

# Vákuumlefogás vizsgálata CNC megmunkáló központokon

Németh Szabolcs, Csanády Etele\*

A faipari gyártás technológiai csúcsát a számítógép vezérlésű CNC megmunkáló gépek és központok képezik, ezred milliméteres megmunkálási pontosságot biztosítva. A CNC megmunkáló központoknál több irányból történik a megmunkálás, és így több irányú az erőhatás is. A megmunkálófej  $\mu\text{m}$  pontos vezérléséhez a munkadarabot biztosan kell rögzíteni, meg kell fosztani szabadságfokaitól, így érhetünk el maximálisan jó megmunkálási minőséget. Ma a leggyakrabban alkalmazott munkadarab leszorítási mód, az elsősorban sík felülettel is rendelkező alkatrészek vákuum mezővel történő lefogása. A vákuum által létrehozott leszorító erő a  $\mu_0$  (tapadási-súrlódási együttható) és  $\mu$  (csúszási-súrlódási együttható) segítségével hozza létre a súrlódási erőt, amely a munkadarab elmozdulását megakadályozza. A számos mérés célja, melyet végeztünk, a munkadarab elmozdulásának vizsgálata volt. Gyakori probléma ugyanis, hogy intenzív forgácsoláskor, illetve a munka megkezdésekor az elmozdulhat.

**Kulcsszavak:** CNC megmunkológép, Munkadarab, Tapadási-súrlódási együttható, Csúszási-súrlódási együttható

## Vacuum clamping for CNC-woodworking

Computer controlled machining equipment and centres that provide accuracy in the thousandth millimeter range, represent the pinnacle of woodworking technology. When cutting happens and, as a consequence, forces act in several different directions. For micrometer precision control of the cutting tool, workpieces have to be fastened securely, deprived from their degrees of freedom, to achieve maximum quality. The most frequent clamping method for pieces with planar surfaces today is fastening by a vacuum field. The vacuum-induced hold-down force, together with  $\mu_0$  and  $\mu$  (static and kinetic friction coefficients, respectively) creates the friction force that prevents the workpiece from shifting. The purpose of our numerous measurements was the analysis of the workpieces' movement. The shifting of the material upon intensive cutting or at the start of the cutting process is a frequent problem.

**Key words:** CNC machining centres, Workpiece, Static friction coefficient, Kinetic friction coefficient

### Bevezetés

A faipari gyártás technológiai csúcsát a számítógép vezérlésű CNC megmunkáló gépek és központok képezik, ezred milliméteres megmunkálási pontosságot biztosítva. A CNC megmunkáló központoknál több irányból történik a megmunkálás, és így több irányú az erőhatás is. A megmunkálófej  $\mu\text{m}$  pontos vezérléséhez a munkadarabot biztosan kell rögzíteni, meg kell fosztani szabadságfokaitól, így érhetünk el maximálisan jó megmunkálási minőséget. Ma a leggyakrabban alkalmazott munkadarab leszorítási mód, az elsősorban sík felülettel is rendelkező alkatrészek vákuum mezővel történő lefogása. A vákuum által létrehozott leszorító erő a  $\mu_0$  (tapadási-súrlódási együttható) és  $\mu$  (csúszási-súrlódási együttható) segítségével hozza létre a súrlódási erőt, amely a munkadarab elmozdulását megakadályozza. A számos mérés célja, melyet végeztünk, a munkadarab elmozdulásának vizsgálata volt. Gyakori probléma ugyanis, hogy intenzív forgácsoláskor, illetve a munka megkezdésekor az elmozdulhat.

### Elméleti alapok

A bevezetésben ismertetett raszteres vákuumasztalon végeztük a méréseket. Az asztal négyzetrácsos mintázat szerint rendelkezik horonyhálózattal. A horonyhálózatba helyezett gumiprofillal lehet tetszőleges formájú és nagyságú vákuumterületet kialakítani. Tekintettel a vákuumszivattyú jó állapotára a biztosított vákuum maximum -0,9 bar volt.

