

MERÍTÉKLÉTRÁS KOTRÓ TECHNOLÓGIÁJÁHOZ OPTIMÁLT CSERÉLHETŐ BONTÓFOG VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF OPTIMIZED REPLACEABLE CUTTING TOOTH FOR BUCKET LADDER EXCAVATOR TECHNOLOGY

Virág Zoltán PhD, Szirbik Sándor PhD
Miskolci Egyetem

ABSTRACT

Bucket ladder excavators are used for removing lignite at open-pit lignite mines of RWE Mátra Power Station LLC. Because of the long-standing problems of mining technique a research and development program was compiled. The objective was to develop new buckets and cutting teeth [1]. After the elastic problem is defined and the predicted loads are applied the new cutting teeth are analysed by the FEM solutions.

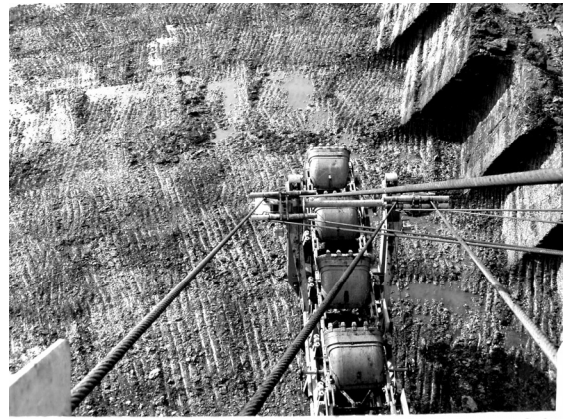
1. BEVEZETÉS

Az elmúlt közel kilenc évben sikeres meríték és bontófog fejlesztéseket végeztünk a Mátrai Erőmű ZRt. Vissontai és Bükkábrányi bányáiban üzemelő marótárcsás és merítéklétrás kotróinál. A fejlesztési cél olyan vizsgálati és tervezési módszer kidolgozása volt, amely biztosítja a merítéklétrás kotrókon eddig használt jövesztő szerkezetek felülvizsgálata után kifejlesztett új elemek (meríték, bontófog) kedvezőbb tulajdonságait. Különösen fontos volt, hogy legyenek egységesek és könnyen cserélhetőek a bontófogak, mivel eddig a merítékek felhegesztett bontófogakkal üzemeltek. Ezek felújítása és cseréje költséges és időrabló feladat volt, mely jelentősen csökkentette a gépek üzemelési idejét. A feladat elvégzéséhez szükséges a jövesztett lignitekből vett mintákon laboratóriumi lignitforgácsolási vizsgálatok elvégzése [2], valamint az üzemi megfigyelések és a forgácsolási eredmények alapján az új típusú cserélhető bontófog kifejlesztése.

2. A JÖVESZTÉSI FOLYAMAT TECHNOLÓGIAI FELÜLVIZSGÁLATA

A jövesztési folyamat technológiai felülvizsgálatának célja volt, hogy a jellemző technológiát megismerjük és így behatároljuk a merítékek jövesztésének feltételeit, valamint meghatározzuk azon jellemzőket, melyek a felülvizsgálatok és az új meríték tervezésének alapadataul szolgálnak. A bontófog fejlesztés célja, hogy a jellemző technológia lépések során, azaz a talpszint alóli

legyezőkotrással végzett blokkos jövesztésnél, a szén-szalag mellett elhelyezkedő ún. letörésnél és a blokk szabad részsűjénél végzett merítéklétrá süllyesztésénél, illetve a merítékek éppen a megengedett mértékig fogásba lépésénél a hajtást ne terheljük túl. A kotrógép pozícióját és az ismétlődő jövesztési ciklusok utáni hátraállás nagyságát a gép és merítéklétrá paraméterei, valamint a jövesztett telep vastagsága határozza meg. Elsődleges célunk ennél az összetett mozgásnál kialakuló sebességi mező feltérképezése, valamint az eredő sebességvektorok meghatározása volt. A technológia felülvizsgálatánál a bontófogak forgácsolását is vizsgáltuk, mely jól megfigyelhető a jövesztett felületen és a letörések homlokfelületén (1. ábra). Azt tapasztaltuk, hogy a jövesztőkések önállóan, zárt forgácsot jövesztenek le és a bontófogak közötti szakaszon gyakran forgácsolnak a vágóélek. A vizsgálatok alapján a maximális eredő sebességvektorok 15-20°-os tartományban szóródtak.

