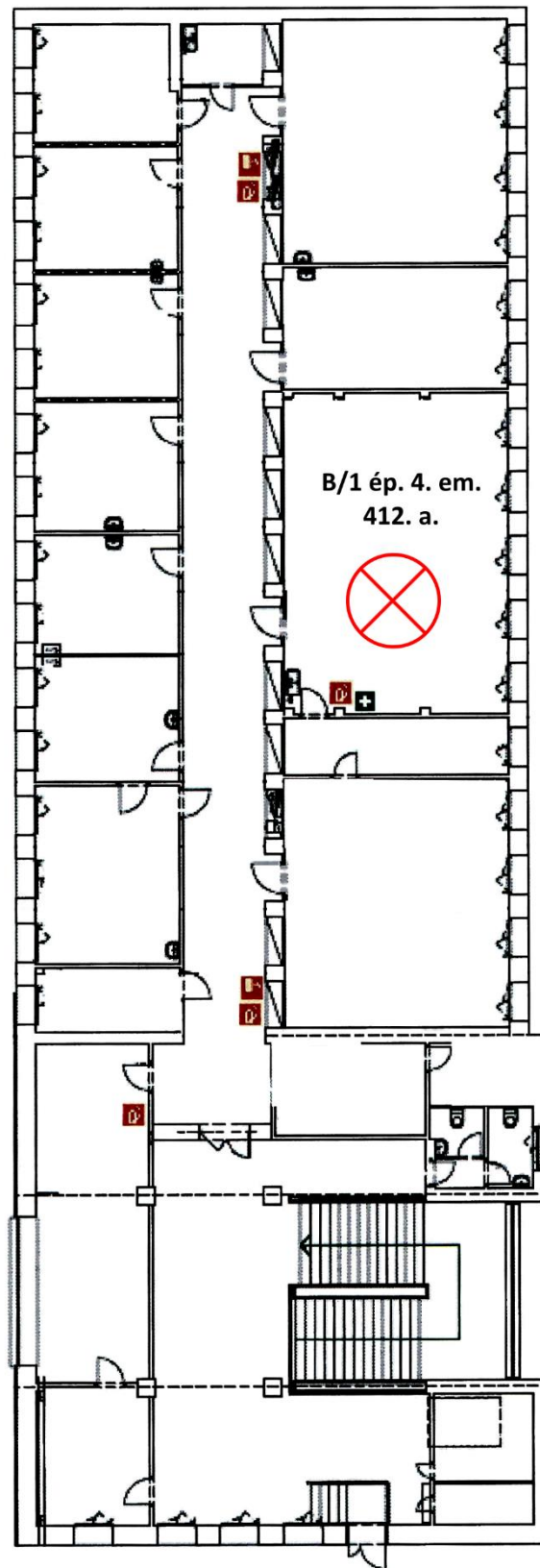


**MISKOLCI EGYETEM**  
**MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR**  
**ENERGIA- ÉS MINŐSÉGÜGYI INTÉZET**  
**TÜZELÉSTANI ÉS HŐENERGIA INTÉZETI TANSZÉK**

# Szilárd energiahordozó fűtőértékének meghatározása

Felkészülési tananyag a Tüzeléstan tantárgy 1. számú laboratóriumi gyakorlatához

## A laborgyakorlat helyszíne



## Égéshő meghatározása bombakaloriméterrel és a fűtőérték kiszámítása

Az égéshő és a fűtőérték fogalma közti különbség:

- Az égéshő az a hőmennyiség, ami a tüzelőanyag tömegegységének tökéletes elégetésekor felszabadul, a folyamat után pedig a tüzelőanyag hidrogéntartalmának égéséből és a nedvességtartalmából származó víz folyékony halmazállapotban van jelen.
- A fűtőérték az a hőmennyiség, ami a tüzelőanyag tömegegységének tökéletes elégetésekor felszabadul, a folyamat után pedig a tüzelőanyag hidrogéntartalmának égéséből és a nedvességtartalmából származó víz gőz halmazállapotban van jelen.

