

# Forgácsolólapkák hatékonysági vizsgálatának új módszere

## A new method for analysing the efficiency of cutting inserts

dr. Sipos Sándor

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépészmérnöki Kar, Budapest, Magyarország  
sipos.sandor@bkg.uni-obuda.hu

### Összefoglalás

Az esztergáló-, fúró- és marólapkák üzemi teljesítőképessége és gazdasági hatékonysága a forgácsolóképeség fogalmával írható le. Ez a komplex fogalom több fő és kiegészítő jellemzőből tevődik össze, ezért egyetlen mérőszámmal nem lehet leírni. A cikk az esztergalapok teljesítőképességének mérésére és összehasonlítására szolgáló olyan új módszert ismertet, amely egyetlen mérőszámmal jellemzi a négy legfontosabb kiegészítő jellemzőt, és lehetővé teszi a szerszám optimális felhasználásának körülményeinek kiválasztását. Az eljárás rövid ideig tartó műszeres vizsgálatokra épül, így nem igényel tetemes anyag- és költségráfordítást. A másik mutató a komplex hatékonyság, amely egyetlen számadattal fejezi ki a lapkák sokoldalú minőségét. A felhasználhatóság eltérő mértékét súlyszámokkal adjuk meg, így definiáljuk a korrigált komplex hatékonyság fogalmát. Ennek segítségével össze lehet hasonlítani a különböző élkialakítású szerszámokat, sőt az innovációs lapkafejlesztés eredményességét is. A kidolgozott eljárást már több vezető gyártó cég különböző rendeltetésű, kialakítású és anyagú szerszámánál alkalmaztuk eredményesen.

**Kulcsszavak:** forgácsolóképeség, lapkaminősítés, innováció eredményesség mérése, komplex hatékonysági mutató

### Abstract

The operational productivity and the economic efficiency of turning, drilling and milling inserts can be expressed by cutting performance. This complex definition is composed of several main and supplementary features, therefore it is not possible to characterise it by only one indicator. In the present article a new method will be introduced, being able to measure and compare the productive efficiency of turning inserts: the four most important features will be summarised in one indicator. The procedure has a low time requirement, it is built on instrumental investigations, so it does not require great financial and material expenses, it makes possible to use the tools in an optimal way, according to the four aspects, investigated by us, and to qualify the inserts in many ways. The so called complex efficiency indicator serves to measure the effectiveness of innovation, too. The procedure, developed by us, has already been used successfully in case of tools, produced by leading companies and having different functions, design and material.

**Keywords:** cutting performance, insert qualification, effectiveness of innovation, complex indicator of efficiency

### 1 BEVEZETÉS

A forgácsolás területén manapság a szerelt kivitelű szerszámok egyre újabb változatai jelennek meg. A gyártók késtartókba, fúrotestekbe és marófejekbe rögzítik a feladathoz optimalizált forgácsolóelemeket, a lapkákat. Bár az üzemszerűen alkalmazható alakvariációk száma korlátozott, azonban szerfelett nagy a különböző körülmények között felhasználható forgácsoló és élkialakítások száma. Az esztergáló, fúró és marólapkák üzemi teljesítőképességét és gazdasági hatékonyságát leginkább a forgácsolóképeség fogalma írja le. Ez a megnevezés a szerszám (élgeometriájának és/vagy anyagának) olyan komplex jellemzője, amely forgácsolás közbeni viselkedésének (kopás, éltartam, erőhatások, a keletkező forgács alakja stb.), valamint a megmunkált darab forgácsolással elért minőségének (hullámosság, érdesség) megítélésére és minősítésére szolgál. A *megítélés* mindig gyakorlati tapasztalatokra épül, szavakkal leírható (azaz kvantitatív jellegű) jellemzést ad. Például kedvező viselkedésűnek tarjuk azt a lapkát, amely jól törí a forgácsot, a kopása pedig kicsiny. A *minősítés* elsősorban műszeres mérésekre támaszkodik, amely a beállított adatkombinációktól függő mérések eredményeivel, azaz kvalitatív módon jellemzi a vizsgált eszköz teljesítőképességét [1, 2].

Az alábbi cikk az esztergalapok forgácsolóképeségének mérésére és összehasonlítására szolgáló módszert ismerteti. Az eljárás rövid időigényű vizsgálatokra épül, ezért nem igényel tetemes anyag-, eszköz- és költségráfordítást. A kidolgozott eljárást már több világhírű szerszámgyártó cég különböző rendeltetésű, kialakítású és anyagú szerszámánál [3-6] alkalmaztuk eredményesen.

### 2 A FORGÁCSOLHATÓSÁG ÉS A FORGÁCSOLÓKÉPESSÉG

A technológiában járatos szakemberek körében ismert fogalompár a forgácsolhatóság és a forgácsolóképeség. Az előbbi a munkadarab anyagát *három* eltérő szempontrendszer alapján jellemzi. Az első a munkadarab *vegyi összetételét* adja meg: a fő és segédötvtvözők százalékos arányára, továbbá a forgácsolhatóságot pozitívan befolyásoló, nemfemes anyagú (pl. Pb, S, Ca, Se, Te stb.) ötvözők mértékére

vonatkozik. A vegyi összetétel meghatározza az adott anyag lehetséges mikroszerkezetét. Ide értjük természetesen azokat a nem kívánt ötvözőket, amelyek a szennyezőként (pl. S, O, Si) kerülnek az anyagba. A második szempontrendszer a munkadarab *állapotára* utal: az előállítás (előgyártás) módszere, az anyag (előzetes) hőkezeltsége és szövetszerkezete stb. Ide sorolható továbbá az öntött, kovácsolt előgyártmány kérges szerkezetének (az alapszerkezethez képest) eltérő megmunkálhatósága is. A harmadik szempontrendszert a munkadarab *anyagjellemzői* alkotják. Ezek kiterjednek a szóban forgó anyagminőség mechanikai (pl. alacsony és magas hőmérsékletre vonatkozó szilárdság, sűrűség stb.), hőfizikai (pl. fahő, hővezetési és hőelnyelési mutatók stb.), valamint fémfizikai (pl. szövetszerkezet, a kemény fázisok aránya és mikrokeménysége, makrokeménység, felkeményedési hajlam, kritikus hőmérséklet stb.) tulajdonságaira [7].

A munkadarab anyagjellemzői közül az alábbi tényezők gyakorolják a legnagyobb hatást a szerszámra:

- A munkadarab anyagának *alapkeménysége* (szoros összefüggésben van a szilárdsággal) jelentősen befolyásolja a fellépő forgácsolóerőt, a forgácsolás közben keletkező hőmérsékletet és meghatározza a szerszámél közvetlen környezetének mechanikai és hőfizikai terhelését.
- A jó *alakíthatóság* (nagy nyúlás) a szívóssággal függ össze. Néhány ötvöző (Cr, Mo, Ni, W) a szívósságot fokozza, néhány elem esetén (Cr, Ni) azonban ez együtt jár az *adhéziós* (feltapadásra való) hajlammal, ez pedig az élrátétképződés kialakulásának kiinduló feltétele lehet.
- A többfázisú anyagok kemény fázisai (pl. hipereutektikus alumíniumötvözetben a nagy keménységű primér szilícium kristályok jelenléte stb.) fokozottan *abrazív* hatásúak, ezért intenzív szerszámkopást idézhetnek elő.
- Néhány ötvözőelem (Cr, Ni stb.) jelenléte a munkadarabban *felkeményedést* vált ki forgácsolás közben. Ha a megmunkálandó felületről több fogással választjuk le a ráhagyást, az egyes rétegek keménysége egyre fokozódik.
- A munkadarab *hőfizikai tulajdonságait* ötvözőelemekkel lehet befolyásolni, ami meghatározza meg például azt, a forgácsoláskor keletkező (hő)energia hány százaléka jut a munkadarabba és a forgácsba, illetve milyen arányt képvisel a szerszámot károsító hányada.

