

A KŐZETJÖVESZTŐ BONTÓFOGAK OPTIMÁLIS MÉRTEZÉSE

DIGGING TOOLS OPTIMAL DIMENSIONING

Kovács József¹, András József², András Endre³

Petrozsényi Egyetem, 332006, Románia, Petrozsény, str. Universităţii, 20

¹ *kovacs@mail.com*

² *iosif.andras@gmail.com*

³ *andrei.andras@gmail.com*

Abstract

The paper deals with the digging tools mounted on the buckets of bucket wheel excavators, so called teeth, namely with their shape and strength optimization, taking into account different operating situations, including extreme ones. The excavation process has a complex character, which requires a multi-criterion optimization approach. The experience gained by the authors and the literature findings have demonstrated that this requirement is possible to be fulfilled only when in theoretical mathematical assumptions we use data gathered from rig and in-situ measurements. In this respect, we determined the constructive, shape and strength parameters of teeth in order to obtain maximal excavation productivity and increased reliability.

Keywords: *Bucket wheel excavator, tooth, optimization, dimensioning*

Összefoglalás

A dolgozat a bányászatban alkalmazott kotrógépek bontófogainak mértani paramétereivel, ezek optimalizálásával foglalkozik, figyelembe véve az üzemelés közben létrejövő helyzeteket, beleértve a szélsőségeket is. A jövesztési folyamat egy komplex jelenség, amely egy többcél-függvényű optimalizálási megközelítést igényel. A szerzők által nyert tapasztalat, valamint a szakirodalom jelzései azt bizonyítják, hogy csak akkor lehet ezt az igényt kielégíteni, ha a kifejlesztett elméletben található matematikai összefüggésekbe a gyakorlatból vett, labor és in situ mérések alapján meghatározott adatokat használunk fel. Ezt az irányít követve sikerült meghatározni a bontófog paramétereinek értékeit úgy, hogy az maximális hatékonysággal működjön, és a megbízhatósága is magas legyen.

Kulcsszavak: *kotrógép, bontófog, optimalizálás, jövesztés*

1. Bevezető

Mind az elméleti, mind a gyakorlatban végzett kutatások azt bizonyítják, hogy a marótárcsás kotrógépek esetében a bontófogak mértani paramétereinek lényegesen befolyásolják a jövesztést és a gép működését, főleg ami a marótárcsát, a merítékeket és a

bontófogakat illeti, úgy technológiai, mint energetikai szempontból.

A mértani paraméterek elsősorban magára a bontófogra vonatkoznak, mint az egész konstrukció elemei, utána a merítékre szerelt bontófog geometriai paramétereinek és végül azok a mértani paraméterek, amelyek a bontófogak eloszlásából származnak.

vágóélre szerelt bontófog megfelelő paraméterei vannak feltüntetve.

Amint e két ábrából következik, a főbb paraméterek a következők:

- l – a bontófog hossza,
- l_a – a bontófog aktív hossza,
- b – a vágóél szélessége,
- R_t – a marótárcsa sugara a bontófog éléig,
- R_c – a marótárcsa sugara a meríték éléig,
- α – homlokszög,
- β – hátszög,
- γ – vágószög,
- δ – ékszög,
- θ – keresztirányú oldalszög,
- ζ – hosszanti oldalszög,
- φ – a fogélpálya érintőjének a függőlegessel bezárt szöge,
- α_1 – az önálló bontófog homlokszöge,
- β_1 – az önálló bontófog hátszöge,
- v_1 – vágósebesség,
- v_c – a merítékél sebessége.

A bontófogat jellemző szögek közötti kapcsolatok a következők:

$$\alpha + \gamma = 90^\circ$$

$$\gamma = \beta + \delta$$

$$\delta = 90^\circ - (\alpha + \beta)$$

$$\alpha_1 + \beta_1 = \delta$$

A gyakorlatban az α homlokszög 40...60°, a β hátszög 5...15°, a γ vágószög 30...50°, a δ ékszög 25...45°, a bontófog hossza 300...500 mm, míg a vágóél szélessége 80...180 mm. Természetes, hogy az önálló bontófog geometriai paraméterei és a merítékre szerelt bontófog geometriája között pontos összefüggések vannak.

Ezeket szigorúan be kell tartani a rögzítési rendszertől függetlenül, mert ellenkező esetben megváltozik a jövésztett kőzet és a marótárcsa között létrejövő kölcsönhatás, és a kotrógép működése nem lesz megfelelő.

