© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

EKONOMISK POTENTIAL FÖR AUTOMATISERING/ROBOTISERING AV BERGMASKINER

Bo Forsman, Tekn dr, Avd för Bergteknik,
Tekniska Högskolan i Luleå

INLEDNING

Vid Tekniska Högskolan i Luleå, Avd för Bergteknik har sedan 1970-talet bedrivits forskning rörande berglastning/transport under jord.Under 1980-talet har speciellt krafslastartekniken studerats. Förutsättningarna för kontinuerlig och automatiserad utlastning av berg med krafslastare har belysts i systemstudier (Forsman 1982 och 1985).

Föredraget ger underlag för bestämning av den ekonomiska potentialen för automatisering av en Häggloader krafslastare, fig 1. Beräkningstekniken är dock generell och kan användas för alla sorters bergmaskiner.

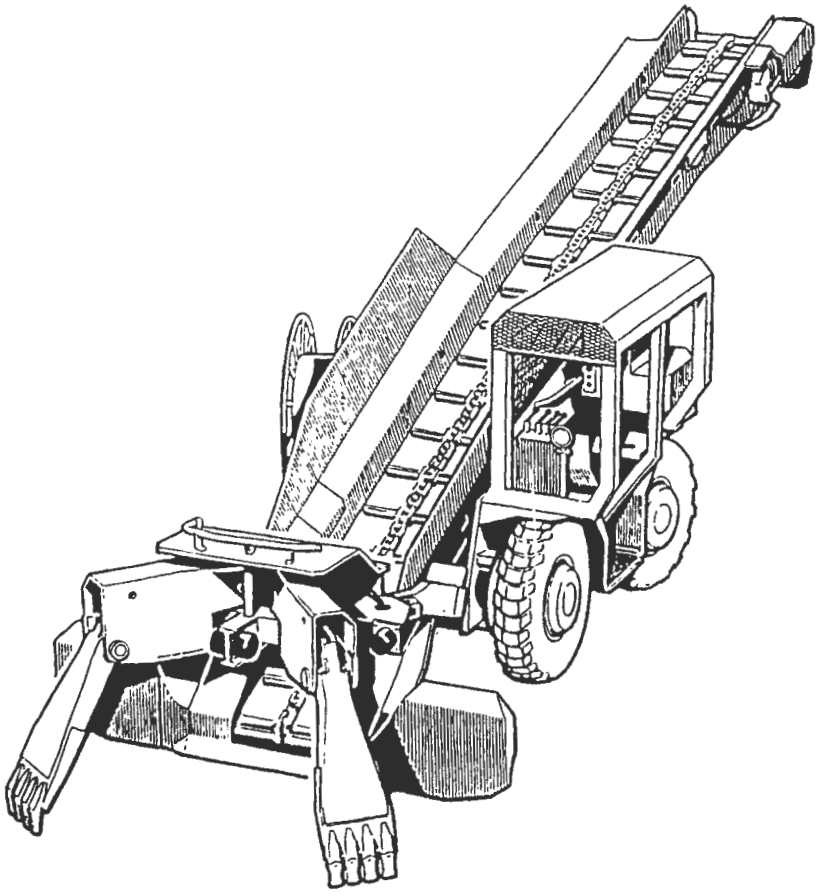

Fig 1. Häggloader krafslastare.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

AUTOMATISERINGSNIVÅER

Automatisering av en maskin eller en process kan ske i olika nivåer. Enstaka repetitiva rörelser kan automatiseras, medan operatören fortfarande får styra andra, mera specialiserade rörelser (delautomatisering). En större del av eller en hel maskin kan automatiseras att arbeta oberoende av andra maskiner. Slutligen kan en grupp av maskiner (parallell- och/eller seriekopplade) styras så att de arbetar totaloptimalt i ett system.

För Häggloadern beaktas följande automatiseringsteg:

Steg 1, delautomatisering: Häggloadern får en automatisk, rak grävrörelse, d v s grävhuvudet lyfts - grävbladen förs fram - grävhuvudet sänks - grävbladen dras in - o s v, fig 2. Operatören kan dirigera var i lastarens halvcirkelformiga arbetsområde grävbladen ska sättas ned, fig 3.

