

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Trpimir Kujundžić

Nastavni tekst za predavanja iz predmeta:

RUDARSKI I GEOTEHNIČKI STROJEVI



Zagreb, travanj 2015.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. SVRHA STUDIRANJA RUDARSKE MEHANIZACIJE.....	1
Tehnološka kompatibilnost s određenom tehnologijom konkretnih rudarskih radnji ...	2
Tehničke mogućnosti (konkretnog tipa) mehanizacije	2
Tehničke značajke, razina suvremenosti i opća kakvoća određenog tipa mehanizacije	3
Ekonomičnost određene mehanizacije.....	3
Održavanje, rezervni dijelovi, zamjena.....	3
3. OPĆI POJMOVI O STROJEVIMA.....	4
4. VRSTE ENERGIJA U RUDARSTVU.....	6
Živa sila.....	6
Energija voda tekućica	9
Parna energija.....	9
Komprimirani zrak.....	10
Električna energija	12
Motori s unutarnjim izgaranjem.....	14
Hidraulična energija	14
Stanje i budući razvoj primjene pogonskih energija.....	15
5. FIZIČKE I TEHNIČKE OSOBINE STIJENA	17
Sklop ili struktura stijena	17
Gustoća	17
Hidrofizičke osobine	18
Mehaničke osobine stijena	19
Tehničke osobine	20
Klasifikacija stijena.....	21
6. RUČNI OTKOPNI ČEKIĆI.....	25
Način rada	27
Izvedbe i pogonske značajke	29
7. HIDRAULIČNI OTKOPNI ČEKIĆ.....	33
Razvoj hidrauličnih čekića.....	33
Princip rada hidrauličnih čekića.....	34
Usklađenost hidrauličnog čekića i bagera.....	39
Povezivanje čekića s hidrauličnim sustavom bagera	40
Radni alat hidrauličnog čekića.....	40
Primjena hidrauličnih čekića.....	41
8. JAMSKI UTOVARAČI	47
Utovarači cikličkog načina rada.....	47
LHD strojevi	58
Utovarači kontinuiranog načina rada	59
9. POVRŠINSKI UTOVARAČI.....	62

10. STROJNI ISKOP STIJENA.....	67
Podjela i kronologija razvoja strojeva za iskop stijena.....	67
Užetni bager s visinskom lopatom.....	87
Užetni bager s obrnutom lopatom.....	93
Bager sa skreperskom posudom (dreglajn).....	95
Bager s grabilicom („grajfer“).....	97
Velebageri.....	99
Bageri kontinuiranog načina rada.....	101
Bageri vedričari.....	112
Međusobna usporedba rotornih i bagera vedričara.....	115
Ostala i pomoćna oprema odnosno mehanizacija (velikih) površinskih kopova lignita.....	117
11. LITERATURA.....	118

1. UVOD

Ovi su nastavni materijali namijenjeni studentima RGN fakulteta za predmet Rudarski i geotehnički strojevi. Sadržajno su tako prilagođeni da studenta, sutrašnjeg diplomiranog inženjera rudarstva upoznaju s mehanizacijom koju će susresti u praksi.

Elementi i principi na kojima se temelje konstrukcije strojeva ostaju isti ili se veoma sporo suštinski mijenjaju. Komercijalne odnosno industrijske izvedbe tih strojeva mijenjaju se pak svakodnevno. Iz toga proizlazi: manje će se govoriti o drugima, a znatno više o prvim. Studenti - mladi inženjeri će ionako kada stupe u praksu, nekoliko godina nakon što su čitali ova skripta, zateći nove modele strojeva i nova imena uopće. Nazive modela i tvrtki studenti neće dakle morati učiti, ni znati, ali ako ih usput zapamte biti će im samo od koristi.

Strojevi nisu nikakav izuzetak iz obitelji "čovjekovih pomoćnika" - strojeva uopće. To što su oni redovno masivni, robustni, čvrsti, posljedica je zahtjeva koje radni uvjeti i radna sredina na njih postavljaju. Iz istih se razloga na njih ne postavljaju estetski zahtjevi. Strojevi se sastoje od zupčanika, osovina, svornjaka i zatika, osigurača, poluga, ručica, dugmeta, sklopki, električnih, dizelskih i ostalih motora, spojki, kočnica, kotača, gusjenica itd., itd. Ti se elementi izrađuju od čelika, mjedi, plastike, gume itd. Izrađuju se postupcima lijevanja, otkivanja, varenja, tokarenja itd., itd. Pogonski su elementi električni motori napajani različitim naponima različitih vrsta električne struje, upravljani i regulirani raznoliko, ili pak motori s unutarnjim izgaranjem, hidraulični i drugi pogoni s cijelim mnoštvom svojih značajki. Ovo se napominje stoga da se vidi da je ovaj kolegij sinteza brojnih studijskih disciplina posebice Elemenata strojeva, Mehaničke tehnologije, Općeg strojarstva, Termodinamike, Otpornosti materijala, Elektrotehnike i elektronike, kao i nadgradnja u onim dijelovima koliko se rudarski i geotehnički strojevi razlikuju odnosno imaju svojih osobitosti. Iz ovoga proizlazi da će student prije nego počne detaljnije studirati ovaj kolegij, trebati biti otprilike upoznat sa sadržajem gore nabrojanih kolegija.

2. SVRHA STUDIRANJA RUDARSKE MEHANIZACIJE

Za postizanje sukladne organizacije rada, treba znati s kakvim strojevima i tehničkim sredstvima raspolaže suvremena tehnika, kakva im je ekonomičnost rada i kako se najracionalnije koriste prema najnovijim iskustvima tehnike. Svaka greška u izboru i organizaciji mehanizacije teško se ispravlja, pa izbor ne smije biti slučajan ili napravljen na temelju mišljenja vještog zastupnika neke tvornice, već ga treba svestrano proučiti. Izbor mora biti najpovoljnije rješenje između velikog broja mogućih rješenja, koje nam pruža suvremena tehnika. Zbog toga, izboru načina rada i odgovarajućoj mehanizaciji treba posvetiti dužnu pozornost.

Rudarske i geotehničke strojeve prati već dugo vremensko razdoblje, a u bliža vremena i pogotovo u budućnosti naročito izraženo, trend konfekcionizacije. Stroj, ili bilo koji uređaj, više se ne radi u vlastitoj režiji, a veoma rijetko se i posebno naručuje. Stroj je postao "masovna", serijska, konfekcijska roba i dosljedno tome, jeftina. Ova je značajka presudno važna za veliku većinu mineralnih sirovina i rudnika koji ih eksploatiraju. Doba kada su se eksploatirale izvanredno bogate (koncentrirane) mineralne sirovine, plitko, blizu jeftinih komunikacija te istovremeno u središtu potrošnje (središtima ljudske aglomeracije), je nepovratno prošlo. Današnju, a sutrašnju još više, eksploataciju karakterizira upravo baš sve suprotno. Sve slabije (siromašnije) mineralne sirovine, sve dublje, sve dalje i, kao problem nad problemima, sve jeftinije. Spontani odgovor je bio: sve viši i viši stupanj mehaniziranosti i mehanizacije i sve niža cijena te mehanizacije. A da se

ovo posljednje postigne jedini je izlaz bio u konfekcioniranju, odnosno serijskoj "masovnoj" proizvodnji. Budući da se mehanizacija konfekcionirala, rudarski inženjer više ne mora, kao nekad često, projektirati tu mehanizaciju. Rudarski inženjer međutim, od svih mogućih profila stručnjaka na rudniku, mora znati slijedeće:

- tehnološka usklađenost mehanizacije s određenom tehnologijom konkretnih rudarskih radnji;
- okvirno tehničke mogućnosti konkretnog tipa ili vrste mehanizacije;
- tehničke značajke, razina suvremenosti i opća kakvoća određenog tipa mehanizacije.

Sam ili u zajednici sa strojarskim inženjerom, ekonomistom i slično morati će znati ocijeniti odnosno utvrditi slijedeće značajke:

- ekonomičnost koju određena mehanizacija obećava;
- problem održavanja, rezervnih dijelova, zamjena.

Svaka od ovih točaka je za sebe veoma široka, čak i zasebna studijska i znanstvena, a dakako i praktična disciplina. Ovdje se samo najkraće komentiraju gornje točke.

Tehnološka kompatibilnost s određenom tehnologijom konkretnih rudarskih radnji

Rudarske radnje (operacije, dijelovi jednog posla koji se sveobuhvatno zove eksploatacija) su, kako je poznato - priprema, otvaranje, dobivanje, utovar, prijevoz, oplemenjivanje, i paralelno, pomoćne radnje, prije svega održavanje. Kada se temeljem niza razloga odlučilo u fazi, recimo, dobivanja, primijeniti određenu tehnologiju dobivanja (popularno "metodu"), samo je rudarski inženjer pozvan ocijeniti koja mehanizacija uopće dolazi tu u obzir, a kod šireg izbora, koja bolje i povoljnije, a koja manje i - zašto, dakako. O ovom aspektu rudarske mehanizacije studenti će slušati i u drugim kolegijima, pa mu znanja stečena na njima omogućuju potpuniji uvid u ovu problematiku.

Tehničke mogućnosti (konkretnog tipa) mehanizacije

U ovom je podnaslovu naglasak prvenstveno na "tehničke" pa zatim na mogućnosti. Poznavanje nerealnih (svjesno lažnih ili pod idealnim uvjetima postignutih) podataka o izvjesnoj mehanizaciji, jedva da će biti od koristi. Mehanizacija "živi i radi" u teškim i svakojakim uvjetima. Radi s materijalima širokog dijapazona svojstava, a izvrgnuta je šarolikom nizu uvjeta neposredne radne i šire sredine, pa je pitanje koliko se može pouzdati u tvorničke ili trgovačke podatke? Treba dakle znati ili umjeti ocijeniti što se realno može očekivati od konkretne mehanizacije. Mogućnosti neke mehanizacije su funkcija i drugih momenata od kojih se neki navode u slijedećoj točki.