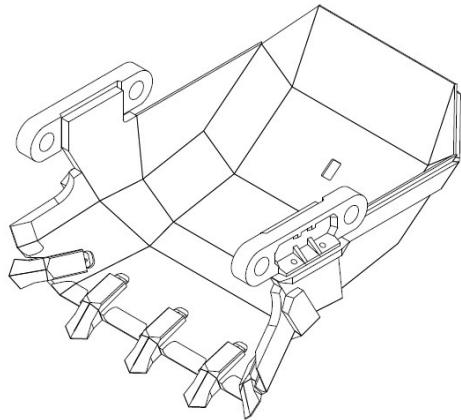


1. ábra. Forgácsolás a jövesztett felületen

3. A MERÍTÉK KIFEJLESZTÉSE

Az új merítékek konstrukciós kialakításánál a cserélhetőség, a bontófog elhelyezés, valamint a felhordócsatorna formája jelent korlátot, továbbá figyelembe kell venni a gyárthatóságot és a kedvezőbb jövesztést. Mindezek alapján sokszögű sík lemezekből felépülő vágóéleket, vágóéltartókat és merítékhatákat

tervezünk, hogy egyszerűbb és pontosabb legyen a gyártás és a felújítás. Ezekből hegesztéssel precízebben gyártható meríték készül.



2. ábra. Az új meríték

4. ÚJ TÍPUSÚ CSERÉLHETŐ BONTÓFOG KIFEJLESZTÉSE

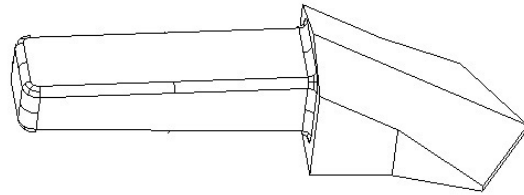
Ahhoz, hogy a fejlesztési célokat elérjük, nagyon sok megfigyelési, adatgyűjtési, tervezési, konstrukciós stb. feladatot kellett összehangoltan elvégezni, hogy a munkánk eredményeként a merítékekre új egységes cserélhető bontófog kerüljön. Figyelembe kellett venni az alkalmazott technológiának való megfeleltetést jövesztési szempontból, valamint az élgeometria minősítését energetikai szempontból, a cserélhetőséget és a felújíthatóságot. Az elméleti vizsgálat és a technológiai vizsgálatok megmutatták, hogy egy-egy meríték bonyolult mozgást végez jövesztés közben. Legyezés közben a merítékek parabola pályán mozognak és minden pillanatban a jövesztés iránya szöveget zár be a merítéklétrával. Az új bontófog kialakítását két területre bonthatjuk, egyik a bontófogfej kialakítása, másik a rögzítési megoldás kifejlesztése. Olyan új bontófogfejet kellett tervezni, amely a teljes jövesztési tér minden pontján reális geometriai feltételek mellett jöveszt. Vizsgáltuk a jövesztési technológiáknál a jövesztés feltételeit és módját, számítottuk illetve a pályagörbék fényképfelvétele alapján meghatároztuk a lengetés pályagörbének irányát, amely alapján az eredő sebesség vektorok behatárolhatók voltak.