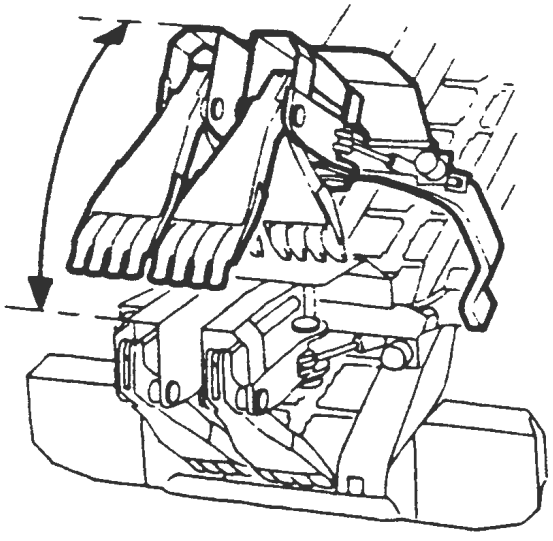

Fig 2. Automatkontrollerad rörelse

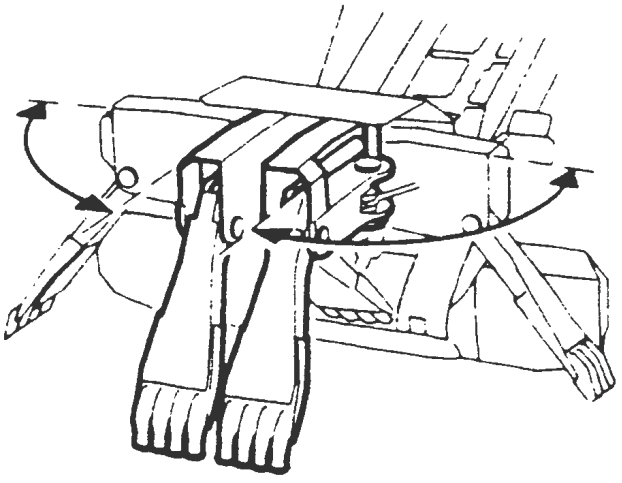

Fig 3. Manuellt kontrollerad rörelse

Fördelarna med denna automatiseringsnivå är:

- bättre arbetsmiljö för operatören, som slipper de mest repetitiva arbetsmomenten och i stället kan koncentrera sig på att placera grävbladen optimalt,

- högre kapacitet genom att operatören kan koncentrera sig på att placera grävbladen optimalt,

- lägre underhållskostnader genom att ett automatstyrt system normalt arbetar mjukare än ett manuellt styrt.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Steg 2, helautomatisering: Häggloadern ska kunna arbeta helt utan operatör i åtminstone 15 minuter ("coffee-break-automatisering"). Detta innebär, att maskinen ska kunna "se" eller känna om det kommer skut. Den måste också kunna röra sig framåt och bakåt för att parera ras från bergmassan.

Fördelarna med denna automatiseringsnivå är:

- bättre arbetsmiljö för operatören, som får en övervakande funktion och behöver ingripa endast i nödfall,

- högre kapacitet genom att maskinen arbetar även när operatören tar kortare pauser,

- lägre underhållskostnader (jfr steg 1 ovan).

Steg 3, systemautomatisering: I denna fas ska Häggloadern kunna arbeta utan operatör under hela skiftet och dessutom inordnas i ett komplett utlastningssystem, där flera lastare och även transporten av berg från brytningsfronten upp till dagen ingår.

Fördelarna med denna automatiseringsnivå är:

- bättre arbetsmiljö genom att ingen operatör behöver finnas på maskinen,

- högre kapacitet genom att maskinen kan arbeta större del av veckan (jfr dagens 2-skift 5 dagar per vecka med möjliga 3-skift 7 dagar per vecka),

- lägre underhållskostnader för hela systemet genom ett "lugnare" flöde,

- lägre kapitalkostnader för hela systemet genom att ett lägre och jämnare bergflöde kräver mindre anläggningar för transport och lagring.

GRUNDDATA

Som bas för jämförelsen mellan automatiseringsalternativen väljs en manuellt styrd Häggloader 12HR, som används på 2-skift à 7 timmar 5 dagar per vecka (230 dagar per år). Arbetstiden blir då 3220 h per år. Öskapaciteten 6 m^3(vl)/min ger med 80 % tillgänglighet och 60 % antagen långtidskapacitet för last- och transportsystemet en årsproduktion på 550 000 m^3(vl).

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

För beräkningarna har använts följande kostnadsdata:

Inköpspris lastmaskin	2 900 000:-
Avskrivningstid	5 år vid 2-skiftsdrift
	2 år vid kontinuerlig drift
Kalkylränta	15 %
Annuitetsfaktor	0.298 vid 2-skiftsdrift
	0.615 vid kontinuerlig drift
Lönekostnad	150:-/h
Reparationer och UH	6:-/m^3(vl)
Elkostnad	20:-/h

Lastningskostnaderna blir (SEK/m^3(vl)):

Kapital	1:57
Operatör	0:88
Rep o UH	6:-
Energi	0:09
Summa lastningskostnad	8:54

Det förutsätts, att transportutrustningen är dimensionerad så att lastningen är den trånga sektorn.