Az utóbbi évtizedekben olyan újszerű anyagok sora jelent meg (ADI - ausztemperált képlékeny öntöttvas, CGI – kompakt grafitos öntöttvas, duplex korrózióálló acélok, a gázturbinagyártás nikkal - és kobaltbázisú hőálló (HRSA) ötvözetek, AMC - alumíniumbázisú kompozitok, AMFS – alumíniumalapú szintaktikus kompozit-fémhabok stb.), amelyek gazdaságos forgácsolása igazi kihívást jelent a szerszámgyártóknak. A nagyon rossz forgácsolhatóságot tehát a szerszámok megnövelt forgácsolóképességével kell ellensúlyozni.

A forgácsolóképesség a különböző kialakítású, geometriájú és anyagú (szubsztrátum+bevonat)

szerszámok hatékonyságának fokmérője, amelynek *legfőbb jellemzője* az éltartam (a hozzá tartozó kopásgörbével és az azt leíró kopásmodellel). Ennek ismerete nélkül sem a gyártási (műveleti) költséget, sem pedig a termelékenységet (például darab/óra mértékegységben) nem lehet kiszámítani, elemezni vagy összehasonlítani. Egy adott alkalmazásra történő meghatározása azonban igen nagy anyag- és költségráfordítást igényel, érvényessége pedig nagyban függ a konkrét gyártási körülményektől (munkadarab összetétele, állapota és keménysége, gépállapot stb.).

A forgácsolóképesség *kiegészítő jellemzőihez* több tényező is tartozik: a forgácsolással létrehozott anyagáram (más szóval anyagleválasztási sebesség), a forgácsolási hőmérséklet, a forgácsoló erőkomponensek és a teljesítményigény, a forgács alakja és mérete, valamint a megmunkálással létrehozott felület mikrogeometriája (hullámosság, érdesség) és rétegtulajdonságai. A felsorolt kiegészítő jellemzők némelyike csak bonyolult műszerekkel mérhető meg (pl. a hőmérséklet szárazon végzett forgácsolásnál), vagy a gyártott darab károsodásával jár (pl. szövetszerkezet, mikrokeménység-változás, maradófeszültség eloszlás stb.).

### 3 FORGÁCSOLÓLAPKÁK HATÉKONYSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Az egyes lapkák minősítésére kidolgozott mérőszám körülbelül két évtized kutatási és gyakorlati tapasztalatát összegzi. A kidolgozott módszer lényege, hogy egy lapka teljesítőképességét összesen négyféle kiegészítő jellemző kiválasztásával határozzuk meg. Olyan fontos tényezőket veszünk figyelembe, amelyek egyrészt könnyen számíthatóak és megfigyelhetőek, másrészt viszonylag egyszerűen mérhetőek. Az eljárás előnye az is, hogy anyag, eszköz és költségkímélő, tehát *rövid* időigényű használat közben történik az eszköz tesztelése. Mindez kilencféle beállítást igényel, és mindössze kb. 150...200 mm hossz esztergálását jelenti.

A forgácsolóképesség tehát egy olyan komplex fogalom, amelyet *lehetetlen egyetlen* mérőszámmal kifejezni. Ha viszont egy gyakorló szakembert megkérdeznénk arról, hogy mi jellemzi a jól dolgozó szerszámokat, akkor valószínűleg ezt válaszolná: „a kis forgácsolóerő és a kedvezően tört forgácsok következtében termelékeny és könnyű forgácsleválasztás, valamint kedvező, előre tervezhető felületi érdesség”.

Ennek megfelelően a választott kiegészítő jellemzők tehát a leválasztási sebesség, a forgácsalak, a forgácsolás aktív ereje és a felület érdesség Rz paramétere. A módszer sajátossága, hogy a négy tényezőt *egyetlen* számadat írja le, amely a szerszámmal szemben támasztott legfőbb követelményeket tartalmazza.

Bármely vizsgált beállításnál a lapka teljesítőképességét kifejező *hatékonysági mutatószám* (H) képlete az alábbi:

$$H = \frac{1000 \cdot V' \cdot g}{F_a \cdot Rz} = \frac{1000 \cdot a \cdot f \cdot v_c \cdot g}{F_a \cdot Rz} \left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{min} \cdot N \cdot \mu\text{m}} \right] \quad (1)$$

amelyben az anyagleválasztási sebesség ( $V'$ , mm<sup>3</sup>/min), a forgács alakjára utaló szám (g), a forgácsolás aktív ereje ( $F_a$ , N) és az elért érdesség (Rz,  $\mu$ m) szerepel. Az (1) képlet azt sugallja, hogy minél nagyobb az anyagáram és kedvezőbb a forgácsalak, annál jobb a hatékonyság. Másrésztől, minél kisebb a forgácsleválasztás és –törés erőigénye és minél kisebb érdességű az esztergált felület, annál kedvezőbben alkalmazható a lapka.

A négy „kritikus” jellemző kiválasztását (természetesen az egyszerű mérhetőségen és egzakt meghatározáson kívül) a következő megfontolások indokolják.

1. Az *anyagleválasztási sebesség* a forgácsolás termelékenységére utal. Esztergálásnál ez a fogásmélység, az előtolás és a forgácsolósebesség szorzata, amely – behelyettesítés után – cm<sup>3</sup>/min mértékegységű. A "H" mutatószám nagyságrendje miatt az (1) képletben azonban célszerű mm<sup>3</sup>/min mértékegységet használni.

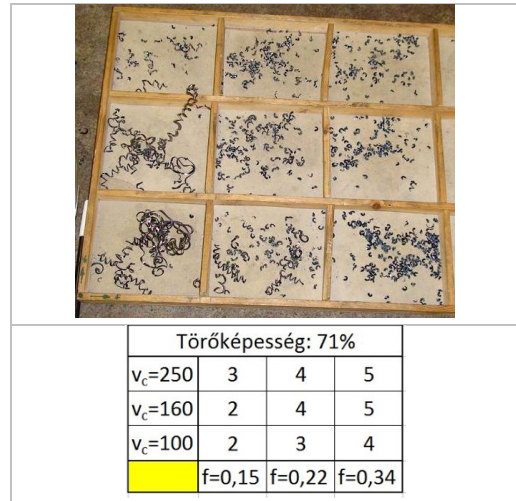
Egy teszt során a fogásmélység állandó értékű, míg – a lapka rendeltetésének megfelelően – az előtolást és a forgácsolósebességet három-három szinten (azaz 9 beállításban) változtatjuk.

A lapka forgácsolóképeségi tulajdonságai akkor derülnek ki igazán, ha a vizsgálat közben az anyagleválasztás intenzitását többszöröseire emeljük. A teszt során azonban a szerszámkopás nem befolyásolhatja a mérési eredményeket, ezért mindhárom technológiai adatot a munkadarab anyagminőségéhez (forgácsolósebesség), illetve a lapka forgácsolási tartományhoz (fogásmélység és előtolás) célszerű igazítani.

2. A forgács kedvező alakja döntően befolyásolja a korlátozott felügyeletű gépek (CNC-vezérlésű esztergáközpontok, többfunkciós MTM gyártóberendezések stb.) folyamatbiztos működését, de kihat a forgácsolással előállított termékek esztétikai megjelenésére is. Számos selejtet okozhat például a forgácsolt felületre visszacsapódó forgács, amely megsérthet más, jól látható vagy bevonatolt felületeket.

A tesztelés közben leválasztott forgácsminták tablószerű (ún. „chipchart”) elrendezését követően megállapítható a „g” *alak tényező*. Ez egy osztályzat (egész szám) és g=1...5 között lehet. A legkedvezőbben tört forgács „5”, a veszélyesen gubancoló, folyóforgács pedig „1” osztályzatot kap. Megjegyezzük, hogy ezt az osztályozási mátrixot – tudomásunk szerint – elsőként alkalmaztuk hazánkban [8-10].

Az **1. ábra** egy lapka forgácstablóját mutatja (a kiértékeléssel, „osztályozással” együtt). A táblázat fejlécén az általános törőképeség látható, ami a lapkára vonatkozó osztályzatok summájának és a maximálisan elérhető osztályzatok összegének (esetünkben 9x5=45) százalékban kifejezett aránya.

