

3. MÉRÉS

OTTO-MOTOR ÉS VILLAMOS GENERÁTOR GÉPCSOPORT MÉRÉSE (MOBIL AGGREGÁT)

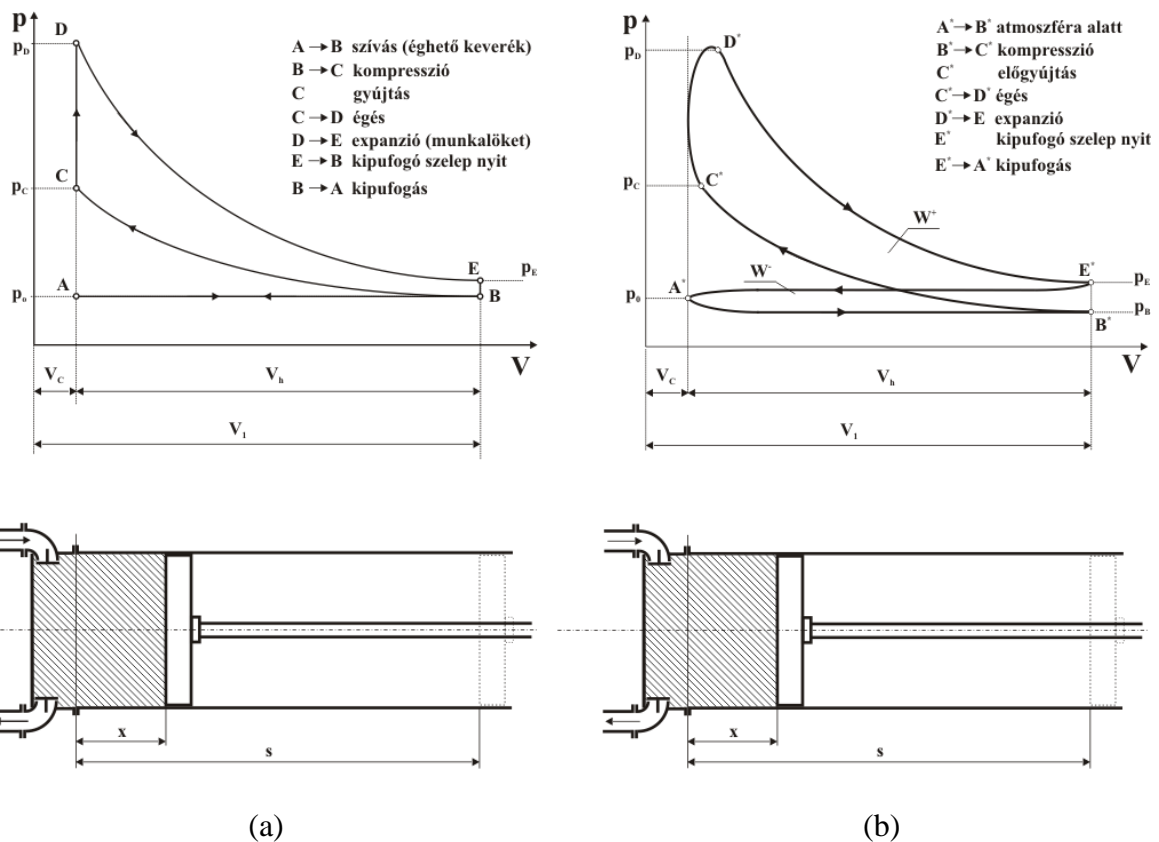
A mérés célja:

Egy benzinmotoros generátor jelleggörbéinek felvétele: A mérés során a gépcsoport terhelésének változtatása közben a fajlagos üzemanyag fogyasztást és a gépcsoport hatásfokát határozzuk meg. Ezen kívül egy adott időszakra vonatkozó átlagos hatásfokot és közepes terhelést számolunk.

A gépcsoport elemei: Benzinüzemű, egyhengeres, karburátoros, léghűtéses négyütemű Otto-motor és hozzá kapcsolt generátor.