3. A bontófogak geometriájának hatása a jövésztésre

A heterogén anyagok, mint a kőzetek vagy a hasznos ásványi anyagok jövésztése, egyrészt a jövésztett anyag jellemzőitől,

másrészt pedig a jövésztőszer szám alakjától és mértani paramétereitől függ.

A természetben előforduló anyagok közül nagyon sok forgácsolható. Ezeket többek között, kotrógépekkel lehet kitermelni.

A jövésztendő anyag sokféle, nemcsak ami a szerkezetét és fizikai jellemzőit illeti, hanem a jövésztési folyamatban a forgácsképződést és a forgácskitörést is figyelembe véve.

A **3. ábra** négyféle anyagtípus jövésztése következtében létrejövő forgácskitörést szemlélteti.

A **3a. ábrán** látható a kompakt, de törékeny anyag jövésztése. Itt a forgácsok méretei megközelítőleg egyformák. Ezek, a jövésztés folyamatában elugranak a foghomlokról, s ebből kifolyólag a kopás kisebb, a rányomó erő pozitív, tehát a kőzet ellenáll a bontófog behatolásának a haladási sebesség irányában.

A **3b. ábrán** látható a természetesen létrejött repedésekkel rendelkező törékeny anyag jövésztése, ahol a forgácsok különböző méretűek, és sok apró szemcsét tartalmaznak. Ebben az esetben nagy mennyiségű por keletkezik. A jövésztés dinamikus, a kopás nem nagy, és az erők pozitív irányban hatnak.

A **3c. ábrán** a rugalmas, jól hajlítható anyagok jövésztése van feltüntetve, amelyek átveszik és elnyelik a befektetett energia egy részét. A forgács, mielőtt repedne, ránehezedik a bontófog homlokára, és emiatt a rányomó erő eredője nagyobb homlokszög esetében, negatív lesz. A homloklülettelen a kopás jelentős, mert ezen csúsznak a forgácsdarabok. Ilyen például a xiloid (fás) lignit jövésztése.

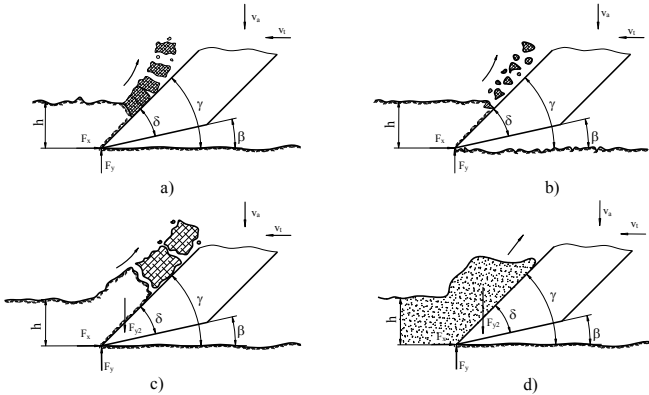
A **3d. ábra** a gyenge kohéziós és természetesen szemcsés anyagok (kavics, homok, lösz) jövésztési modelljét szemlélteti, ahol azt lehet kiemelni, hogy a hatóerők nem nagyok, a forgács tulajdonképpen a bontófoghomlokon felcsúszó csomóvá lett anyagmennyiség, amely miatt a rányomó erők eredője szintén negatív, akárcsak az

előző esetben. Az ilyen kőzetek általában nagy szilíciumtartalommal rendelkeznek, és így a homloklépcső kopása igen intenzív.

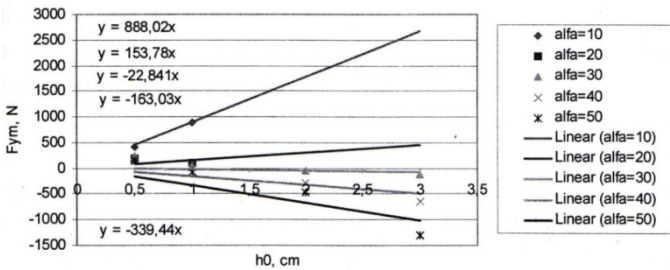
A harmadik és negyedik esetben mondottakat két példával támasztjuk alá, éspe-dig figyelembe véve a dél-romániai lignitte-lepekről származó mintákon végzett labora-tóriummi jövesztési kísérletek során rögzített

és matematikailag feldolgozott adatokat, amelyek a rányomó erő változására vonat-koznak a fogásmélység függvényében, kü-lönböző homlokszög értékekre.

