

# Műanyag-vákuumformázó gép tervezése és kivitelezése

## Design and Implementation of a Vacuum Forming Machine

Birton Botond-Antal,<sup>1</sup> Gergely Attila<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Szak, Marosvásárhely, Románia, birtonbota4@gmail.com

<sup>2</sup> Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, agergely@ms.sapiientia.ro

### Abstract

The purpose of this work is to present the design of a laboratory scale vacuum forming machine, which can be used for the processing of thermoplastic sheets. The designed machine can process an A4 format plastic sheet. An important consideration in the design process was to follow a cost-effective approach. The vacuum forming instrument is made for educational purposes in the framework of a final project for the Polymer Technology Laboratory of the Department of Mechanical Engineering of the Sapiientia EMTE University in Târgu-Mureș. The structure and the operation of the machine is similar to that found in the industry. However, the cost of production is significantly lower. The main components of the machine include the frame, heater, vacuum pump and the clamping device.

**Keywords:** *vacuum forming, thermoplastics, design, processing plastics.*

### Összefoglalás

A dolgozat célja egy vákuumformázó berendezés tervezése és kivitelezése, melyet hőre lágyuló polimer lapok formázására lehet használni. A tervezett berendezés A4-es formátumú műanyag lap megmunkálására alkalmas. A berendezés tervezésekor fontos szempont volt a költséghatékony kivitelezés. A berendezés egy államvizsga-dolgozat keretében a Sapiientia EMTE Marosvásárhelyi Karának Gépészmérnöki Tanszékéhez tartozó Polimertechnológia laboratórium számára készül oktatási célra. A tervezett berendezés felépítése és működése hasonló az iparban használt gépekéhez, az előállítási költsége viszont jelentősen kisebb. A berendezés főbb alkotóelemei közé tartoznak a következők: vázszerkezet, melegítő, vákuumszivattyú, a formázandó műanyaglap befogó szerkezete.

**Kulcsszavak:** *vákuumformázás, hőre lágyuló polimerek, géptervezés, műanyag-megmunkálás.*

## 1. Bevezetés

A vákuumformázott műanyagot először megjelenési és marketingeszközként használták, amikor is kifejlesztették a formázási és vákuumöntési eljárások sorozatából az 1940-es és az 1950-es években. Az első berendezést 1950-ben szabadalmaztatták, amelyet képernyőburkolatok gyártására használtak, ezt követően pedig különböző módszereket és megoldásokat alkalmazván végül 1964-ben szabadalmaztattak egy véglegesített műanyaglap-vákuumformázó berendezést. Mindenik termoplasztikus és vákuumformázó

berendezés egy régi koncepcióból indult ki, amely szerint bármilyen formázási, illetve öntési procedúrában a beszorult fölösleges levegőt vákuum segítségével távolították el. Az öntőszerszámokba beszorult levegő eltávolítása nagyon fontos szerepet játszik mindenféle formázási, illetve öntési eljárásban, mivel gyenge pontokat vezethet be a munkadarabba, ezáltal a szilárdsága már nem lesz megfelelően nagy, és eltörhet vagy elrepedhet. E probléma kiküszöbölésére használják a vákuumot, ezáltal minden beszorult vagy fölösleges levegő eltávolítható, így biztosított a tökéletes és egyenletes formakitöltés [1].

Az eljárást tovább tökéletesítették azzal, hogy a formázandó műanyaglapot egy keretbe rögzítettek, majd mielőtt még formázására került volna, felmelegítették. A melegítés hatására a műanyag lap megpuhul, képlékeny állapotba kerül, ezáltal könnyebben alakítható. A melegítéssel segített formázásnak a berendezését 1968. augusztus 27-én szabadalmaztatták [2].

A vákuumformázás az egyik leggyakoribb és legrégebbi a hőre lágyuló műanyagok megmunkálási módszerei között. Napjainkban a vákuumosan formázott műanyag termékek szinte mindenhol megtalálhatók. Ilyen termékek például az egyszerű csomagolóelemek, játékautók, illetve azok csomagolása, prototípusok stb. [3].

Egyszerű meghatározásaként elmondható, hogy a vákuumformázás egy olyan alakadási folyamat, amely során a felhasználás céljának megfelelő vastagságú, termoplasztikus lapot felmelegítjük egy adott hőmérsékletre, amelyen alakítása megfelelően elvégezhető, majd egy kívánt geometriájú és méretű formára nyújtjuk, miközben vákuumot alkalmazunk. A vákuum segítségével a darab tökéletesen felveszi az alakadó forma felületi geometriáját, majd hűtés segítségével permanensen ezt meg is őrzi. Miután a darab megfelelő mértékben lehűlt, megkeményedett, biztonságosan eltávolítják, ügyelve arra, hogy ne károsodjon a felülete vagy változzon az alakja. A darab ezután esetleges utómegmunkálásoknak van alávetve, ahol eltávolítják a felesleges anyagot [4, 5].

