

*Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 23-26 May 2000, Zonguldak-Kdz. Ereğli, Türkiye
Processing of the 12th Turkish Coal Congress, 23-26 May 2000, Zonguldak-Kdz. Ereğli, Türkiye*

MEKANİK KAZI MAKİNELERİNİN TİTREŞİM ANALİZİNDE KESKİ KUVVETLERİNİN ANALİTİK YÖNTEMLE HESAPLANMASI

AN ANALYTICAL METHOD FOR CALCULATING PICK FORCES FOR VIBRATION ANALYSIS OF ROADHEADERS AND DRUM SHEARERS

Mustafa AYHAN, Dicle Üniversitesi Muh. Mim. Fak., Diyarbakır
Osman Zeki HEKİMOĞLU, Hacettepe Üniversitesi Maden Bölümü, Ankara

ÖZET

Kayaç ve kömür kazı makinelerinin bilgisayarla yapılan titreşim analizinde keski kuvvetlerinin hesaplanma işlemi çok önem taşımaktadır. Anılan keski kuvvetleri genel olarak bilgisayar tarafından çizilen bir kesme diyagramı üzerinden elde edilen keski kesme alanlarından hesaplanmaktadır. Ancak bu kesme alanlarının çizim yerine doğrudan kolay analitik yöntemle hesaplanmaları daha uygun olacaktır. Bu bildiride özellikle galeri açma makineleri ve tamburlu kesiciler için geliştirilen bir analitik yöntem sunulmaktadır. Uygulamada var olan çapraz tip kesici kafa üzerinde araştırmalar yapılmış ve analitik yöntemin, bilgisayarla yapılan çizim yöntemi ile yaklaşık aynı sonuçları verdiği ortaya konulmuştur.

ABSTRACT

Pick force calculation is of prime importance for computer assesment of cutting vibration for mechanically rock and coal excavating machines. The tool forces are, in general, calculated through cross-sectional areas swept by picks, obtained from computer-generated breakout pattern. Calculation of these cross-sectional areas by an analytical method will however be rather convenient as it is very simple and easy. Described in this paper is such an analytical method employed for pick force calculation particularly for roadheaders and drum shearers. The method which was studied on a commercially available transverse-type cutting head, was found to yield nearly the same results as those of breakout pattern.

1. GİRİŞ

Tamburlu kesici ve galeri açma makineleri gibi kömür ve kayaç kazısında kullanılan makinelerin kesme performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri titreşimdir. Bu makinelerde, kazı sırasında kesici uçlara etkiyen kuvvetlere bağlı olarak sürekli bir kazı titreşimi söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla kesici uçlara etkiyen kuvvetlerin değişim miktarı kesme titreşimlerinin etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle anılan kazı makinelerinin titreşim analizinde keskilere etkiyen kuvvetlerinin hesaplanması gereği bulunmaktadır.

Kazı makinelerinin kesme verimlerinin tahmini için günümüzde kullanılan bilgisayar programlarında, kesici kafa üzerindeki herhangi bir keskiye etkiyen kesme kuvvetleri genelde kesme diyagramından elde edilen keski kesme alanı ile hesaplanmaktadır. Kömür kesiminde keskilere üzerinde oluşan ortalama kesme kuvvetlerinin keskinin kaya içerisinde süpürdüğü kesit alanı ile orantılı olduğu ortaya konulmuştur (Evans ve Pomeroy, 1973). Laboratuvarında kaya blokları üzerinde yapılan kesme deneylerinde, keski üzerinde oluşan ortalama ve en yüksek kesme ve normal kuvvetler ile keskinin süpürdüğü alan arasında doğrusal bir ilişki olduğu ifade edilmiştir (Hurt vd., 1988; Hekimoğlu, 1984). Genel olarak keskiye etkiyen ortalama kesme kuvveti (F_n) ve normal kuvvet (F_c) ile kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve tork aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır (Hurt vd., 1988)

$$F_c = (2,4 + 0,0064) A \cdot \sin\theta \quad [1]$$

$$F_n = 1,5 F_c \quad [2]$$

$$T = \sum F_c \cdot r \quad [3]$$

$$R_H = \sum F_c \cdot \cos\theta + \sum F_n \cdot \sin\theta \cdot \cos\phi \quad [4]$$