A gyakorlati tüzeléstechnikában a fűtőértékkel lehet jellemezni a tüzelőanyagokat, hiszen a tüzelőberendezésekből a füstgáz az esetek döntő többségében a víz forráspontja fölötti hőmérsékleten távozik, ennek következtében a víz gőz fázisban lesz.

A laboratóriumi vizsgáló készülékben (kaloriméter) a legkényelmesebb olyan feltételt biztosítanunk, ahol a víz kondenzálódik. Az elemzés alapján meghatározott égéshőből a mintából keletkezett víz párolgáshőjét ( $25\text{ °C}$ -on  $\sim 2,44\text{ kJ/g}$ ) levonva számoljuk a fűtőértéket.

A laboratóriumi gyakorlat során a minták égéshőjét Parr 6200 típusú izoperibolikus bombakaloriméterrel határozzuk meg. Ennél a kaloriméter típusnál a bombát tartalmazó vödört körülvevő köpeny hőmérsékletét állandó értéken tartja a készülék, míg a bomba és a kaloriméter edény hőmérséklete mérésenként emelkedik. A mikroprocesszoros szabályozó folyamatosan méri a köpeny és a kaloriméter edény vizének a hőmérsékletét, ezen hőmérsékletkülönbségből korrigálja az edény és a köpeny közötti hőátadást.



1. ábra Parr 6200 bombakaloriméter

### *Bombakaloriméter működési elve*

A bombakaloriméter az égéshőt a minta, valamint egy ismert tömegű és égéshőjű kalibrálóanyag (általában benzoésav) elégetéséből felszabaduló hőmennyiség összehasonlítása alapján számolja ki.

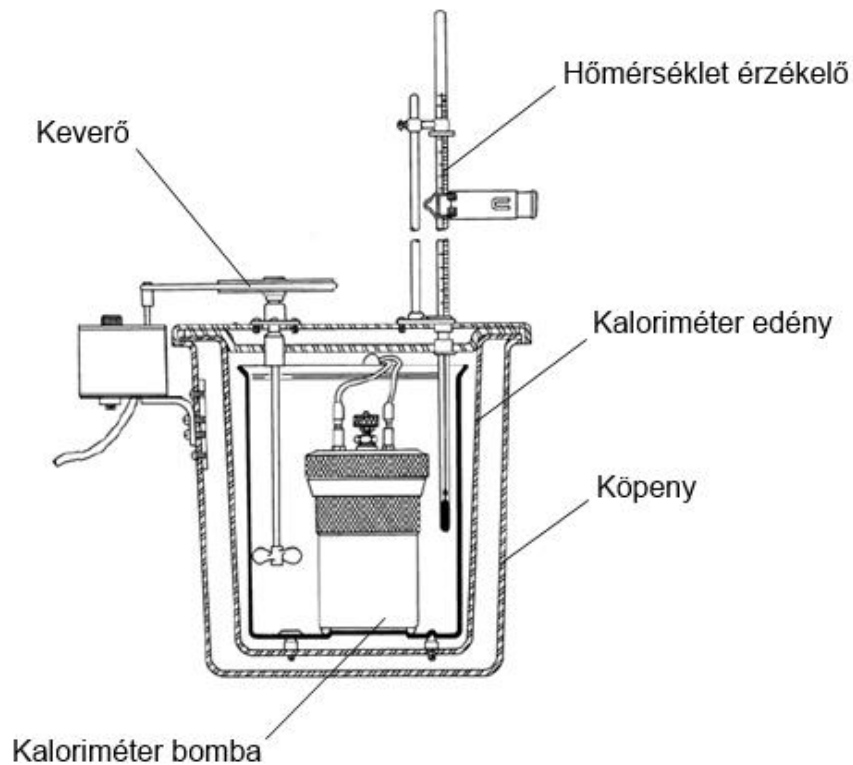
A mérés elő-, fő- és utókísérleti periódusokra osztható. A főperiódus a gyújtással kezdődik, és addig tart, amíg a víz hőmérséklete állandó értékre be nem áll. Az elő- és utóperiódus a kaloriméter edény és a környezete közötti hőcsereviszonyt leíró korrekciós számításokhoz szükségesek.