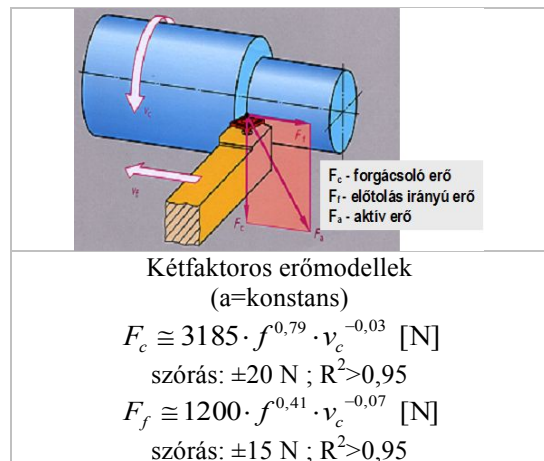


1. ábra: Lapka, forgácstabló és a forgácsok osztályozása [11]  
Lapka: CNMG120408 MP3 WPP20S  
Forgácsolási körülmények: C50 acél (HB220±5);  
 $a=2$  mm; szárazforgácsolás

3. Az *aktív erő* két erőkomponens műszeresen megállapított értéke. Bár az erőmérő berendezés 3 erőkomponens regisztrálását is lehetővé tenné, az ismertett módszer a forgácsolóerő ( $F_c$ ) és az előtolás irányú összetevő ( $F_f$ ) egyidejű regisztrálására épül. Az aktív erő ( $F_a$ ) az  $F_c$  és az  $F_f$  vektori eredője, tehát

$$F_a = \sqrt{F_c^2 + F_f^2} \quad (2).$$

A forgácsolóerő – például a szerszámra gyakorolt hatásai mellett – a szükséges teljesítményigényt határozza meg. Az előtoló erő – egyébként azonos főélszögű szerszám és azonos csúcssugarú lapka esetén – a szerszám élkiképzésétől (élekerekedés, élpreparáció stb.) és a forgácsoló kialakításától függ elsősorban.



2. ábra: A forgácsolóerő komponensei és modelljei [6]  
Forgácsolási körülmények: Ko36 acél (HB170±5);  
 $a=2$  mm; szárazforgácsolás

Ez az erőkomponens tehát alkalmas arra is, hogy a lapka törőképeségét jellemezze: minél nagyobb ugyanis az  $F_f$  erőösszetevő, annál jelentősebb a forgács megfelelő mértékű feldarabolására (törésére) fordított plusz erőhatás is. A lapkaminősítés ezért az  $F_a$  aktív erő alapján történik, azonban fontos következtetések vonhatók le az

$F_f/F_c$  arányból is. A **2. ábra** az erőkomponensek értelmezését, illetőleg egy ismert cég PP törőgeometriájú, korszerű bevonatos lapka erőösszetevőinek kétfaktoros hatványfüggvény-modelljét foglalja össze. Látható, hogy természetesen az előtolás meghatározó mindkét erőkomponens alakulására, míg a forgácsolósebesség nem gyakorol szignifikáns hatást a kialakuló erőkre.

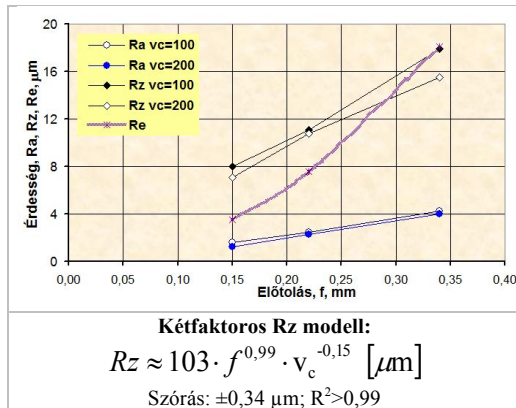
4. A negyedik jellemző a szerszám *érdesség-előállító képessége*, amely egyértelműen a minőségi előírásokhoz tartozik. Ez a fogalom azt fejezi ki, hogy a szerszámok meghatározott körülmények között, a mért (vagy észlelt) kopottsági állapotuktól *csaknem* függetlenül, előre számítható (azaz tervezhető) módon közel azonos érdességi paraméterekkel jellemezhető felületeket képesek előállítani [2].

Az esztergált felület érdességét különböző mérőszámokkal jellemezhetjük. A **3. ábra** a különböző beállításoknál elért érdesség (és az  $R_c$  elméleti érdesség) alakulását mutatja az előtolás függvényében.

Jóllehet a hazai gyakorlatban általánosan elterjedt az átlagos érdesség ( $R_a$ ) használata, az összehasonlításra mégis az egyenetlenség magasság ( $R_z$ ) paraméterét használtuk. Ezt az indokolja, hogy a beszállítói szegmensben szinte kizárólag ezt alkalmazzák, ráadásul az  $R_z$  jellemző bizonyos előtolástartományokban *elfogadható egyezést* mutat az  $R_c$  elméleti érdességgel. Ismert csúcssugárnál ( $r_c$ , mm) az utóbbi számítása [2] a következő (Bauer-formula, 1937):

$$R_c \approx 125 \cdot \frac{f^2}{r_c} [\mu\text{m}] \quad (3).$$

A 3. ábrán látható, hogy az elméleti érdesség a  $0,25 \leq f, \text{ mm} \leq 0,35 \text{ mm}$  tartományban követi az  $R_z$  alakulását, míg a „közkedvelt” átlagos érdesség (ebben a léptékben) csak mérsékelten változik. Megjegyezzük, hogy a tesztelt lapkánál az  $R_z = (5 \dots 6) \times R_a$  törvényszerűség érvényesül, azaz nem helyes a műszaki gyakorlatban elterjedten használt  $R_z \cong 4 \cdot R_a$  közelítés. Ennek a tévhitnek a cáfolatát a [13-14] szakirodalmakban lehet megtalálni.



3. ábra: Az esztergált felület  $R_z$  érdességi jellemzője [12]  
 Lapka: CNMG120408 MR WP15CT  
 Forgácsolási körülmények: C50 acél (HB220±5);  
 a=2 mm; szárazforgácsolás

Nézzünk egy példát, hogy a fentebb áttekintett tényezőket miként lehet az (1) összefüggésbe beilleszteni! Egy neves gyártó EM/YBN jelű lapkájának hatékonysági mutatószámait az **1. táblázatban** közöljük.

A rögzített fogásmélység ( $a=1,5 \text{ mm}$ ) mellett a kilencféle beállítás ( $100 \leq v_c, \text{ m/min} \leq 200$ ;  $0,1 \leq f, \text{ mm} \leq 0,25$ ) adatait elemezve az alábbi következtetésekre jutunk:

- a választott előtolás és sebességértékek kombinálásakor a lapka nagymértékben változó ( $H_{1,9} = 18 \dots 56$ ) hatékonyságot mutat. A forgácsolósebesség és az előtolás egyidejű növelése egyértelműen kedvező hatású mind a forgácsolás termelékenysége, mind a szerszám hatékonysága szempontjából. Az anyagleválasztás ötszörös növelése azonban ennél a törő/anyagpárosításnál mérsékelt hatékonyság-növekedéssel járt;
- a legkedvezőbb körülmények között használva vizsgált lapkát, hatékonysága ( $H_8 = 56,9$ ) közel *háromszorosára* növekszik a legkisebb értékekhez képest. Ez főleg annak köszönhető, hogy a már említett anyagleválasztás növekszik, különösen pedig a forgácsalak és az elért érdesség igen kedvező értékű;
- megfigyelhető, hogy a lapka hatékonysága (a beállított sebességtől szinte függetlenül) kiemelkedően jó az  $f=0,15 \text{ mm}$  előtolás beállításakor.