$$R_V = \sum F_c \cdot \sin\theta + \sum F_n \cdot \cos\theta \cdot \cos\phi \quad [5]$$

$$R_A = \sum F_n \cdot \sin\phi \quad [6]$$

Burada; A : Keskinin süpürmekle sorumlu olduğu kaya alanı
 θ : Keskinin kesme sektörü içerisindeki açılal konumu
 R_H : Yatay reaksiyon kuvveti R_V : Dikey reaksiyon kuvveti
 R_A : Eksenel reaksiyon kuvveti T : Tork
 ϕ : Keskinin eğim açısı r : Keskinin kesme yarıçapıdır.

Görüldüğü gibi keski kuvvetlerinin hesaplanması için keskilere süpürdüğü kesme alanlarının bilinmesi yeterli olmaktadır. Bu nedenle bu bildiri konu itibarıyla keski kuvvetlerinden çok kesme alanlarını kapsamaktadır. Kesme diyagramı yardımıyla keskilere kesme alanlarının hesaplanması, keskilere konumlarının belirlenmesi açısından yararlıdır ancak buda bazı karmaşık ek işlemleri gerektirmektedir. Bu nedenle her bir keski tarafından kesilen alanın doğrudan analitik yolla hesaplanması daha pratik ve kolay bir yöntem olarak düşünülebilmektedir. Tambur tipli kollu kazı makinelerinde kesici tambur üzerindeki spiral keskilere kesme alanlarının analitik olarak hesaplanması kolay olurken, eğimli keskilere kesme alanlarının hesaplanması ise daha karmaşık ve zor olmaktadır. Örneğin tamburlu kesicilerin spiral keskilere kestığı alan her bir kesme hattında bulunan keski sayısı, ilerleme hızı ve aynı spiral üzerindeki komşu keskilere arası mesafeye bağlı olarak basitçe hesaplanabilirken, galeri açma makinelerinin kesici kafalarının üzerine yerleştirilen keskilere eğim (tilt) açıları analitik

yolla kesme alanlarının hesaplanmasını daha karmaşık hale getirmektedir. Benzer zorluk tamburlu kesicilerin arın kesikleri için de söz konusudur.

Bu bildiri de, keski kuvvetlerinin analitik yöntemle hesaplanması için geliştirilen yöntem sunulmaktadır. Uygulamada kullanılan çapraz tipli bir kesici kafa üzerinde keskinin süpürdüğü alan her iki yöneme göre hesaplanarak birbirleriyle karşılaştırılmış ve ilgili bağıntılar verilmiştir.

2. TİTREŞİM ANALİZİNDE KESKİ KUVVETLERİNİN HESAPLANMASI

Bir kesici kafa veya tambur üzerinde bulunan keskinler birbirlerinden yardım alacak şekilde kesme hareketini gerçekleştirirler. Keskinlerin kesme konumu genel anlamda çizilen kesme diyagramında belirgin olarak gözlenebilmektedir. Kesme diyagramında her bir keskinin kesme sırasına bağlı olarak tüm kesici kafa ya da tambur üzerinde süpürdüğü alan belirtilmektedir. Bu alan kullanılarak deneysel çalışmalardan elde edilen ampirik bağıntılar yardımıyla buna karşı gelen keski kuvvetleri hesaplanmaktadır. Böylece kesici kafa ve tambura etkiyen tork ve reaksiyon kuvvetleri ile bunlardaki değişim yani kesme titreşiminin önceden tahmini mümkün olabilmektedir

Keski kesme alanı; keskinler arası uzaklık, keskinler arası çevresel uzaklık ve kesme hızı gibi kesici kafa tasarımı ve makine çalışma parametrelerine göre değişmektedir. Şekil 1 'de uygulamada kullanılan Eickhoff galeri açma makinesine ait çapraz tipli kesici kafanın 8 cm/dönü kesme hızındaki kesme diyagramı görülmektedir. Bu kesici kafada 72 adet keski var olup köşe kesici keskinin eğim açısı ise 65°'dir. Söz konusu kesici kafanın gömülme hareketi için 4 cm/dönü kesme hızında çizilen kesme diyagramı ise Şekil 2'de görülmektedir.

