

RÉSELŐ ADAPTER REZGÉSTANI VIZSGÁLATA KÖZETVÁGÁS SORÁN

VIBRATION ANALYSIS OF A DIMENSIONAL ROCK SAWING MACHINE DURING CUTTING PROCESS

*Dr. Virág Zoltán *, Dr. Szirbik Sándor ***

ABSTRACT: This paper deals with a dimensional rock sawing machine to optimize the production of small-volume dimension stone products in limestone. After cutting around the block stone, the rock material can be moved with the help of the machine. The finite element (FE) analysis of the adapter with simplified geometry treated as a solid model is to investigate the natural frequencies of the adapter to identify any potentially dangerous frequencies. In this study, the eigenvalue extraction used to calculate the natural frequencies is based on the Lanczos iteration methods. The natural frequencies of the concept design, estimated by FE-modal analysis, provide an opportunity to give sufficient stability against the low frequencies associated with the normal operating speed of the cutting at the final version.

1. BEVEZETÉS

A mészkő egy évezredek óta népszerű építőanyag, amely nagy mennyiségben áll rendelkezésre és a bányászata a kor technikai színvonalán hatékonyan megoldható volt. Napjainkban a többnyire már műemléki védelem alatt álló, csak az eredeti építőanyaggal felújítható építményekhez szükséges mészkőtömbök iránt ismét növekszik a kereslet. Az alacsony termelési arány és a magas termelési költség miatt a kapcsolódó technológiák fejlesztésével megoldást kell találni a gazdaságos bányászati módszerekre. A növekvő költségek és a technológiai fejlődés arra készteti a kötermékeket előállító cégeket, hogy új munkamódszereket és gépeket fejlesszenek ki, amelyek lehetővé teszik a nagyobb vágási sebességet és az alacsonyabb előállítási költségeket. A kisméretű kötermékek bányászati termelésének optimalizálása egyben a termelő- és szállítóeszközök használatának újragondolását is jelenti. Míg egyes tanulmányok hatékonyságelemzést végeztek, és a tömbkőjövesztés során a vágógépek blokkgyártási és forgácsolási teljesítményét vizsgálták [1, 2], más tanulmányok a kitermelt alapanyag minőségének javításával, a forgácsolási technológiák fejlesztésével foglalkoznak.

A kőzetben kimunkáláskor kiváltott rezgések és az ezekből is adódó feszültségek a méretezett kötőbölk kitermelésekor többek közt a kiválasztott láncfűrészfogazatnak is függvényei. A láncfűrészgépek forgácsolóerejének monitorozásával a vágóláncban lévő fogak dőlésszögének, elrendezési sorrendjének hatását is vizsgálták [3]. A piacon lévő gyártók általában az adott kőzettípus-hoz fejlesztett vágóláncot kínálnak, amelyben egy specifikus vágófogelrendezés és sorrend figyelhető meg. Numerikus szimulációs lehetőségek is rendelkezésre állnak a forgácsolószerszám és a kőzet közötti kölcsönhatás, kőzettörés és a töredezettség dinamikájának elemzésére végelemes módszerrel [4]. A vágóláncok vágósebessége is fontos paraméter, amely laboratóriumi vizsgálatok eredményeként vizsgálható egy speciális láncfűrész-szerszámtartóval és vágószerszámmal az adott kőzeten végzett kísérlettel. A beépített láncfűrészgépek teljesítménynövelésének érdekében az eredeti szerszámfűzés megváltoztatásának hatását kismélységű vágásra kísérleti úton is vizsgálják a vágási sebesség megválasztás és a szerszámkopás csökkenés tekintetében [5].