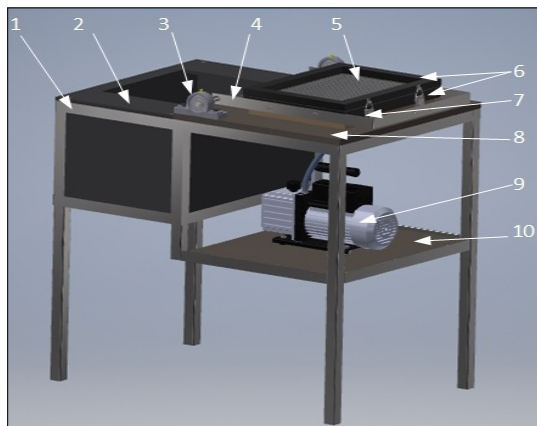
A leggyakrabban felhasznált anyagok a vákuumformázáshoz a HIPS (high impact polystyrene), PVC (polivinil-klorid), ABS (akrilonitril butadién sztírol), PP (polipropilén), PC (polikarbonát) [5].

## 2. A vákuumformázó berendezés bemutatása

### 2.1. Működése és 3D-s modellje

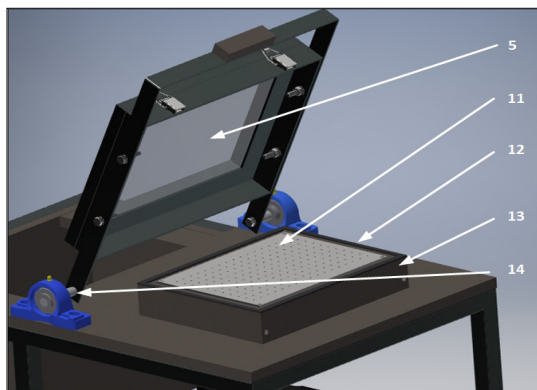
A tervezett vákuumformázó berendezés 3D modellje az 1. ábrán látható. A formázandó nyersanyag 1 mm vastagságú polikarbonát lap. A készülék működése a következő lépésekből áll. Első lépésként a műanyag lap behelyezésére kerül sor, amely úgy történik, hogy két szorítólap (6) közé beszorítjuk, és kampók (7) segítségével rögzítjük, ezzel biztosítva a formázandó lap pozícióját a megmunkálási folyamat során. A berendezés billenő szerkezetű, amely leegyszerűsíti és felgyorsítja a műanyag lap áthelyezésének folyamatát a melegítő- (2) és a formázóegységek között. A formázandó lap felhelyezése után, a második lépésben következik a melegítés folyamata, amely

a készülék bal oldali részében történik. A billenő felfogó lapot (4) balra fordítjuk, és bekapcsoljuk a melegítőt. A melegítés addig történik, ameddig a hőre lágyuló polimer eléri egy olyan hőmérsékletet, amelyen megfelelően képlékeny állapotba kerül és könnyen alakítható. A polimer lapnak ez az állapota szemmel is megfigyelhető, hiszen átlátszóvá válik, vagy színes lap esetén a lap színe megélnkül. Ez a lépés némi tapasztalattal, ill. a melegítési idő mérésével tökéletesíthető. Egy megoldás e folyamat pontosságának javítására a lap hőmérsékletének mérése, viszont a berendezéssel szemben állított költséghatékonyság érte-



1. ábra. A tervezett vákuumformázó berendezés 3D-s modellje.

1 – vázszerkezet, 2 – melegítő doboza, 3 – csapágy, 4 – keret a munkadarab befogószerkezetéhez, 5 – perforált tartólemez, 6 – a munkadarab leszorító lapjai, 7 – leszorító kampók, 8 – a vákuumoszt doboz tartólapja, 9 – vákuumszivattyú, 10 – vákuumszivattyú tartólapja



2. ábra. A tervezett vákuumformázó berendezés 3D-s modellje nyitott állapotban.

5 – perforált tartólemez, 11 – műanyag lap, 12 – gumitömítés, 13 – vákuumdoboz, 14 – tengely

mében ez a kivitelezés egy fejlesztési lehetőségként van megjegyezve. Harmadik lépésként, miután a műanyag képlékennyé vált, bekapcsoljuk a vákuumszivattyút, és átfordítjuk a szorítólapokat (6) a kerettel együtt (4) a készülék jobb oldali részére. Ezen a részen a 13-as vákuumdoboz helyezkedik el, ezen pedig az 5-ös lap található, amelyen sok furat segíti a vákuum hatásának érvényesülését. Erre a tartólemeze (5) helyezük a kívánt geometriájú formázó elemet. A hőre lágyuló polimer lap ráfeszül az adott formájú tárgyra, majd a vákuum segítségével kiszívódik a kettő közti levegő, ezáltal a műanyag lap felveszi az adott tárgy felületi alakját.