A benzin üzemű négyütemű Otto-motor működése:

Az Otto-motorok (más néven szikragyújtású motorok) a tüzelőanyagot a levegővel együtt juttatják a hengerbe. Gáznemű tüzelőanyag a levegőhöz keverhető; a folyékony tüzelőanyagot porlasztással és elpárologtatással kell elgázosítani. Ezt a keveréket sűríti (komprimálja) a motor, olyan mértékben, hogy a kompresszió vég hőmérséklete a gyulladás hőmérsékletét ne érje el. A kompresszió ütem végső szakaszában a keveréket villamos szikra gyújtja meg. Az ezt követő ütem az expanzió, a tulajdonképpeni munkaszakasz.



1. ábra

Négyütemű Otto-motor ideális indikátordiagramja (a) és valóságos indikátordiagramja (b), alattuk a henger rajza.

A négyütemű Otto-motor munkafolyamatát legjobban annak indikátordiagramjával jellemezhetjük. Ez a hengerben uralkodó nyomást mutatja a dugattyú helyzetének, illetve a hengertérfogatnak a függvényében. Minthogy az Otto-motor elvben úgy működik, hogy a dugattyú égőképes keveréket komprimál, és azt a szikra egyszerre gyújtja meg: a hőközlés elvben a felső holtponton (FHP), ill. az ehhez tartozó állandó térfogaton megy végbe. Ezen az alapon szerkesztett **ideális indikátordiagramot** mutat az **1.(a) ábra**.

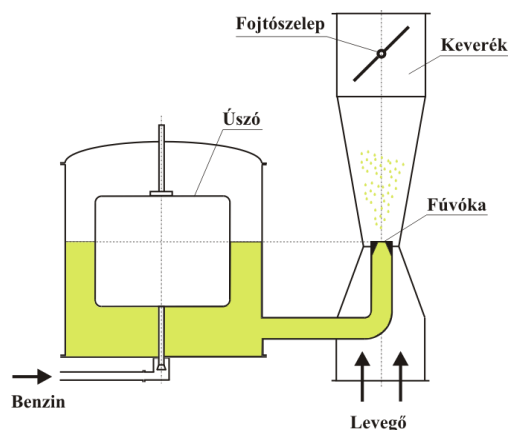
A **valóságos indikátordiagramban** (a gyulás késedelme és) az égés sebességének véges volta miatt a szögletek, csúcspontok letompulnak, az **1.(b) ábrán** látható módon.

A **szívóütem** (I. ütem; $A^* - B^*$ vonal) alatt a dugattyú az égőképes keveréket a nyitott szívószelepen keresztül a hengerbe beszívja. A keverék előállítását a porlasztó (vagy karburátor) végzi, amely a szívócsatornában – a fojtószelep előtt – erős légáramban porlasztja szét a cseppfolyós tüzelőanyagot. (Újabban kifejlesztett közvetlen benzinbefecskendező eljárásnál a befecskendezés a hengerbe történhet a kompresszió-ütem alatt is.)

A szívólöket alatt nagy sebességgel érkező keverék p_B nyomása a hengerben az áramlási veszteségek miatt a p_o környezeti levegő nyomásánál valamivel kisebb (depresszió). Az indikátordiagramban tehát a szívás $A^* - B^*$ vonala teljesen nyitott pillangószelep esetén kb. 0,1 bar-ral van a p_o nyomás vonala alatt, fojtott szelepállásnál a depresszió ennek háromszorosa is lehet.