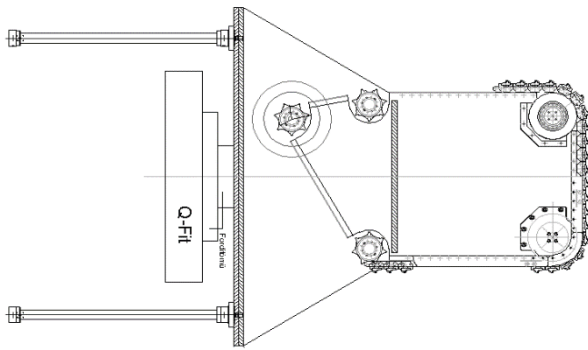
Bányászatban használt gépeknél, így a részelő adapternél is a messzire kinyúló gémek okozta szerkezeti változások rezgéstani vizsgálatát is célszerű elvégezni, mert ott a rezonanciajelenségek fokozottan jelentkezhetnek. Az idézett tanulmányok alapján megfontolások tehetők az adott típusú mészkőtömb kőzetreselésre használt láncfűrész láncának kiválasztására. Adott vágólánccal szerelt adapter tervezése során már koncepcionális modellalkotás fázisában a rezonanciajelenségek elkerülésére való törekvés az érdeklődésünk tárgyát képezi, amelyhez az adapter főbb méreteit alapul vevő koncepcionális 3D-s geometrián végzett végelemes szimulációk kiértékelése a lánc gyári adatait felhasználva történik. A dolgozat keretein belül a forgácsolást végző vágólánccal adapterszerkezetre ható rezgésektől az adapter sajátrezgéseihez elhangolásához szükséges numerikus modellezés bemutatására kerül sor több lehetséges használati helyzetbe állított koncepcionális adapterszerkezetet előzetes vizsgálata által.

**egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,*

***egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar.*

2. RÉSELŐ ADAPTER KONCEPCIÓ REZGÉSTANI MODELLEZÉSÉNEK KÉRDÉSEI

Tömbkö kitermeléskor alkalmazott vágóláncok ismétlődő, különböző kialakítású vágófogakból összeállított, láncszakaszokból készülnek. A réselő adapter vágóasztalán körbefutó, vezető sínbe helyezett vágólánc ismétlődő szakaszai a közetvágás során a vágóerő nagyságában is mérhető, ismétlődő változásokat okoznak, amelyek így erőgerjesztést jelentenek a szerkezeten. A vágóasztal szélén körbefutó vágóláncelhelyezés az 1. ábrán látható. Rezgéstani vizsgálatok célja, hogy az adapterszerkezet sajátfrekvenciáinak meghatározásával a vágólánc működéséből adódó gerjesztési frekvenciákkal történő egybeesés szerkezetet kedvezőtlenül érintő következményeit megelőzzük.



1. ábra. A réselő adapter sematikus ábrája.

Az adapter (1. ábra) több, működés közbeni állapotát is modellezve az adapter lánctartó asztal terheletlen, illetve rajta lévő közetből származó terhelési eseteit is vizsgáltuk. A réselő adapter 1 m³ térfogatú mészkőtömbökre méretezett, amelyek sűrűsége 2000 és 2500 kg/m³ közé tehető. Az adapter lánctartó asztalának közetbe történő behatolása során a támasztóerőrendszer a munkafolyamat során természetesen átrendeződik és így a rezgések is megváltoznak. Rezgéstani szempontból legveszélyesebb helyzet a közetvágás kezdete, amikor is a lánc által kimunkált horonyba az előtolható lánctartó asztal még egyáltalán nincs bent csak a vágólánc vágóélei vannak munkában, csupán a közet felszínét forgácsolva, ezért ezt az állapotot kell a szimulációk során kitüntetett módon kezelni.

Vágás során előírt különböző láncsebességek ismerete esetén a fellépő gerjesztési frekvenciák egyszerű becslésével, majd azok szerkezet sajátfrekvenciáival történő összevetésével tehetők megállapítások a rezonanciakatasztrófák elkerülésének érdekében. Az adapterszerkezetre

felszerelt vágólánc az említett technológiai okokból több különböző lánclemből ismétlődő sorrendben van szerelve. Az alkalmazásra kerülő réselőlánc kiválasztása az elérhető, gyártók által forgalmazott alternatívák közül a

$$P = \frac{l_{cutting}}{l_{pitch}} A_{chip} F_{cutting} v_{chain} \quad (1)$$

képlet alapján meghatározott teljesítményszámításon alapul, ahol v_{chain} láncsebességet, A_{chip} a forgácsfelületet, $F_{cutting}$ a vágóerőt, $l_{cutting}$ a vágási hosszt és l_{pitch} pedig az ismétlődő láncelrendezés hosszát jelöli. A további számításokban az így kiválasztott, kereskedelmi forgalomban kapható lánc gyártója által megadott üzemi paramétertartományokon belüli értékeket kell alapul venni.