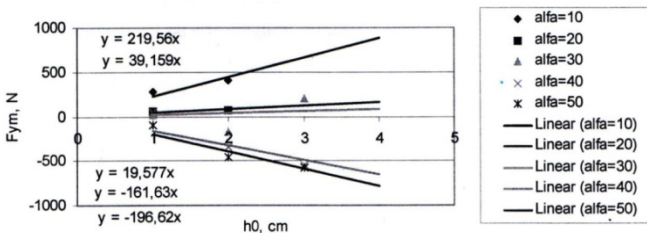
A 4. ábrán az I. telepre vonatkozó ada-tok, az 5. ábrán a X. telepre vonatkozó eredmények vannak feltüntetve.



3. ábra. A nem homogén anyagok jövesztési módja



4. ábra A rányomó erő változása a fogásmélység függvényében az I. telep esetében



5. ábra. A rányomó erő változása a fogásmélység függvényében az X. telep esetében

Mindkettőn látható az, hogy a 10, 20 és 30°-os homlokszögű bontófogak esetében az F_y rányomó erő konvencionálisan pozitív, tehát a lignit ellenáll a behatolásnak, míg 40 és az 50°-os homlokszög esetében az F_y rányomó erő konvencionálisan negatív, mintha a lignittelép vonzaná a bontófogat.

Ezek az adatok bizonyítják azt, hogy a jövésztés tanulmányozásában milyen nagy szerepet játszik a bontófogak geometriája.

4. A homlokszög hatása a fogak terhelésére és a jövésztés energetikájára

Mind a hazai, mind a külföldi irodalomból és saját tapasztalatból is ismert, hogy a kőzetek vagy a hasznos ásványok jövésztését lényegesen befolyásolják a bontófogak geometriai paraméterei, főleg ami a vágó- és rányomó erőket, a kitorési szöveget, valamint a fajlagos energiafogyasztást illeti, amelyek továbbá befolyásolják a fogak, a merítékek és a marótárcsa terhelését, a fogkopást, valamint a jövésztés hatékonyságát általában.

A bontófog geometriai paraméterei közül az egyik legnagyobb szerepet a bontófog α homlokszöge, illetve ennek a kiegészítőszöge, a γ vágószög játssza.

A többi élszög, mint a β hátszög, a θ és ξ oldalszögek értéke egy szűk intervallumban mozog, és a fölösleges súrlódások elkerülése függvényében állapítható meg. Ha a β adott, akkor a δ ékszög is az α -tól függ.

A lignit, a kőszén, a kősó és a különböző meddőkőzet jövésztésére vonatkozó laboratóriumi vagy üzemi körülmények között végzett vizsgálatok rámutattak arra, hogy az F_x vágóerő és az F_y rányomó erő csökken, ha nő az α szög értéke. A szögek közötti összefüggések viszont azt mutatják, hogy ha nő az α homlokszög, akkor megfelelő β hátszög esetében ez a δ ékszög rovására megy, ami a bontófog teherbírásának csökkenését vonja maga után.

Észrevehető, hogy a két megállapítás igaz, de ellentmond egymásnak. Hogy melyik a fontosabb, azt nem lehet első látásra megállapítani. Éppen ezért van szükség egy elmélet felállítására, amelynek alapjaként a többcél-függvényű optimalizálás törvényeit lehet alkalmazni.

5. Az elméleti alap kidolgozása

A bontófogat egyszerűsítve egy rúddal modellezhetjük. A rúd egyik vége befogott, a másik vége két koncentrált erővel terhelt.

Az egyik koncentrált erő (T) a rúd hossz tengelyére merőlegesen, a másik (N) annak irányába hat.

Az N erő a rúd minden keresztmetszetében hajlító nyomatékot, a T erő pedig húzást-nyomást gyakorol. Tehát minden keresztmetszetben összetett igénybevétel keletkezik, ennek maximális értékét a következő egyenlettel lehet kifejezni:

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_T = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} \quad (1)$$

ahol

N – normál irányba ható erő;

T – merőleges irányba ható erő;

M – a T erő hajlítónyomatéka;

x – a keresztmetszet távolsága a bontófog éléig;

A – a keresztmetszet területe;

W – a keresztmetszeti tényező.