Az elégetés nagynyomású oxigén atmoszférában, fém nyomástartó edényben, a bombában történik. Az égetés során felszabaduló hőmennyiséget a kaloriméteren belül elnyeletjük, és az abszorbeáló közeg (desztillált víz) hőmérsékletváltozását regisztrálja a készülék. Az égetéskor felszabaduló hőmennyiséget a víz hőmérsékletnövekedése, valamint a kalibráció során előzetesen meghatározott kaloriméter hőkapacitás szorzataként számíthatjuk ki. Ezt az értéket elosztva a bemért minta tömegével kapjuk az egységnyi tömegű mintából felszabadítható hőt. A kapott értéket korrigálni kell bizonyos hőforrások, azaz a bombában végbemenő, a minta égésétől különböző mellékfolyamatok figyelembevételével.

### *A bomba kaloriméter elvi felépítése*

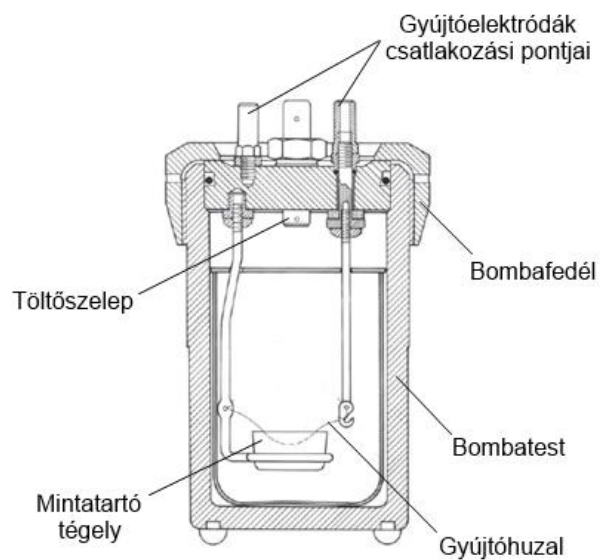
Egy bomba kaloriméter négy alapvető részből áll:

- Bomba, vagy nyomástartó edény, ahol az éghető anyag elégetése végbemegy.
- Kaloriméter edény, ami a bomba, az azt körülvevő ismert mennyiségű víz valamint a keverő berendezés befogadására szolgál.
- Szigetelt köpeny, ami megóvja a kaloriméter edényt a vizsgálat során a környezettel való hőcserétől.
- Hőmérsékletérzékelő a kaloriméter edényben bekövetkező hőmérsékletváltozás mérésére.



2. ábra A bombakaloriméter elvi felépítése

A *bomba* erős, vastag falú edény, ami nyitható kell, hogy legyen a minta behelyezése, az égéstermékek eltávolítása, valamint tisztítás céljából. A nagy nyomású oxigénnel való feltöltés, valamint a mérés végén a képződő gázok eltávolítása szelepek segítségével történik. A gyújtóáram bevezetésére elektródák szolgálnak.



3. ábra A kaloriméter bombájának metszete

A *kaloriméter edényt* akkora befogadóképességűre tervezik, hogy a bomba és a keverő teljesen elmerülhessen benne. A *keverő* úgy homogenizálja a víz hőmérsékletét, hogy mechanikus energia formájában nem visz be túl sok hőt. Annak érdekében, hogy minimalizáljuk a környezettel való sugárzásos hőcserét, a kaloriméter edény általában polírozott fallal készül.

A *kaloriméter köpeny* – amelybe a bombát és az edényt helyezük – védőburokként szolgál, mérsékeli az edény és környezete közötti hőátadást. A köpeny feladata, hogy a vizsgálat időtartama alatt minimalizálja a huzat, a hőszugárzás, valamint a helyiség hőmérséklet-változásának hatásait, bár teljes mértékben az összes hőátadás nem zárható ki.