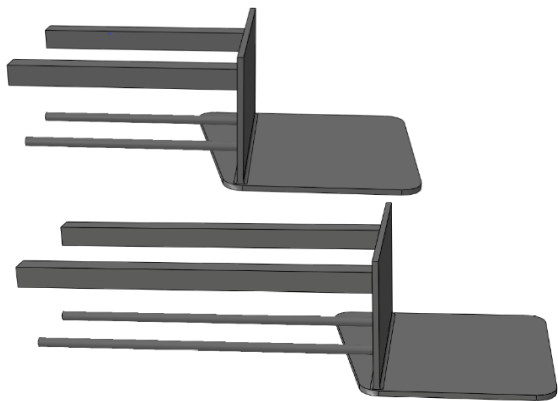
A tervezés kezdeti fázisában, az első közelítésben a láncszakasz ismétlődést kihasználó, az ismétlődő láncelrendezés l_{pitch} hosszából és az alkalmazott v_{chain} vágási sebességből származó

$$f_{me} = \frac{v_{chain}}{l_{pitch}} \quad (2)$$

fő gerjesztési frekvencia meghatározás alkalmazható a modal analízis során meghatározott sajátfrekvenciák kiértékelésére. A kiválasztott vágólánc gyártója által megengedett $v_{chain} = 0,4; 0,9; 1,2$ és $2,1$ m/s vágási sebességektől függően a 2. képlet alapján kiszámított, vágás közben fellépő gerjesztési frekvenciák így 4 és 21 Hz közé adódnak. Ez ad támpontot arra, hogy az adapter megfelelő szerkezeti kialakításával már az előtervezési fázisban lehetőség legyen a rezonanciajelenségek megelőzésére, azaz lehetőség van az adapter vágóasztalán kivágásokkal, ha szükséges csökkenteni az össztömeget, vagy szerkezeti merevítéseket eszközölni, azaz a 2. ábrán látható felső gémet merevítve, ezáltal elhangolva ezt a rezgésre képes rendszert. A szerkezet modal analízisét végelelemes számításokkal célszerű elvégezni [6,7].

A közettömb réselése az üzemi gyakorlatban általában akkor kezdődik, amikor a kitolható adapter még teljesen be van húzva, azaz a munkahengerek lökethossza zérus. A gémek behúzott adapter esetén 1310 mm-es hosszára vonatkozó eredmények a relevánsak, mivel a teljesen kitolt adapterrel várhatóan már nem végeznek közetvágást, de a teljesség végett ezt az esetet is vizsgáltuk, mégpedig a 2110 mm-es hosszra vonatkoztatva. A 2. ábrán látható geometriai modellekben a felső két gémet négyszögkeresztmetszetű zárt-szelvényű, míg az alsó két darab munkahengert körkeresztmetszetű rudakkal modellezve vettük figyelembe. A szabad rúdvégek véglapjain teljes

megfogással biztosítjuk a megfelelő megtámasztást, modellezve azt, hogy az adaptert tartó szállítójármű megfelelően rögzítve biztosítja, hogy a vágólánc vágóélei előtolás során munkába álljanak a mésző felszínét forgácsolva. Az adaptertervezés során felállított, koncepcionális modellen végzet rezonanciavizsgálatok eredményei felhasználhatók a prototípus terveinek elkészítése során.



2. ábra. A réselő adapter koncepcionális modelljének 3D-s geometriája kitolt és behúzott gémek mellett.

A forgácsolóerők adapterszerkezetre gyakorolt hatását, azaz a feszültségi és alakváltozási állapotokat is szükséges vizsgálni [8], ahol a munkahengerek löketirányára merőlegesen ható elmozdulások nem megengedhetők, azaz a gémeknek megfelelő merevséget kell biztosítaniuk a közvetvágás során.