Tehničke značajke, razina suvremenosti i opća kakvoća određenog tipa mehanizacije

Brzo se spoznaju razlike i posebnosti npr. bagera i utovarača - dvaju strojeva slične do identične namjene. Postoje ipak momenti u tehničkim značajkama, konstrukciji i slično, koji jednoznačno idu u prilog jednog, a drugi u prilog izbora drugog tipa mehanizacije. Trebati će poznavati te momente, pa se, uspoređujući ih s konkretnim potrebama i zahtjevima, odlučiti za konkretni izbor. Drugi će put jedan stroj biti opremljen jednim elementima (podvoza, upravljanja i sl.), drugi slični, drugačijim elementima. Trebati će dakle znati razlučiti što je efikasnije, jače, pouzdanije, što je sve značajka više razine suvremenosti (za kojom se, uostalom, ne mora pošto-poto stremiti).

Opća kakvoća igra posebnu ulogu u ocjenjivanju odnosno izboru mehanizacije. Postoje tvrtke čije proizvode kupuje gotovo čitav svijet. Ti su proizvodi u pravilu i veoma skupi. To su tvrtke koje su međutim tijekom decenija i decenija (mlade tvrtke takvog ugleda su rijetkost) održavale visoku standardnu kvalitetu. Kupnja proizvoda takve tvrtke najčešće je najmanji mogući rizik. Ne treba posebno dokazivati da je jeftin stroj (koji više stoji i popravlja se nego što radi) skup stroj!

Ekonomičnost određene mehanizacije

U poslovnom svijetu ništa se ne kupuje što se ne mora, a mora se kada se neka tehnologija ili pojedinačni stroj ili uređaj zamjenjuje radi istrošenosti, otpisanosti, zastarjelosti ili nerentabilnosti. Prva su tri momenta prilično rastezljiva i na kraju ih definira ipak samo posljednji - ekonomičnost. Iz brojnih društveno-ekonomskih razloga upravo je rudarstvo bila djelatnost gdje je uvijek bilo sve dobro, nikada dovoljno zrelo za "staro željezo", ma koliko da je oprema tehnički bila već odavno stvarno staro željezo. Nedostatak i potreba za jeftinijom mineralnom sirovinom su momenti koji su počeli djelovati da se tehnologija i mehanizacija u vezi s njom počela mijenjati. Da se pojmovi "još dobro", ili "nije više dobro" sve češće mijenjaju u korist ovog drugog stava.

Mehanizacija mora, pored tehnološkog motrišta, opravdati kupovinu i ekonomskim pokazateljima. Kod ocjenjivanja za koju se mehanizaciju odlučiti, moraju se najozbiljnije uzeti u razmatranje i ekonomski efekti koji se time postižu. To dovodi često i do, na prvi pogled, nerazumljivih odluka - da se još gotovo nova i neamortizirana mehanizacija odbacuje i nabavlja nova. Razlog je dakako taj što ta nova mehanizacija, i uz kalkuliranje gubitka neotpisane vrijednosti bivše mehanizacije, osigurava veću ekonomičnost.

Održavanje, rezervni dijelovi, zamjena

Ništa, pa ni rudarski stroj, ne traje dugo ako se ne održava, odnosno traje iznenađujuće kratko ako se održava slabo, aljkavo, neodgovarajuće ili nikako. Rudarski se inženjer najčešće neće baviti ovim aspektom mehanizacije, ali se pri ocjenjivanju neke mehanizacije mora imati jasna slika kakva se pomoć i servis nude tijekom narednih godina. Treba li spominjati nažalost čestu praksu da se obećava sve i svašta dok se stroj kupuje, a poslije stroj stoji, proizvodnja trpi, i sve zbog možda nekog dijela smiješno male vrijednosti. U tom se pogledu moraju imati jasne, konkretne i dugoročne garancije.

Rudarski će inženjer biti dužan voditi brigu o osnivanju i funkcioniranju službe održavanja, odnosno najopćenitije rečeno, o svemu što će osigurati da nabavljena mehanizacija može raditi onako kako se i predvidjelo kada se nabavljala.

Zamjena mehanizacije ima dva razloga. Prvi razlog izbjegavanje trikova različitih proizvođača, kad se razni detalji naprave takvima da se ne može koristiti ničiji proizvod do li te tvrtke (za primjer, jedna je talijanska tvrtka opremila 1940. god. rudnik Rašu s kolosijekom, svom pružnom opremom i voznim parkom širine 630 mm, za razliku od 600 mm koliko su najčešće širinu imali ostali rudnici, što je dugo još poslije iziskivalo komplikacije). Drugi razlog je zamjena pojedinačnih strojeva istim ili sličnim, ili dijelova za njih, istog proizvođača. Ovo je često teško predvidjeti, jer na to utječu brojni čimbenici kao što su: kupovni režimi, obustava proizvodnje ili nestajanje proizvođača, politički momenti i mnogo štošta još. Posljedica ovoga je stvaranje šarolikog strojnog parka što za sobom povlači niz negativnosti i što je još gore, povlačenje stroja iz rada i osuda na staro željezo radi pomanjkanja dijelova. Hrvatska je kao zemlja bez vlastite industrijske opreme za rudarstvo posebice izložena ovoj opasnosti.

3. OPĆI POJMOVI O STROJEVIMA

Mehanizacija rada je smišljeno uvođenje i korištenje strojeva i ostalih suvremenih tehničkih sredstava za rad pri izvođenju raznoraznih radnji. Time se prenosi fizički rad čovjeka na stroj, povećava se produktivnost i brzina rada, smanjuju troškovi, a poboljšava kakvoća rada. Pod rudarskom mehanizacijom podrazumijevaju se alati, uređaji i strojevi za: izradu rudničkih prostorija, dobivanje, transport i izvoz, ventilaciju, odvodnjavanje, opskrbu, oplemenjivanje itd. Široki dijapazon rudarske i geotehničke mehanizacije odnosi se na: jamske rudničke pogone (ugljena, metala, nemetala), površinske rudničke pogone različitih vrsta mineralnih sirovina, istražne radnje, eksploataciju voda, specijalne rudničke radnje, izradu tunela, gradnju cesta, željeznica i slično. Iz ovoga proizlazi veoma široka skala mehanizacije. Ako se tome doda da mehanizacija mora odgovarati specifičnostima koje su posljedica: svojstava mineralne sirovine, rudarsko-geoloških uvjeta radne sredine, zemljopisnih i svih s tim u vezi uvjeta, ekoloških zahtijeva, kapaciteta proizvodnje, veličina i oblika rudnih tijela, vijeka eksploatacije, financijskih i kadrovskih mogućnosti, mogućnosti nabave, uvoza i slično, proizlazi da je ta skala znatno proširena brojnim inačicama. Obzirom na razvitak tehnike mehanizacija se stalno poboljšava, modernizira u rasponu od zastarjele do avangardne, od jednostavne, primitivne, do visoko rafinirane. Rudarski inženjer da bi mogao pravilno birati, stručno organizirati, rukovoditi i surađivati pri izvođenju rudarskih radnji, mora dobro poznavati bitne elemente sredstava mehanizacije. Samo temeljno poznavanje ranije navedenih čimbenika rudarske mehanizacije, pomoći će pravilnom raspoređivanju i korištenju raspoložive mehanizacije, kao i pravilno planiranje i ulaganje sredstava za uvođenje nove mehanizacije.

Strojevi koji izvor energije (nafta, električna struja, ...) pretvaraju u mehaničku energiju podesnu za korištenje zovu se **pogonski strojevi**, ili ukratko **motori**.

Strojevi koji troše mehaničku energiju i pretvaraju je u koristan rad nazivaju se **radnim strojevima** (dizalice, bageri, lokomotive ...).

Svaki stroj, bilo da pretvara prirodnu energiju u mehaničku ili mehaničku energiju u rad, ne može pretvoriti svu energiju. Jedan dio energije uvijek ostaje neiskorišten. Odnos iskorištene energije prema primljenoj energiji zove se **stupanj iskorištenja**, označuje se grčkim slovom η i računa po obrascu:

$$\eta = \frac{\text{iskorištena energija}}{\text{primljena energija}}$$

Snaga koju stroj stvarno daje u određenom trenutku je **opterećenje stroja**. Ako je to opterećenje normalno, pri čemu se postiže najveći stupanj iskorištenja tada je to **nominalno opterećenje**. Broj okretaja koji pri tom stroj proizvodi zove se **nominalni broj okretaja**. Ako je stroj opterećen iznad nominalnog imamo **preopterećenje stroja**, a veličina tog preopterećenja predstavlja **stupanj preopterećenja**. Kad se stroj okreće (radi) a pri tom ne daje koristan rad kaže se da stroj radi **praznim hodom**, a snaga koja se pri tom upotrebljava zove se **snaga praznog hoda**.

Odnos količine radova, koji se izvode mehanizirano prema količini ukupnih radova, izražen u postocima naziva se **stupanj mehaniziranosti**. Npr. na otkopu se od ukupne količine 200 000 m³ mehanizirano dobije 180 000 m³. Stupanj mehaniziranosti je:

$$O = \frac{180000}{200000} \cdot 100 = 90 \% .$$

Odnos vrijednosti strojeva prema cjelokupnim troškovima izvođenja izražen u postocima zove se **stupanj mehanizacije**. Npr. u rudniku je predviđeno izvesti u određenom razdoblju radove u vrijednosti od 40 000 000 kuna, a vrijednost strojnog parka iznosi 10 000 000 kuna. Stupanj mehanizacije će biti:

$$M = \frac{10000000}{40000000} \cdot 100 = 25 \% .$$

Ovaj je odnos važan za ocjenu postignutih proizvodnih cijena, kao i za ocjenu brzine izvođenja radova.