### *Kalibráció*

Mielőtt az ismeretlen égéshőjű anyagot vizsgálnánk, a kaloriméter vízértékét, azaz hőkapacitását előzetesen meg kell határozni. Ez az érték kifejezi a mérőrendszer teljes hőkapacitását, beleértve a bombát, az edényt és az edényben lévő vizet. Mivel bonyolult lenne az egyes részek hőkapacitásának külön-külön történő meghatározása, ezért empirikus úton meghatározzuk a rendszer vízértékét egy ismert égéshőjű minta reprodukálható körülmények közötti elégetésével. Erre a célra benzooesavat használunk.

A benzooesav pasztilla égésekor felszabaduló hőmennyiség kifejezhető az égéshőjének és tömegének szorzataként. Ezt az értéket elosztva a mérés során végbemenő hőmérsékletemelkedéssel megkapjuk a kaloriméter vízértékét.

### *Korrekciók*

A *gyújtóhuzal* elégeése többlet hőt jelent a bombában. Mivel az elégett gyújtóhuzal mennyisége mérésről mérésre változhat, a huzal által bevitt energia mennyiségét minden mérés után külön meg kell határozni. Hasonlóképpen, ha a tökéletes égés elérése érdekében bármilyen égést segítő anyagot használunk, annak égéshőjét le kell vonni a teljes égéshő értékéből.

Mivel a minta elégetése a bombában közel tiszta oxigénben, nagy hőmérséklet és nyomás mellett játszódik le, számos olyan egyéb reakció léphet fel, mely normál körülmények esetén

ugyanazon anyagnál nem menne végbe. Ezek a *melléreakciók* számottevő hőt termelhetnek, ilyenkor hatásukat korrekcióval kell figyelembe venni. Normál körülmények között a tüzelőanyag kéntartalma kén-dioxidá oxidálódik és a füstgázzal távozik. Ugyanazon anyag bombában történő égetésekor az oxidáció kén-trioxidot eredményez, mely a bombában lévő nedvességgel kénsavat alkot. Hasonlóképpen a bombában rekedt nitrogén molekulák az oxidáció után a vízgőzzel salétromsavat alkotnak.

A savképződéssel járó hőfelszabadulást a gyakorlat során elhanyagolható nagyságúnak vesszük és csak a gyújtóhuzal égéséből felszabaduló hővel korrigáljuk az eredményt.

### *Az égéshő meghatározása*

Miután meghatároztuk a kaloriméter vízértékét, a kaloriméter készen áll a tüzelőanyagok vizsgálatára. Az ismert tömegű mintát elégetjük és a fellépő hőmérsékletkülönbséget mérjük és rögzítjük. A megfigyelt hőmérsékletemelkedés és a vízérték szorzata adja a felszabaduló hőmennyiséget. Ezt elosztva a minta tömegével kapjuk az égéshőt.

Részletesen:

$$Q_s = \frac{V \cdot \Delta T - \sum b}{m}$$

ahol:

$Q_s$	- az elemzett minta égéshője, kJ/kg
$V$	- a kaloriméter vízértéke (hőkapacitása), J/K
$\Delta T$	- a hőelnyelő közeg hőmérsékletének emelkedése, K
$\sum b$	- az idegen anyagokból származó hő, J
$m$	- a bemért minta tömege, g.

### A fűtőérték számítása

A fűtőérték meghatározásának alapképlete a következő:

$$Q_i = Q_s - 24,42 \cdot (9 \cdot H + W)$$

ahol:

$Q_i$	- a fűtőérték, kJ/kg
$Q_s$	- az égéshő, kJ/kg
$H$	- a hidrogéntartalom, %(m/m)
$W$	- a minta nedvességtartalma, %(m/m)
9	- a hidrogén és víz közötti átszámítási tényező (1 mol H-ből az égés során kb. 9-szer több víz keletkezik)
22,42	- a víz párolgáshőjéből adódó szorzótényező

A gyakorlati életben gyakran előfordul, hogy a fűtőértéket az elemzési állapotban mért nedvesség helyett egy másik nedvességtartalomra kell átszámolni pl. száraz állapotra (0% nedvesség), vagy egy másik nagyobb nedvességtartalmú állapotra.