A rögzítés lényege, hogy a munkadarab és a tárgyasztal között lévő minimálisnak tekinthető résben vákuumot hozunk létre. A vákuum biztosítja, az egyébként elhanyagolható súlyerő mellett a felületeket összeszorító erőt.

$$F_{\text{vákuum}} = p_{\text{vákuum}} \cdot A \quad [\text{N}], \quad [1]$$

ahol: A - felület ( $\text{mm}^2$ )

$p_{\text{vákuum}}$  - vákuum mozgás

$F_{\text{vákuum}}$  - vákuum által létrehozott, a felületeket összeszorító erő.

\* Németh Szabolcs egyetemi adjunktus, doktorandusz, NyME Gépészeti Intézet  
Dr. Csanády Etele CSc. egyetemi docens, NyME Gépészeti Intézet

A vákuumerőt két szorzótényező befolyásolja lineárisan, az egyik a felület nagysága, a másik pedig a vákuum nagysága. A mérések folyamán mindkét tényezőt változtattuk, és különféle fafajú mintadarabokat mozdítottunk el. A munkadarab mindaddig nem mozdul el a munkasztalon, amíg a fellépő erő el nem éri, vagy meg nem haladja a tapadási súrlódási erő értékét.

### ***Kísérleti módszer***

A mérés elvi értelmezéséből származóan olyan mérőköröket kellett felépíteni, amelyek az elmozdulást  $\mu\text{m}$  nagyságrendben, és a tapadó- valamint csúszó súrlódás során fellépő erőket mérni tudják.

#### Munkadarab vákuumos lefogás esetén történő elmozdítása

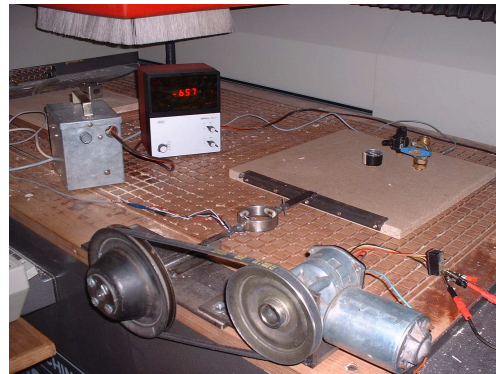
Az **1. ábrán** jól látható a munkadarab a raszterasztalon. A munkadarabra vákuumórát építettünk be, valamint egy durva és egy finom szabályozású szelep a vákuum szabályozás érdekében. A munkadarabot villanymotorral csigahajtóműves csavarorsón és csukló szerkezeten keresztül mozgattuk. Az ábrán jól kivehető a csuklók közé beépített mérőcella.

Mint ahogyan az **2. ábrán** látható, egy adott lefogási területnél és négy vákuumértéknél párhuzamosan mértük az erőt és elmozdulást. Jól látható, hogy a nem lineárisan növekvő erő a megcsúszás pillanatában hirtelen visszaesik, majd mivel a folyamat átmegy csúszásba, enyhén ugyan, de nem lineárisan tart egy értékhez.

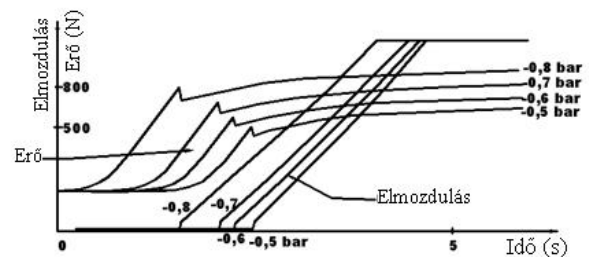
A harmadik adathalmaz a felületi érdesség méréséből származott.

#### A munkadarab elmozdítása raszterasztalon súlyterhelés alatt

A második mérési rendszerben a vákuumhatást helyettesítettük súlyterheléssel, ez látható a **3. ábrán**. Ilyen körülmények között a raszterasztalt kétféleképpen is vizsgáltuk, vákuum mentesen gumitömítéssel és gumitömítés nélkül. Az indok egyszerű: látni kívántuk a tömítő gumi súrlódási törvényszerűségeket felbontó hatását.



