

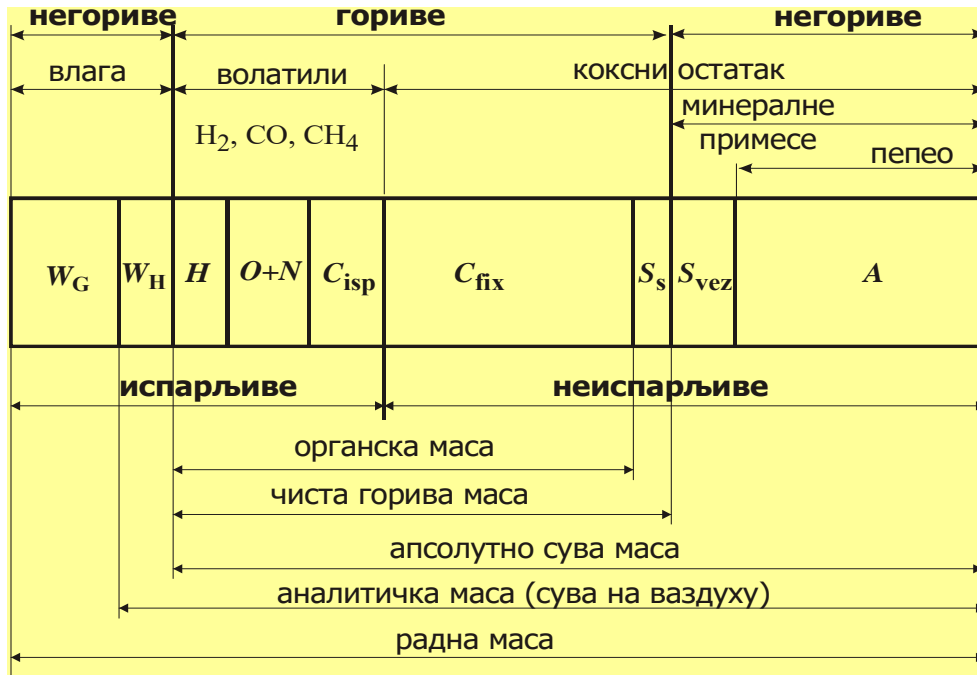
1 Техничка и елементарна анализа

Техничка анализа се врши термичким разлагањем горива и заснива се на 2 критеријума:

- критеријум испарљивости,
- критеријум горивости.

Техничка анализа даје податке о особинама горива битним за примену.

Елементарна анализа даје податке о хемијском саставу горива (колико у гориву има C, H, O, N, S)



Слика 1: Техничка анализа горива

Подаци техничке анализе су:

- садржај укупне влаге,
- садржај грубе (равнотежне) влаге,
- садржај хигроскопске (аналитичке) влаге,
- садржај волатила,
- садржај коксног остатка,
- садржај пепела (минералних материја),
- садржај коксног остатка,
- горња и доња топлотна моћ,
- боја и дужина пламена,
- понашање пепела на повишеним температурама.

Одређивању карактеристика биомасе према одговарајућим методама које прописују стандарди, претходи узимање узорка и припрема узорка за испитивања.

1.1 Припрема узорка

Узорак мора да садржи све компоненте испитиване материје (биомасе) и поседовати све њене особине. Најчешће се узима комбиновани узорак који се дефинише као узорак који се састоји од свих инкремената узетих из количине која се испитује, а која је издвојена из дефинисане количине горива за коју се одређују карактеристике. Узорци величине до 10 mm (пиљевина, коштице воћа, пелети) узоркују се лопатицом, а узорци величине до 200 mm (сечка, слама) лопатом или вилама.

Припрема узорка састоји се од редуције масе узорка дељењем и редуције гранулометријског састава у зависности од врсте биомасе (редуција до димензије материјала ≥ 30 mm, редуција на димензије 10-30 mm, редуција на димензије мање од 1 mm). При редуцији масе узорка треба

водити рачуна да се одржи довољна маса материјала, јер иначе припремљени подузорци не би били репрезентативни представници полазних узорака.

У лабораторијским условима најчешће се примењује ручно дељење инкремената. Изводи се тако што се целокупни комбиновани узорак распореди на чисту и тврду подлогу и хомогенизује се мешањем кашиком. Кашиком се формира распростирање узорака у правоугаони облик, дебљине не веће од троструке вредности максималне номиналне величине честица. Овако формиран слој узорака се дели на најмање двадесет делова по површини правоугаоника и кашиком се узима тачно дефинисани број делова који се користе за испитивање.