Az 1. és 2. ábrákra alapozva, az N és T erőket a bontófogra ható F_x és F_y erők, illetve a mértani paraméterek függvényében a következő módon lehet meghatározni:

$$N = F_x \sin(\alpha + \delta/2) \pm F_y \cos(\alpha + \delta/2) \quad (2)$$

$$T = F_y \sin(\alpha + \delta/2) \pm F_x \cos(\alpha + \delta/2) \quad (3)$$

Mivel az F_x vágóerő és az F_y rányomó erő között létezik a következő összefüggés:

$$F_y = k_y \cdot F_x, \quad (4)$$

a (2) és (3) egyenleteket a következő alakban lehet átírni:

$$N = Fx (\sin(\alpha + \delta/2) \pm ky \cos(\alpha + \delta/2)) \quad (5)$$

$$T = Fx (\cos(\alpha + \delta/2) \pm ky \sin(\alpha + \delta/2)) \quad (6)$$

Mind az F_x és F_y erők, mind a ky együtttható szintén az α szög és a h fogásmélység függvényében változnak.

Az (1) egyenlet tehát a következőképpen alakul:

$$\sigma = \sigma_N + \sigma_T = \frac{N(\alpha, h)}{A(x)} \pm \frac{T(\alpha, h) \cdot x}{W(x)} \quad (7)$$

Az optimalizálás feladata egyrészt az, hogy a keresztmetszet alakváltozása az egyenszilárdságú rúdhoz minél közelebb legyen, másrészt pedig, hogy a maximális

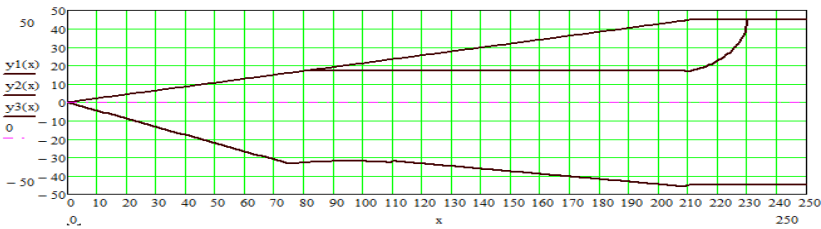
feszültség ne haladja meg az anyag megerősített feszültségét.

Tehát:

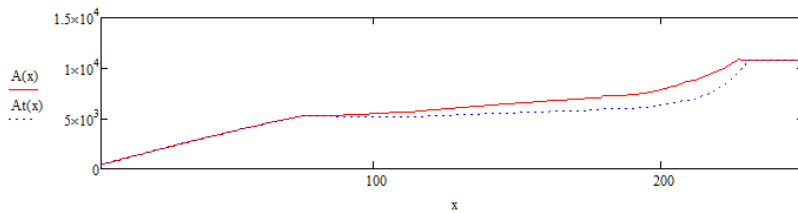
$$\sigma(x) = const., \quad 0 < x < l_0,$$

$$\sigma(x) < \sigma_a$$

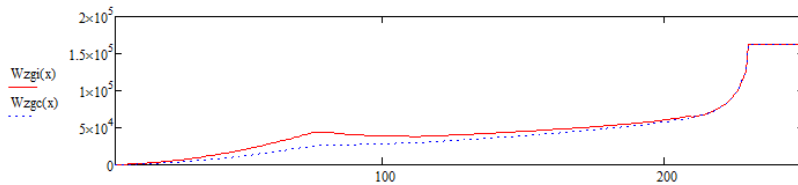
Mivelhogy a bontófog hosszirányában a keresztmetszet alakja változik, az $A(x)$ és $W(x)$ függvények leírásához a MATHCAD programot használtuk. A **6. ábrán**, az analitikusan szerkesztett hosszmetset, a **7. és 8. ábrákon** pedig a keresztmetszet területe és a keresztmetszeti tényező változásának a görbéi láthatók.