**1. ábra** – Vonszoló szerkezet az erőmérő cellával



**2. ábra** – Erő és elmozdulás regisztrátum forgácslapnál



**3. ábra** – Munkadarab elmozdítás raszterasztalon, súlyterhelésnél



**4. ábra** – Munkadarab leszakító berendezés mérő gyűrűvel

### Munkadarab függőleges irányú leszakítása vákuumos megfogás esetén a raszterasztalról

A szerkezet lapleemelő berendezés (4. ábra), 400x400 mm-es méretű lapanyagok vákuumlefogatású asztról történő leszakítására alkalmas.

A harmadik méréscsoport a vákuumlefogás egyik legkritikusabb paraméterét vizsgálja, hogy a tömítőgumival körbekerített terület hányad része működik aktív vákuumterületként. Ez befolyásolja a normálerő mértékét.

### Dinamikus vizsgálat vákuumos munkadarab megfogásnál

Az 5. ábra egy olyan berendezést mutat, amellyel a helyzeti energia segítségével a munkadarabra ható dinamikus igénybevételek modellezhetők, amelyek legjobban közelítik a megmunkálásból adódó igénybevételeket. Előre meghatározott paraméterek voltak a helyzeti energia, a vákuum és leszorítási felület nagyságok. Mért értékek a munkadarab elmozdulása az ütés következtében.

### *Eredmények*

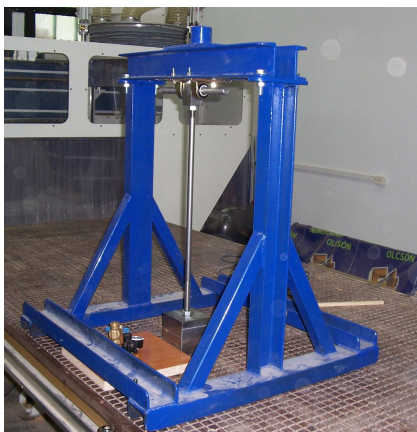
A mérések kiértékelése az alábbi fizikai-mechanikai mennyiségekre terjedt ki, úgy a vákuumlefogás és elmozdítás valamint súlyterhelés és elmozdítás esetén:

A tapadó-súrlódási együttható:

$$\mu_0 = p_{\text{húz0}} / p_{\text{vákuum}}; p_{\text{húz0}} = F_{\text{elmozdulási}} / A \quad [2]$$

A csúszó-súrlódási együttható:

$$\mu = p_{\text{húz2}} / p_{\text{vákuum}}; p_{\text{húz2}} = F_{\text{csúszási}} / A \quad [3]$$

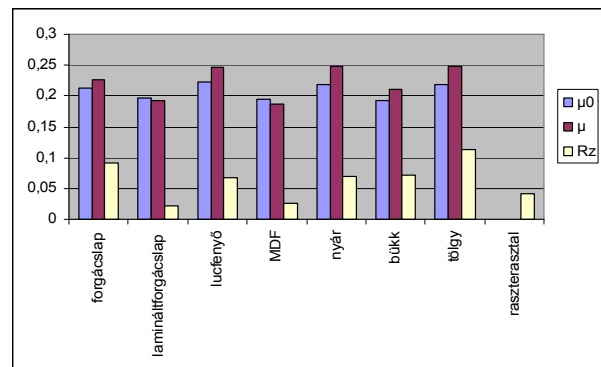


5. ábra – Dinamikus vizsgáló berendezés

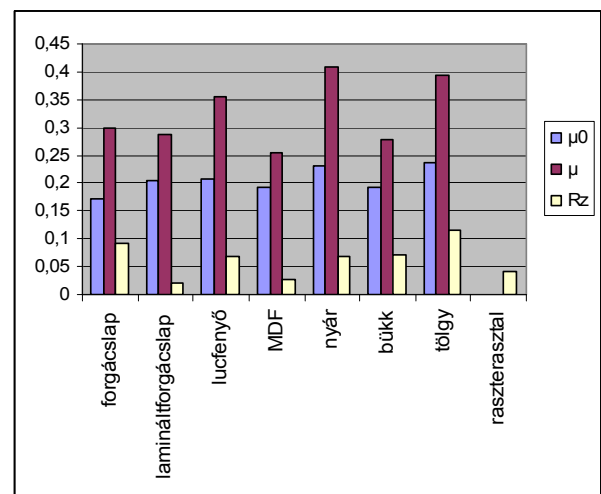
Az elmozdulási erő alatt az az erő értendő, melynek fellépésekor a munkadarab megmozdul. Csúszási erő az az erő, amely szükséges a mintatest folyamatos csúsztatásához.