1. táblázat: Az EM/YBN jelű lapka hatékonysági mutatószámai [15]

Forgácsolólapka hatékonysága									
$v_c$	a	f	$V'$	$F_c$	$F_f$	$F_a$	$R_z$	g	H
100	1,5	0,1	15	405	253	478	4,98	3	18,9
100	1,5	0,15	22,5	539	330	632	4,33	4	32,9
100	1,5	0,25	37,5	870	300	920	5,67	4	28,7
160	1,5	0,1	24	382	230	446	5,61	3	28,8
160	1,5	0,15	36	518	300	599	5,67	4	42,4
160	1,5	0,25	60	826	423	928	8,98	4	28,8
200	1,5	0,1	30	355	220	418	4,68	2	30,7
200	1,5	0,15	45	498	282	572	5,53	4	56,9
200	1,5	0,25	75	762	357	841	8,41	4	42,4

**Forgácsolási körülmények:**  
 Lapka: CNMG120408 EM YBN253  
 Munkadarab: C50 (HB 220±5); szárazforgácsolás

Az ismertetett módszer alapján könnyen kiválasztható a legjobb alkalmazási hatékonyság, illetve a kedvező eredményt adó beállítások (lásd színes hasábk). Ezzel pedig bármely lapka optimális alkalmazási körülménye is kijelölhető. A leírt módszerrel megoldható az *azonos* körülmények között vizsgált lapkák sokrétű (egyszerre négyféle szempontot is tartalmazó) és objektív minősítése, valamint egymással történő összehasonlítása, sőt az üzemi gyakorlat számára szinte kívánatos is (pl. azonos lapkák közötti eltérések felderítése).

#### 4 FORGÁCSOLÓLAPKÁK KOMPLEX HATÉKONYSÁGA

A különféle rendeltetésű (simító, félsimító és nagyoló), eltérő anyagminőségű, többféle élalakú (ISO vagy wiper kiképzésű) és változatos törőgeometriát tartalmazó lapkákat nem szokás összehasonlítani. A cikkben javasolt módszer lehetővé teszi, hogy – egy újabb fogalom, az ún. komplex hatékonyság bevezetésével – a reális összevetés megtörténjen.

Az eltérő felhasználási területekre szánt szerszámok komplex összehasonlításának alapja a tesztelt lapkák viselkedése, amelyet részint a vizsgált forgácsolási adatok ( $v_c$ ,  $a$ ,  $f$ ,  $V'$ ), részint pedig a mért (és kiszámolt) jellemzők ( $F_a$ ,  $R_z$ ,  $g$ ,  $H$ ) alapján határozzuk meg. Bármely lapka *komplex hatékonysága* ( $H_K$ ) az egyedi beállításokra meghatározott  $H_1 \dots H_9$  értékekre épül, és a vizsgált négyféle jellemzőre vonatkozóan *százalékosan* fejezi ki az adott lapkageometria és/vagy az élkialakítás hatékonyságát. Értéke a lapka *átlagos teljesítőképességét* fejezi ki az *összes* beállításra nézve, azaz egy komplex, százalékos mutató. A lapkák értékelésénél a főbb statisztikai jellemzőket (átlag, szórás, varianciahányados) használjuk fel, igazán azonban az egyes mért/számított adatok *százalékos arányait* vesszük figyelembe.

A komplex hatékonyság számítási képlete a következő:

$$H_K = 100 \cdot \frac{V'_\% \cdot g_\%}{F_{a\%} \cdot R_{z\%}} \quad [\%] \quad (4)$$

A közölt képlet értelmezését és a számítás módszerét egy konkrét példa segítségével tesszük szemléletessé. A **2. táblázat** egy nehezen forgácsolható, ausztenites korrózióálló acél esztergálási eredményeit (határértékek:  $100 \leq v_c$ ,  $m/min \leq 160$ ;  $0,1 \leq f$ ,  $mm \leq 0,25$ ) foglalja össze rögzített,  $a=1,5$  mm fogásvétel mellett.

2. táblázat: A rövidített élhosszúságú ( $\ell=9,525$  mm) lapka komplex hatékonysága [16]

Érték	$v_c$	$a$	$f$	$V'$	$F_c$	$F_r$	$F_a$	$R_z$	$g$	$H$
Átlag	128,3	1,5	0,17	32,1	634	339	721	9,0	3,7	18,2
Szórás	26,1	0	0,07	14,5	196	42	192	2,2	0,5	5,1
Var,%	20,3	0	39,7	45,2	31	12	27	24,6	13,6	28,2
%-ban				<b>100</b>	100	53,5	<b>114</b>	<b>206</b>	<b>73</b>	
Komplex hatékonyság		Lapka: TT9080/09 PC						<b>31,2%</b>		
Forgácsolási körülmények: Lapka: CNMG090408 PC TT9080 Munkadarab: Ko36 (HB 170±5); szárazforgácsolás										

A 2. táblázat adatait a (4) összefüggéssel számítottuk. Az így kapott eredményekből a következő megállapítások tehetők:

- ha a lapkák vizsgálati tartománya azonos, akkor az anyagáram átlaga ( $V'_\%$ ) is meg fog egyezni, azaz az értékelésben 100%-ot ad. Ha azonban a tesztkörülmények bármilyen irányban eltérnek egymástól (pl. félsimító és nagyoló törőgeometriák összevetése), akkor a változást meg kell adni:  $V'_\% = 100 \times \frac{V'_{új\%}}{V'_{régi\%}} [\%]$ ;

- az aktív erő százalékos aránya ( $F_{a\%}$ ) úgy kapható, hogy a vizsgálat közben mért átlagos aktív erőt ( $F_{a\text{átlag}}$ ) az átlagos forgácsolóerőhöz ( $F_{c\text{átlag}}$ ) viszonyítjuk, azaz  $F_{a\%} = 100 \times F_{a\text{átlag}} / F_{c\text{átlag}} [\%]$ . Az előbb leírtak szerint tehát az  $F_{a\%}$  mindig nagyobb 100%-nál, és annál nagyobb mértékben tér el, minél nagyobb az előtölőerő részaránya. Megjegyezzük, hogy ez az érték döntően függ a tartó kialakításától (PCLNR vagy PSLNR) és a lapka  $r_c$  csúcscsugarától. Járulékos, de igen hasznos adat ilyen tekintetben az *átlagos*  $F_f/F_c$  arány, amely jelen esetben 53,5% értékű. Korrózióálló acéloknál ez az érték (PCLNR tartó,  $r_c=0,8$  mm csúcscsugar, élpreparáció nélkül, a törő kialakításától függően) 48 ... 62% tartományban mozog;

- az érdességelőállító képesség százalékos értéke ( $R_{z\%}$ ) a mért és az elméleti érdesség összehasonlítását tartalmazza. A mért egyenetlenség magasság átlagát hasonlítjuk össze az átlagos elméleti érdességgel, amelyet a (3) képlet segítségével, az átlagos ( $\bar{f}$ , mm) előtolásra számolunk ki. A táblázatban közölt százalékos adat azt fejezi ki, hogy a mért értékek kb. kétszer nagyobbak az elméleti érdességnél. Ez megszokott a korrózióálló acéloknál ( $R_{z\text{mért}}/R_{z\text{szám,Bauer}} \approx 200 \dots 250\%$ ), mert kis sebességen és előtoláson élrátét keletkezik. A „nyúlós” természetű korrózióálló acél leforgácsolhatatlan („spanzifeln theorie”) eredményez, ennek megjelenése pedig inkább a Brammertz-féle érdességi modell [17] alkalmazását kívánja meg. A vizsgált ausztenites állapotú acél ráadásul rendkívül hajlamos a felkeményedésre. A bevonat kopása nem képes megakadályozni a homloklapon, mégpedig a szerszámszűcs közelében kialakuló adhéziós anyagfeltapadást, ami tovább rontja az érdességét;

- a forgácsolólapka százalékos értéke ( $g_\%$ ) a lapka *átlagos* törési hatékonyságát fejezi ki (v.ö. 1. ábra). Az eddig vizsgált lapkák törőképesége 40 ... 90% között változott. Más vizsgálatok is azt tanúsították, hogy a PC törőgeometria kiemelkedően kedvező korrózióálló acélok esztergálásakor [18, 19];

- a komplex hatékonyság a (3) összefüggés szerint számított értéke – tapasztalataink szerint – kifejezetten kedvező a nehezen forgácsolható anyagok esetén [14, 16, 19].