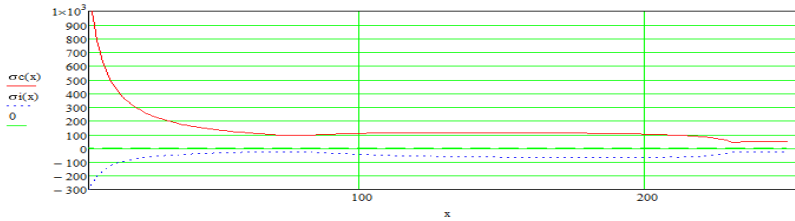
6. ábra. A bontófog analitikusan szerkesztett hosszmetsete



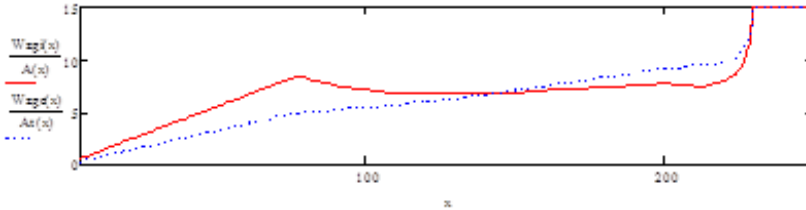
7. ábra. A bontófog keresztmetszete területének változása



8. ábra. A bontófog keresztmetszeti tényezőinek változása



9. ábra. A bontófog keresztmetszetén keletkező húzás nyomás feszültségek diagramjai



10. ábra. A bontófog keresztmetszetét jellemző $W(x)/A(x)$ változása

A húzás-, illetve nyomásfeszültségek diagramjai a 9. ábrán láthatók. Az ábrákból kitűnik, hogy a bontófog életől mérve egy 40 milliméteres szakasz kivételével a feszültség majdnem állandó értékű, ami bizonyítja az optimalizálási kritérium helyességét.

A 10. ábrán, a $W(x)/A(x)$ hányadosát ábrázoltuk.

Bonyolultabb számításokkal, amelyeket most nem részletezünk, bebizonyítható hogy egy, a keresztmetszet alakjában és méreteiben változó, egyik végén befogott rúd akkor egyenszilárdságú, ha a $W(x)/A(x)$ hányados lineárisan növekszik a hossz függvényében.

Ebből az ábrából az is következik, hogy ez a megállapítás igaz.

6. Gyakorlati alkalmazások

A külszíni bányákban jövésztett lignitfészeségek és a különböző meddő kőzetek különböző fogparamétereket igényelnek ahhoz, hogy a jövésztés minimális energiafogyasztással történjen.

A bontófoggyártás szempontjából, az lenne előnyös, ha minden esetben ugyanazt,

tehát egy univerzális bontófogat alkalmaznánk. Ebből az következik, hogy az egyik szempontot sem lehet kivételesen követni, hanem megegyeztető megoldást kell alkalmazni.

Ez azt jelenti, hogy az adott helyzetben a különböző körülményeket úgy kell csoportosítani, hogy ezek a jövésztés szempontjából közel álljanak egymáshoz, s az így kapott csoporthoz a megfelelő paraméterekkel rendelkező bontófogat kell kifejleszteni.

Lényegében a bontófog formája ugyanaz, de a fontos paraméterek csoportonként mások, s így születik meg a bontófog több racionálisan választott változatban. Ezek megfelelő alkalmazása minden esetben jó eredményhez vezet, mind az energiafogyasztást, mind a bontófogak gyártását illetően.

A kidolgozott és bemutatott elméletet alkalmazva a dél-romániai lignitmedence 7. vizsgált telepét és az itt jövésztendő meddőkőzeteket három csoportba osztottuk a fajlagos vágóerő szerint, s így nem három bontófog szükséges, hanem csak egy, ugya-

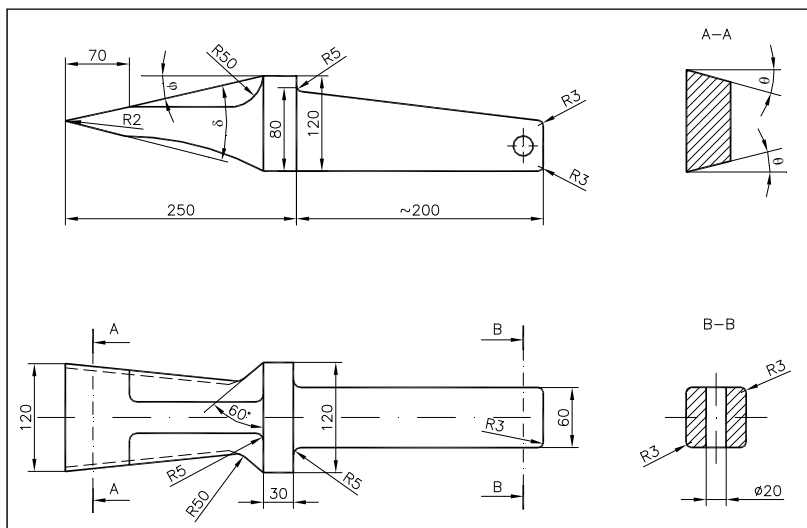
nazon formájú három változatban, amint az **1. táblázatban** látható.