5. A CSERÉLHETŐ FOG RÖGZÍTÉSÉNEK MECHANIKAI VIZSGÁLATA

5.1. A modell kialakítása

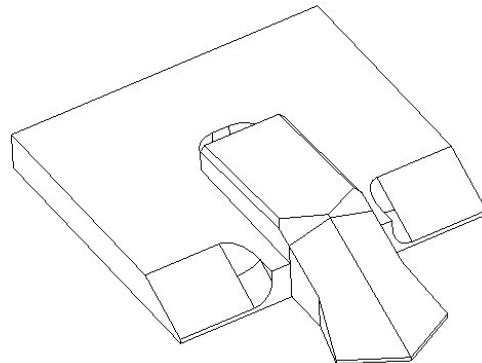
A merítéklétrás kotrógép merítékeire szerelt, a 3. ábrán látható, új egységesen cserélhető bontófog kialakításának, élgeometriájának és rögzítési módjának szilárdságtani szempontok alapján történő vizsgálatához olyan, a 4. ábrán látható egyszerűsített geometriát állítottunk elő,

mely a 2. ábrán látható új meríték egyik középső fogának és annak közvetlen környezetének kiragadásával készült. Így számításainkat a bontófogból, az ezt tartó késtartótokból, valamint a merítéket alkotó lemezrész - a meríték vágóél - téglalapalakban kimetszett részéből álló geometrián végeztük.



3. ábra. A cserélhető bontófog

Itt látható, hogy a cserélhető bontófog egy, a vágóélbe süllyesztett késtartótokban kerül elhelyezésre, mely vágóélhez rögzítése a tok teljes hossza mentén, mindkét oldalon végig futó hegesztési varrat segítségével történik. A hegesztési varratok modellezésre itt nem, majd egy másik tanulmány keretein belül kerül sor. A mechanikai modellhez tartozó 4. ábrán látható geometria megrajzolása során a numerikus számítások hatékonyságát növelő szokásos geometriai egyszerűsítéseket végeztük el. Így például a kisebb sugarú lekerekítéseket és egyéb, a számítást érdemben nem befolyásoló, de a megfelelő minőségű végeelemes felbontás (háló) generálását megnehezítő részeket a geometria kialakításakor elhagytuk.



4. ábra. A modellezett geometria

A cserélhető bontófog oldható módon történő rögzítésének vizsgálata a következő érintkezési felületek megadása mellett történt: A 3. ábrán látható bontófog szárának felső lapja, valamint a késtartó ehhez illeszkedő belső oldala 3 százalékos dőléssel bír, ezáltal a fog szára a jövesztés közben a belsőleg kúpos kialakítású tokban megszorul, a fogfej pedig a tövében kialakított vállon fekszik fel. Így érintkezési felületeknek írtuk elő a késtartótok belső oldalait és a fogszár megfelelő lapjait, valamint a fogfej vállát és ennek a tokkal érintkező részét. Ez az oldható kapcsolat egy, a szár végén lévő kis átmérőjű átmenő furatba helyezett csap által biztosí-

tott. A modellezés során ettől is eltekintünk, mivel ez nem befolyásolja érdemben a vizsgált fogban kialakuló feszültségi állapotot.

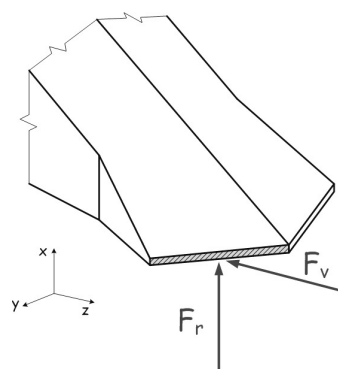
5.2. Végeselemes felbontás kérdései

A kitűzött feladat mechanikai modellezésekor a vágóél lemezdarabját és a hozzá hegesztéssel csatlakozó késtartót együttesen tekintjük az egyik testnek, míg a bontófogat külön vesszük egy második testnek. Ezeket a térbeli, kontinuumnak tekintett testeket külön-külön térbeli 10 csomópontú, izoparametrikus tetraéder alakú végeselemekre bontjuk fel. Az irodalomban [3] elterjedt különböző elemfajták közül ezzel az elemtípussal tetszőleges alakú térbeli tartományok hatékony módon válnak nagy pontossággal leírhatóvá. Egy elem tíz csomópontja közül négy az elem sarokpontját, a fennmaradó hat csomópont pedig az oldalak felezőpontját határozza meg. Így lehetőség van görbült oldalak íves elemekkel való leírására is. A csomópontok három-három elmozdulás koordinátájának segítségével tetszőleges belső pont alakváltozási és feszültségi állapota válik kifejezhetővé. A testek felbontása a 6. ábrán látható, ahol a tetraéder elemeket az ábra csak felületeikkel szemlélteti.