Učinak stroja (kapacitet) predstavlja količinu radova, koju stroj može proizvesti u jedinici vremena. **Konstruktivski učinak**, označuje učinak koji stroj postigne za vrijeme kratkotrajnog neprekidnog rada pri najpovoljnijim uvjetima. Taj se učinak ispituje u tvornicama i označuje u prospektima, katalogima i popratnim dokumentima stroja. **Tehnički učinak** (satni) je učinak stroja za vrijeme rada u jednom satu pri savršenoj organizaciji rada strojem uz samo tehnički neizbježne prekide rada. Niži je od konstruktivskog učinka. Radom u raznim materijalima i raznim uvjetima utvrđuju se neizbježne smetnje i prekidi u radu i određuje **eksploatacijski** (praktički, normirani) **učinak** stroja. Eksploatacijski učinak utvrđuju normirci u određenoj radnoj sredini, uz normalne uvjete rada, sa srednjom organizacijom rada, osrednjim radnicima ili radnom ekipom. Uvijek je niži od tehničkog učinka. **Smjenski, dnevni i godišnji učinak** označuje srednji učinak u određenom razdoblju računajući s efektivnim radnim vremenom.

4. VRSTE ENERGIJA U RUDARSTVU

Gledano kroz cijeli razvoj rudarstva, primjenjivalo se, ili se primjenjuju slijedeće vrste energija:

- živa sila,
- energija voda tekućica,
- parna energija,
- komprimirani zrak,
- električna,
- energija iz motora s unutarnjim izgaranjem,
- hidraulična.

Kronološki gledano razvoj je i tekao ovim redom.

Živa sila

Živa sila je ljudska ili animalna (radne životinje). Ljudska energija se nije, kad se god to moglo, koristila za pogon mehanizama ili strojeva. Ona se koristila uglavnom za rad prostim alatima: pijukom, lopatom, čekićem i dlijetom, i u transportu za guranje vagoneta. Brojni od ovih oblika primjene žive ljudske energije koriste se i danas na malim rudnicima, kao i tamo gdje je opća tehnička razina niska i gdje je prije svega, a što redovno ide zajedno, radna snaga jeftina. Snaga odraslog prosječno građenog i jakog radnika je svega oko 0,07 kW, i to je upravo razlog, a ne sentimentalni momenti, da se ljudska energija nije upotrijebila i za pogon mehanizama.

Pri ručnoj dopremi koristili su se mali vagoneti koje može gurati jedan radnik. Ako su u uporabi srednji vagoneti, bila su za vožnju jednog vagoneta potrebna najčešće po dva vozača, dok se pri vožnji velikih vagoneta isključuje ljudska snaga. Transportne udaljenosti u jami nisu obično prelazile 300 m, a na površini 500 m. Računalo se da krepak vozač može davati silu od 100 do 150 N dulje vremena bez premaranja. Kratkovremeno može vozač razviti i veću silu, što je bilo potrebno pri pokretanju vagoneta ili vožnje po usponu. Brzina ručne dopreme je ovisila o jačini vozača, stanju pruge i stanju vagoneta i kretala se od 0,5 do 1,0 m/s. Kod dobrog stanja vagoneta i kolosijeka računalo se s učinkom od 3 do 5 korisnih tkm po vozaču i smjeni. Ako je vozač sam utovarao i istovarao vagonet učinak se smanjivao na 1 ntkm na smjenu. Razmak između pojedinih vagoneta kod normalnog pada pruge iznosio je 10 m, a kod jačeg pada pruge morao je biti najmanje 30 m. Svjedočanstvo da je ljudska živa sila i u ne tako davnoj prošlosti bila jedini izvor energije za otkopavanje mineralne sirovine je zapanjujući primjer iz Brazila.

Veliki površinski kop zlata aluvijalnog postanka smješten u srcu brazilske Amazone na planini Serra Pelada, Amazonska šuma – Brazil, u kompleksu Carajasa jednog od najbogatijih rudnih područja na svijetu. Tijekom 1980-tih godina imao je ukupno oko 80 000 zaposlenih (Cabral et al, 2002), slika 1.

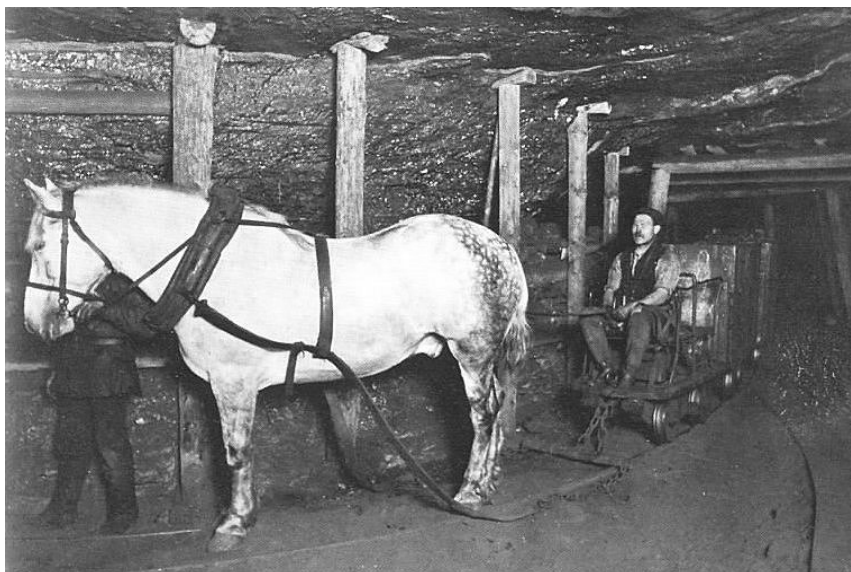


Slika 1. Površinski kop Serra Pelada u rujnu 1983. godine (Fotografija: Arthur Bernadelli, preuzeto iz Cabral et al, 2002.)

Svaki radnik je radio na "svojoj" odobrenoj rudarskoj parceli veličine od svega 4 četvorna. metra. Svo zlato je otkupljivala državna uprava koja je držala koncesiju na bogatim mineralnim nalazištima željezne rude, boksita, mangana i zlata. Istovremeno je oko 20 000 rudara "garimpeirosa" iskapalo i prenosilo rudu u vrećama (oko 20 kg) penjući se po drvenim ljestvama (jedne ljestve su imale do 54 stepenice) do mjesta gdje su ispiranjem iskopane rude nastojali dobiti zrnca zlata. Vlada je kao krajnji korisnik rudnika donijela strogu odredbu o vladanju rudara po kojoj je zabranjen pristup ženama, alkohol, kockanje itd. Portugalski naziv planine Serra Pelada - ogoljela (operušana, ćelava) planina, kao da sve govori o okolišu i njegovoj zaštiti.

Životinjska se snaga počela već davno upotrebljavati i to za pogon vitlova za izvažanje rude, za pogon stapnih sisaljki i za transport do najnovijih dana. Koristili su se konji u podzemnom radu (Slika 2 i 3) i često mazge odnosno mule pri transportu na površini. Životinjska je snaga bila zahvalno sredstvo. Životinju se iscrpljivalo bez milosti, uz minimum njege i hrane. Tako su rudarski konji koji su jednom spuštene u jamu tu provodili potpuno svoj vijek, oslijepili i ugibali. i njihova je primjena počela nazadovati kako su brzine i snage uređaja rasle.

Umjesto ručne dopreme kod većih transportnih dužina, uspona i veće količine materijala za prijevoz, koristila se konjska vuča. Pri prosječnoj brzini od 0,8 do 1,2 m/s konj razvija vučnu silu od 600 do 900 N i snagu od 0,5 do 0,9 kW. Prema veličini vagoneta, vrsti ležajeva i stanju kolosijeka birao se broj vagoneta, koje može vući konj. Kod kliznih ležajeva konj je vukao 4 do 6 malih vagoneta (do 3,5 t korisnog tereta), a kod valjnih i do 10 (do 5 t). Učinak jednog konja varira od 25 do 50 korisnih tkm za 8 satnu smjenu. Najzgodnije dužine u jami iznosile su 500 do 1000 m, a na površini do 2000 m.



Slika 2. Rudarski konj prolazi s vagonetom ugljena kroz okuku.

Hodnici su morali biti dovoljno visoki (minimalno 1,8 m) da konj ne ozlijedi glavu). U nižim hodnicima su se koristili niski mali konji, tzv. poniji (Engleska). Za smještaj konja u jami građene su dobro zračne staje, u pravilu s posebnim ogrankom zračne struje, koja se direktno povraća u izlaznu struju. Staja je u pravilu trebala biti duga oko 4 m, visoka 2 do 3 m, a za svakog je konja potrebna širina od 1,3 do 1,4 m. Pod je trebao imati nagib najviše 2 % prema zadnjoj strani, radi ocjeđivanja. Budući da je jamske staje bilo teško održavati, one su pogoršavale jamski zrak, postojala je opasnost od zapaljenja zaliha hrane, a hrana se brzo kvarila. Računalo se da konj i poniji mogu raditi u jami prosječno 7 do 10 god.



Slika 3. Pauza za "mareнду".

Energija voda tekućica

Veoma se rano spoznalo da se može u pogodnim slučajevima koristiti energija voda tekućica. Princip je isti kao i kod mlinova vodenica koji se još danas ponegdje koriste. Voda je ili silom svoga tijeka ili svojom težinom pokretala veliki kotač od kojega je pogon dovođen do radnog mehanizma - izvoznog vitla ili sisaljke.