A komplex hatékonyság fogalmának bevezetésével és a (4) összefüggés felhasználásával például össze lehet vetni a megegyező alakú, de módosított méretű lapkákon kialakított különböző forgácstörők és/vagy szerszámanyagok hatékonyságát, vizsgálni lehet az eltérő (pl. ISO vagy wiper) élkialakítású szerszámokat, vagy minősíteni lehet az egyes lapkafejlesztések innovációs eredményességét is [11, 16].

Eddig elvégzett számos vizsgálat tapasztalatait a **3. táblázat** foglalja össze. A munkadarabok anyagminősége és az élkialakítás szerint négy kategóriába sorolható a lapkák komplex hatékonysága. A wiper élalak kiemelkedő képessége elsősorban a kisebb aktív erővel és nagyon kicsi érdességgel magyarázható.

3. táblázat: A komplex hatékonyság értékelése

Feltételek: Lapka/anyag		Komplex hatékonyság			
		gyenge	megfelelő	jó	nagyon jó
ISO	C acél	≤20	≤40	≤60	≤80
	Ko acél	≤18	≤36	≤50	≤65
wipe	C acél	≤40	≤80	≤120	≤160
	Ko acél	≤35	≤70	≤100	≤130

### 5 FORGÁCSOLÓLAPKÁK SÚLYOZOTT HATÉKONYSÁGA

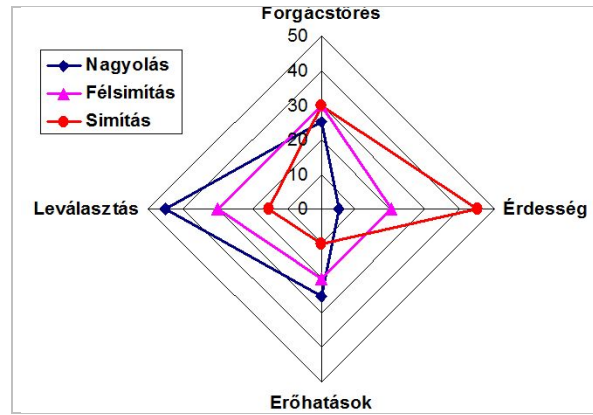
A lapkákkal szemben támasztott követelmények természetesen eltérőek a nagyoló, félsimító és simító megmunkálási körülmények között. Erről a 1980-as években publikáltak nemzetközi felméréseket (lásd a CIRP-tanulmány, 1985.), azonban – tudomásunk szerint – a hazai helyzetről még nem készült ilyen elemzés a XXI. század második évtizedében. Kérdőívet küldtünk ezért a szerszámforgalmazóknak és néhány vállalatnak arra vonatkozóan: tapasztalataik szerint a négyféle – *szisztematikusan* kiválasztott és *legfontosabbnak* tartott – kiegészítő jellemző milyen arányokat képvisel az esztergálásában. A velünk szorosabb kapcsolatban lévő 3 vállalat küldte gyakorlati tapasztalatait, a szerszámgyártók képviselői szerinti megoszlása a következő: Sandvik cégcsoport 4, ICM csoport 2, míg a Kennametal csoportból pedig 1. A beérkezett tíz választ átlagoltuk. Ezen felmérésre támaszkodva a lapkákkal szemben támasztott követelmények súlyszámait a **4. táblázat** tartalmazza.

4. táblázat: A lapkákkal szembeni követelmények súlyozása

Kiegészítő	Megmunkálási körülmények súlyszámjai			Súlyozási arányok
	Nagyolás	Félsimítás	Simítás	
Leválasztás	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	0,15	$\lambda_1$
Forgácsalak	0,3	<b>0,3</b>	<b>0,35</b>	$\lambda_2$
Erőhatások	0,2	<b>0,25</b>	0,1	$\lambda_3$
Érdesség	0,1	0,15	<b>0,4</b>	$\lambda_4$
Összesen	1,0	1,0	1,0	

A **4. ábra** szemléletesen mutatja be milyen prioritási elvek szerint szükséges egy lapkát kiválasztani és alkalmazni. A felmérés adataiban a kapott százalékok az anyagleválasztási sebesség, a fellépő erőhatások és a létrehozott érdesség tekintetében az általunk várt eredményeket hozták. Egyedül a forgácstörés követelménye jelent meg mindhárom megmunkálási fokozatnál közel hasonló súllyal. Ez érthető is, ha a műveletekben felhasznált gépek alkalmasak a felügyeletsszegény gyártás (vagy más szóval „unmanned machining”) körülményeire. Az 1. táblázat és a 4. ábra adatainak összehasonlításából még az is kitűnik, hogy nagyoláshoz egy, simításhoz két, félsimításhoz pedig három jellemző súlya a legnagyobb illetve meghatározó.

A tesztorozatban részt vett lapkák komplex hatékonyságát tehát a szerszámforgalmazási trendek és az üzemi gyakorlati tapasztalatok alapján a felhasználhatóságot kifejező súlyszámokkal kell módosítani.



4. ábra: A kiegészítő jellemzők százalékos súlyarányai

A lapkára vonatkozó egyedi mérési eredményeket és a forgácstörési viselkedést tehát az 1. táblázat figyelembe vételével és (4) képlet korrigálásával kaphatjuk meg.

A lapka alkalmasságával kapcsolatban, a felhasználók igényeit is tükröző, *súlyszámokkal korrigált komplex hatékonyság* képlete a következő:

$$H_{SK} = \frac{1000 \cdot (1 + \lambda_1) \cdot V'_\%}{(1 - \lambda_3) \cdot F_{a\%}} \cdot \frac{(1 + \lambda_2) \cdot g_\%}{(1 - \lambda_4) \cdot Rz_\%} [\%] \quad (5)$$

A közölt képlet értelmezését és a számítás módszerét ismét egy példa segítségével tesszük szemléletessé.

Az **5. táblázat** egy C60 jelű szerkezeti acél wiper élgeometriájú lapkával végzett, félsimító jellegű esztergálásának eredményeit (határértékek:  $100 \leq v_c, m/min \leq 250$ ;  $0,15 \leq f, mm \leq 0,34$ ) mutatja be. A súlyozott, komplex hatékonysági mutatószámok alapján a következők állapíthatók meg:

1. a súlyozás hatására az átlagos mutatószámok csak kismértékben változtak meg, egyesek növekedtek (pl. anyagáram, forgácstörési képesség), mások csökkentek (erőhatások, érdesség). Kijelenthető, hogy a félsimítási kategóriában a **súlyozás** alapvetően *nem változtatta* meg a komplex hatékonysági mutatószámok alapján kialakult százalékos arányokat. Ennek döntően az az oka, hogy a figyelembe vett négy kiegészítő jellemző közül háromnak *közel azonos* volt súlya;
2. a wiper élkialakítású lapkák hatékonysága – mint azt már kimutattuk [11, 15, 20, 21] – különleges kategóriába tartozik. Hozzájárul ehhez az a tény, hogy minden vizsgált jellemzőjük rendkívül kedvező, különösen az érdességelőállító és a forgácstörő képesség emelkedik ki. Megjegyezzük, hogy hasonló tapasztalatokra tettünk szert más gyártók [15] hasonló élkialakítású szerszámjainál is: közel kétszeres a súlyozott komplex hatékonyság az ISO élkialakításhoz viszonyítva;

5. táblázat: Egy tesztelt lapka súlyozott, komplex hatékonysági mutatószáma [11]

Értékelés	$v_c$	$f$	$V_s'$	$F_c$	$F_f$	$F_{as}$	$Rz_s$	$g_s$	$H_s$
Átlag	170	0,24	78,5	1065	591	914	3,8	5,1	150,9
Szórás	65,4	0,08	42,1	301	116	238	1,4	1,0	118,6
Var, %	38,5	35,2	53,7	28	20	26	36,5	20,1	78,6
%-ban			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>55,5</b>	<b>85,9</b>	<b>43,2</b>	<b>101,1</b>	
Korrekciós tényezők	$\lambda_1$	0,3	$\lambda_2$	0,3	$\lambda_3$	-0,25	$\lambda_4$	-0,15	<b>2,651</b>
Komplex, korrigált	Lapkatípus: WALTER, WPP20S, NF törőgeometria								<b>273%</b>
<b>Forgácsolási körülmények:</b> Lapka: CNMG090408 NF (wiper) WPP20S Munkadarab: C60 (ötvözetlen szerkezeti acél, HB 225±5, szárazforgácsolás)									

3. Ide tartozó megjegyzés az is, hogy – mérési eredményeink tanúsága szerint [20, 21] – a passzív erőkomponens ( $F_p$ ) a wiper lapkánál rendkívül nagy, ezért az élkialakítás sajátosságait feltétlenül számításba kell venni. A termelékenység szempontjából például kis l/d viszonyú alkatrészek, nagy merevségű esztergákon történő hossz- vagy keresztesztergálása igen kedvező lehet, viszont a kúpos és alakos (pl. tóruszos) felületek megmunkálásakor egyrészt a kedvező érdességcsökkenés elmarad, másrészt – a wiper él kiképzéséből adódóan – az elért megmunkálási pontosság kedvezőtlenül alakul.