### A munkadarab vákuumos lefogása esetén történő elmozdulás vizsgálata

A 6. és 7. ábrák alapján elmondhatjuk, hogy a fafajok érdességi sorrendjéhez képest a kapott eredmények nagy része nem igazodik az érdesség szerinti besoroláshoz normál leszorítás esetén. Ez azért van, mert a két felszín erőhatás alatt egymásnak szorul és deformálódik  $\mu\text{m}$  nagyságrendben. A helyzet bonyolultabb annál, semmint hogy azt az egyszerű fizika szabályaival leírhatnánk. A gumiprofil elasztikus, tapadós hatásával jelentősen megváltoztatja a viszonyokat.



6. ábra – Súrlódási együtthatók és érdesség értékek különböző munkadaraboknál (-0,7 bar és 0,0656 m<sup>2</sup>)



7. ábra – Súrlódási együtthatók és érdesség értékek különböző munkadaraboknál (-0,2 bar és 0,0365 m<sup>2</sup>)

Az oszlopdigramok szintén jelzik, hogy a tapadási súrlódási együttható kisebb, mert a csúszási súrlódási együttható nagymértékben függ a felülettől és a nyomástól.

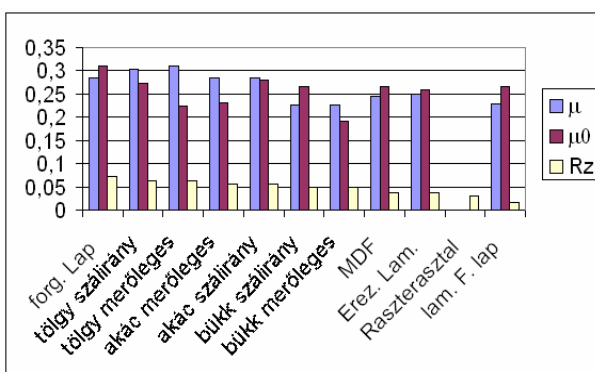
### Munkadarab elmozdítása raszterasztalon súlyterhelés alatt

A súlyterheléses vizsgálatok pontosan egyező eredményeket produkálnak az előző, vákuumos mérési módszerrel. A **8. és 9. ábrák** jól mutatják, hogy a gumitömítés jelenléte ugyanazt a fordított helyzetet adja, mint a vákuumos vizsgálatoknál, tehát nagyobb vákuum esetén kis mértékben nagyobb a csúszási súrlódási együttható, mint a tapadási súrlódási együttható. Kisebb vákuum értéknél a különbség nagyobb mértékű.

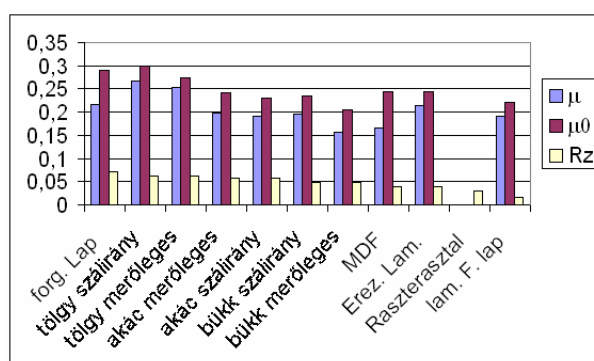
A **10. és 11. ábra** egyértelműen bizonyítja, hogy a rend helyreáll abban a pillanatban, ha nem alkalmazunk tömítőgumit, és a klasszikus tapadási és csúszási súrlódási viszonyok állnak elő.