## 2.2. A készülék felépítése

### 2.2.1. Vázszerkezet

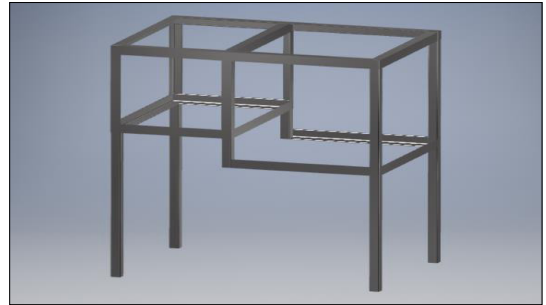
A tervezett berendezés egy vázszerkezetre kerül, mely a **3. ábrán** látható. A vázszerkezet 30×30×3 mm-es zártszelvényből, illetve szögacélból készül el hegesztéssel. A vázszerkezet mérete: 800×550×800 mm, bal oldalán a melegítőnek egy 340×540×300 mm méretű rész, míg jobb oldalán a vákuumszivattyúnak egy 440×540×390 mm méretű rész van kialakítva.

### 2.2.2. A hevítőegység

A formázandó, hőre lágyuló műanyag lap melegítésére szolgál egy 1200 W teljesítményű, Zilan márkájú melegítő. A lapokat szükséges felmelegíteni az üvegesedési hőmérséklet ( $T_g$ ) fölé, ami a formázandó műanyag típusától függ. PC esetén a  $T_g = +140\text{ °C}$  [4]. Az ipari berendezésekben használt melegítők kvarc fűtoeleses melegítők vagy kerámialapos melegítők. A költségek csökkentésének érdekében egy közönséges, három kvarc fűtoeleses hőszugárzót használunk (**4. ábra**), melynek teljesítménye fűtoelemenként 400 W, összteljesítménye pedig 1200 W.

### 2.2.3. A műanyag lap rögzítőberendezése

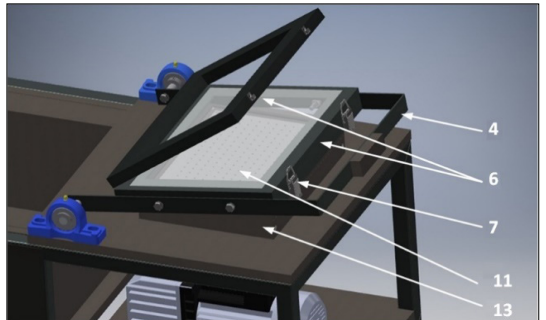
A megmunkálandó, hőre lágyuló polimer lap az alsó, illetve a felső (6-os) keretek közé van beszorítva a két szorítókampó (7) segítségével. Az alsó rögzítőlap, amelyre kerül a műanyag lap, négy darab, 30×30×3 mm-es L profilból van elkészítve, amelyek úgy vannak összehegesztve, hogy az **5. ábrán** látható, négyzet alakú keretszerkezet keletkezzen. A felső rögzítőlap négy darab, 20×30×3 mm-es zártszelvényből készül, amelyek négyszögben vannak összehegesztve. Az alsó, 6-os keret 4 darab M8×20 csavar-anya kötással van rögzítve egy fém kerethez (4), mely a **2. ábrán**



**3. ábra.** A berendezés vázszerkezete



**4. ábra.** A melegítőegység



**5. ábra.** A műanyag lap leszorító szerkezete, illetve a billenőkeret.

4 – keret, 6 – leszorító alsó és felső lapjai, 7 – leszorító kampók, 11 – műanyag lap, 13 – vákuumdoboz

szemléltetett 14-es tengelyek körül képes elfordulni. A forgatható fémkeretet egy U formára hajlított, 30×3 mm méretű lemezből alakítottuk ki. A keret két szárához egy-egy  $\phi 15$  mm átmérőjű tengely van rögzítve M8×30-as csavarkötéssel. A tengelyek csapágyazva vannak, UCP 202 csapágyházas csapágyakkal. A csapágyházak 2-2 darab M8-as csavarkötéssel rögzítve vannak a vázszerkezethez.

### 2.2.4. Vákuumszivattyú

A 11-es polimer lap és az 5-ös tartólap közti tér légtelenítésének érdekében vákuumszivattyút alkalmazunk. A felhasznált szivattyú egy Value V-i120SV, melynek teljesítménye ~184 W, hozama 51 L/min, a végvákuumérték ~0,2 Pa, amely

$0,2 \times 10^{-6}$  barnak felel meg. A szivattyúra egy, a **6. ábrán** szereplő manométer (2) van szerelve, amely a pillanatnyi vákuum értékét mutatja [6].