Parna energija

Parni stroj Jamesa Watta (1775. godine - izum koji je označio početak industrijske revolucije i bio veći i značajniji skok od bilo kojeg kasnijeg - električne ili atomske energije http://en.wikipedia.org/wiki/Watt_steam_engine) počeo je svoj epohalni hod na jednom rudniku ugljena u Engleskoj.

Karakteristično je da je primijenjen za pogon rudničke sisaljke (Newcomen, 1712., http://en.wikipedia.org/wiki/Newcomen_steam_engine).

Naime, dotadašnjim sredstvima za ondašnje potrebe, moglo se svladati sve od izvoza do transporta, ali u puno slučajeva, odnosno s porastom dubine rudnika sve češće i češće, nije se više mogao svladati prtok vode u jame. Sisaljke, i inače primitivne, pogonjene veoma sporo raspoloživim izvorima sile, imale su veoma ograničeni kapacitet. Primjena parnog stroja donijela je na tom polju znatno poboljšanje, da se uskoro raširi i na druge potrebe u rudarstvu i naravno u svoj tadašnjoj industriji. Danas se parni strojevi ne rade, a upotrebljavali su se donedavno ponegdje gdje su bili decenijama u pogonu (izvozni strojevi, kompresori, lokomotive pri površinskom prijevozu) i gdje se njihova zamjena više ne bi isplatila.

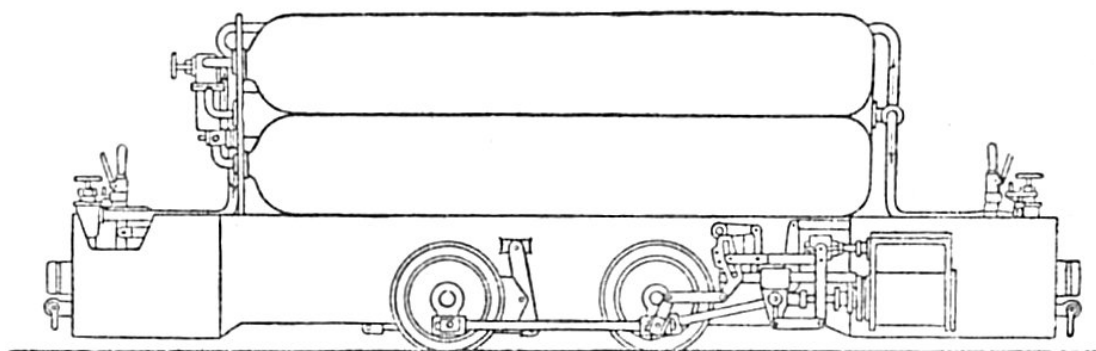
Parni stroj nije donio neko bitno poboljšanje u jamskom prijevozu. To je razumljivo kada se zna da parni stroj ima otvoreno ložište, što iz dva razloga onemogućava njegovu primjenu u jami. Prvo opasnost od požara i eksplozija plinova i prašine i drugo onečišćenje jamske atmosfere plinovima i dimom izgaranja ugljena u ložištu.

U razdoblju intenzivnog mehaniziranja rudarstva taj se nedostatak pokušalo ukloniti lokomotivama bez loženja. Te su lokomotive imale samo spremnike vrele vode i pregrijane pare koju se uzimalo iz parovoda od parnog kotla na površini. Mogle su se kretati ograničeno vrijeme ovisno od količine akumulirane energije u toj pari. Nisu našle širu i trajniju primjenu zbog niza nedostataka. Takve su lokomotive imale glavne sastavne dijelove kao i ostale parne lokomotive, jedino što nisu imale ložište, vatrene cijevi, te dimne komore i dimnjake. Otpali su spremnici za vodu i gorivo, te veći dio armature. Kotao je bio volumena od 5 do 20 m³, a zapunjavao se do oko 3/4 hladnom ili predgrijanom vodom kod prvog stavljanja u pogon. Način rada parne lokomotive koja se ne loži počivao je na sposobnosti vode, da ona kao dobar akumulator topline kod povećanja pritiska prima veću tekućinsku toplinu. Prigodom popuštanja pritiska pretvara se znatni dio vode s toplinom koja se oslobađa, u paru. S ovom parom lokomotiva je mogla voziti izvjesno vrijeme, tj. njena je radna sposobnost bila ograničena akcijskim radijusom.

Parni je stroj korišten i za pogon bagera. On je ustvari omogućio da se suvremeni bager izmisli i konstruira. To je pak revolucioniralo radove na površini. Naravno da je pojavom novih energija parni stroj i ovdje zamijenjen učinkovitijim pogonskim sredstvima.

Komprimirani zrak

Komprimirani zrak nije primarno energetska sredstvo kao parni stroj već sekundarno. Zrak se mora komprimirati uz korištenje nekog drugog primarnog energetskeg izvora: parnog stroja, motora s unutarnjim izgaranjem ili elektromotora. Komprimirani zrak je prema tome energetska posrednik, i već zbog toga kao i zbog drugih momenata, skuplji od primarnih energetskeg sredstava. Kompresor pogonjen primarnim energetskeg izvorom usisava atmosferski zrak i komprimira ga na izvjestan pritisak. Uređaji i strojevi koji se pogone komprimiranim zrakom moraju biti trajno priključeni na energetska izvor - kompresor. To je povezano s gubicima uslijed otpora i propuštanja, što je razlog daljeg povećanja i inače visoke cijene komprimiranog zraka. Zbog te su veze s izvorom uređaji na komprimirani zrak ograničeno pokretljivi, tj. samo onoliko koliko im omogućuje gibljivo crijevo. Na taj način, uvođenje komprimiranog zraka kao energetskeg nositelja nije i opet moglo riješiti problem jamskog prijevoza. Doduše, pokušano je kao i kod pare primijeniti lokomotive sa spremnicima (visoko) komprimiranog zraka (Slika 4), ali širu i trajniju primjenu nisu našle. Razlog su izvanredno visoki troškovi i komplicirana tehnika. Pogonska energija ovih lokomotiva bio je komprimirani zrak pritiska 15 do 22,5 MPa, koji se nalazi u čeličnim bocama na lokomotivi.



Slika 4 Lokomotiva pogonjena visoko komprimiranim zrakom (Preuzeto iz Arar, I.: Transportna sredstva u rudarstvu)

Visoki je pritisak bio potreban zato da se što više zraka vozi na lokomotivi, kako bi se postigao njezin što veći akcijski radijus. Budući da su volumeni boca bili ograničeni veličinom jamskih hodnika bio je ograničen i akcijski radijus lokomotiva. Taj radijus, koji je jednak polovici efektivnog dopremnog puta, iznosio je obično na glavnim transportnim prugama od 6 do 8 km, a na otkopnim prugama do 3 km. To je bio veliki nedostatak ovih lokomotiva, jer su se za vrijeme smjene morale više puta napajati iz zračnog cjevovoda visokog pritiska. Pogonsku zračnu energiju dobivale su jamske lokomotive od visokotlačnog stupnog kompresora, koji je redovito bio smješten na površini. Zrak se komprimirao u 5 ili 6 stupnjeva, s hlađenjem između pojedinih stupnjeva, da se uštedi pogonska energija kompresora i da konačna temperatura komprimiranja ne bude tolika, da se rasplini i upali mazivo ulje u cilindrima kompresora.

Komprimirani je zrak, međutim, našao široku primjenu i postao nezamjenjiv u bušenju, kamo je u širem smislu spadao i otkopni čekić. Može se slobodno reći da je otkopni čekić revolucionirao otkopavanje, a bušaći čekić bušenje (Slika 5). Otkopni je čekić izgubio značaj primarnog otkopnog alata, ali je ostao veoma korisna alatka u nizu sekundarnih ili pomoćnih radnih operacija u rudarstvu.



Slika 5 a) Primjena otkopnog čekića

b) Primjena bušačkog čekića

Komprimirani je zrak još uvijek, s izgledima da to još dugo ostane, važni energetski medij za pogon najobičnijeg bušačkog čekića do najsnažnijih i visokospecijaliziranih bušačkih naprava, kako za pogon samog uređaja, tako i kao sredstvo za iznošenje razorenog sitneža iz bušotine. Hidraulična energija je gotovo istisnula komprimirani zrak za pogon čekića i bušilica za plitka bušenja (tuneli), ali za pogon bušilica za duboka bušenja poglavito onih s dubinskim bušačim čekićem i za ispuhivanje dubokih bušotina, komprimirani zrak je ostao najpogodniji energetski medij (ne zahtijeva recirkulaciju).

U rudnicima ugroženim opasnim plinovima ili (i) prašinom primjena komprimiranog zraka je značila direktno povišenje sigurnosti rudarskih radova. Upravo se u takvim rudnicima pokušavalo koristiti komprimirani zrak za osvjjetljenje radilišta pomoću svjetiljki s ugrađenim malim električnim generatorima pogonjenim krilnim motoricima na komprimirani zrak, kao i za miniranje pomoću specijalnih "patrona" na visokokomprimirani zrak (≈ 80 MPa). Oba navedena načina korištenja komprimiranog zraka nisu našla širu i trajniju primjenu, prvenstveno zbog visokih troškova.

Komprimirani zrak služi i za pneumatski transport, prvenstveno zasipa, ali i, rjeđe, rudne supstance (uglavnom ugljena). Komprimirani se zrak često koristio, a koristi se i danas tamo gdje postoje stabilna kompresorska postrojenja, za pogon dijelova postrojenja ili uređaja - gurača vagoneta, zaustavljača i slično na navozištima i odvozištima, izvrtača vagona, zasuna sipki i bunkera, te za pogon kočnih uređaja na različitim vozilima.