Végezetül szeretnénk azt hangsúlyozni, hogy a fenti módszer és az így elért eredmények és vizsgálati tapasztalatok egy-egy lapkára vonatkoznak. Az eredmények megbízhatóságának fokozása érdekében a vizsgálatra kerülő lapkákat gondos (mikroszkópos) válogatással célszerű kiválasztani, és csak megfelelő állapotú (jól „kisajtolt”) lapkákat, ép bevonatokat és hibátlan éleket szabad tesztelni. Ki kell zárni az **5. ábrán** szereplőhöz hasonló hibás lapkákat.



5. ábra Vizsgálatra alkalmatlan lapkák

Szeretnénk elkerülni azt a hibát is, hogy egyetlen tesztelési eredményből vonjunk le általános következtetéseket, ezért a vizsgálatok **legalább** kétszeri megismétlését javasoljuk.

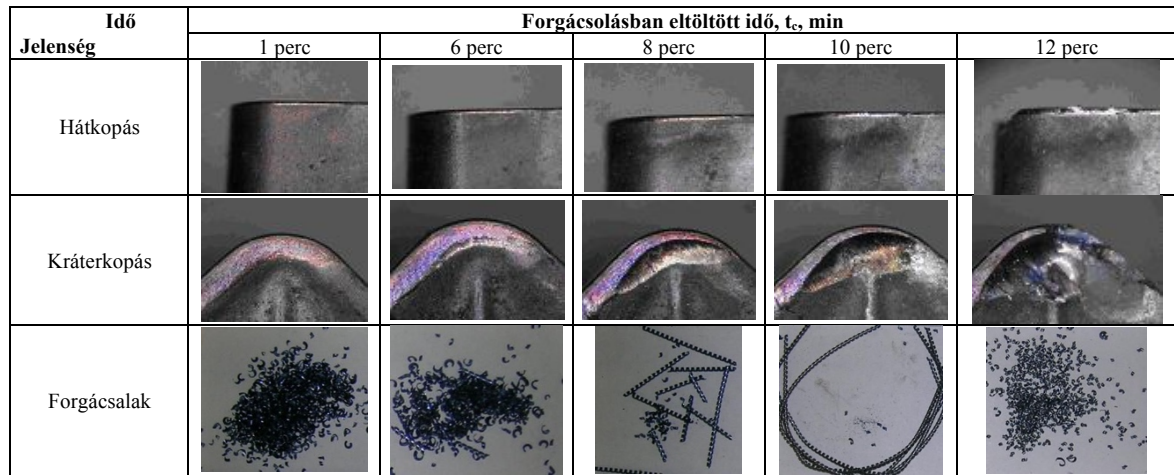
## 6 FORGÁCSOLÓLAPKÁK HOSSZÚ TÁVÚ HATÉKONYSÁGA

A lapkák hosszú távú hatékonysága szorosan összefügg a szerszám elhasználódásával (más néven a forgácsolóképesség degradációjával), amelyen mindazon *kedvezőtlen* hatások összességét értjük, amelyek kifejezetten a szerszám kopása miatt következnek be, vagy – akár áttételesen is – szerepet játszhatnak benne. A kopás következtében egyértelműen növekszik a forgácsolási hőmérséklet, az erő-, nyomaték- és teljesítményigény, a rezgési hajlam és a zajhatás, romlik a pontosság, megváltozik az érdesség és/vagy a hullámosság is [22]. Egy célszerűen megválasztott kopáskritériumhoz tartozó éltartam mind a munkadarab forgácsolhatósága, mind pedig a szerszám forgácsolóképessége szempontjából a legfőbb jellemzőnek tekinthető.

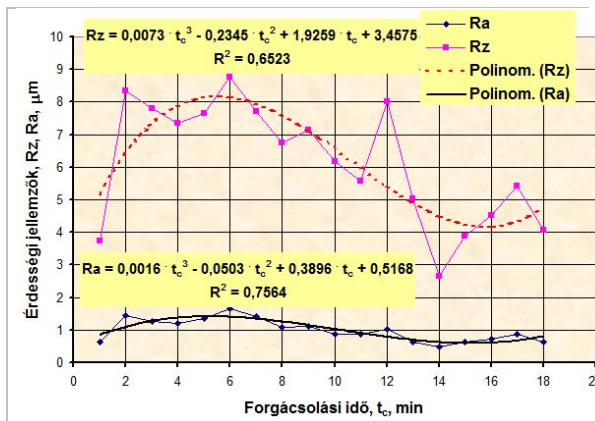
Kézenfekvő gondolat lenne az, ha a forgácsolásban eltöltött időt figyelembe vennénk a négy, kiválasztott jellemzőt tartalmazó és az (1) összefüggés alapján definiált hatékonyság számításakor. A szerszám kopási folyamatának végigkövetése azonban nagyon időigényessé (és költségessé) tenné a vizsgálatot, hiszen az egyedi kopásmérések időpontjaiban kellene forgácsmintát venni, mérni az erőkomponensek értékeit és az  $Rz$  érdességi paraméter alakulását. A szerszám éltartamvizsgálata alatt a forgácsolási adatok ( $a$ ,  $f$ ,  $v_c$ ) és az anyagleválasztási sebesség ( $V$ ) állandósága biztosított ugyan, azonban a másik három jellemző (forgácsalak, erőkomponensek és  $Rz$  érdességi adatok) a szerszám elhasználódási folyamata során szerfelett nagymértékben változnak.

A forgácsalak változását igen szemléletesen mutatja a **6. ábra**, amelyen a kráterkopás okozta változás a „g” értékében akár 3 osztályzatnyi különbséget is okozhat, mivel a homloklapon fokozatosan kialakuló kráter a kezdeti kedvező törési hatékonyságot lerontja. Az állandósuló kopás első szakaszában a „C” és „G” alakúra törött, apróra darabolt forgácsok távoznak a szerszámtól, később pedig – a kráter elhelyezkedésének, szélességének és mélységének függvényében – előbb 40..90 mm hosszúságú hengeres spirálforgácsok keletkeznek, később pedig kezelhetetlen, veszélyesen tekeredő folyóforgács képződik. A kopáskritérium elérésekor ismét jól kezelhető, „C” alakú és/vagy csigaszzerűen összetekeredő, veszélyesen szóródó forgács távozik.

Közismert a szerszám kopásának befolyása a forgácsolóerő komponenseinek megváltozására. Az  $F_c$  forgácsolóerő kopás miatti módosulása például a Kienzle és Victor erőképletében 25-30%-os növekedést jelent [2]. Méréseink is ezt a tapasztalatot erősítik meg (lásd 6. táblázat). Még ennél is nagyobb változást (azaz növekedést) mutat az előtolás irányú és passzív ( $F_f$  és  $F_p$ ) erőkomponens, így érthető, ha az állapotfelüveleti rendszereket – többek között – e két erőösszetevő (vagy ezek arányainak) megváltozására alapozzák.