1.1.1 Одређивање садржаја грубе влаге

За одређивање садржаја грубе влаге потребна је следећа опрема:

- плитка посуда
- вага тачности до 0,1 g.

Поступак се спроводи тако што се прво измери маса празне посуде (послужавника) на коју се затим равномерно распростире слој узорака. После тога мери се маса посуде и узорака пре сушења. Припремљени узорак се оставља да се суши на ваздуху, у лабораторијским условима. Узорак се суши 24 h, после чега се врши мерење посуде и узорака и проверава се губитак масе. Поступак сушења на ваздуху у трајању од 24 h понавља се све док промена масе између два узастопна мерења не буде мања од 0,2 %.

Садржај грубе влаге одређује се према следећем обрасцу:

$$W_G = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} 100 (\% m/m)$$

где су:

- m_1 (g) – маса празне посуде
- m_2 (g) – маса посуде са узорком пре сушења
- m_3 (g) – маса посуде са узорком после сушења

После одређивања садржаја укупне влаге, осушени узорак се уситњава (меље) и просејава кроз сито. За даља испитивања користи се узорак гранулације мање од 250 μm и тако добијени узорак се назива аналитички узорак (узорак без грубе влаге).

1.1.2 Одређивање садржаја хигроскопске влаге

За одређивање садржаја хигроскопске влаге потребна је следећа опрема:

- стаклена посуда са поклопцем
- аналитичка вага тачности до 0,0001 g
- сушница загрејана на температуру 105-110 °C
- ексикатор.

Поступак се спроводи тако што се прво измери маса празне посуде у коју се затим додаје 1-2 g аналитичког узорака. После тога мери се маса посуде и узорака пре сушења. Припремљени узорак се ставља у сушницу загрејану на 105-110 °C и оставља да се суши у трајању од 2 h. После 2 h узорак се вади из сушнице и ставља се у ексикатор где се хлади до собне температуре. После хлађења у ексикатору, мери се маса посуде и узорака после сушења.

Садржај хигроскопске влаге одређује се према следећем обрасцу:

$$W_H = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} 100 (\% m/m)$$

где су:

- m_1 (g) – маса празне посуде
- m_2 (g) – маса посуде са узорком пре сушења
- m_3 (g) – маса посуде са узорком после сушења

1.1.3 Одређивање садржаја укупне влаге

Укупна влага се одређује као збир свих врста влаге у посматраној маси горива (у аналитичкој то је само хигроскопска, а у радној је хигроскопска и груба):

$$W_{uk} = W_G + W_{Hr} \text{ (\% } m/m\text{)}$$

$$W_{Hr} = \frac{100 - W_G}{100} W_{Ha} \text{ (\% } m/m\text{)}$$

где су:

W_{Ha} – хигроскопска влага у аналитичкој маси

W_{Hr} – хигроскопска влага у радној маси.

1.1.4 Одређивање садржаја пепела

За одређивање садржаја пепела потребна је следећа опрема:

- порцеланска посуда
- аналитичка вага тачности до 0,0001 g
- муфолна пећ са могућношћу загревања до 1100 °C
- ексикатор.

Поступак се спроводи тако што се прво измери маса празне посуде у коју се затим додаје 1-2 g аналитичког узорка. После тога мери се маса посуде и узорка пре жарења. Припремљени узорак се ставља у пећ и загрева на следећи начин: 50 min се греје до 250 °C, држи се 60 min на 250 °C, загрева се 60 min до 550 °C и држи се 120 min на 550 °C. После спроведене процедуре жарења, узорак се вади из пећи и ставља се у ексикатор где се хлади до собне температуре. После хлађења у ексикатору, мери се маса посуде и пепела.

Садржај пепела одређује се према следећем обрасцу:

$$A = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} 100 \text{ (\% } m/m\text{)}$$

где су:

m_1 (g) – маса празне посуде

m_2 (g) – маса посуде са узорком пре жарења

m_3 (g) – маса посуде са пепелом.

1.1.5 Одређивање садржаја волатила и коксног остатка

Ово испитивање је карактеристично што се добијају два податка техничке анализе и то: садржај волатила и садржај коксног остатка. За одређивање садржаја волатила и коксног остатка потребна је следећа опрема:

- посуда од ватросталног стакла
- аналитичка вага тачности до 0,0001 g
- муфолна пећ са могућношћу загревања до 1100 °C
- ексикатор.