A porlasztó elvi vázlatát a **2. ábra** szemlélteti. A dugattyú a levegőt közepén szűkített csövön keresztül szívja a hengerbe. A Venturi-cső alakú légvezeték legszűkebb szelvényében elhelyezett fúvókában a cseppfolyós tüzelőanyagot úszóval vezérelt szelep tartja állandó szintmagasságon. A finom cseppekre porlasztott folyadékot a légáram magával ragadja, és részben „köd” alakjában, részben pedig elpárologtatott állapotban viszi a motor hengerébe. A porlasztónak előbb leírt és a karburátoros gépjárműveknél mai napig alkalmazott működési elve *Bánki Donát* műegyetemi tanártól származik 1893-ból. (Az ő portréja látható a dékáni láncon, ő volt Tanszékünk elődjének, a Hidraulikai és Hidrogépek Tanszéknek a megalapítója, mellszobra az Aula DNY-i oldalán áll.) Az ábra kapcsán ismertetett egyszerű porlasztó változó terhelésnél nem tudja a keverék összetételének állandóságát biztosítani, mert növekvő légssebességnél a porlasztott tüzelőanyag mennyisége megnövekszik (a keverék bedúsul).



2. ábra
A porlasztó (karburátor) vázlata

A **kompresszió (sűrítő) ütem** (II. ütem; B* – C* vonal) során a dugattyú a keveréket p_B nyomásról p_C nyomásra sűríti, közben a térfogata V_I -ről V_C -re csökken. A V_I/V_C viszonyt kompresszió-viszonynak (ε) nevezzük, és a motor hatásfoka nagymértékben függ ennek értékétől.

Gyújtás. A sűrített keveréket a dugattyú holtponthoz közelében villamos szikra gyújtja meg, amely a hengerbe szerelt gyújtógyertya sarkai között a villamos transzformátortól kapott nagyfeszültség hatására keletkezik. Ideális indikátordiagramban az égést olyan gyorsnak tekintjük, hogy eközben a keverék térfogata nem változik; a nyomás ezzel p_C -ről p_D -re nő (a diagram C - D vonalán). A beszívott keverék összetételéből és a benzin fűtőértékéből a végső hőmérséklet és a végnyomás kiszámítható.



Ha a sűrítést adiabatikusnak, azaz hőközlés nélkülinek, továbbá veszteség mentesnek tekintjük és a sűrítés holtponttól holtpontig tart, a kompresszió végnyomása és véghőmérséklete

$$p_c = p_s \left(\frac{V_I}{V_c} \right)^\kappa, \text{ illetve } T_c = T_s \left(\frac{V_I}{V_c} \right)^{\kappa-1}.$$

Az összefüggésekben V_c a henger kompresszió térfogata; $V_I = V_c + V_s$ a kompressziótér és a lökettérfogat összege. A V_s lökettérfogat az s löketnek és az $A = D^2 \pi / 4$ hengerkeresztmetszetnek a szorzata; κ kitevő az állapotváltozásban részt vevő gázra jellemző dimenziótlan érték, levegő esetén 1.4.

A p_c végnyomás megengedhető értékét a keverék öngyulladás pontja, vagyis az a hőmérséklet korlátozza, amelyen a keverék magától meggyullad.



Valóságos esetben az égés akkor kedvező, ha a láng a szikrától gyorsan, de fokozatosan halad végig a hengertérben. Kedvezőtlen körülmények összejárása esetén nem ez történik, hanem a keverék egyes helyeken magától egyszerre meggyullad. Ez az öngyulladás jelensége. A p_c végnyomás megválasztását e jelenség létrejöttének veszélye is korlátozza.