### Munkadarab függőleges irányú leszakítása vákuumos megfogás esetén a raszterasztalról

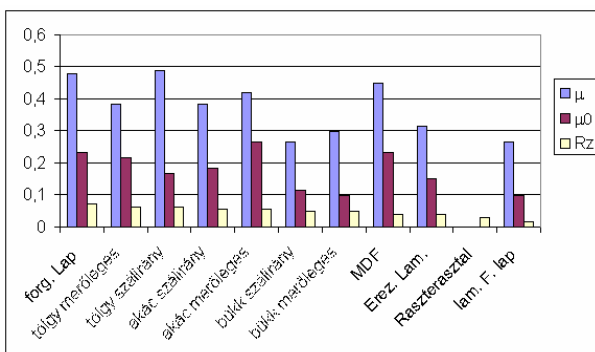
Várhatóan alakult a mérési eljárás eredménye, a raszterasztal vákuum számára elszigetelt területe nem számítható 100 %-os kihasználtságúnak. Forgácslap és MDF lapok esetén (**12. és 14. ábra**), a leszorítóerő közel lineárisan csökken a vákuumérték csökkenésével. Nagyobb leszorítási területek esetében, a leszorítási határfok – azaz a leszorítási erő és az elméleti erő viszonya – rosszabb mint kisebb felületeknél. A **13. és 15. ábrák** a kétféle lap leszorítási határfok függvényét mutatják, amely forgácslap esetében 85 % körüli, MDF esetében 75 % körüli érték. Az eltérő lefogási felületeknél a veszteségek különbözően alakulnak, ennek köszönhető az, hogy a görbéken nem érzékelhető semmilyen tendencia. Ennek pontosítása még további vizsgálatokat igényel. Világosan látszik az, hogy csökkenő vákuum értéknél a határfok javul.



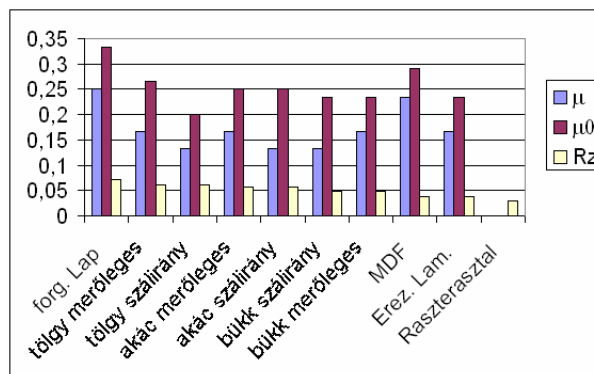
**8. ábra** – Az oszlopdigram a  $\mu$ ,  $\mu_0$ , és Rz értékeinek sorrendjét mutatja – fafajtól függően, gumitömítéssel mérve, 0,0723 m<sup>2</sup> felület és -0,6 bar nyomásnak megfelelő terhelés mellett



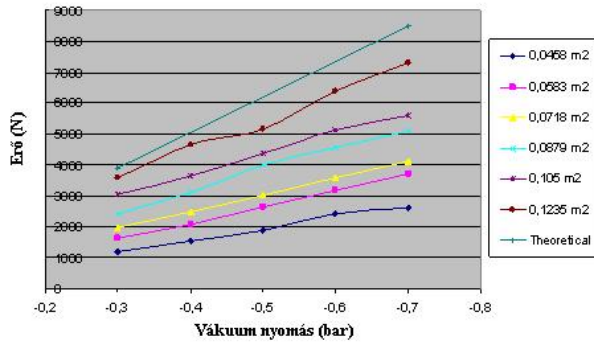
**10. ábra** – Az oszlopdigram a  $\mu$ ,  $\mu_0$ , és Rz értékeinek sorrendjét mutatja – fafajtól függően, gumitömítés nélkül mérve, 0,0723 m<sup>2</sup> felület és -0,6 bar nyomásnak megfelelő terhelés mellett