Поступак се спроводи тако што се прво измери маса празне посуде у коју се затим додаје 1-2 g аналитичког узорка. После тога мери се маса посуде и узорка пре загревања. Припремљени узорак се ставља пећ загрејану на 900 °C и држи се на тој температури 7 min. После тога узорак се вади из пећи и ставља се у ексикатор где се хлади до собне температуре. После хлађења у ексикатору, мери се маса посуде и узорка после загревања.

С обзиром да током одређивања садржаја волатила загревањем према описаној методологији, из узорка испари све што је испарљиво у маси узорка (влага и волатили – погледати Сliku 1: Техничка анализа горива), потребно је да се губитак масе коригује за садржај влаге која се налази у узорку. Садржај волатила одређује се према следећем обрасцу:

$$V_a = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} 100 - W_{Ha} \text{ (\% } m/m\text{)}$$

где су:

m_1 (g) – маса празне посуде

m_2 (g) – маса посуде са узорком пре загревања
 m_3 (g) – маса посуде са узорком после загревања.

Маса коксног остатка одређује се према следећем обрасцу:

$$K = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} 100 \text{ (\% } m/m \text{)}$$

Пример:

За податке наведене у Табели 1, потребно је одредити садржај грубе, хигроскопске и укупне влаге, садржај пепела, садржај волатила и садржај коксног остатка.

Табела 1: Резултати испитивања

| Испитивање | m_1 (g) | m_2 (g) | m_3 (g) |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Садржај грубе влаге | 225,1 | 318,2 | 287,2 |
| Садржај хигроскопске влаге | 23,9167 | 24,9905 | 24,8998 |
| Садржај пепела | 11,9433 | 12,9800 | 12,0352 |
| Садржај волатила | 12,5775 | 13,6020 | 12,8270 |

Садржај грубе влаге

$$W_G = \frac{318,2 - 287,2}{318,2 - 225,1} 100 = 33,30 \%$$

Садржај хигроскопске влаге

$$W_{Ha} = \frac{24,9905 - 24,8998}{24,9905 - 23,9167} 100 = 8,45 \%$$

Садржај укупне влаге

$$W_{Hr} = \frac{100 - 33,30}{100} 8,45 = 5,64 \%$$

$$W_{uk} = 33,30 + 5,64 = 38,94 \%$$

Садржај пепела

$$A = \frac{12,0352 - 11,9433}{12,9800 - 11,9433} 100 = 8,86 \%$$

Садржај волатила

$$V_a = \frac{13,6020 - 12,8270}{13,6020 - 12,5775} 100 - 8,45 = 67,20 \%$$

Садржај коксног остатка

$$K = \frac{12,8270 - 12,5775}{13,6020 - 12,5775} 100 = 24,35 \%$$

Састав горива у аналитичкој и радној маси приказан је у Табели 2.

Табела 2: Састав горива израчунат на основу извршених испитивања

| Карактеристика | Радна маса горива | Аналитичка маса горива |
|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Укупна влага (% m/m) | 38,94 | 8,45 |
| Груба влага (% m/m) | 33,30 | - |
| Хигроскопска влага (% m/m) | 5,64 | 8,45 |
| Пепео (% m/m) | 5,91 | 8,86 |
| Волатили (% m/m) | 44,82 | 67,20 |
| Коксни остатак (% m/m) | 16,24 | 24,35 |
| Укупно, провера (% m/m) | $38,94 + 44,82 + 16,24 = 100$ | $8,45 + 67,20 + 24,35 = 100$ |

Напомена: Коксни остатак је збир фиксног угљеника и пепела и зато се при провери у збиру не узима у обзир као сабирак садржај пепела.

2 Топлотна моћ горива

Топлотна моћ горива је једна од најважнијих карактеристика свих горива. Представља количину топлоте која се добије потпуним сагоревањем јединичне количине горива. У зависности од тога у односу на коју количину горива се даје разликују се: масена (kJ/kg), запреминска (kJ/m_N^3) и моларна (kJ/kmol) топлотна моћ.

Подела топлотне моћи врши се према два критеријума:

- топлотни ниво продуката сагоревања (заправо температура продуката сагоревања) и
- услови под којима се процес сагоревања одвија (да ли је $p=\text{const}$ или $V=\text{const}$).

На основу топлотног нивоа продуката сагоревања, разликују се следеће врсте топлотне моћи:

- горња топлотна моћ (топлота сагоревања),
- доња топлотна моћ (топлотна вредност).