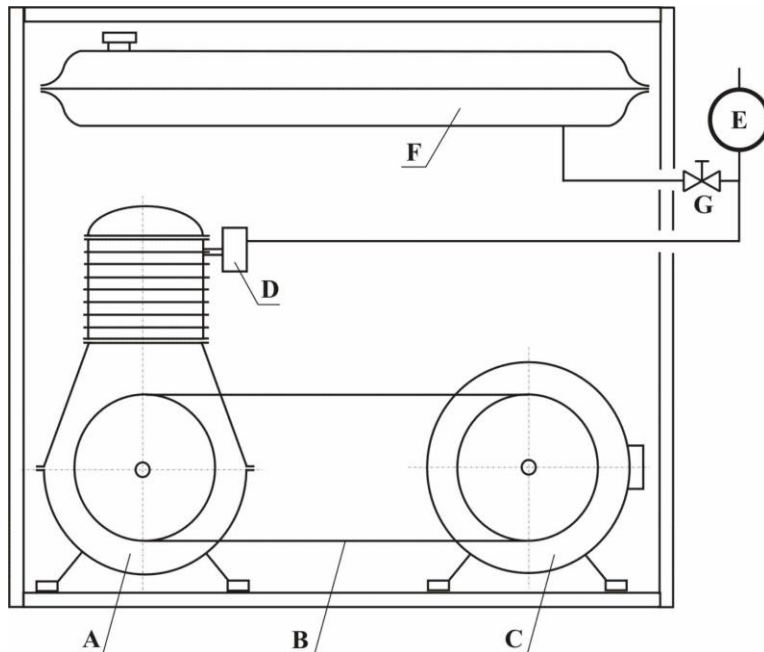
Az égés sebességének véges volta miatt a gyújtásnak a felső holtpont előtt kell bekövetkeznie (1. ábra C*). A kívánatos előgyújtás – amelyet a forgattyúnak gyújtáskor elfoglalt szöghelyzetével fejeznek ki – a motor konstrukciós adottságain kívül fordulatszámától, terhelésétől és a tüzelőanyag fajtájától és minőségétől is függ.

A **munkaütem** (III. ütem; a diagramban D* – E* vonal) alatt az égéstermék kiterjeszkedik. Eközben a nyomás p_D -ről p_E -re csökken, majd a kipufogó szelep nyitása után kismértékben továbbcsökken.

A **kipufogó ütem** (IV. ütem; E* – A* vonal) alatt a dugattyú az égésterméseket a kipufogószelepen át kitolja. Az áramlási ellenállások miatt a kipufogónyomás néhányszor 10 kPa-lal (pár tized bar-ral) nagyobb a külső p_o levegőnyomásnál. A negyedik ütem végén a kipufogószelep záródik, és a leírt folyamat ismétlődik.

A kísérleti berendezés:

A kísérleti berendezésen a négyütemű Otto-motor generátort hajt, vázlata a **3. ábrán**, fotói a **Melléklet**ben láthatók.



- A – négyütemű Otto-motor
- B – hajtómű (elvi vázlat)
- C – generátor
- D – porlasztó
- E – köbözőedény
- F – üzemanyagtartály
- G - gömbcsap

3. ábra
A kísérleti berendezés vázlata

A kísérleti berendezés adatai:

Motor típusa: Einhell TC-PG 25/1/E5; 4 ütemű, egyhengeres, léghűtéses Otto-motor

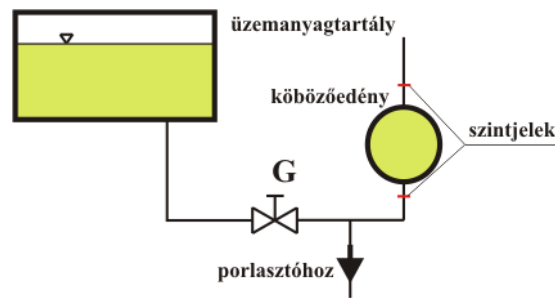
Gyártási év: 2022.

Üzemanyag: 100-as oktánszámú benzin

Az aggregát kimenő adatai: $U = 230 \text{ V}$; $f = 50 \text{ Hz}$; $P_N = 2,1 \text{ kW}$

Üzemanyag-fogyasztás mérése

A **4. ábrán** bemutatott kiegészítéssel a berendezésen kialakítottuk az átlagfogyasztás mérésének lehetőségét. A beépített köböző edény (E, ld. a 3. ábrán) az üzemanyag tartályban lévő folyadékszint alatt helyezkedik el, így az edény a G jelű gömbcsap nyitásakor gravitációs hozzáfolyással feltölthető (közlekedő edények). A köbözés megkezdése előtt a G jelű gömbcsapot elzárjuk, miáltal a motor a köböző edényből kezdi fogyasztani üzemanyagot. Megmérjük a mérőedény szintjelei közötti folyadékszint süllyedés idejét. A stopper leállítása után a motor további működtetése érdekében a gömbcsapot újra ki kell nyitni, ezzel a benzintartályt újra a rendszerbe kapcsoljuk.



