %). Diese Verluste kompensieren einander und daraus resultiert, dass das Nutzverhältnis in beiden Brennversuchen, mit Hinsicht auf die Messgenauigkeit dasselbe ist. Hierbei muss in Betracht gezogen werden, dass das Nutzverhältnis auf Basis des Rauchgasverlustes kalkuliert ist. Eine Einschätzung aufgrund der Oberflächentemperaturen bewies, dass beim Verbrennen von Hackschnitzeln der

Gesamtnutzeffekt der Wärmefreisetzung besser ist. Ein genauer Unterschied kann anhand dieser geringen Messungen nicht gemacht werden.

Die Pelletglut brennt im TULIPIIPPU-Pelletbrenner langsam. Daher ist es sehr wichtig, dass der Abzugkanal nicht zu früh vollständig geschlossen wird. Das Rauchblech darf erst geschlossen werden, wenn der Brenner am nächsten Tag aus dem Kaminofen genommen wird.

In den TULIPIIPPU-Pelletbrenner passt auf einmal eine Menge von Holzpellets, die einer Energiemenge von 56 kWh entspricht. Wenn die Feuerstätte einmal täglich erwärmt wird, beträgt die durchschnittliche Leistung in 24 Stunden ca. 15 kWh. In dieser Kalkulation ist auch das Nutzverhältnis berücksichtigt worden. Es ist von der Feuerstätte abhängig, inwieweit diese Leistung bei der Erwärmung des Raumes hilft. Eine massive Feuerstätte setzt die Energie gleichmäßiger und langsamer frei, eine leichter gebaute, schneller und zu Beginn effektiver. Die durchschnittliche Wärmeleistung von 1,5 kWh ist für die meisten Feuerstätten optimal.

Anlage 2

TULIPIIPPU-Pelletbrenner
Rauchgastemperatur

Anlage 3

TULIPIIPPU-Pelletbrenner
CO- und Sauerstoffgehalt im Rauchgas
CO-Gehalt (13%O²) (%)
Sauerstoffgehalt (%)
Uhrzeit

Anlage 4

TULIPIIPPU-Pelletbrenner
Gesamtkohlenwasserstoffgehalt im Rauchgas
Uhrzeit

Anlage 5

Verbrennung von Birkenhackschnitzeln auf dem Rost
Rauchgastemperatur
Uhrzeit

Anlage 6

Verbrennung von Birkenhackschnitzeln auf dem Rost
CO- und Sauerstoffgehalt im Rauchgas

Anlage 7

Verbrennung von Birkenhackschnitzeln auf dem Rost
Gesamtkohlenwasserstoffgehalt im Rauchgas