POTENTIAL FÖR DELAUTOMATISERING (STEG 1)

Även en begränsad delautomatisering ger, som ovan nämnts, fördelar såväl miljö- som kapacitetsmässigt och från underhållssynpunkt.

Arbetsmiljön är svår för att inte säga omöjlig att kvantifiera ekonomiskt. Om emellertid operatören har en bra arbetsmiljö, bidrar detta till att kapaciteten höjs, vilket antas i det följande. Myndigheternas krav på en bättre arbetsmiljö kommer också att skärpas i framtiden.

Kapaciteten antas alltså öka vid delautomatisering. Hur mycket den ökar är svårt att bedöma, men beräkningar görs här för 1, 2, 5 resp 10 % ökad öskapacitet.

För reparationer och underhåll på lastaren utförs beräkningar för antagna minskade kostnader med 1, 2, 5 resp 10 %.

Kostnaderna för delautomatisk lastning (steg 1) visas i tab I.

Högra kolumnen (Δpris, kkr) visar vad försäljningspriset på automatiseringsutrustningen maximalt får vara förutsatt att reparations- och UH-kostnaderna är 20 % av kapitalkostnaderna för densamma.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tabell I. Lastningskostnader vid delautomatisering.

Kapacitets ändring %	Repkostn ändring %	Kapital kr/m³	Operatör kr/m³	Rep o UH kr/m³	Energi kr/m³	Σ kostn kr/m³	Δ kostn kr/m³	Δ pris kkr
+ 1	- 1	1:56	0:87	5:94	0:09	8:46	0:08	119
	- 2	"	"	5:88	"	8:40	0:14	209
	- 5	"	"	5:70	"	8:22	0:32	477
	- 10	"	"	5:40	"	7:92	0:62	925
+ 2	- 1	1:54	0:86	5.94	0:09	8:43	0:11	166
	- 2	"	"	5:88	"	8:37	0:17	256
	- 5	"	"	5:70	"	8:19	0:35	527
	- 10	"	"	5:40	"	7:89	0:65	979
+ 5	- 1	1:50	0:84	5.94	0:09	8:37	0:17	263
	- 2	"	"	5:88	"	8:31	0:23	357
	- 5	"	"	5:70	"	8:13	0:41	636
	- 10	"	"	5:40	"	7:83	0:71	1101
+ 10	- 1	1:43	0:80	5.94	0:09	8:26	0:28	455
	- 2	"	"	5:88	"	8:20	0:34	552
	- 5	"	"	5:70	"	8:02	0:52	845
	- 10	"	"	5:40	"	7:72	0:82	1332
(Grundalternativ		1:57	0:88	6:-	0:09	8:54)		

POTENTIAL FÖR HELAUTOMATISERING (STEG 2)

Vid helautomatisering av "coffee-break"typ erhålls samma fördelar, som vid delautomatisering vad gäller miljösidan.

Kapaciteten antas öka, som vid steg 1, men därutöver erhålls ytterligare lastningstid, som uppskattas till 1 h per skift eller 460 h per år. Under denna tid antas emellertid öskapaciteten vara reducerad med 10, 20 resp 30 %.

För reparationer och underhåll på lastaren utförs beräkningar för antagna minskade kostnader med 1, 2, 5 resp 10 %.

Kostnaderna för helautomatiserad lastning av "coffee-break"typ (steg 2) visas i tab II.

POTENTIAL FÖR SYSTEMAUTOMATISERING (STEG 3)

Systemautomatiseringen innebär ett omfattande ingrepp i planeringen av hela gruvsystemet. Den medför dock stora miljömässiga fördelar i och med att den personal, som behöver vistas under jord, kan minskas.

Maskinerna kan arbeta betydligt större del av dygnet och året. Här antas 3-skifts drift 7 dagar per vecka under hela året med 2 skift avsatta för underhåll varje vecka. Detta ger totalt 7904 h per år. Avskrivningstiden har då p g a ökat antal maskintimmar minskats till 2 år.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Tabell II. Lastningskostnader vid helautomatisering.