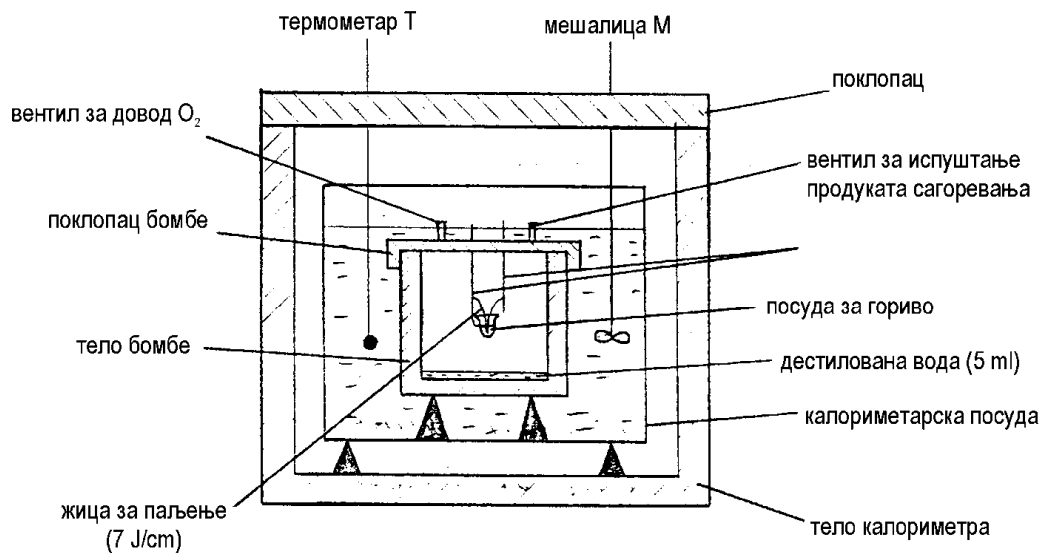
Разлика између горње и доње топлотне моћи представља се као количина топлоте која се добије кондензовањем (превођењем из гасовитог у течно стање) воде из продуката сагоревања. Вода у продуктима сагоревања потиче од: сагорелог водоника, влаге из горива и влаге из ваздуха за сагоревање.

$$H_g = H_d + 25 \cdot (9H + W), \text{kJ/kg}$$

2.1 Експериментално одређивање топлотне моћи

Експериментално одређивање горње топлотне моћи врши се помоћу калориметра са бомбом. Ова метода се користи чврста и течна горива. Испитивање се врши при константној запремини, у адијабатским условима.

Калориметар са бомбом је приказан на Слици 2.



Слика 2: Пресек калориметра са бомбом

Одређивање топлотне моћи у калориметру са бомбом заснива се на потпуном сагоревању одмерене количине горива (аналитички узорак масе 0,5-1,0 g) у атмосфери чистог кисеоника, при повишеном притиску. Количина топлоте настала сагоревањем предаје се околној води. Мерећи масу воде и њен пораст температуре, знајући специфични топлотни капацитет воде, може се, уз одговарајуће поправке због топлотних губитака, одредити настала количина топлоте. Дељењем ове количине топлоте са количином горива, од које је ова топлота сагоревањем настала, добија се горња топлотна моћ. Доња

топлотна моћ одређује се на основу познате горње топлотне моћи и садржаја водоника и влаге у испитиваном узорку горива.

Поступак се спроводи тако што се прво одмери узорак за испитивање у стакленој посуди и постави у одговарајући држач посуде. Жица одређене топлотне моћи се измери, повеже за електроде и урони у масу горива јер треба у одговарајућем тренутку да упали гориво у посуду. У калориметарску бомбу се сипа 5 ml дестиловане воде која служи да разблажи киселине које настану током процеса сагоревања горива. Калориметарска бомба се затвара, отвара се вентил за кисеоник и бомба се пуни кисеоником под притиском 25-30 bar. Када се бомба напуни кисеоником, затвара се вентил за кисеоник и бомба се поставља у калориметарску посуду у којој се налази приближно 2 l воде. У калориметарску посуду се постављају мешалица и термометар за мерење температуре воде у калориметарској посуди. Калориметар је опремљен специјалним механизмом који на сваких 30 s звучним сигналом означава време за читавање температуре воде у калориметарској посуди. Прва два звучна сигнала се прескачу и са испитивањима се започиње од трећег сигнала.