6. ábra: A forgácsolak megváltozása a szerszámél elhasználódása miatt [24]  
Lapka: CNMG120408 PM K10+TiAlN-mono (PVD)  
C60 acél (HB220±5); a=1,5 mm; f=0,25 mm; v<sub>c</sub>=200 m/min; szárazforgácsolás



7. ábra: A forgácsolt felület érdességének változása az idő függvényében [14, 23]  
Lapka: CNMG120408 MT TT5100  
Ko36 acél (HB170±5); a=1 mm; f=0,1 mm; v<sub>c</sub>=160 m/min; szárazforgácsolás

A forgácsolt felület érdességi adatai szintén összefüggésben vannak a szerszám kopottsági állapotával. A 7. ábra egy nehezen forgácsolható, ausztenites korrózióálló acél példáján mutatja be a szokásos érdességjellemzők (Ra, Rz) változását a forgácsolási idő függvényében. A diagramból jól látszik, hogy az egyenletes kopás szakaszában (t<sub>c</sub> = 2...6 min között) előbb hirtelen kétszeresére nő az Rz adata, majd – az él pillanatnyi állapotának és vasaló hatásának függvényében – erőteljesen csökken az egyenetlenség magasság. Az éltartam vége felé (t<sub>c</sub> > 14 min) mindkét mért érdességi jellemző ismét növekszik. Az érdességelállító képességnek a közölt ábrán megfigyelhető változásai egyébként nem engedhetők meg például kis átmérőjű és hosszmetretű alkatrészek sorozatgyártásakor vagy az előírt minőséget garantáló gyártási feltételek között.

A különböző anyagú, szerkezeti összetételű, vastagságú és nanokeménységű PVD-bevonatok védő hatását hosszú távú (tartós) teszt sorozattal vizsgáltuk. A 6. táblázat egy egyrétegű bevonat kopásvizsgálati eredményeit tartalmazza. A kopáskritérium (VB<sub>meg</sub>=0,2 mm) eléréséig a forgácsolak besorolása háromosztályzatnyi különbséget mutatott, az aktív erő

(F<sub>a</sub>, N) kb. 25%-kal, az előtolás irányú erő (F<sub>r</sub>) pedig közel 70%-kal növekedett meg, míg az Rz egyenetlenség magasság (szinte a 7. ábra alakulását követve) rapszodikusán változott. A forgácsolási idő függvényében a hatékonyság először fokozatosan mérséklődött, majd – váratlanul – harmadára esett vissza. A kopás utolsó szakaszában azonban annyira megnőtt, hogy még a kiindulásnál mért értéket is bőven meghaladta. Ennek az a magyarázata, hogy az esztergált felület Rz érdessége (az él vasaló hatásának következtében) töredékére csökkent, a forgácsolak besorolása pedig három osztállyal jobb lett.

6. táblázat: A szerszámkopás hatása a lapka hatékonyságára [24]

Lapkák hosszú távú hatékonysága								
Kopás- adatok	Erőértékek, N			Érdes- ség Rz, µm	For- gács g	Haté- konyság H		
	Idő, min	VB, mm	F <sub>c</sub>				F <sub>r</sub>	F <sub>a</sub>
1	0,08		840	361	914	8	4	41,0
2	0,09		830	390	917	9	4	36,3
4	0,1		830	407	924	10	4	32,5
6	0,11		835	434	941	11	3	21,7
8	0,12		725	355	807	13	1	7,1
10	0,14		820	426	924	12	1	6,8
12	0,2		1100	605	1255	5	4	47,8

**Forgácsolási körülmények:**  
 Lapka: CNMG0120408 PM K10/TiAlN-mono (PVD)  
 Munkadarab: C60 acél (HB 225±5); szárazforgácsolás  
 Adatok: a=1,5 mm; f=0,25 mm; v<sub>c</sub>=200 m/min; V'=75 cm<sup>3</sup>/min

Az ugyanilyen anyagú, de többrétegű (multilayer) bevonat kopásmérési eredményeit és a hatékonysági mutatószámait a 8. ábra tartalmazza. A TiAlN egyrétegű bevonat kopásgörbéjét a

$$VB(t_c) = t_c \cdot EXP(4,7 - 0,46 \cdot t_c + 0,03 \cdot t_c^2) \text{ [mm]} \quad (6)$$

$$s = \pm 0,007 ; R^2 = 0,972$$

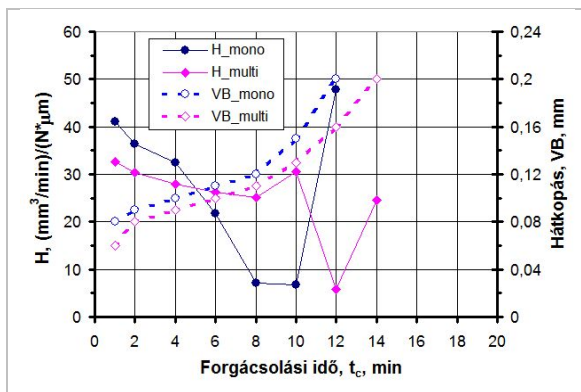
a többrétegű TiAlN változatot pedig

$$VB(t_c) = t_c \cdot EXP(4,3 - 0,33 \cdot t_c + 0,02 \cdot t_c^2) \text{ [mm]} \quad (7)$$

$$s = \pm 0,01 ; R^2 = 0,945$$



függvénnyel tudjuk leírni [24]. A (6) és (7) egyenletet összevetve látható, hogy a nagyobb rétegszám – a hátfelület kopását mérsékelve – javítja a lapka teljesítőképességét és 20%-kal növeli meg az éltartamot. A hatékonyság a forgácsolási idő függvényében éppen ezért az egyrétegű bevonatnál mindvégig erőteljesen csökken és csak közvetlenül a tönkremenetel előtt mutat kedvező értéket. A többrétegű bevonatnál a hatékonyság előbb kissé mérséklődik, majd növekedni kezd, a következő kopásmérésnél azonban drasztikusan lecsökken. A kopás végső fázisában viszont az (1) összefüggés alapján ismét nagy értéket kapunk. Ennek az a magyarázata, hogy a fellépő erőhatások növekvő értékét kompenzálni tudja a felület vasalását végző él (igen kis érdességet hátrahagyva) és a kedvező (csigavonalszerű) forgácsolak.



8. ábra: A kopás és a hatékonyság az idő függvényében különböző bevonatoknál [24]  
Lapka: CNMG0120408 PM K10  
Bevonat: TiAlN-mono és TiAlN-multi (PVD)  
Forgácsolási körülmények: C60 acél (HB225±5);  $a=1,5$  mm;  
 $f=0,25$  mm;  $v_c=200$  m/min; szárazforgácsolás

A tartós vizsgálat ezen eredményei megerősítik azon véleményünket, hogy az (1) összefüggéssel kifejezett hatékonyságot nem célszerű alkalmazni a lapkák hosszú távú teljesítőképességének kifejezésére, mert

1. a szerszám elhasználódási folyamata a kiválasztott négy legfontosabb kiegészítő jellemzőre inkonzisztens hatás gyakorol. Másképpen fogalmazva: a kopásgörbék inflexió pontjai ( $t_c=8...10$  min) közelében a „H” mutató hirtelen drasztikus csökkenést mutat;
2. az éltartamvizsgálatoknál megszokott *hátkopás* kritériumként történő felhasználása a kiegészítő jellemzők közül csak a fellépő erőhatásokat (nagy főélszögű szerszámoknál főleg az  $F_f$  komponenst) befolyásolja egyértelműen, a kialakuló érdességre áttételesen, míg a forgácsolásra egyáltalán nem hat;
3. a lapka homlokfelületének kopása (főleg a kráterképződés) a forgácsképződést hektikusan befolyásolja;
4. a szerszámél kopottságtól függő pillanatnyi állapota és valós alakja (főként a csúcsgár és mellékél zónája) a munkadarabon mérhető érdességet bizonytalanná teheti. A stabil forgácsolás, az élalak átmásolódása és/vagy a

vasalás egyidejű fellépése a 7. ábrán vázolt ingadozásokhoz vezet.

Az általunk értelmezett, az (1) képlet szerint számított hatékonyságot a fenti indokok alapján nem célszerű kapcsolatba hozni a lapka hosszú távú teljesítőképességével. Nem jelent megoldást a kopásmérések időpontjához rendelt hatékonyságok átlagolása vagy éppen súlyozása sem.