3. ADAPTERSZERKEZET MODAL ANALÍZISÉNEK KÉRDÉSEI

A numerikus mechanika végeelem-módszere a háromdimenziós szerkezetek méret pontos geometriai modelljének egyszerű geometriájú, elegendő számú, kicsiny elemre történő felbontásán alapul. A gyakorlatban jól használható végeelemes elemcsaládok a mechanikai mezőket jól közelítő interpolációkkal bíró elemeket tartalmaznak. A szerkezet modelljében az egyes végeelemek a valóságos kapcsolódásoknak megfelelően illeszkednek egymáshoz az elemek határain kijelölt csomópontokban tett, illetve az illeszkedő csomópontok elmozdulásaiban történő előírások által. A végeelemes megoldások az elméleti háttérrel tekintve jól kidolgozott és gyakorlati problémák megoldásában [6,7] is jól használható, megbízható eszközök.

Az adapter koncepcionális modelljének háromdimenziós végeelemes felosztására egy

bevett, hagyományos elemcsaládot, a 4 csomópontú, C3D4 jelű tetraéder elemet választva a már megfelelő pontosságot biztosító 20 mm átlagos elemméretet alkalmaztunk [6]. A végeelemes modellhez rendelt lineáris anyagmodellben leírt acélanyagot az $E = 2,1 \times 10^5$ MPa Young-modulus, $\nu = 0,3$ Poisson-szám és $\rho = 7,85 \times 10^{-9}$ t/mm³ a sűrűség nagyság jellemzi.

A modal analízis során sajátfrekvenciák és vonatkozó rezgések képek kerülnek meghatározásra. A sajátértékfeladatok megoldása a numerikusan pontosabban elvégezhető és általában hatékonyabb Láncczos-módszer kiválasztása mellett szoftveresen [6] történt, ahol a megoldás részeként a sajátrezgések képek megjelenítésére is lehetőség van. Az 1. táblázat foglalja össze az első 6 darab sajátfrekvenciát

Az adapterasztal felületén megjelenő megoszoló terhelés mellett, azaz felterhelt esetekben is elvégezhetők a frekvenciaszámítások, amelyek egymást követő két lépésben történnek meg. Első lépésben kerül sor az alkalmazott terheléssel a rugalmas alakváltozást szenvedő szerkezet deformált alakjának meghatározására. Ezt a lépést a geometriai nemlinearitás beállítása mellett kell megtenni, mert így az Abaqus [6] a terhelt alak kiszámítása után áttudja a deformált alakot adni a következő lépésben végzett lineáris perturbációnak, azaz az első lépésnek alárendelt második lépésben kerül sor a terhelt alak geometriáján a sajátfrekvenciák kinyerésére. A dinamikai és rezgéstani és a nemlineáris beállítást használó feladatokban a lineáris approximációt alkalmazó végeelemek használata mindig célravezetőbb [7]. A meghatározott és növekvő sorrendbe állított első néhány domináns sajátfrekvenciához tartozó rezgések csak ezután kerül meghatározásra, mert bizonyítható módon a sajátfrekvenciák mindig pontosabban számíthatók, mint a rezgések és így a frekvenciákból számított sajátrezgések képek lesznek pontosabbak. A megoldások a geometriától és az anyagminőségtől függenek, melyeket az alkalmazott alátámasztás döntően befolyásol. A rezgések képek felhasználhatók később a gerjesztett szerkezet viselkedésének modellezésére.

4. NUMERIKUS EREDMÉNYEK

A szerkezet előbbieken alapján felépített két végeelemes modelljével, benne lineáris végeelemekkel és az egyszerűség végett csillapításmentes esettel nyert, növekvő sorrendbe állított sajátfrekvenciáit az 1. táblázat foglalja össze így megállapítható, hogy a vizsgált esetekben a gémhossz változása áthangolja a szerkezetet, és nagymértékben módosítja a frekvenciaértékeket. A rezgéstani mo-

dellen végzett számításokból természetesen további sajátfrekvenciák is kinyerhetők, de az első néhány sajátrezgés dominál és azok már a becsült fő gerjesztési frekvencia felett vannak. E sajátfrekvenciákhoz tartozó sajátrezgések pedig a végeselemes analízis eredményei között megtalálhatók. A prototípus tervezésekor figyelembe kell venni azt, hogy a 2. képlettel számolt gerjesztési frekvencia az 1. sajátfrekvencia közelébe kerülhet, így a konstrukción a gének keresztartóval történő összekötésével kell biztosítani a szerkezet merevítését, azaz elhangolását.