A vákuumszivattyú a tartólaphoz 8 mm belső átmérőjű FESTO-csővezetékkel kapcsolódik, melynek mindkét végén gyorscsatlakozó található.

### 2.2.5. Vákuumdoboz

A 13-as vákuumdoboz biztosítja az **1. ábrán** feltüntetett, 5-ös tartólap és a műanyag lap közötti vákuum megvalósíthatóságát. A doboz téglalatest alakú, fából készült, méretei  $350 \times 270 \times 51$  mm. A dobozt facsavarokkal rögzítettük a 8-as alaplaphoz, illetve szilikonpasztával biztosítottuk a doboz és az alaplappal közötti tömítést.

A 8-as tartólapban egy  $\phi 14$  mm átmérőjű furat van kiképezve, amelyhez egy  $1/2''$ -os gyorscsatlakozó (15) van rögzítve, ehhez pedig a szivattyú FESTO-csővezete kapcsolódik.

A vákuumdobozra a **2. ábrán** levő 5-ös tartólemezt facsavarokkal rögzítettük.

A 12-es gumitömítés a vákuumdoboz és a 11-es műanyag lap alsó, 6-os, tartólapja közötti tömítést biztosítja annak érdekében, hogy a vákuumozás minél hatékonyabb legyen.

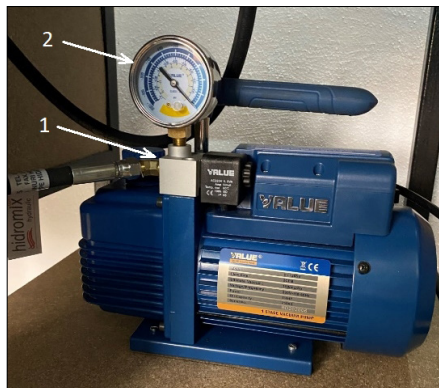
A **8. ábra** a tervezett és kivitelezett vákuumformázó géppel gyártott terméket mutat be. Az ábrán látható, hogy az 1 mm vastagságú PC lapból gyártott termék felvette a formázó elem geometriáját.

## 3. Következtetések

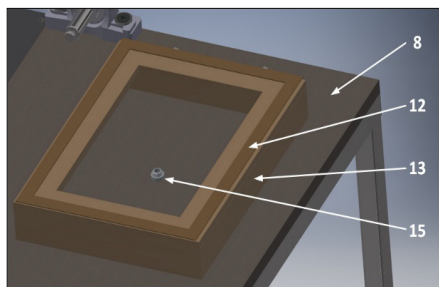
Jelen dolgozatban bemutattuk egy laboratóriumban használt vákuumformázó berendezés felépítését és tervezésének lépéseit. Az oktatási célokra tervezett berendezés felépítése és működési elve hasonló az iparban használt berendezésekéhez, viszont elkészítése olcsóbb. A készülék segítségével a diákok könnyebben elsajátíthatják a vákuumformázás módszerét, illetve különböző laborgyakorlatokat végezhetnek vele.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Display developments UK: *The history of vacuum forming*. (letöltve: 2021. 02 03.) <https://www.displaydevelopments.co.uk/be-spoke-manufacturing/the-history-of-vacuum-forming-ib-204.html>
- [2] Alesi J. Jr., Alesi J.: *Vacuum forming apparatus*, 1968. US3398434A
- [3] Advancedtek: *Vacuum forming guide*. (letöltve: 2021. 02 03.) <http://www.advancedtek.com/wp-content/uploads/2018/12/Vacuum-Forming-Guide.pdf>
- [4] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: *A polimertechnika alapjai*. Műegyetemi kiadó, Budapest, 2000. 54.



**6. ábra.** Vákuumszivattyú. 1 – vákuumcsövet csatlakozása, 2 – manométer [6]



**7. ábra.** A vákuumdoboz modellje. 8 – vákuumdoboz tartólapja, 12 – gumitömítés, 13 vákuumdoboz, 15 – vákuumcső-csatlakozó



**8. ábra.** A tervezett vákuumformázó géppel gyártott darab

- [5] C. W. Thomas: *Thermoforming Design Guide*. (letöltve: 2021. 02 03.) <https://www.cwthomas.com/wp-content/uploads/2016/12/Design-Guide.pdf>
- [6] Valuetool: *Vacuum pump V-i20SV*. (letöltve: 2021. 02 03.) [https://valuetool.pl/en/offer/value-products/vacuum-pumps/single-stage-vacuum-pumps/v-i20sv/product\\_data\\_sheet](https://valuetool.pl/en/offer/value-products/vacuum-pumps/single-stage-vacuum-pumps/v-i20sv/product_data_sheet)