5.3. Peremfeltételek kitűzése

A vonatkozó mechanikai modell megfelelő megtámasztását az első testen végezzük el, mégpedig a modellezett merítékrész kivágása során keletkezett felületek megfogásával. Megjegyezzük, hogy ezáltal biztosított modellünk merevtestszerű mozgásainak lekötése. A cserélhető bontófog, azaz a másik test külön megtámasztásáról így már értelemszerűen nem kell gondoskodni, mivel ez a már a korábban megjelölt felületek által kijelölt ún. kontaktpárok segítségével lesz biztosított. Az felosztott (behálózott) két test közötti érintkezés leírását tehát egy ún. kontakt feladat kitűzésével oldottuk meg.

A jövesztés során a bontófogakon fellépő erőhatásokból származó terhelést, az egyszerűség kedvéért a bontófogfej megfelelő felületén megoszló terhelésként, azaz külső terhelésként működtetjük. A korábbi mérési eredményekből (az ún. kismintán végzett korábbi lignit-forgácsolási kísérletekből) az állapítható meg, hogy forgácsolás közben a közepesen kopott bontófogat terhelő erőhatás eredője két, körülbelül azonos nagyságú komponensből az ún. F_v vágóerőből és az F_r rányomó erőből áll össze. Ezek számszerű értékei számítás útján a merítéklétrás kotrógép teljesítmény adataiból adódnak és a fogfej 5. ábrán sraffozással megjelölt részén előírva modellezik a terhelést.



5. ábra. Bontófog terhelése

A vizsgált geometrián a terhelések hatására bekövetkező deformáció, a kezdeti és a kialakuló új alak közötti eltérés várható mértéke a meríték méreteihez képest kicsiny, ezért kis elmozdulások és kis alakváltozások elméletét vettük alapul. E felvetés alapján a vonatkozó peremfeltételeket, azaz a terheléseket, a megtámasztásokat és az anyagot leíró jellemzőket a terhelés előtti geometriához kötöttük. A modellt alkotó testek anyagát homogénnek és izotropnak tekintettük. Így mindkét általunk rugalmasnak tekintett test anyagát az $E = 26.8$ MPa értékű rugalmassági modulus és a $\nu = 0.29$ Poisson-tényező írja le.

5.4. Végeselemes megoldásról

Általánosságban elmondható, hogy energetikai megfontolásból származtathatóvá válik a végeselemes modellezésben felvett összes ismeretlen csomóponti paraméter. A lineárisan rugalmas szerkezet statikus terhelése mellett a vizsgált szerkezet egyensúlyát kifejező lineáris egyenletrendszer nagyméretű lesz és itt az elmozdulás koordináták kiszámítására szolgál. A kitűzött kontaktfeladat megoldása során az érintkező felületekre eső elemcsomópontok a kialakuló új egyensúlyi állapotnak megfelelő deformált alak keresése közben közeledhetnek, vagy távolodhatnak a másik test érintkezésre kijelölt felületétől és fordítva. Az érintkezési feladat megoldása így az egyik test érintkező felületén lévő csomópontnak a másik test felületétől vett távolságára felírt feltételei egyenletek vizsgálatán alapul, mivel egyik érintkező test csomópontja sem léphet át a másik test felületének a határán és fordítva. Ilyenkor iterációs lépések sorozata biztosítja azt, hogy a feladat eredményének hibája adott hibahatár alá kerüljön, azaz a megoldás konvergáljon. A megfelelően pontos megoldás elérése után az adódó csomóponti paraméterekből kiindulva bármely tetszőleges elem szilárdságtani állapota meghatározható, azaz tetszőleges térbeli pontban megkapjuk az elmozdulási, alakváltozási és feszültségi állapotot leíró jellemzőket. A terhelések hatására kialakult állapot minősítésére az egyenértékű, más néven redukált feszültség értéke szolgál, mely egyesíti a különböző irányú normál, illetve nyíró feszültségek hatásait a veszélyesség szempontjából vele egyenértékű σ_{red} húzó-