4. ábra

Az üzemanyag fogyasztás mérése

A köbözőedény térfogata

$$V_K = 22,1 \text{ cm}^3 = 22,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

A köbözési idő

$$t \text{ [s]}$$

A fogyasztott üzemanyag térfogatárama

$$q_b = \frac{V_K}{t}$$

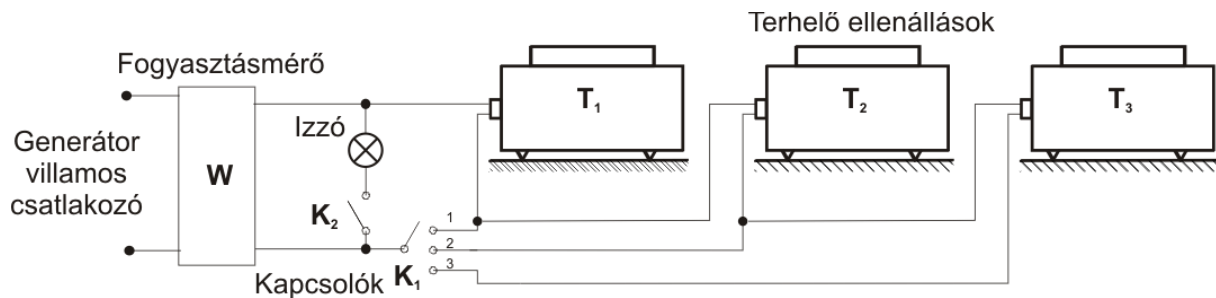
Az üzemanyag sűrűsége

$$\rho_b = 740 \text{ kg/m}^3$$

Ezzel a fogyasztott üzemanyag tömegárama

$$\dot{m}_b = q_b \rho_b$$

Az aggregát hasznos teljesítményének és ezzel együtt a gépcsoport terhelésének beállítása a villamos ellenállás-szekrénybe épített fűtő ellenállások és izzó (villanykörte) kapcsolásával történik (lásd az 5. **ábrát**).



5. ábra

Ellenállásszekrény a terhelés változtatásához

A fajlagos üzemanyag-fogyasztás az egységnyi hasznos teljesítményre jutó üzemanyag tömegárama, azaz $b = \frac{\dot{m}_b}{P_h}$. A terhelési fok a pillanatnyi

hasznos teljesítmény és a névleges hasznos teljesítmény viszonya, azaz

$$x = \frac{P_h}{P_N}. \text{ Az üzemanyag fűtőértéke: } H_b = 43,6 \text{ MJ/kg. Ezzel a bevezetett}$$

teljesítmény $P_o = \dot{m}_b H_b$.

A gépcsoport hatásfoka a pillanatnyi hasznos teljesítmény és a bevezetett teljesítmény hányadosa: $\eta = \frac{P_h}{P_o}$.

Ezek az összefüggések pillanatnyi értékeket mérnek (mivel a teljesítmény időegységre vett munka, az üzemanyag fogyasztás másodpercenként elhasznált üzemanyag, stb.). A valóságban a gépek változó terheléssel járnak (pl. egy, a városi forgalomban részt vevő gépkocsi terhelése folyamatosan

változik), ezért felmerül a kérdés, hogyan tudjuk az átlagos hatásfokot kiszámítani.