Kesici kafanın sağ ve sol yönlere yatay tarama hareketi sırasında herhangi bir keskinin süpürdüğü kesme alanı analitik olarak aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\text{Keski Kesme Alanı} = [(\text{İlerleme/dönü})/\text{Kesme hat'ındaki keski sayısı}] Y \quad [7]$$

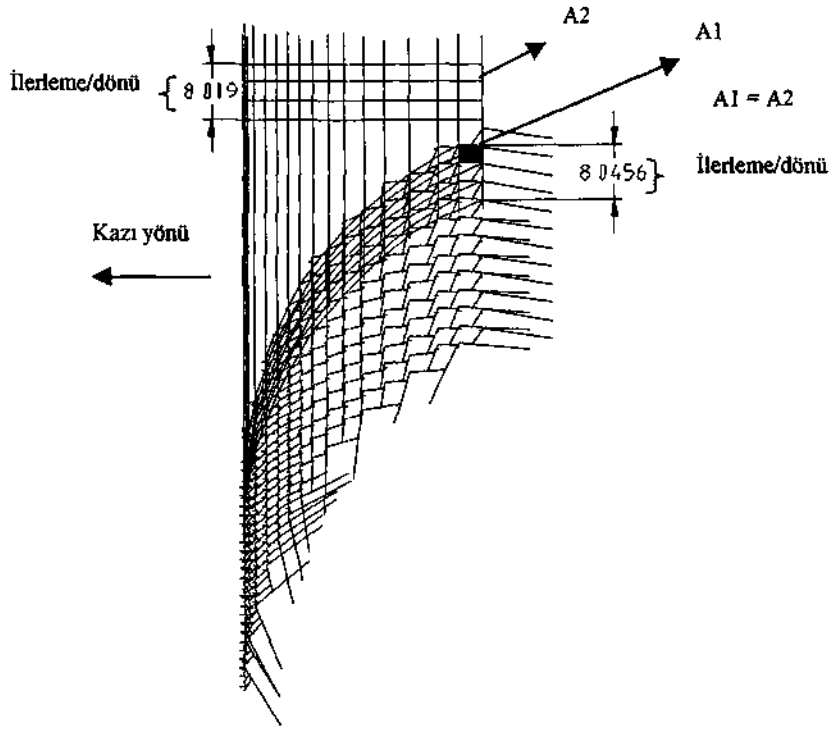
Burada; Y: Tarama hareketinde iki kesme hat'ı arasındaki mesafe (mm)

Kesici kafanın gömülme hareketi sırasında her bir keskinin kestiği alanın analitik hesaplanması da yanlara tarama hareketine benzer olmakta ve burada farklı olarak Y mesafesi yerine gömülme hareketindeki "kesme hat"ları arası mesafe (X) kullanılmaktadır. Kesici kafanın gömülme hareketi sırasında keskinlerin kesme alanları ise aşağıda verilen eşitlikle hesaplanabilmektedir.

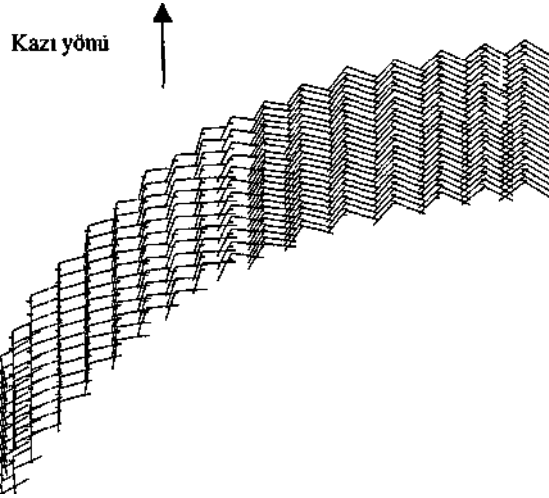
$$\text{Kesme Alanı} = [(\text{İlerleme/dönü}) / \text{Kesme hat'ındaki keski sayısı}] .X \quad [8]$$

Burada; X : Tarama hareketinde iki kesme hat'ı arasındaki mesafe (mm)