Egy vizsgálati paramétert (pl. az égéshőt, vagy a hidrogéntartalmat) egy másik nedvességállapotra az alábbi képlet segítségével számolunk át:

$$P_{W_2} = P_{W_1} \cdot \frac{100 - W_2}{100 - W_1}$$

ahol:

$P_{W_2}$	- a paraméter a vonatkoztatási nedvességtartalomra számítva
$P_{W_1}$	- a paraméter az eredeti nedvességi állapotban
$W_2$	- a vonatkoztatási nedvességtartalom, %(m/m)
$W_1$	- az eredeti nedvességtartalom, %(m/m)

Példaképpen nézzük az alábbi számítást:

Az elemzéssel kapott paraméterek:

$$Q_s = 15\,500 \text{ kJ/kg}$$

$$W_1 = 10 \text{ %(m/m)}$$



$$H = 5 \text{ (m/m)}$$

A fűtőérték 10% nedvességre:

$$Q_i = Q_s - 24,42 \cdot (9 \cdot H + W_1) = 15500 - 24,42 \cdot (9 \cdot 5 + 10) = 14157 \text{ kJ/kg}$$

Számítsuk ki a fűtőértéket  $W_2 = 20\%$  nedvességtartalomra:

Az égéshő 20% nedvességre átszámítva:

$$Q_{s \text{ } W_{20\%}} = Q_s \cdot \frac{100 - W_2}{100 - W_1} = 15500 \cdot \frac{100 - 20}{100 - 10} = 13778 \text{ kJ/kg}$$

A hidrogéntartalom 20% nedvességre átszámítva:

$$H_{W_{20\%}} = H \cdot \frac{100 - W_2}{100 - W_1} = 5 \cdot \frac{100 - 20}{100 - 10} = 4,45 \text{ (m/m)}$$

A fűtőérték 20% nedvességre számítva:

$$Q_{i \text{ } W_{20\%}} = Q_{s \text{ } W_{20\%}} - 24,42 \cdot (9 \cdot H_{W_{20\%}} + W_2) = 13778 - 24,42 \cdot (9 \cdot 4,45 + 20) = 12312 \text{ kJ/kg}$$

Ha száraz állapotra (0% nedvességre) szeretnénk számolni  $W_2$  helyére értelemszerűen 0-át kell behelyettesíteni.

### **Beugró ZH ellenőrző kérdés:**

Röviden ismertesse a bombakaloriméterrel végzett vizsgálat elvét!

*A következő oldalon található jegyzőkönyvet célszerű a gyakorlatra kinyomtatva elhozni.*

# Szilárd energiahordozó fűtőértékének meghatározása

## Jegyzőkönyv

Név: ..... Tankör: ..... Neptun kód: 

--	--	--	--	--	--

Vizsgált tüzelőanyag: .....

A kaloriméter vízértéke: .....

A tüzelőanyag H-tartalma az elemzési állapotban: .....

A tüzelőanyag nedvességtartalma az elemzési állapotban: .....

Az elemzés során kapott és számított paraméterek

Vizsgálat sorszáma	m	$\Delta T$	$\Sigma b$	$Q_s$	$Q_i$
1.					-
2.					-
			átlag:		

**Feladat:** Számítsa ki a fűtőértéket 0%, 20% és 40% nedvességtartalomra! Ábrázolja diagramon a számított fűtőértékeket a nedvességtartalom függvényében!

$Q_{s\ w0\%} =$  .....  $H_{w0\%} =$  .....  $Q_{i\ w0\%} =$  .....

$Q_{s\ w20\%} =$  .....  $H_{w20\%} =$  .....  $Q_{i\ w20\%} =$  .....

$Q_{s\ w40\%} =$  .....  $H_{w40\%} =$  .....  $Q_{i\ w40\%} =$  .....