Komprimirani je zrak, kako je već rečeno, skupo energetsko sredstvo. Ovisno o cijeni primarnog energetskog sredstva, veličine, kakvoće i stanja izvora (kompresorskog postrojenja), kao i potrošnog uređaja, te od dužine, kakvoće i stanja razvoda (cjevovoda), spojnih, priključnih, razvodnih i zasunskih mjesta, ovisiti će i cijena komprimiranog zraka. U cilju smanjenja te cijene i troškova komprimiranog zraka uopće, potrebno je:

- izbjegavati uporabu komprimiranog zraka na svim mjestima gdje se to može provesti (oprema navozišta i odvozišta, jamski utovarači, bušaći i otkopni čekići),
- kompresorsko postrojenje smjestiti što bliže mjestu potrošnje da se izbjegne dugački razvodni sustav,
- kompresorsko postrojenje odabrati optimalno po veličini (kapacitetu), po broju jedinica, po veličini spremnika za izjednačenje i slično,
- potrošnju tijekom smjene odnosno dana tako regulirati da bude što ujednačenija,
- potrošnim uređajima dovoditi zrak propisanog pritiska. Pri nedovoljnom pritisku strojevi gube znatno od snage odnosno učinka, što rezultira direktno ali i indirektno (produženje radne operacije, gubitak proizvodnje) daljim povišenjem troškova,
- sve sastavne elemente sustava od kompresora do potrošnog uređaja, držati u što besprijekornom stanju. Često se to svodi upravo na krajnje točke, kompresor i potrošni

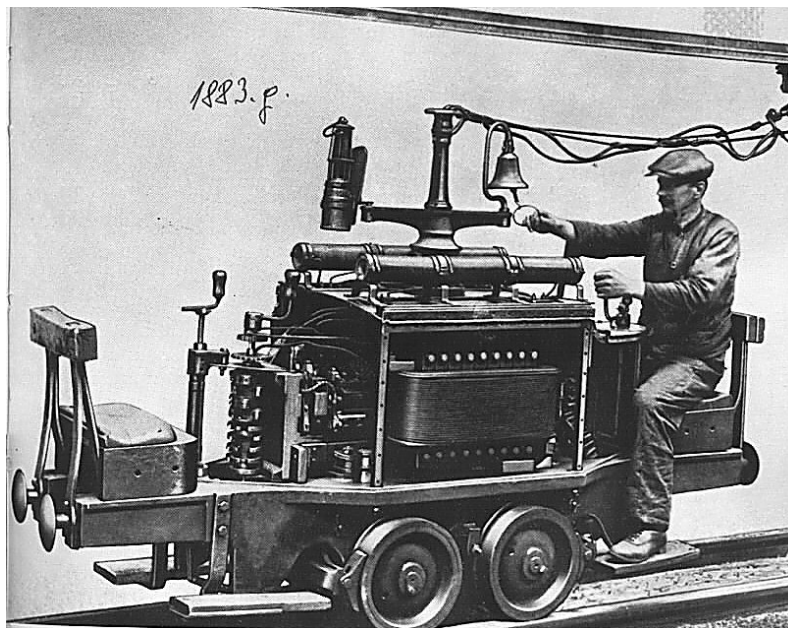
uređaj a da se razvodni sustav zapusti. Međutim, upravo su tu gubici najveći. Spojevi cijevi cjevovoda, ventili i posebice gibljiva crijeva, mjesta su znatnih gubitaka zraka.

Električna energija

Električna je energija suvereno zavladała velikim brojem rudarske mehanizacije. Interesantno je da njezin pohod po rudnicima nije bio onako munjevit i širok kao što je to bio slučaj s parnom energijom. Odnosno, točnije bi bilo reći, nakon prvog rasplamsaja ubrzo je splasnulo njezino širenje. Razlog je velika opasnost po sigurnost rudnika koju je električna energija sa sobom nosila. Isto kao što je trebalo da se dogodi niz rudarskih katastrofa da bi fizičar Davy konstruirao sigurnosnu benzinsku rudarsku svjetiljku i time uklonio gotovo dotada jedini uzrok požara i eksplozija u rudnicima, tako su i prve pokušaje uvođenja električne energije u jame uskoro počele pratiti i te, danas gotovo savladane rudarske nevolje. Kraj svih prednosti koje je nudila električna energija (lak i jednostavan prijenos do potrošnog uređaja, mali gabariti, velike snage, visoki učinci, i prije svega, povoljna cijena) ubrzo se zamijetilo da električni uređaji iskre i pale opasne jamske plinove i prašinu. U rudnicima ugljena, upravo gdje je i bila najpotrebnija u eri intenzivne industrijalizacije i potrebe za ugljenom kao primarnim energetske nositeljem za pogon parnih postrojenja, električna je energija bila nepogodna za primjenu. U metalnim rudnicima, gdje ju se moglo uglavnom bez opasnosti primjenjivati, i nije bilo uopće veće potrebe za njom.

Kako je, međutim, jamski transport i pored raspoložive energije parnih strojeva, komprimiranog zraka i električne energije i dalje ostajao neriješen problem, a bio je ključna točka i prepreka povećanju učinka i kapaciteta rudnika, to se ipak shvatilo da rješenje leži samo u primjeni električne energije, ali na način i u takvom obliku da se uklone njene slabe strane, tj. opasnosti. Intenzivnim istraživanjima, postupnim uklanjanjem slabosti i prije svega povoljnoj cijeni, može se zahvaliti da se električna energija vratila u rudnike i u velikoj ih mjeri osvojila. Taj je proces bio posljedica zaoštavanja cijena u predratnom razdoblju hipertrofirane proizvodnje, kao i još više zbog ogromno povećanih potreba za ugljenom i rudama za vrijeme i nakon II. svjetskog rata.

Električna je energija prvo primijenjena u transportu. Godine 1882. uvedena je rudnička lokomotiva u rudniku kamenog ugljena Zaukerode u Njemačkoj (Slika 6), nedugo nakon što je dinamostroj izumljen (Machowski et al, 1970). Kao kuriozum, lokomotiva je uspješno radila 45 godina i nadživjela rudnik, koji je bio iscrpljen i zatvoren.



Slika 6 Prva električna lokomotiva u rudniku kamenog ugljena „Zaukerode“ (Promidžbeni materijali tvornice Siemens)

Iz elektrike je poznato da električne struje ima dvije vrste: istosmjerna (manje ili više konstantnog napona) i izmjenična (promjenjivog, sinusoidalnog napona). Prva se može koristiti iz primarnog izvora - generatora istosmjerne struje, ili iz sekundarnih - ispravljačkih uređaja, gdje se izmjenična struja ispravlja u istosmjernu. Treba se podsjetiti da nema mreže istosmjerne struje, pa nije moguće direktno napajanje. Generatori istosmjerne struje su pogonjeni ili elektromotorima na izmjeničnu struju ili, kad nema u blizini priključka, motorima s unutarnjim izgaranjem. Treći je način opskrba istosmjernom strujom iz akumulatora. Zbog malih mogućnosti akumuliranja električne energije, skupih, teških i ograničenog trajanja baterija, taj je način opskrbe ograničen na svega dva mjesta potrošnje. Prvo jamski transport u ugroženim jamama ili dijelovima jama (akumulatorske lokomotive, slika 7) i drugo na osobnu rasvjetu akumulatorskim svjetiljkama.



Slika 7 Rudarska lokomotiva s kombiniranim napajanjem električnom energijom iz vozne žice ili iz baterija (Promidžbeni materijal tvornice Clayton)

Istosmjernom strujom direktno iz generatora ili ispravljačkih uređaja, pogone se izvozna postrojenja, a iz lokalne, ograničene mreže, napajane također iz ispravljačkih uređaja, jamski transport električnim lokomotivama. Razlozi primjene istosmjerne struje leže u znatno pogodnijoj mogućnosti regulacije brzine vrtnje elektromotora nego kod

motora s izmjeničnom strujom. Ti su pogoni, međutim, skuplji zbog ispravljanja i nastoje se izbjeći odnosno zamijeniti izmjeničnom strujom.

Motori s unutarnjim izgaranjem

Motori s unutarnjim izgaranjem naglo osvajaju rudarstvo, naročito poslije II. svjetskog rata. Zbog svoje potpune autonomnosti, tj. neovisnosti od izvora energije veoma su pogodni, i nije čudo da su doživjeli naglo širenje u primjeni u svim ljudskim djelatnostima, osim u podzemnom posebice ugljenom rudarstvu. Razlog je jasan. Opasnost od paljenja opasnih jamskih plinova i prašine i onečišćenje jamske atmosfere ispušnim plinovima.

Od motora s unutarnjim izgaranjem u podzemnom se rudarstvu primjenjuju isključivo dizelski motori. Pogonsko je gorivo znatno manje opasno (dizelsko gorivo) od lakih benzina koji se koriste kod benzinskih motora. Ispušni plinovi dizelskih motora također su manje opasni jer sadrže manje ugljičnog monoksida. U određenim uvjetima, u pogodnim jamskim prostorima, uz obilno i efikasno zračenje, te uz kvalitetne i besprijekorno održavane motore, primjenjuje se mehanizacija pogonjena dizelskim motorima u jamskom rudarstvu u znatnoj mjeri.

Površinskom je rudarstvu omogućio dizelski motor (poglavito zbog izvanredne fleksibilnosti odnosno elastičnosti i potpune autonomnosti strojeva i uređaja njime pogonjenim) jedan izvanredan razvitak. Čitave tehnologije, izvanrednih mogućnosti, ogromnih učinaka i niskih troškova omogućene su upravo dizelskom mehanizacijom. Sam je pogon dizelskim motorima skuplji nego elektromotorni pogon. Kada se, međutim, u račun uzmu i troškovi mreže i razvoda električne energije do potrošača, ukupna cijena više nije jasno na jednoj ili drugoj strani, već treba provesti ekonomsku raščlambu za svaki konkretni slučaj.