Burada göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus, kesici kafanın kesme hareketine bağlı olarak iki kesme hatı arasındaki mesafenin belirlenmiş olmasıdır. Çapraz tipli galeri açma makinesinin 8 cm/dönü kesme hızında tarama ve 4 cm/dönü



Şekil 1. Çapraz tipli kesici kafamın 8 cm/dönü kazı hızındaki kesme hareketi için çizilen kesme diyagramı



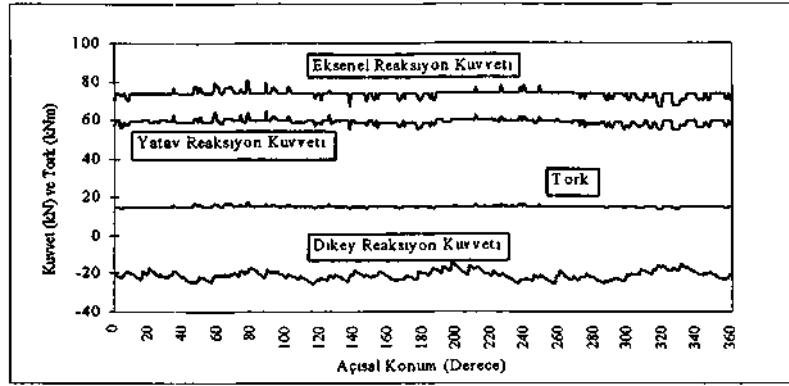
Şekil 2. Çapraz tipli kesici kafanın 4 cm/dönü kesme hızındaki arına gömülme hareketi için çizilen kesme diyagramı

Çizelge 1 Kesici kafanın 8 cm/dönü tarama ve 4 cm/dönü gömülme hareketi için kesme diyagramı ve analitik yöntemle hesaplanan keski kesme alanları (Ayhan, 1998)

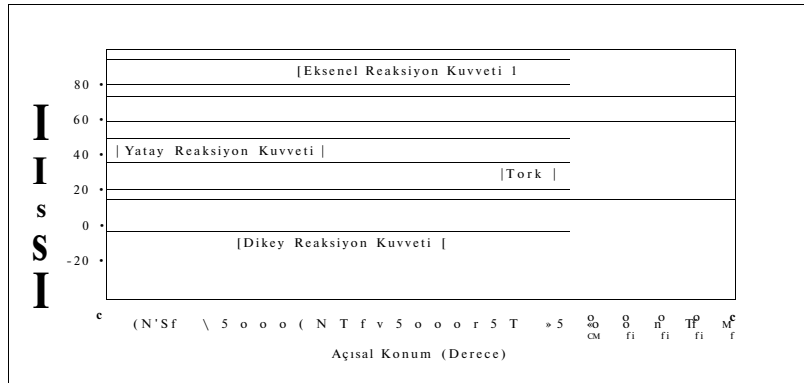
Çapraz Tipli Eickoff Galeri Açma Makinası				
Keski No:	Tarama Hareketi		Gömülme Hareketi	
	Kesme Hızı : 8 cm/dönü		Kesme Hızı. 4 cm/dönü	
	Kesme diyagramından ölçülen alan (cm ²)	Eşitlik 1'den Hesaplanan alan (cm ²)	Kesme Diyagramından ölçülen alan (cm ²)	Eşitlik 2'den Hesaplanan alan (cm ²)
1	1.8000	1.8530	3.0498	3.1330
2	9.1083	8.9060	2.4613	2.5330
3	1.1744	12400	2.8877	2.9330
4	2.1580	2.2260	2.4809	2.5330
5	0.9076	0.7600	2.5744	2.6600
6	9.7060	10.5330	3.7760	3.8600
7	0.3344	0.3460	2.7003	2.6600
8	2.0583	2.2000	2.8030	3.0000
9	7.4547	8.0000	3.8230	3.8600
10	2.0019	2.1460	3.0185	3.3300
11	5.8303	6.3200	3.9449	3.8600
12	9.0481	8.9060	1.6167	1.6000
13	1.7712	1.8530	3.0488	3 1330
14	3.7077	4.4500	3.8026	4 4000
15	1.1663	1.2400	2.8197	2 9330
16	8.2667	8.0530	3.5573	3 8600
17	2.2917	2.2260	2.3339	2 5330
18	0.7383	0.7600	2.7324	2.6600
19	8.4555	9.1200	3.6355	3.8600
20	0.3418	0.3460	2.7324	2.6600
21	2 1567	2.2000	2.7720	3.0000
22	6 5495	7.1200	3.6086	3.8600
23	2.1216	2.1460	3.1924	3.3300
24	5.7062	5.6500	3.6287	3.8600
25	18916	18530	3.2695	3.1330
26	9 0481	8 9060	2.4377	2.5330
27	1.2268	1.2400	3.0039	2.9330
28	2.2947	2.2260	2.6211	2.5330
29	0.5868	0 7600	2.7554	2.6600
30	9.9686	10.5330	3.5737	3.8600
31	0.3289	0.3460	2.7554	2.6600
32	2.1412	2 2000	2,6746	3 0000
33	7 5919	8.0000	3.7590	3.8600
34	2 0319	2.1460	3 1053	3 3300
35	6.1294	6 3200	3 9062	3 8600
36	9.0317	8.9060	1.6167	1.6000
37	1.9968	18530	3 1203	3 1330
38	3.8234	4 4500	3.9227	4.4000
39	1 1519	12400	2 8476	2 9330