Átlagos hatásfok és közepes terhelés

Az „ $\eta_{\text{átl}}$ ” **átlagos hatásfokot** a t üzemi idő alatt hasznosított W_h munkának és a W_{δ} bevezetett munkának a hányadosa adja:

$$\eta_{\text{átl}} = \frac{W_h}{W_{\delta}} = \frac{\int_0^t P_h dt}{\int_0^t P_{\delta} dt}.$$

Feltételezve, hogy a berendezést a ciklus alatt nem használtuk üresjárásban ($\eta \neq 0$), ill. felhasználva, hogy a névleges teljesítmény állandó, írható, hogy

$$\eta_{\text{átl}} = \frac{W_h}{W_{\delta}} = \frac{\int_0^t P_h dt}{\int_0^t P_{\delta} dt} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{hi} t_i}{\sum_{i=1}^n \frac{P_{hi} t_i}{\eta_i}} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i t_i}{\eta_i}},$$

ahol

- n – a teljes vizsgált időtartam alatt a terhelési szakaszok száma
- t_i – az i -edik terhelési szakasz időtartama
- x_i – az i -edik terhelési szakasz terhelése
- η_i – az i -edik terhelési szakasz hatásfoka

A teljes vizsgált időtartamra vonatkoztatott **közepes terhelés:**

$$x_{\text{köz}} = \frac{W_h}{W_{\text{névl}}} = \frac{\int_0^t P_h dt}{\int_0^t P_{\text{névl}} dt} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}.$$

Számítási feladat

A mérési eredmények felhasználásával kiszámítandók a közepes terhelés és az átlagos hatásfok értékei, olyan esetben, amikor az aggregát 250 W hasznos teljesítménnyel 10 percig, 800 W-tal 20 percig és 1400 W-tal 30 percig működik. Meghatározandó továbbá a fenti ütemterv szerinti működtetés során az egy órás üzemhez szükséges benzin mennyisége! A számításhoz szükséges η_i és b_i értékeket az elkészült diagramokról az x_i kiszámítása után olvassa le! Ezt a számítási feladatot a biankó jegyzőkönyvben kell majd a mérés során elvégezni.

A berendezés indításának lépései:

1. Az elszívó ventilátor bekapcsolása.
2. A benzincsap kinyitása és rövid várakozás az üzemanyag folyadékfelszín feltöltött helyzetének kialakulásáig.
3. A gyújtáskapcsoló bekapcsolása.
4. A szivató „kihúzása”.
5. A motor indítása a behúzó bowden segítségével.
6. A szivató visszatolása.
7. A terhelő ellenállások főkapcsolójának felkapcsolása.
8. Fogyasztásmérő üzembe helyezése (teljesítmény kiválasztása).

A mérési pontok beállítása az alábbiak szerint történik:

1. Üresjárási mérés. Nincs bekapcsolva terhelő ellenállás a rendszerben.
2. Villamos kapcsolószekrény 1-es állásban.
3. Villamos kapcsolószekrény 2-es állásban.
4. Villamos kapcsolószekrény 3-as állásban.
5. Villamos kapcsolószekrény 3-as állásban + 250 wattos izzó bekapcsolt állapotban.
6. Villamos kapcsolószekrény 2-es állásban + 250 wattos izzó bekapcsolt állapotban.
7. Villamos kapcsolószekrény 1-es állásban + 250 wattos izzó bekapcsolt állapotban.
8. Kikapcsolt villamos kapcsolószekrény + 250 wattos izzó bekapcsolt állapotban.

A mért adatok és a számítási eredmények az alábbi táblázatban gyűjtendőek össze (ezt a biankó jegyzőkönyv tartalmazza):

Sorsz.	t	P_h	q_b	\dot{m}_b	b	x	$P_{\bar{o}}$	η
	[s]	[W]	[cm ³ /s]	[kg/s]	[kg/kWh]	[-]	[kW]	[-]
1.								
...								
8.								

A berendezés leállításának lépései:

1. A terhelő ellenállások és izzó kikapcsolása.
2. A benzincsap elzárása.
3. Várakozás a köböző tartály üzemanyag folyadékfelszínének leürüléséig.
4. A villamos főkapcsoló kikapcsolása.
5. Gyújtáskapcsoló lekapcsolása.
6. Kb. 15 perc elteltével az elszívó ventilátor kikapcsolása.