Одређивање топлотне моћи горива у калориметру са бомбом се састоји од три периода и то:

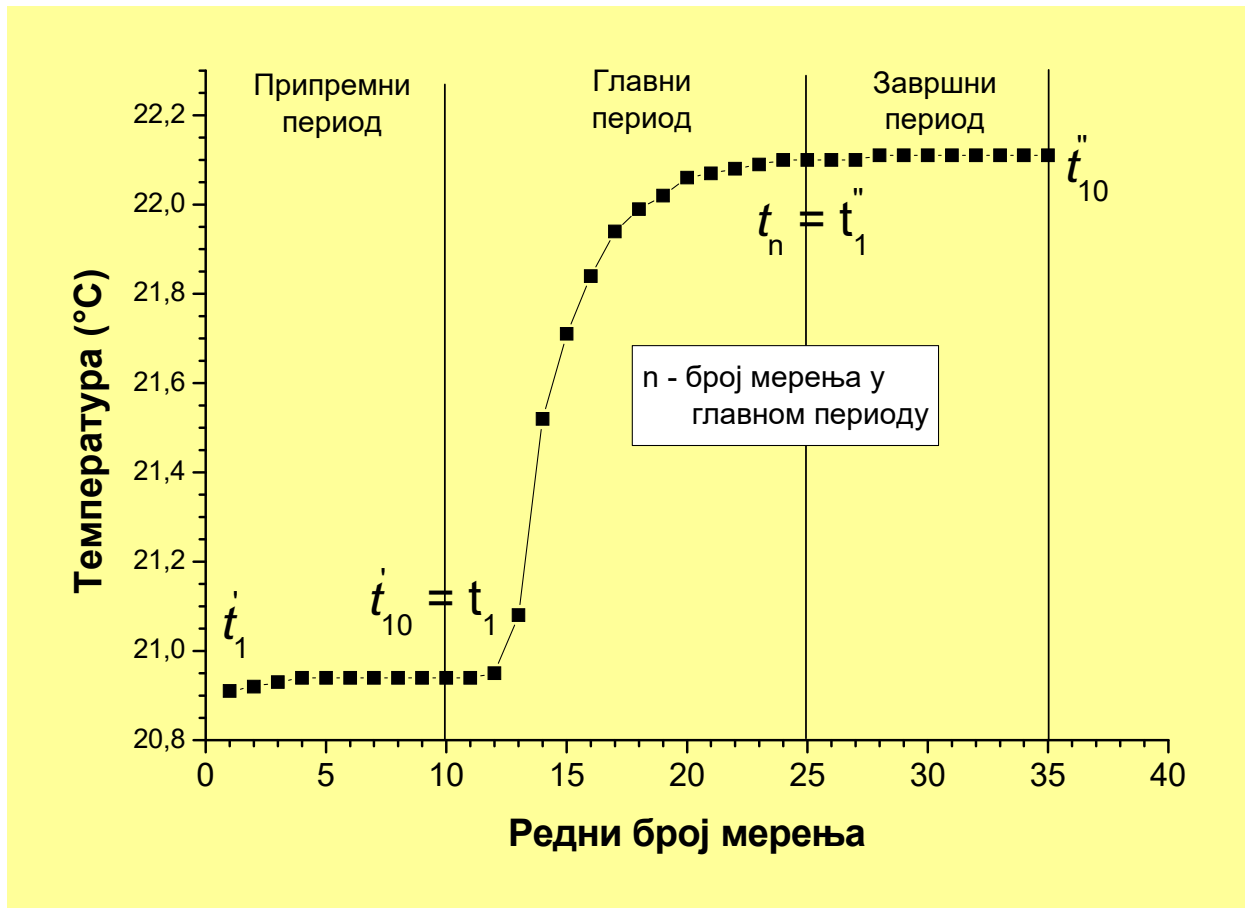
- припремни период – у припремном периоду изједначава се температура воде у калориметарској посуди, по целој запремини. У овом периоду врши се 10 читавања температуре. У тренутку када се прочита десета температура, активира се механизам за паљење жице која пали гориво у посуду.
- главни период – у овом периоду се одвија сагоревање горива које се манифестује наглим порастом температуре воде. Прва температура која се региструје у овом периоду је једнака последњој температури која је прочитана у припремном периоду. У главном периоду температуре се читавају све док се два узастопна мерења не изједначе. Број мерења температуре у главном периоду се означава као n мерења.
- завршни период – у овом периоду изједначава се температура воде у калориметарској посуди, по целој запремини. Врши се 10 читавања температуре и то тако што је прва температура која се региструје у овом периоду једнака последњој температури која је прочитана у главном периоду.