Hidraulična energija

Hidraulika nije pogonsko sredstvo u smislu kao što su ugljan ili nafta u kojima je energija akumulirana. Ona znači nije primarno energetska sredstvo već je, isto kao i energija komprimiranog zraka, sekundarna energija, tj. ispravnije bi ju bilo nazvati energetska posrednikom ili prijenosnikom. Primarni je pogon elektromotor ili motor s unutarnjim izgaranjem koji pogoni hidrauličnu pumpu. Hidrauličnom se pumpom stavlja određena količina radnog medija (ovdje isključivo ulje) da cirkulira do hidrauličnog motora, hidrauličnog cilindra ili nekog drugog potrošača. Ovo "cirkulira" znači da je protok u zatvorenom krugu, da se ulje ponovo vraća u pumpu.

Prvi realizirani hidraulični prijenos snage ostvaren je na prešama 1882. godine. Hidraulični je medij bila voda, fluid koji je bio najpoznatiji i najbliži čovjeku. Prvi hidrostatički sustav s mineralnim uljem su ostvarili Williams i Janney 1905. god. (<https://www.hk-hydraulik.com/en/hydraulics-encyclopaedia>, pristup: 01.03.2015.). Ovaj je sustav praktično primijenjen tek 1935. god u tvrtki Ferguson. Tijekom drugog svjetskog rata zrakoplovstvo daje snažan podstrek razvoju hidrauličnih pogona i uređaja da bi se ta iskustva poslije rata intenzivno iskoristila u primjeni hidraulike na rudarskim i građevinskim strojevima.

Hidraulična energija doživljava svoj boom nakon što je izgledalo da su električna energija i el. pogoni zauzeli odnosno pokrili sve potrebe za rotacijskim gibanjem, i da boljeg pogonskog sredstva naprosto ne može biti. To bi vjerojatno tako i ostalo da se nisu izvanredno razvili i proširili mobilni rudarski i građevinski strojevi (bageri, utovarači, buldozeri i slično), koji su istovremeno trebali motore s rotacijskim gibanjem i cilindre

(hidraulične) s pravocrtnim gibanjem. Električnim se uređajima ne da proizvesti pravocrtno gibanje uz dovoljno velike snage odnosno sile, i dovoljno sporo kako je potrebno za pogon uređaja gdje se koriste hidraulični cilindri. Linearnim se elektromotorima ostvaruje pravocrtno gibanje, ali uz veliku brzinu i malu silu, upravo suprotno što ovdje treba. Takva svojstva, istina, još ima para (iz brojnih razloga danas potpuno napuštena) i komprimirani zrak. Zrak kao energetska medij odnosno posrednik ima prednost što ga ima posvuda i ne zahtijeva nikakvo ekonomiziranje (u smislu recikliranja), ali i bitan nedostatak - pritisci komprimiranja a time i ostvarive snage odnosno sile su niski, pa za potrebe današnjih snažnih strojeva ni izdaleka ne zadovoljavaju.

Hidraulična je energija nadalje pogodna za strojeve kod kojih je potrebno imati mogućnost veoma osjetljive regulacije brzine i to u širokim granicama. Takvom zahtjevu dakako odlično odgovara i motor istosmjerne struje, ali taj motor mora imati posebni regulacijski uređaj. Regulacija u hidrauličnom sustavu je veoma jednostavna: ili se regulira veličina pritiska već u hidrauličnoj pumpi (npr. promjenom ekscentriciteta rotora spram kućišta u krilnim pumpama), ili regulacijskim ventilom u krugu hidrauličnog sustava. Oba načina omogućuju veoma dobru i široku regulaciju, gubici su mali, a posebnih uređaja za regulaciju gotovo da i nema. Automatizacija regulacije je jednostavna i lako promjenjiva.

Stanje i budući razvoj primjene pogonskih energija

Današnja je mehanizacija karakterizirana velikim jedinicama, velikih masa i velikih instaliranih snaga. Značajka uvjeta pod kojim se ta mehanizacija primjenjuje je sve jače zaoštavanje pitanja cijena koštanja finalnog proizvoda. Iz oba razloga rezultira trend k sve široj primjeni električne energije, koja je najsposobnija odgovoriti ovim zahtjevima, odnosno njenoj kombiniranoj primjeni s drugim energetskim sredstvima. Neka to ilustrira slijedeći primjer. U masovnom površinskom prijevozu jalovine i mineralne sirovine izrazito mjesto zauzimaju veliki kamioni istresaci (damperi) pogonjeni dizelskim motorima (slika 8).



Slika 8 Dizel-električni kamion marke Caterpillar model 797 nosivosti 360 t, snage 2537 kW , 1750 okretaja u minuti (Promidžbeni materijal tvornice Caterpillar).

Taj je pogon, kraj svih evidentnih prednosti, ipak skup. U cilju smanjenja instaliranih snaga u takvim super teškim vozilima, kao i smanjenja pogonskih troškova, pokušalo se, te uspješno i riješilo, kombinirati pogone: dizelski i električni. Dizelski motor u vozilu pogoni generator istosmjerne struje, a struja se dovodi elektromotorima u glavčinama pogonskih kotača. Time se postiglo da je otpao mehanički prijenos sile od motora do pogonskih kotača, što znači kvačila, mjenjača, kardanske osovine i diferencijala. Ovime je postignuta velika ušteda s jedne strane, a s druge znatno viša pogonska sigurnost, jer su nabrojeni elementi, s ogromnim brojem sastavnih dijelova od kojih svaki i najmanji može izbaciti vozilo iz pogona, skloni kvarovima. Druga je bitna prednost što se vozilo koči električki, a tek samo zaustavljanje odnosno držanje u zakočenom položaju, mehanički pomoću klasičnih kočnica. Kočnice mogu biti slabije dimenzionirane i znatno dulje traju. Glavna je prednost ovog kombiniranog načina pogona, da se na stalnoj trasi vožnje može položiti trolej vod, i da se vozilo može opskrbljivati električnom energijom iz mreže, koja je dakako jeftinija nego ona proizvedena u vlastitom, ugrađenom agregatu.

Dizelski su pogoni ograničeni ili na manje jedinice ili na strojeve odnosno uređaje gdje je primarni zahtjev maksimalna autonomnost (utovarači, LHD, traktorski skreperi, buldozeri, kamioni). Parni stroj i komprimirani zrak su napušteni potpuno za pogon radnih strojeva. Komprimirani se zrak koristi za pogon bušačkih alata i uređaja, te jamskih utovarača. To je uvjetovano time što se na takva radilišta dovodi komprimirani zrak radi bušenja ili zasipavanja, pa bi dovodenje i električne energije najčešće bilo skuplje od korištenja komprimiranog zraka i za pogon utovarača. Ovo tim više što se operacije bušenja i utovara vremenski ne poklapaju, pa ista količina zraka dostaje jednom za bušenje a drugi put za utovar. Kompresorsko je postrojenje na taj način jednoličnije iskorišteno i ujedno slabije kapacitirano. Komprimirani je zrak u svojoj otprilike stogodišnjoj službi čovjeku odigrao ogromnu ulogu, da bi razvojem hidraulike počeo uzmicati u njenu korist, pa će ga vjerojatno ubrzo potisnuti i kod pogona jamskih utovarača. Međutim komprimirani će se zrak zadržati duže vrijeme kao medij za pogon površinskih bušačkih garnitura kako za pogon dubinskih bušačkih čekića, tako i za iznošenje izbušenog sitneža iz dubokih minskih bušotina. Razlog je što komprimirani zrak ne zahtijeva recirkulaciju, što je slučaj s hidraulikom što u ovom slučaju komplicira ovaj sustav (povratni vodovi).

Tehnologija se rada u podzemnoj eksploataciji sve više razvija u pravcu kompleksnih radnji odnosno primjene kompleksne mehanizacije, tj. mehanizacije koja u jednoj jedinici ujedinjuje više, a ponekad i sve radne operacije ili faze. Dakako da tu dolazi u obzir primjena samo jedne vrste energije, najčešće električne odnosno s hidraulikom kao sekundarnim prijenosnikom. U uvjetima kad je to moguće primjenjuje se i mehanizacija na dizelski pogon, poglavito zbog izrazite prednosti u pogledu autonomnosti.

Na površinskim kopovima, poglavito na onim manjim kakvi su uglavnom zastupljeni u Hrvatskoj (kamenolomi i slično) mobilni strojevi s dizelskim odnosno hidrostatičkim pogonom (bageri, utovarači, buldozeri) postali su nezamjenjivi strojevi, koji uz svoju temeljnu namjenu obavljaju još cijeli niz neophodnih pomoćnih radnih operacija. Široka zastupljenost hidrostatičkih pogona na strojevima, uređajima i alatima koji se koriste na ovim kopovima je čitavi niz prednosti koje karakteriziraju taj pogonski sustav kao što su: jednako lako i jednostavno ostvarivo kako rotacijsko tako i pravocrtno gibanje; male mase po jedinici snage; fina bezstupanjaska regulacija brzine; mogućnost brzih i čestih reverziranja; lagano automatiziranje; visoke sile i visoki napusni momenti; jednostavan prijenos medija do potrošača; dislokacija pumpe i potrošača; jednostavna zaštita od preopterećenja; otpada podmazivanje, jer je sam fluid ujedno i mazivo. Prednost hidrostatičkog pogona nad drugim energetskim sustavima ogleda se naročito na onim mjestima, gdje je potrebno proizvesti sporo pravocrtno gibanje uz dovoljno velike sile, a to su upravo navedeni strojevi. Postizanje takvog pravocrtnog gibanja komprimiranim

zrakom nije prihvatljivo zbog ostvarenja malih pritisaka i time i malog energetskog potencijala. Za ilustraciju ove tvrdnje uzmimo cilindar radnog elementa bagera koji mora razviti silu od 1 MN. S hidraulikom pritiska 30 MPa morat će promjer cilindra iznositi ≈ 20 cm, a u slučaju komprimiranog zraka pritiska 1 MPa iznosio bi ≈ 125 cm.