A mérés végén közös A4 mm papíron elkészítendő diagramok:

1. $b = f(x)$ a fajlagos üzemanyag fogyasztás a gépcsoport terhelésének függvényében
2. $\eta = f(x)$ a gépcsoport hatásfokának változása a terhelés függvényében

A léptékek felvételét a 0. mérésnél már megtanultuk (1 egység csak 1, vagy 2, vagy 5 cm legyen).

A diagramon tüntessük fel a diagram címét, a fordulatszámot, melyen a mérést végeztük, a dátumot, a diagram készítőjének nevét és Neptun kódját.

A MÉRÉSRE VALÓ FELKÉSZÜLÉS

- Hozzanak magukkal 1 db A4-es milliméterpapírt, ceruzát, vonalzó, számológépet.
- Mérés előtt ellenőrizni fogjuk a mérésre történő megfelelő felkészülést, a mérés során alkalmazott összefüggések ismeretét és helyes használatát elméleti, ill. rövid számpéldán keresztül. (Pl.: a mintakérdések a honlapon; megjegyzés: a beugrón ezektől eltérő kérdések is lehetnek.)
- Töltsék ki otthon a biankó jegyzőkönyvet a 4. pontig (az 5-8 pontot majd a mérésen fogjuk).

A mérésleírással illetve a méréssel kapcsolatos észrevételeket a pcsizmadia@hds.bme.hu címre várjuk.

Irodalom:

<http://www.hds.bme.hu> GMA előadás fóliák
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Otto-motor>
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Porlasztó>
http://en.wikipedia.org/wiki/Indicator_diagram

Melléklet



A berendezés előlnézetből.



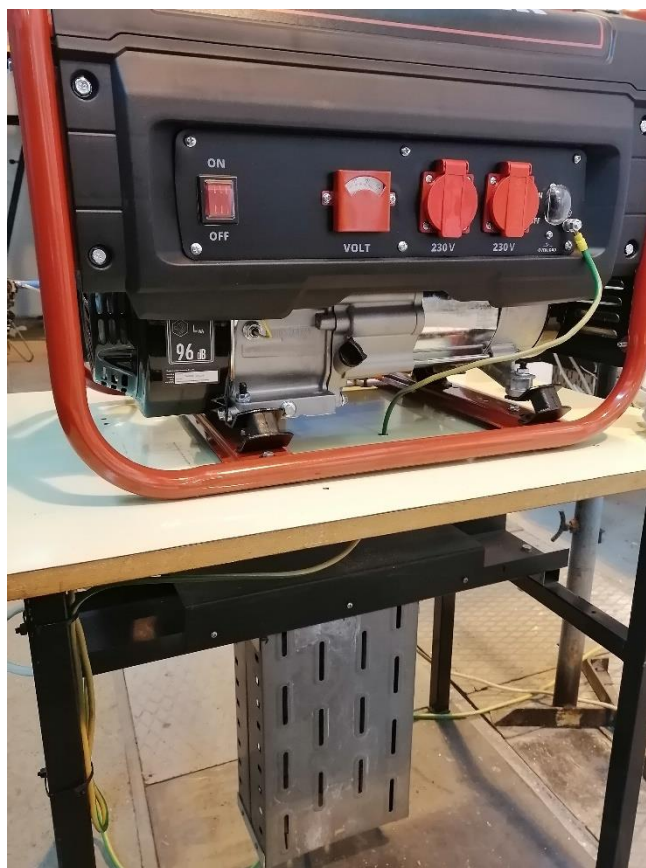
A berendezés hátnézetből.



Köböző edény az üzemanyag fogyasztás méréséhez



A generátor hasznos teljesítményének mérésére
beépített villamos műszer



Az asztal alatt telepített ellenállás-szekrény
a terhelés változtatásához