Када се заврше мерења у завршном периоду, калориметарска бомба се вади из калориметра, отвара се вентил за испуштање продуката сагоревања (уколико се овај вентил не отвори и не испусте продукти сагоревања, калориметарска бомба не би могла да се отвори). После испуштања продуката сагоревања из бомбе, вади се посуда за гориво и проверава се да ли је целокупно гориво из посуде изгорело)у посуду треба да остане само пепео).

Графички приказ резултата испитивања тј. промена температуре воде у калориметарској посуди током испитивања дат је на Слици 3.

Подаци који се записују током испитивања су:

- маса празне посуде за гориво - m_{g1}
- маса посуде за гориво са узорком - m_{g2}
- маса празне калориметарске посуде - m_{k1}
- маса калориметарске посуде са водом - m_{k2}
- маса горива: $m_g = m_{g2} - m_{g1}$
- маса воде у калориметарској посуди: $m_k = m_{k2} - m_{k1}$
- маса дестиловане воде: $m_{wB} = 5 \text{ g}$
- водени еквивалент калориметра (представља фиктивну масу воде која помножена са разликом температуре воде током испитивања и специфичном топлотом воде даје количину топлоте која се сагоревањем горива ослободи и утроши на загревање делова калориметра): $m_w = 408 \text{ g}$
- топлота сагореле жице за паљење (топлотна моћ жице износи 7 J/cm, за испитивање се користи 15 cm жице): $q_z = 105 \text{ J}$



Слика 3: Промена температуре воде у калориметарској посуди током испитивања

На основу добијених података температуре воде током испитивања, врши се корекција температуре применом следећих израза:

$$\Delta t' = \frac{t_1' - t_{10}'}{10}$$

$$\Delta t'' = \frac{t_1'' - t_{10}''}{10}$$

$$\Delta t = (n - 1)\Delta t'' + \frac{\Delta t' + \Delta t''}{2}$$

Горња топлотна моћ се израчунава на следећи начин:

$$H_g = \frac{(m_{wB} + m_w + m_k)[(t_n - t_1) + \Delta t]c_{pw} - q_z}{m_g}, \text{ kJ/kg}$$

Пример:

Израчунати горњу и доњу топлотну моћ горива за податке који су дати у Табелама 3 и 4.

Табела 3: Измерене величине за потребе одређивања топлотне моћи горива

| Величина | Измерена вредност |
|--------------|-------------------|
| m_{g1} (g) | 6,5955 |
| m_{g2} (g) | 7,5361 |
| m_{k1} (g) | 615,0 |
| m_{k2} (g) | 2478,9 |
| m_{wB} (g) | 5 |
| m_w (g) | 408 |
| q_z (J) | 105 |

Табела 4: Температура воде у калориметарској посуди током одређивања топлотне моћи горива (°C)

| Ред. бр. | Почетни период | Главни период | Завршни период |
|----------|----------------|---------------|----------------|
| 1 | 19,61 | 19,71 | |
| 2 | 19,64 | 20,00 | |
| 3 | 19,65 | 20,52 | |
| 4 | 19,66 | 20,84 | |
| 5 | 19,67 | 21,04 | |
| 6 | 19,68 | 21,14 | |
| 7 | 19,69 | 21,20 | |
| 8 | 19,70 | 21,25 | |
| 9 | 19,70 | 21,28 | |
| 10 | 19,71 | 21,31 | |
| 11 | | 21,33 | |
| 12 | | 21,34 | |
| 13 | | 21,36 | |
| 14 | | 21,37 | |
| 15 | | 21,38 | |
| 16 | | 21,38 | |

Израчунате величине:

$$m_k = 2478,9 - 615 = 1863,9 \text{ g}$$

$$m_g = 7,5361 - 6,5955 = 0,9406 \text{ g}$$

$$\Delta t'_1 = \frac{19,61 - 19,71}{10} = -0,01$$

$$\Delta t'_2 = \frac{21,38 - 21,42}{10} = -0,004$$

$$\Delta t = (16 - 1)(-0,004) + \frac{-0,01 - 0,004}{2} = -0,067$$

$$H_g = \frac{(5 + 408 + 1863,9)[(21,38 - 19,71)(-0,067)]4,186 - 105}{0,9406} = 16131,6 \text{ kJ/kg}$$

За садржај воде који је одређен у претходној вежби и садржај водоника $H=7,64\%$, могуће је израчунати и доњу топлотну моћ горива:

$$H_d = 16131,6 - 25(9 \cdot 7,64 + 8,45) = 14201,3 \text{ kJ/kg}$$