5. FIZIČKE I TEHNIČKE ZNAČAJKE STIJENA

Ako se rudarski stroj ne promatra samo kao skup mehaničkih dijelova nego i u međusobnom djelovanju s radnom okolinom odnosno u interakciji stroj-okolina, jasno je da će trebati poznavati i stroj ali i svojstva i osobitosti okoline.

Različita fizikalna svojstva stijena izvanredno jako utječu na izbor tipa i vrste mehanizacije, na dimenzioniranje raznih dijelova i sklopova, na habanje, trošenje odnosno trajnost, na pogonske troškove, troškove održavanja, nabavnu cijenu, na mogućnost ili nemogućnost primjene određene mehanizacije te konačno na efikasnost.

Sklop ili struktura stijena

Sklop ili struktura stijene je oblik, veličina i veza među mineralnim sastojcima dok je tekstura raspored mineralnih sastojaka. Razlikuje se:

- kristalasto-zrnasta (granit, mramor),
- porfirna (porfiri i sl.),
- jedra ili kriptokristalasta (vapnenac, lapor, hematit),
- pješčano-zrnasta ili psamitska (pješčenjaci),
- glinasta ili pelitska (glina, lapor),
- odn. kod ugljena:
- jedra i
- drvenasta (ksilitna) struktura.

Stijenska masa je masivne (jedre), slojevite, škriljaste, raspucane strukture kod vezanih stijena, poluplastične strukture kod poluvezanih stijena i sipka kod nevezanih stijenskih masa.

Škriljasta struktura znači paralelan raspored mineralnih sastojaka. Izlučenost (klivaž) je sistem prslina koje ugljeni sloj presijecaju u jednom ili više pravaca pa može biti po pružanju, po padu ili dijagonalna odn. kombinirana. Izlučenost olakšava odvajanje ugljena iz sloja a utječe i na krupnoću dobijenog proizvoda.

Gustoća

Gustoća je posljedica mineralnog sastava i stupnja zbijenosti materijala. Razlikuje se:

- specifična gustoća – to je masa jedinice volumena potpuno zbijenog materijala, bez pora. Utvrđuje se tako da se materijal zdrobi u prah i potopi u tekućinu. Porast mase u omjeru s porastom volumena daje specifičnu gustoću,
- volumna gustoća (ρ_2) – je masa jedinice volumena materijala s porama i svim prirodnim šupljinicama. Za uzorak se uzima jedan komad – blok stijene.
- nasipna gustoća (ρ_3) – je masa nakopane stijenske mase u jedinici volumena. U takvom se volumenu komadi stijene slažu slučajno i nepravilno tvoreći više ili manje malih do prilično velikih šupljina – slobodnih, nezapunjenih prostora. Kod razmatranja kapaciteta transportnih i utovarnih uređaja uvijek treba

operirati s nasipnom gustoćom. Ona je manja od volumne za koeficijent rastresanja tj.

$$\rho_3 = \frac{\rho_2}{k_r}$$

[1]

U slijedećoj tablici prikazane su sve tri gustoće i koeficijent rastresitosti za niz materijala.

Tablica 1. Gustoće i koeficijent rastresitosti za neke materijale

Materijal	Specifična gustoća	Volumna gustoća	Nasipna gustoća	Koeficijent rastresitosti
Granit	2.65 – 2.75	2.53 – 2.63	1.6	1.6
Dijabaz	2.85 – 3.15	2.80 – 3.00	1.7	1.7
Vapnenac (jedri)	2.70 – 2.90	2.65 – 2.85	1.6	1.7
Pješčenjak	2.60 – 2.76	1.65 – 2.19	1.15	1.5
Lapor	2.56 – 2.86	1.63 – 2.63	1.3	1.25
Ruda Pb-Zn	4.23 – 4.73	4.01 – 4.62	2.8	1.43

Hidrofizičke značajke

Od svih, ovdje je od interesa samo vodoupijanje i bubrenje kad gline mogu povećati volumen do 50 % i više. To se može pojaviti kod mokrog bušenja i izazvati probleme, ili kod utovara, transporta i uskladištenja takvih masa, kad se u toku manipulacije mijenjaju težina i volumen. Popratna pojava, redovito vrlo neugodna, je ljepljivost, što uzrokuje hvatanje materijala na trakama, valjcima i bubnjevima transportera s beskonačnom trakom, uljepljivanje lanaca i prečki kod grabljastih transportera, naljepljivanje materijala u posudama vagoneta, skipova, kamiona, na noževima buldozera, u posudama traktorskih i vučnih skrepera, u lopatama i vjedricama bagera i utovarača i konačno zaljepljivanje reznih dijelova strojeva za dobivanje. Ova pojava ili smanjuje učinkovitost ili povećava utrošak energije a najčešće oboje.

Slijedeća neugodna značajka ove pojave je bujanje materijala «in situ» - podini, krovini ili bokovima jamskih prostorija, što izaziva probleme s održavanjem tih prostorija odn. S održavanjem trasa transportnih sredstava – gumenih transportera i kolosijeka. Razmekšana glinasta masa na tlu transportnih puteva otežava kretanje vozila i strojeva na gumenim kotačima, smanjuje prianjanje guma za podlogu, smanjuje silu zarivanja lopate u materijal pri utovaru, smanjuje sposobnost savladavanja uspona ili nagiba i povećava naprezanje i trošenje strojeva i potrošnju goriva.

Mehaničke značajke stijena

Tvrdoća je otpor nekog tijela prodiranju drugog (tvrđeg) tijela, pa je zbog toga od utjecaja na otpore pri bušenju, kopanju i sličnim radovima u rudarstvu.

Mohsova skala predstavlja proizvoljno odabrane vrijednosti tvrdoće za 10 minerala:

- | | | |
|-----|----------------|-----------|
| 1. | Talk (milovka) | tvrdoća1 |
| 2. | Gips | tvrdoća2 |
| 3. | Kalcit | tvrdoća3 |
| 4. | Fluorit | tvrdoća4 |
| 5. | Apatit | tvrdoća5 |
| 6. | Glinenac | tvrdoća6 |
| 7. | Kremen | tvrdoća7 |
| 8. | Topaz | tvrdoća8 |
| 9. | Korund | tvrdoća9 |
| 10. | Dijamant | tvrdoća10 |

pri čemu su samo početna i krajnja vrijednost nedvojbene: ne postoji u prirodi mineral mekši od talka i tvrđi od dijamanta. Stvarni odnos tvrdoća u ovoj skali je otprilike eksponencijalan, što znači da je dijamant u odnosu na talk (tvrdoća x) tvrđi za x^{10} puta. U rudarstvu se ova tvrdoća ne koristi.

Skleroskopska tvrdoća se utvrđuje metodom odskoka po Shore-u, pri čemu se u odgovarajućem aparatu na horizontalno uglačani uzorak pušta da s određene visine padne uteg određene mase sa zaobljenim dijamantnim vrhom te se bilježi visina do koje je uteg odskočio. Tvrdoća se iskazuje u Shore-ovim jedinicama (1 – 100). Rezultati dobiveni na stijenama i rudama ne mogu se uspoređivati s rezultatima na metalima, drvetu ili ugljenu jer se moduli elastičnosti, što je osnova ove metode, znatno razlikuju. Ova je metoda našla već širu primjenu u rudarstvu.

Utisna tvrdoća ugljena po Sauberlich – u određuje se pomoću uređaja s konusnom iglom (zašiljenje 10°) i izražava veličinom pritiska (N/mm^2) koji je potreban da bi se igla utisnula u pločicu ugljena do dubine od 3 mm. Raspon tvrdoće je od 50 do 1150 N/mm^2 .

Čvrstoća je otpor materijala prema vanjskim silama koje nastoje razoriti (slomiti) uzorak stijene pod djelovanjem tlaka, vlaka, savijanja, smicanja, čemu odgovaraju odnosne čvrstoće. Od interesa za ovu materiju su samo čvrstoća na smicanje (pri bušenju) i čvrstoća na tlak. Uobičajilo se naime da se umjesto svih klasifikacija u vezi s bušenjem i dobivanjem navodi čvrstoća stijena na tlak. Najraširenija klasifikacija po M. M. Protodakonovu ima za osnovu ovu čvrstoću.

Žilavost odnosno krtost, kao oponentne osobine, je otpor protiv djelovanja dinamičkih sila – to je dinamička čvrstoća. Pojavljuje se kao čimbenik pri onim procesima u rudarstvu kad sila djeluje na stijenu u mahovima, diskontinuirano, pulzirajuće. To se pojavljuje kod rada udarnih drobilica i u manjoj mjeri kod rotornih bagera i kod bagera vedričara te kod dinamičkih strugova za ugljen. Metoda za ispitivanje ove tvrdoće je ili na principu pada određenog utega ili na principu njihajućeg utega, pri čemu se uteg podiže sve više dok se uzorak konačno ne slomi. Mjera žilavosti je, najopćenitije rečeno, rad potreban da se uzorak slomi.