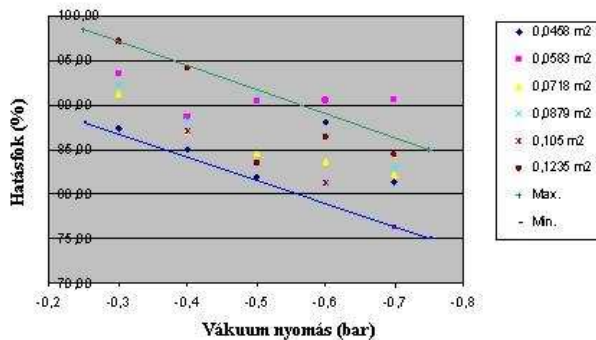
**9. ábra** – Az oszlopdigram a  $\mu$ ,  $\mu_0$ , és Rz értékeinek sorrendjét mutatja – fafajtól függően, gumitömítéssel mérve, 0,0302 m<sup>2</sup> felület és -0,2 bar nyomásnak megfelelő terhelés mellett



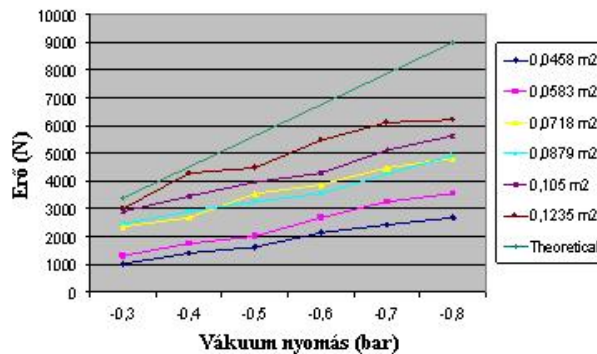
**11. ábra** – Az oszlopdigram a  $\mu$ ,  $\mu_0$ , és Rz értékeinek sorrendjét mutatja – fafajtól függően, gumitömítés nélkül mérve, 0,0302 m<sup>2</sup> felület és -0,2 bar nyomásnak megfelelő terhelés mellett



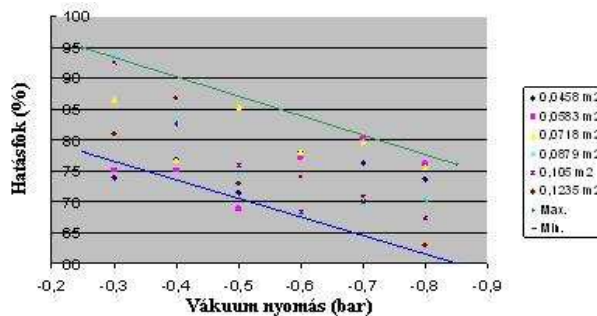
12. ábra – Szakítóerő kapcsolata a leszorított felületekkel, különböző vákuum-értékek esetén, forgácslapnál



13. ábra – Szakítóerő és elméleti erő viszonyából kapott hatásfok kapcsolata a nyomással különböző felületek esetén, forgácslapnál



14. ábra – Szakítóerő kapcsolata a leszorított felületekkel, különböző vákuum-értékek esetén, MDF-nél

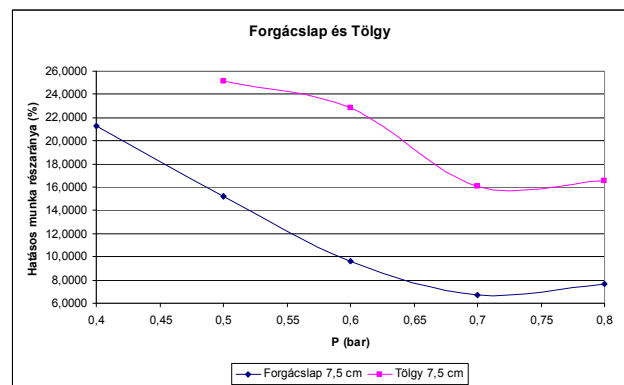


15. ábra – Szakítóerő és elméleti erő viszonyából kapott hatásfok kapcsolata a nyomással különböző felületek esetén, MDF-nél