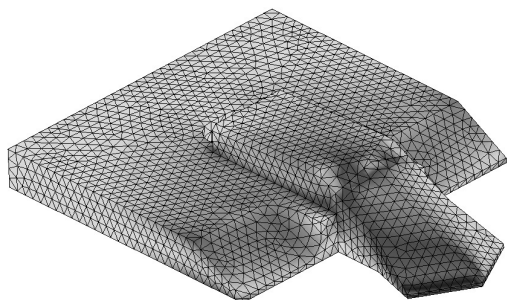
feszültségben. Ennek értéke Von Mises elmélete alapján az alábbi összefüggésből számítható ki:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]} \quad (1)$$

ahol σ_1 , σ_2 és σ_3 az adott pontban értelmezhető főfeszültségek.

5.5. Számítási eredmények kiértékelése

Az előzőek alapján felállított mechanikai modellen végzett végeselemes számításokból nyert redukált feszültségeloszlást jeleníti meg az alábbi ábra. A 6. ábrán lévő szürke folthatás sötétedése jelöli az egyre nagyobb értékű feszültségeket.



6. ábra. A redukált feszültségek eloszlása

Ez alapján megállapítható, hogy a redukált feszültségértékek a fogfej legelején lévő lapon (élen) 1000 MPa körüli maximummal torlódnak, majd gyorsan leesnek közvetlenül a fog elején 600 MPa alá. A vágóélen ébredő feszültségek pedig ezeknél kisebb nagyságúak és nagyon gyorsan leépülnek. Így az várható, hogy a bontófog művelésbe kerülő része, azaz a terhelést felvevő él megy először tönkre. A bontófogat extrém esetben a modelleznél nagyobb terhelés is érheti jövesztés közben. Előreláthatólag ennek nagyobb részét az előzőek alapján a bontófog feje viseli el és ez is deformálódik a legnagyobb mértékben. Összességében elmondható, hogy a gép folyamatos üzemének fenntartásában a bontófog fejének esetleges letörése kedvezőbb, mintha az egész meríték tönkremenne. Számításainkból azt is kitűnik, hogy a késtartó felhegesztési helyein keletkező feszültségek a maximális feszültség értékénél jóval kisebb értéket mutatnak. Ez a fog vállánál jelentkező kontaktfeszültségre is igaz. Mindezek alapján a fogfejben jelentkező nagy igénybevétel elviselésére a cserélhető bontófog anyagának nagy szilárdságú kovácsolható acélanyagot javasolunk, míg a meríték többi alkatrészének legyártására kisebb szilárdságú anyagból is történhet.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A javasolt cserélhető bontófog alkalmazásának több, számításokkal is alátámasztott előnye mutatkozik. Többek közt az, hogy a jövesztés során az új bontófogak forgácsolási teljesítménye megnő, továbbá túlterhelés esetén várhatóan a bontófogak feje törik le megvédve ezzel a merítéket. Megállapítható, hogy a fogak késtartókban történő oldható rögzítése közel olyan jó szilárdságtani szempontból, mint az eredeti merítéken lévő felhegesztett megoldás. További előny az, hogy a bontófog cseréje is egyszerű, mivel a késtartó mögötti lemezben kialakított hézag biztosítja az elhasználódott fog kiütésének és az új behelyezésének egyszerű lehetőségét.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként - az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében - az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOM

- [1] Ladányi G., Sümegi I., Virág Z.: Meríték- és bontófogfejlesztések első fázisának eredményei a Mátrai Erőmű ZRt. bányáiban üzemelő merítékležtrás kotróknál, 43. Bányagépzeti és Bányavillamosági Konferencia kiadványa, 135-148. o., 2010.
- [2] Virág Z., Ladányi G., Sümegi I.: Laboratóriumi közetforgácsolási vizsgálatok bükkábrányi és visontai bányauzemből származó lignit mintákon, XIII. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia, 146-149. o., ISSN 1842-9440, 2011.
- [3] Bathe, K. J.: Finite Element Procedures, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1996.