Kapacitets ändring delauto %	Kapacitets ändring helauto %	Repkostn ändring %	Kapital kr/m³	Operatör kr/m³	Rep o Utl kr/m³	Energi kr/m³	T kostn kr/m³	Δ kostn kr/m³	Δ pris kkr
+ 1	- 10	- 1	1:34	0:75	5:94	0:09	8:12	0:42	727
		- 2	"	"	5:88	"	8:06	0:48	841
		- 5	"	"	5:70	"	7:88	0:66	1143
		- 10	"	"	5:40	"	7:58	0:96	1662
	- 20	- 1	1:36	0:76	5:94	0:10	8:16	0:38	648
		- 2	"	"	5:88	"	8:10	0:41	750
		- 5	"	"	5:70	"	7:92	0:62	1067
		- 10	"	"	5:40	"	7:62	0:92	1568
	- 30	- 1	1:38	0:77	5:94	0:10	8:19	0:35	587
		- 2	"	"	5:88	"	8:13	0:41	688
		- 5	"	"	5:70	"	7:95	0:59	990
		- 10	"	"	5:40	"	7:65	0:89	1494
+ 2	- 10	- 1	1.33	0:74	5:94	0:09	8:10	0:44	768
		- 2	"	"	5:88	"	8:04	0:50	873
		- 5	"	"	5:70	"	7:86	0:68	1187
		- 10	"	"	5:40	"	7:56	0:98	1711
	- 20	- 1	1:35	0:75	5:94	0:09	8:13	0:41	705
		- 2	"	"	5:88	"	8:07	0:47	808
		- 5	"	"	5:70	"	7:89	0:65	1118
		- 10	"	"	5:40	"	7:59	0:95	1633
	- 30	- 1	1:37	0:77	5:94	0:10	8:18	0:36	609
		- 2	"	"	5:88	"	8:12	0:42	711
		- 5	"	"	5:70	"	7:94	0:60	1016
		- 10	"	"	5:40	"	7:64	0:90	1524
+ 5	- 10	- 1	1:30	0:72	5:94	0:09	8:05	0:49	877
		- 2	"	"	5:88	"	7:99	0:55	985
		- 5	"	"	5:70	"	7:81	0:73	1307
		- 10	"	"	5:40	"	7:51	1:03	1844
	- 20	- 1	1:32	0:74	5:94	0:09	8:09	0:45	794
		- 2	"	"	5:88	"	8:03	0:51	900
		- 5	"	"	5:70	"	7:85	0:69	1217
		- 10	"	"	5:40	"	7:55	0:99	1746
	- 30	- 1	1:34	0:75	5:94	0:09	8:12	0:42	730
		- 2	"	"	5:88	"	8:06	0:48	834
		- 5	"	"	5:70	"	7:88	0:66	1147
		- 10	"	"	5:40	"	7:58	0:96	1668
+ 10	- 10	- 1	1:24	0:70	5:94	0:09	7:97	0:57	1063
		- 2	"	"	5:88	"	7:91	0:63	1174
		- 5	"	"	5:70	"	7:73	0:81	1510
		- 10	"	"	5:40	"	7:43	1:11	2069
	- 20	- 1	1:26	0:71	5:94	0:09	8:00	0:54	992
		- 2	"	"	5:88	"	7:94	0:60	1103
		- 5	"	"	5:70	"	7:36	0:78	1433
		- 10	"	"	5:40	"	7:46	1:08	1985
	- 30	- 1	1:28	0:72	5:94	0:09	8:03	0:51	924
		- 2			5:88	"	7:97	0:57	1032
		- 5			5:70	"	7:79	0:75	1358
		- 10			5:40	"	7:49	1:05	1902
(Grundalternativ			1:57	0:88	6:-	0:09	8:54)		

Öskapaciteten kan förväntas sjunka jämfört med manuell lastning, och beräkningar görs här för kapacitetssänkningar på 10, 20 resp 30 %. Långtidskapaciteten antas vara 60 % av öskapaciteten och tillgängligheten antas vara 80 %.

Ingen operatör erfordras, men för tillsyn antas en man använda 1 h per skift, vilket totalt ger 988 h per år.

För reparationer och underhåll på lastaren utförs beräkningar för antagna minskade kostnader med 1, 2, 5 resp 10 %.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

Kostnaderna för systemautomatiserad lastning (steg 3) blir, tab III:

Tabell III. Lastningskostnader vid system-automatisering.