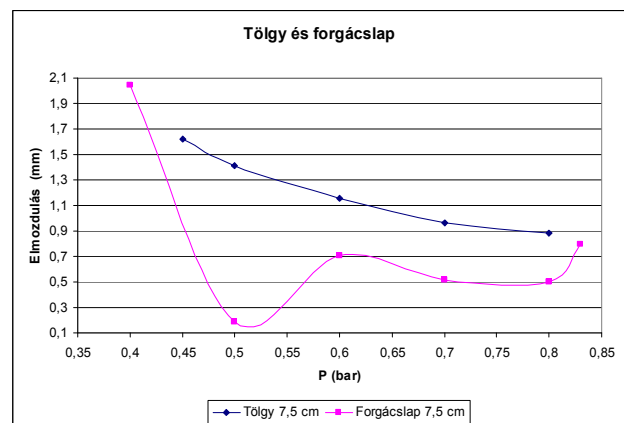
## Dinamikus vizsgálat vákuumos munkadarab megfogásánál

A dinamikus teszteknel az elsődleges kérdés a megmozdulást előidéző hatás. Az elmozdulás regisztrátum karakterisztikája a kiindulási energia és a vákuum nagyságának függvényében változott, de a jellegzetessége mindegyik esetben azonos maradt.

A gumiprofil a hagyományos csúszás karakterét itt is világosan láthatóan megváltoztatta. A méréseknél az eredeti helyzeti energiát vizsgáltuk, hogy hány százaléka adódik át a munkadarab elmozdítására és válik belőle hasznos munka. Ennek eredményei láthatók a 16. ábrán. Az elmozdulások mérési eredményeit összegzi a 17. ábra. Ez mutatja, hogy alacsonyabb vákuum értéknél nagyobb az elmozdulás.



16. ábra – Forgácslapnál és tölgnél a hatásos munka részaránya



17. ábra – Tölgy és forgácslap minták elmozdulása

A görbék elemzése két eredményt adott:

- a hasznos munka hányad (**16. ábra**) alacsony aránya, és a gyors lecsengés mutatja, hogy az energia nagy része a rugalmas ütközésben elveszik;
- alacsonyabb vákuum értéknél javul a hatásfok és nő az elmozdulás értéke, mert a leszorító erő csökken és a gumi elasztikussága nő.

### **Összefoglalás**

A vizsgált téma új és fontos feladat az ipar területén, mivel a munkadarab lefogása a megmunkálási pontosságra nagy hatással van. Az összefoglaló grafikonok is jól mutatják, hogy meglehetősen nehéz pillanatnyilag törvénytyszerűséget kimondani. Köszönhető mindez annak, hogy nem egy egyszerű felület-érintkezésről van szó, hanem egy kombinált, részben rugalmas lefogó rendszerről.

A mérési sorozatok jól mutatják a tömítőgumi tapadási súrlódási és csúszási súrlódási együtthatók viszonyának megfordulását, nem klasszikus értelmű súrlódásról van szó. A leszakító vizsgálatok mutattak rá, hogy a teljes lefogási terület nem tekinthető vákuumterületnek, hanem érdekesség, fafaj függvényében eltérő. A dinamikus vizsgálat sorozat szintén a gumiprofil normál súrlódást befolyásoló hatását mutatja. Egyértelmű végeredményhez még további vizsgálatok és mérések szükségesek.

### **Irodalom jegyzék**

1. Hoffmann, W. 1992. *Vacuum clamping for CNC-woodworking*. Holz als Roh- und Werkstoff 50, Springer-Verlag,
2. Vass G. 2003. *Vákuumos munkadarab lefogás*. Szakdolgozat, NymE Sopron.
3. Krabác G. 2004. *Vákuumos munkadarab lefogás vizsgálata*. Szakdolgozat, NymE Sopron.
4. Szécsi, I. 2005. *CNC megmunkáló központok vákuumlefogásának erőtani vizsgálata*. Diplomamunka, NymE Sopron.
5. Rumpler, T., 2007. *Vákuumos munkadarab lefogás dinamikus vizsgálata*. Szakdolgozat, NymE Sopron..