## 7 ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat olyan újszerű minősítési módszert mutatott be, amelyet előnyösen lehet alkalmazni a lapkák forgácsolóképességének meghatározásakor. A módszer különféle alakú, élkialakítású, méretű, forgácsoló, illetve eltérő anyagminőségű és bevonatú lapkák objektív összehasonlítására alkalmas, ezenkívül lehetővé teszi hatékonysági sorrendek képzését, valamint az innováció sikerességének mérését is. Három lényeges hatékonysági elemet definiál, amelyek segítségével egyrészt optimális adatbeállításokat lehet kiválasztani az (1) képlettel, másrészt a komplex hatékonyságot definiálva (lásd (4) összefüggés) egyetlen százalékos arányszám jellemzi a vizsgált lapkát.

A gyártási trendek és üzemi statisztikák alapján a súlyszámokkal módosított felhasználhatóság az (5) formula alapján számítható. A súlyozott komplex hatékonyság már a különböző rendeltetésű lapkák objektív összehasonlítására is alkalmas.

A kidolgozott módszer alkalmazásának előnye, hogy egyszerű, csak négy (nevesítve: leválasztási sebesség, forgácsolak, aktív erő, felületi érdesség), jól számítható, kódolható és mérhető jellemzőre támaszkodik, ráadásul – csekély idő-, anyag- és költségráfordítása révén – kellően rentábilis. Hátránya, hogy csak rövidtávú kísérletek elvégzésére alkalmas.

A lapkák forgácsolóképességének fő jellemzője a hosszú távú teljesítőképesség, azaz a szerszám kopási viselkedése és éltartóssága. A kopási folyamat alakulása (lásd (6) és (7) képlet) és a hatékonyság közötti kapcsolat esetleges. A dolgozatban bemutatott példa is azt szemlélteti, hogy a kiegészítő jellemzők négy fő paraméteréből számítható hatékonyságot nem szabad összetéveszteni a lapka teljesítőképességével.

A világ három vezető szerszámgyártó cégcsoportja küldött már lapkákat elemzésre, a módszer használhatóságát és megfelelőségét több, mint 70 lapka tesztelési tapasztalatai támasztják alá. A továbbiakban azokat az új fejlesztésű lapkákat fogjuk a fenti módszerrel tesztelni, amelyek piacra kerülése szinte forradalmasítja az esztergálást.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző köszönetet mond a mérések során és a korábbi szakkikkek elkészítésében közreműködő kollégáinak. Külön köszönet illeti Dr. Pálmai Zoltánt értékes szakmai megjegyzéseiért.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Sipos, S. és Palásti-Kovács, B. (2007): A forgácsoláskutatás néhány eredménye a szerszámminősítés területén *Nemzetközi Gépész és Biztonságtechnikai Szimpózium*, 2007. november 14. Budapest, BGK (ISBN 978-963-7154-68-3) pp. 28.
- [2] Sipos, S., Palásti, K.B. és Horváth, R. (2015): Forgácsoló technológiák és szerszámai (*Elektronikus jegyzet*, ÓE 3057)
- [3] Kutatási jelentés (2008) Böhlerit-projekt, BMF/BGK/AGI, Budapest, pp. 25
- [4] Sz. Biró, S. dr. Sipos, Zs. Kisa és P. Uracs (2009): New results of investigations carried out on tools made by IMC Group, *microCAD 2009 International Scientific Conference*, Miskolc, 19-20 March. 2009. Section M: Production Engineering and Manufacturing Systems, 27-33. ISBN 978-963-661-878-0
- [5] Sz. Biró, T. Dr. Cselle, V. Hájek és S. dr. Sipos (2010): Evaluation of Cutting Performance on Pramet Carbide Inserts with Several Coatings, Made by Platit AG *microCAD 2010 International Scientific Conference*, Miskolc, 18-20 March 2010. Section N: Production Engineering and Manufacturing Systems, 25-32. ISBN 978-963-661-918-3
- [6] Kutatási jelentés (2013) Sandvik-projekt, ÓE/BGK/AGI, Budapest, pp. 30.
- [7] Pálmai, Z. (1980): Fémek forgácsolhatósága, Műszaki Könyvkiadó
- [8] Sipos, S..(1990): Forgácsolási adatbázis ISG-gyártmányú keményfém váltólapkával végzett esztergáláshoz *Korszerű technológiák*, 4. 5. sz. 9-18.
- [9] Sipos, S. dr. és Repáruk, I. (1990): ISG-gyártmányú lapkák kiválasztása mikroszámítógéppel *Gépgyártástechnológia*, XXX. 7. sz. 317-320.
- [10] Dr. Palásti-Kovács, B., Dajcs, L. és dr. Sipos, S. (1990): ISG-gyártmányú lapkák forgácstörési tartományának vizsgálata *Gépgyártástechnológia*, XXX. 8. sz. 346-351.
- [11] Kutatási jelentések (2009-2014) Walter-projektek, ÓE/BGK/AGI, Budapest, pp. 25
- [12] Kutatási jelentés (2016) WIDIA gyártmányú lapkák forgácsolóképességének műszeres vizsgálata, ÓE/BGK/AGI, Budapest, pp. 28
- [13] B. Dr. Palásti K., S. dr. Sipos és Á. Dr. Czifra (2012): Interpretation of „Rz=4xRa” and other roughness parameters in the evaluation of machined surfaces *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Tools, ICT-2012*, 27-28. March 2012, Miskolc (Hungary), 237-244. ISBN 978-963-9988-35-4
- [14] B. Dr. Palásti-Kovács, S. dr. Sipos és Sz. Biró (2014): The Mysteries of the Surface First Part: The Characteristic Features of the Microgeometry of the Machined Surface *Acta Polytechnica Hungarica*, 11. 5-24. DOI: 10.127000/APH [11.05.2014.05.1](https://doi.org/10.127000/APH.11.05.2014.05.1)
- [15] Kutatási jelentés (2016) ZCC gyártmányú lapkák vizsgálata ÓE/BGK/AGI, Budapest, pp. 22
- [16] Kutatási jelentés (2016) TaeguTec gyártmányú, Rhino-Turn™ lapkák összehasonlító vizsgálata korrózióálló acélon ÓE/BGK/AGI, Budapest, pp. 23
- [17] Brammertz, P.H. (1961): Entstehung der Oberflächenrauheit beim Feindreihen *Industrie Anzeiger*, 83 H.2., S. 25-32.
- [18] Sz. Biró, A. Nagy és S. dr. Sipos (2010): Use of Cutting Inserts with Modern Geometry in Higher Education *Gyártás 2010. konferencia (GTE)*, Budapest, 2010. okt. 20-21. CD ISBN 978-963-9158-30-6; lektorált, angol nyelvű
- [19] Sz. Biró, A. Nagy és S. dr. Sipos (2011): Up to date cutting inserts with modern geometry for machining applications *XXV. microCAD Int. Scie. Conference*, 31 March – 1 April 2011. Section L: Production Engineering and Manufacturing Systems, 17-22.
- [20] S. dr. Sipos, Sz., Biró és J. Biró (2005): Increasing of the cutting performance and the quality of machined surface at the same time *5<sup>th</sup> Intern. Scient. Conf. „Development of Metal Cutting DMC 2005”*. Kosice, SK. 09-13. ISBN 978-80-8073-858-7
- [21] dr. Sipos, S., Biró, Sz. és Tomoga, I. (2006): A termelékenység és a minőség egyidejű növelése WIPER élgeometriával *Gépgyártás*, XLVI. 4. sz. 17-24.
- [22] Sipos, S. dr. (1997): A forgácsolás minőségbiztosítása *Minőségbiztosítás a gépészetben*, PHARE-projekt, TDQM - HU 9305 - 1337/B, Budapest, 256 - 318.
- [23] Palásti, K.B., Sipos, S. és Biró, Sz. (2014): A felület rejtelmei I. rész: A forgácsolt felület mikrogeometriájának jellegzetességei *Gyártóeszközök, szerszámgépek, szerszámok* (Műszaki Kiadványok) XX., 2014. 3-9.
- [24] Report (2007): Investigation on cutting performance of carbide inserts with several types of coating made by Platit AG BMF/BGK/AGI, Budapest (on CD)