1. táblázat. A sajátfrekvenciák értékei [Hz] a behúzott (1310 mm) és kitolt (2110 mm) gémhossz esetében.

Modus sorszáma	Gémhossz [mm]	
	1310	2110
1.	20,298	11,644
2.	21,886	12,792
3.	36,663	26,161
4.	42,677	31,149
5.	71,269	59,254
6.	94,831	69,386

Ennek sikeres végrehajtását a prototípus pontos 3D-s geometriai modelljén végzett az erőgerjesztést vizsgáló rezgéstani szimulációkkal lehet megerősíteni. A 2. táblázat arra az esetre mutat be sajátfrekvencia adatokat, amikor a vágóasztal a forgácsolás kezdetén nem üres, hanem például kötőmelék került rá.

2. táblázat. A sajátfrekvenciák értékei [Hz] a behúzott (1310 mm) és kitolt (2110 mm) gémhossz mellett asztalon lévő 1 t terhelés mellett.

Modus sorszáma	Gémhossz [mm]	
	1310	2110
1.	20,285	11,632
2.	21,885	12,790
3.	36,656	26,177
4.	42,689	31,138
5.	71,258	59,172
6.	94,859	69,073

A terhelt állapot miatt két lépésben elvégzett számítások rámutatnak, hogy az adapter alkalmazott geometriai méretei mellett a vágóasztalra kerülő 10^4 N eredő terhelés csak minimálisan változtatja meg a sajátfrekvenciákat.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A bányagépek fejlesztése korszerű szimulációs eszközök segítségével sokkal komplexebb probléma felvetéseket és vizsgálatokat tesz lehetővé. Az adapterfejlesztés során ezt kihasználva már az

előzetes modellen modal analízist végeztünk el a későbbi rezonanciajelenségek elkerülése érdekében. Ennek eredményeit felhasználva a végső tervekben különböző merevítésekre és tömeg csökkentésekre lehet javaslatot tenni. Az in-situ mérések során ezek az eredmények már igazolhatók, és ez által csökkenhet a szerkezeti módosítások száma a próbaüzem során. A köztréselés során a forgácsolás kezdete érdekes rezgéstani szempontból, mert akkor még nincs meg a kialakult rés, amely vezeti a láncot és merevíti a rendszert. Megvizsgáltuk azt az esetet is, ha a vágási folyamat kezdetén a vágóasztalra kötőmelék kerül és úgy találtuk ennek hatása nem számottevő. A beüzemelés során mérési eredményeket felhasználva a réselés munkafolyamata finomhangolható.

6. IRODALOM

- [1] Sariisik, A., Sariisik, G.: *Efficiency analysis of armed-chained cutting machines in block production in travertine quarries*. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 110 (8), pp. 473–480. 2010.
- [2] Sariisik, A., Sariisik, G.: *Investigation of the cutting performance of the natural stone block production in quarries with armed-chain cutting machine*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 227 (6), pp. 1291–1301. 2013.
- [3] Romoli, L.: *Cutting force monitoring of chain saw machines at the variation of the rake angle*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 101, pp. 33–40. 2018.
- [4] Korman, T., Kujundžić, T., Kuhinek D.: *Simulation of the chain saw cutting process with a linear cutting machine*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 78, pp. 283–289. 2015.
- [5] Hekimoglu, O. Z.: *Studies on increasing the performance of chain saw machines for mechanical excavation of marbles and natural stones*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 72, pp. 230–241. 2014.
- [6] Abaqus 6.13 online documentation, Dassault Systems, 2015.
- [7] Bathe, K. J.: *Finite Element Procedures*, Prentice-Hall Inc.: Englewood Cliffs, NJ, USA, 1996.
- [8] Virág, Z., Szirbik, S.: *Design and Mechanical Behavior of a Custom Adapter for Dimensional Stone Mining*. Machines. 10(8), 683, 11 p. 2022.