Kapacitets ändring %	Repkostn ändring %	Kapital kr/m³	Operatör kr/m³	Rep o UH kr/m³	Energi kr/m³	Σ kostn kr/m³	Δ kostn kr/m³	Δ pris kkr
- 10	- 1	1:45	0:12	5.94	0:10	7:61	0:93	1487
	- 2	"	"	5:88	"	7:55	0:99	1583
	- 5	"	"	5:70	"	7:37	1:17	1871
	- 10	"	"	5:40	"	7:07	1:47	2350
- 20	- 1	1:63	0:14	5.94	0:12	7:83	0:71	1009
	- 2	"	"	5:88	"	7:77	0:77	1094
	- 5	"	"	5:70	"	7:59	0:95	1350
	- 10	"	"	5:40	"	7:29	1:25	1777
- 30	- 1	1:87	0:16	5.94	0:13	8:10	0:44	547
	- 2	"	"	5:88	"	8:04	0:50	622
	- 5	"	"	5:70	"	7:86	0:68	846
	- 10	"	"	5:40	"	7:56	0:98	1219
(Grundalternativ		1:57	0:88	6:-	" 0:09	8:54)		

RESULTAT

I fig 4 visas maximala försäljningspriset på automatiseringsutrustningen för de olika automatiseringsstegen.

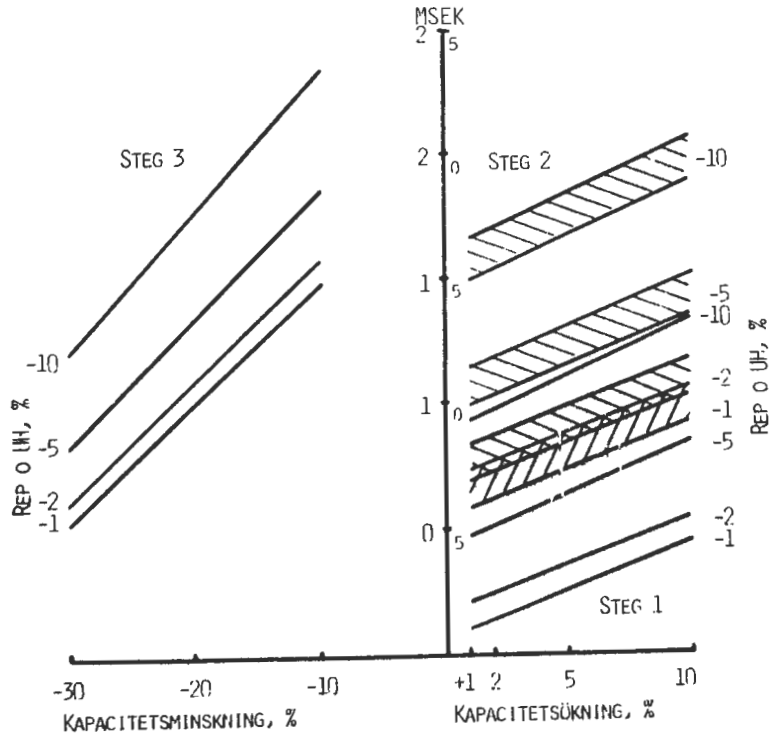

Fig 4. Maximalt tillåtet inköpspris för automatiseringsutrustning.

© 1988 Svenska Bergteknikföreningen och författare

För delautomatisering (steg 1) får priset ligga från 100 kkr upp till ca 1.3 Mkr beroende på vilken kapacitetsökning och kostnadsminskning för reparationer och underhåll, som man kan uppnå. Kapacitetsökningen från 1 till 10 % höjer tillåtna priset med 350 à 400 kkr medan motsvarande sänkning av "rep o UH" ger en höjning på drygt 800 kkr.

För helautomatisering (steg 2) ligger tillåtet försäljningspris från 0.6 Mkr upp till drygt 2 Mkr. Även i detta fall betyder sänkta reparations- och underhållskostnader mera än ökad kapacitet (ca 1 Mkr resp 350 à 400 kkr)

Systemautomatiseringen (steg 3) slutligen tål ett maximalt försäljningspris på mellan 0.5 och 2.4 Mkr (per lastmaskin!). Den sänkta öskapaciteten under hela arbetstiden inverkar kraftigt på det tillåtna priset för automatiseringsutrustningen. Om t ex samma kapacitet som vid manuell lastning antas kommer tillåtna priset att ligga mellan 1.9 och 2.9 Mkr.

Sammanfattningsvis kan sägas, att med förutsättningar enligt ovan verkar helautomatisering (steg 2) vara en rimlig nivå att lägga sig på. Systemautomatisering får i detta fall inte kosta mera per maskin än helautomatisering såvida inte minskningen i öskapacitet är mycket låg.

REFERENSER

Forsman, B; Lastningssystem i brytningsfront för kontinuerliga bergflöden under jord. Högskolan i Luleå 1982:21D.

Forsman, B; Automatisk lastning av grovt berg med krafslastare. Högskolan i Luleå 1985:16T.