Çizelge 1.'in devamı

Çapraz Tipli Eickoff Galeri Açma Makinası				
Keski No:	Tarama Hareketi		Gömülme Hareketi	
	Kesme Hızı : 8 cm/dönü		Kesme Hızı : 4 cm/dönü	
	Kesme diyagramından ölçülen alan (cm ²)	Eşitlik 1'den Hesaplanan alan (cm ²)	Kesme Diyagramından ölçülen alan (cm ²)	Eşitlik 2'den Hesaplanan alan (cm ²)
40	8.3439	8.0530	3.6024	3 8600
41	2.2094	2.2260	2.2995	2 5330
42	0.7255	0.7600	2.6682	2.6600
43	8.4914	9.1200	3.5907	3.8600
44	0.3294	0.3460	2.6682	2.6600
45	2.0473	2.2000	2.6627	3.0000
46	6.6561	7.1200	3.6771	3 8600
47	2 0202	2.1460	3 0456	3 3300
48	5.5419	5.6500	3.5624	3 8600
49	1.7608	1.8530	3.0994	3.1330
50	9.0317	8.9060	2.4568	2.5330
51	1.1792	1.2400	2.9256	2.9330
52	2.3078	2.2260	2.6153	2.5330
53	0.7407	0.7600	2.7346	2.6600
54	9.8612	10.5330	3.5559	3.8600
55	0.3365	0.3460	2.7346	2 6600
56	2.1904	2.2000	2.8082	3.0000
57	7.6679	8.0000	3.7015	3.8600
58	2.1494	2.1460	3.2610	3.3300
59	6.1122	6.3200	3.9955	3.8600
60	9.0317	8.9060	1.5697	1.6000
61	1.8838	1.8530	3.2710	3 1330
62	3.9469	4.4500	4.0508	4.4000
63	1.2273	1.2400	2 9889	2.9330
64	8.5288	8.0530	3.6971	3 8600
65	2 3352	2 2260	2 4665	2.5330
66	0.5381	0.7600	2.7951	2.6600
67	8.8281	9.1200	3.7402	3.8600
68	0.3220	0.3460	2.7951	2.6600
69	2.1917	2.2000	2.8476	3.0000
70	6.8158	7.1200	3.8406	3.8600
71	2.0398	2.1460	3.1249	3 3300
72	5.7124	5.6500	3.6143	3.8600



Şekil 3 Kesme diyagramından hesaplanan keski kesme alanlarına göre 8 cm/donu tarama hızında kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler (Ayhan, 1998)



Şekil 4 Eşitlik 8'den hesaplanan keski kesme alanlarına göre 8 cm/donu tarama hızında kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimler (Ayhan, 1998)

Çizelge 2 Tarama hareketinde 8 cm / donu kesme hızı için kesme diyagramı ve analitik yöntemle hesaplanan kesme alanlarına bağlı olarak hesaplanan reaksiyon kuvvetleri ve torkun istatistiksel sonuçları