A geometriai paraméterek meghatározásánál figyelembe vettük a meríték élére ültetett bontófogat és annak alapformáját, ami a három változatnál nem módosul.

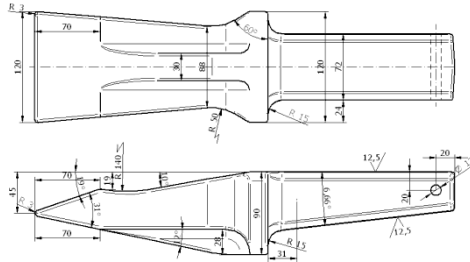
Ugyanakkor figyelembe vettük a leggyakrabban használt meríték adatait, és így jött létre a javasolt bontófog alapformája és annak főbb méretei, amelyek a **11. ábrán** láthatók.

1. táblázat. A fajlagos vágóerő és az ajánlott bontófog változatai

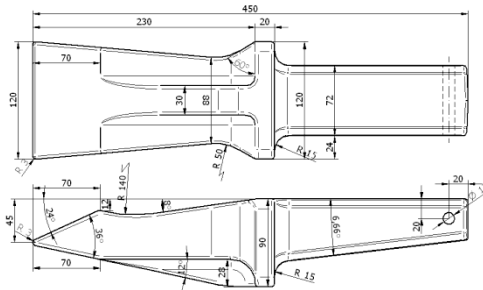
Jövesztett anyag / Fajlagos vágóerő N/cm	Meddő kőzet	Lignittelepek	Külszíni bánya	Bontófog-változat
A = 200...450	Homokos agyag	-	Roşia de Jiu	I
	Zöldes agyag	-	Roşia de Jiu Husnicioara	
A = 450...800	Homokos márga	-	Berberşti (Panga) Olteţu	II
	Márgás agyag	V, VI, VII, VIII	Lupoiaia	
	Szürke agyag	VII, VIII	Roşiuţa	
	-	V, VIII	Roşia de Jiu	
	-	I, IV	Husnicioara	
A = 800...1200	-	I, II	Olteţu	III
	-	V, VII	Peşteana Nord	



11. ábra A javasolt bontófog alapformája és adatai



13. ábra. A javasolt bontófog II. változata



14. ábra. A javasolt bontófog III. változata

7. Következtetések

Az előbbiekben bemutatott eredmények alapján a következő következtetéseket vonhatjuk le:

- a marótárcsás kotrógépek esetében a bontófogak mértani paraméterei lényegesen befolyásolják a jövesztést és a gép működését, főleg ami a marótárcsát, a merítékeket és a bontófogakat illeti, mind technológiai, mind energetikai szempontból;
- az optimalizálás legfontosabb lépése a bontófogakra mint önálló elemekre vonatkozik;
- az önálló bontófog geometriai paraméterei és a merítékre szerelt bontófog geometriája között pontos összefüggések vannak, amelyek szigorú betartása kötelező a jövesztett kőzet és a marótárcsa között létrejövő kölcsönhatás és a kotrógép megfelelő működése szempontjából;

- a jövesztési folyamat egy komplex jelenség, amely egy többcél-függvényű optimalizálási megközelítést igényel;
- a valóság megközelítésének céljából, a kifejlesztett elméletben található matematikai összefüggésekbe a gyakorlatból vett mérések alapján meghatározott adatokat használunk fel;
- a bontófog alapformáját és az elemzés alapján meghatározott paramétereket figyelembe véve három bontófog-változatot terveztünk meg, amelyek a gyakorlatban felhasználhatók.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kovács I., Ilias N., Nan M.S.: *Regimul de lucru al combinelor miniere*. Editura UNIVERSITAS, Petroșani, 2000.
- [2] Nan M.S.: *Parametrii procesului de excavare la excavatoarele cu rotor*. Editura UNIVERSITAS Petroșani, 2007.
- [3] Sümegi I.: *Külfejtési marótárcsás kotrógépek jövesztő szerkezetének elméleti vizsgálata és fejlesztése*. Doktori értekezés PhD elnyeréséhez, Miskolci Egyetem.