Keski kafa	Keime sektörü (derece)	Yatay reaksiyon kuvveti (kN)			Dikey reaksiyon kuvveti (kN)			Ektend reaksiyon kuwed (KN)			Terk (kN)		
		Ortalama	Varyant	En yük	Ortalama	Varvans	En yük	Ortalama	Varyant	En yük	Ortalama	Varvans	En Yük
Çapraz tipli	Kesme diyagramı	58 7*18	2 3410	64 3162	21 1471	4 9664	-14 7835	73 3439	3 4074	80 5461	15 2162	0 1854	16 8660
Elckoff galeri açma utaklınas	Analitik yöntem (Eşitlik 1)	58 8154	2 3434	64 3463	-21 1521	4 9657	14 7903	73 3664	3 4114	80 5722	15 2197	0 1856	16 8701

kesme hızında gömülme hareketi için her bir keskinin kesme diyagramından ölçülen kesme alanı ile analitik yöntemle (Eşitlik 1 ve Eşitlik 2) hesaplanan her bir keskinin kesme alanı Çizelge 1'de verilmektedir. Çizelge 1'den kesici kafanın tarama ve gömülme hareketinde de her bir keskinin kesme diyagramından ölçülen alanlar ile eşitliklerden hesaplanan alanların birbirlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir, iki yöntemle hesaplanan kesme alanları arasındaki küçük farklılıklar, kesme diyagramından alan ölçme işleminin hassasiyetinden kaynaklanmaktadır

Söz konusu kesici kafaya 120° kesme sektöründe ve 8 cm/dönü kesme hızında tarama hareketi için kesme diyagramından ölçülen kesme alanları ve Eşitlik 1'den hesaplanan kesme alanlarından elde edilen keski kuvvetlerine göre bilgisayar ortamında titreşim nalizi uygulanmıştır. Bu iki yöntemde hesaplanan alanlara bağlı olarak kesici kafaya etkiyen reaksiyon kuvvetleri ve torktaki değişimlere karşılık gelen benzetişim verilerinin grafiksel gösterimi Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'ten de görüldüğü gibi her iki yönteme göre yapılan titreşim analizinde reaksiyon kuvvetleri ve torkun seviyeleri ve değişimleri oldukça benzerdir. Kesici kafanın bir dönüşü için grafiksel gösterimde kullanılan verilerin istatistiksel sonuçları ise Çizelge 2'de verilmektedir.

İki yöntemle hesaplanan alan değerlerinin birbirlerine çok yakın olması nedeniyle bilgisayar analizinde reaksiyon kuvvetleri ve torkun ortalama değeri ve değişimleri de birbirlerine oldukça yakın gerçekleşmiştir (Çizelge 2). Burada, kesici kafanın gömülme hareketinde her iki yöntemle hesaplanan kesme alanları tarama hareketindeki birbirine yakın olması nedeniyle gömülme hareketi için ayrıca titreşim analizi yapılmamıştır.

3. SONUÇ

Görüldüğü gibi analitik yöntemler kesme diyagramına gerek kalmadan keski kesme alanlarının hesaplanması görevini yerine getirmektedir. Analitik olarak kesme alanlarının daha pratik bir şekilde hesaplanması, bilgisayar programlarının karmaşıklığını azaltarak kullanıcıya önemli kolaylık sağlayabilir. Ancak analitik yöntemle kesme alanlarının doğru biçimde hesaplanması için incelenen kesici kafa veya tambur üzerindeki keskinin spiral düzeni şeklinde yerleşmiş olmaları gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Ayhan, M., 1988, Kesici Tamburların ve Kesici Kafaların Bilgisayar Yardımıyla Tasarımı, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 238 s.

Evans, L, ve Pomeroy C.D., 1973, The Strength, Fracture and Workability of Coal, Pergamon Press Ltd., London, 277 p.

Hekimoğlu, O.Z., 1984, Studies in the Excavation of Selected Rock Materials with Mechanical Tools, Ph.D. Thesis, The University of Newcastle Upon Tyne, 342 p.(unpublished).

Hurt, K.G., McAndrew, K.M., Morris, C.J., 1988, Boom Roadheader Cutting Vibration: Measurement and Prediction, Proceedings of Conf. Applied Rock Engineering, The University of Newcastle Upon Tyne, 89-97.