Tehničke značajke

Rastresitost je osobina iskopanog ili izminiranog stijenskog materijala da ima veći volumen nego kad je bio u cjelini, in situ. Zavisí o strukturi i mineralnom sastavu, tvrdoći i žilavosti i prije svega od stupnja usitnjenosti. Izražava se koeficijentom rastresitosti:

$$K_r = \frac{V_r}{V_m} = \frac{\rho_2}{\rho_3} \quad [2]$$

gdje je:

V_r - volumen materijala u rastresitom stanju

V_m - volumen materijala u masivu

Taj je koeficijent manji kod mekših i nevezanih stijena, a veći kod tvrdih i žilavih. Od najvećeg utjecaja na koeficijent rastresitosti su stupanj usitnjenja i granulometrijski sastav što ilustrira slijedeća tablica:

Tablica 2 Promjena koeficijenta rastresitosti ovisno o granulometrijskom sastavu

Komadi dimenzija do mm	400	600	800	1000	1200	1300	1400	2000
Težinski sadržaj tih komada %	20 - 25			10 - 15	20-25	20-40	40-45	60
Koeficijent rastresitosti	1.2	1.3	1.5	1.45	1.55	1.6	1.75	2.0

Kod projektiranja odnosno dimenzioniranja utovarnih, pretovarnih i transportnih sredstava, sipki, bunkera, depo-a i jalovišta treba ovome posvetiti posebnu pažnju i po mogućnosti ne baratati s iskustvenim vrijednostima već prethodno točno utvrditi ove koeficijente.

Držanje ili stabilnost je sposobnost sipkih tj. iskopanih ili izminiranih masa da se drže na ravnoj podlozi u obliku stošca bez pridržavanja sa strane. Ta je osobina posljedica kuta unutarnjeg trenja – statičkog i dinamičkog, prema čemu se i razlikuje statička i dinamička stabilnost. Kod utovarnih i transportnih sredstava, bunkera i jalovišta koristi se ova osobina.

Otpor prema bušenju ili bušivost ima dva aspekta: pasivni – otpor stijena prodiranju bušaćeg alata i izražava se brzinom bušenja (mm/min) i aktivni – djelovanje stijena na alat odn. habanje, trošenje alata. Na bušivost stijena utječu čvrstoća, tvrdoća i žilavost, a na habanje alata uglavnom mineralni sastav tj. prisutnost minerala sa izrazitim abrazivnim svojstvima uglavnom onih s kremenom u svom sastavu. Ispitivanje aktivnog i pasivnog otpora je moguće terensko i laboratorijsko. Preporuča se primjena terenskih ispitivanja kao i korištenje tih rezultata jer je laboratorijsko (metodama prema Sivers-u i Sheperd-u) suviše umjetno tj. nerealno pa su i rezultati teško prenosivi na realne uvjete. Terensko se ispitivanje svodi na bušenje konkretne stijene konkretnom bušilicom te na mjerenje učinka bušenja (mm/min) odnosno vaganjem stupnja habanja. Detaljan i precizan opis stijene, bušilice i bušaćeg alata, nužan je pratilac ocjene o bušivosti.

Kritični pritisak je minimalni pritisak koji je potreban da bi bušaći alat mogao zadrijeti u stijenu pri rotacionom bušenju.

Otpor prema rezanju (glodanju) ili rezivost je važna osobina za određivanje i odabiranje načina dobivanja i vrste odgovarajućeg stroja. Mjera je indirektna i zbog toga prilično problematična – utrošena energija na jedinicu dobivene rude. Ova problematičnost je posljedica činjenice što je krajnji efekt – utrošak energije, posljedica dvaju čimbenika: rezivosti stijene i stanja, vrste, geometrije i sl. reznog alata. Jasno je da će tupi alat iziskivati veći utrošak energije i slabo rezati. Uspoređivati bi se mogli samo rezultati postignuti potpuno identičnim alatima jednakog stanja istrošenosti, varirajući vrstu stijene – što je dakle određivanje najpogodnijih vrsti stijena za određeni stroj ili varirajući razne alate za jednu određenu vrstu stijene – što je određivanje najpogodnijeg stroja za konkretnu stijenu. Egzaktna ispitivanja, iskustva i rezultati u toj problematici su još veoma skromna. Strojevi za dobivanje se grde na temelju empirije pa se zatim poboljšavaju, prilagođavaju i dalje razvijaju. Za to stanje ima i opravdanja jer su stijene među sobom toliko različite zahvaljujući velikom broju čimbenika tako da je neko generaliziranje ili egzaktno utvrđivanje načina djelovanja svakog od tih faktora a pogotovo u zajedničkom, sumarnom efektu, jedva moguće.

Otpor prema struganju nije, u biti, ništa drugo nego i otpor prema rezanju. Brzine noževa su u prvom slučaju veće (1.5 do 2.5 m/s) prema brzini noževa kod struganja (~0.3 do ~0.5 m/min). Put noža je u prvom slučaju pravolinijski i (ili) kružni, zavisno od vrste stroja odn. njegovog radnog organa, dok je kod struganja uvijek samo pravolinijski. Kako te dvije činjenice utiču na radni efekt odnosno na specifični utrošak energije, malo je još poznato. Oblik, raspored i broj noževa te širina zahvata kao i niz drugih čimbenika nije poznato sasvim točno kako djeluje. U tom pogledu nema još nedvojbenih, utvrđenih i provjerenih konačnih spoznaja.

Otpor na struganje se određuje npr. uređajem po Williamsu. To je standardni nož koji se povlači po slobodnoj plohi ugljena na radilištu i registrira utrošena snaga. Kakvom analogijom se ovako dobivena ocjena može primijeniti na stvarni uređaj za dobivanje pomoću pluga nije poznato. Svi elementi noža u ispitnom uređaju i onoga na plugu se razlikuju.

Klasifikacija stijena

Klasična mineraloško-petrografska klasifikacija stijena je za rudara nedovoljna. Pri razmatranju bušenja, dobivanja, pridržavanja otkopanih prostora i slično, rudaru neće biti dovoljno da zna npr. da se radi o vapnencu. Uz taj pojam bi trebalo nadovezati i pobliži opis, što bi otežavalo sporazumijevanje i jednoznačno shvaćanje. Zato je uvedena klasifikacija po čvrstoći (M. M. Protođakonov) gdje su stijene svrstane u 15 grupa (klasa) s pripadajućim koeficijentom (od 0.3 – 20) što je ustvari čvrstoća na pritisak podijeljena sa 100.

Tablica 3 Klasifikacija stijena prema M. M. Protođakonovu (Preuzeto iz N. Popović: Osnove projektovanja u rudarstvu)

KLASIFIKACIJA STIJENA PO M. M. PROTOĐAKONOVU

Kategorija	V r s t a s t i j e n e	Koefi- cijent f
I Vrlo čvrste	Najčvršći jedri i žilavi kvarcit i bazalt. Izvanredno čvrsti ostali stijenski materijal.	20
II Vrlo čvrste	Vrlo čvrste zrnaste stijene, kvarcni porfir, vrlo čvrsti granit, škrljasti kvarcit, manje čvrsti kvarciti, najčvršći pješčenjaci i vapnenci.	15
III Čvrste	Granit (sitnozrni) i druge eruptivne zrnaste stijene. Vrlo čvrsti pješčenjaci i vapnenci. Kvarcne rudne žile. Čvrsti konglomerat. Čvrsti kvarciti. Čvrste rude željeza.	10
IIIa Čvrste	Vapnenci (čvrsti). Slab granit. Čvrsti pješčenjaci. Čvrsti mramor, dolomit. Pirit.	8
IV Umjereno čvrste	Ispucani kvarcit. Obični pješčenjaci. Rude željeza (srednje čvrstoće).	6
IVa Umjereno čvrste	Pjeskoviti glineni škrljavci. Škrljasti vapnenci.	
V Umjereno čvrste	Čvrsti glineni škrljavac. Slab pješčenjak i vapnenac, mekani konglomerat.	4
Va Umjereno čvrste	Različiti škrljavci, slabiji. Jedar laporac, ispucani, kvarcit, slabije rude željeza.	3
VI Mekane	Mekani škrljavac, vrlo mekani vapnenac, kreda, kamena sol, gips. Smrznuta zemlja. Antracit Lapor. Raspucani pješčenjak, slijepljeni šljunak, kamenita zemlja.	2
VIa Vrlo mekane	Šljunkovita zemlja. Raspadnuti škrljavac, slegnuti šljunak i drobina, čvrsti kameni ugljen, otvrdnuta glina, vlažna ruda željeza.	1,5
VII Vrlo mekane	Glina (zbijena), kameni ugljen srednje čvrstoće, čvrsti nanos, glinovita zemlja.	1
VIIa Vrlo mekane	Laka pjeskovita glina, les, mekani ugljen.	0,8
VIII Zemljaste	Orača zemlja, treset, les, glinoviti pijesak, nečisti pijesak.	0,6
IX Rastresite	Pijesak, osulina, sitan šljunak, nasuta zemlja, iskopani ugljen.	0,5
X Tekuće	Mokar pijesak, blatnjavo zemljište, raskvašeni les.	0,3

Klasifikacija prema bušivosti (SAD) izvedena na temelju brzine bušenja pomoću određenog bušačkog čekića pod određenim uvjetima i s određenim alatom bi bila interesantna i korisna kad bi se poznavali ti uvjeti i kad bi stijene bile specificirane, a ne samo svrstane u šifrirane grupe.

Jedinstvena klasifikacija stijena i mineralnih sirovina po bušivosti Rudarskog instituta Akademije nauka bivšeg SSSR-a je najcjelovitija i iz aspekta koji se obrađuje u ovoj materiji najkorisnija. Klasifikacija je izvedena na temelju brzine bušenja pomoću ručnog bušačkog čekića težine 22 kg uz pritisak komprimiranog zraka 4.5 ± 0.25 at sa automatskim potiskivanjem; koristi se dlijeto s jednim sječivom s umetkom od tvrde legure, promjeru glave 42 mm i kutem oštice 110° . Buši se 1 m duboko uz ispuhivanje bušotine.

Tablica 4 Klasifikacija stijena i mineralnih sirovina po bušivosti Rudarskog instituta Akademije nauka bivšeg SSSR-a (Preuzeto iz N. Popović: Osnove projektovanja u rudarstvu)

JEDINSTVENA KLASIFIKACIJA STIJENA PO BUŠIVOSTI (AN SSSR)

Klasa stijene	Karakteristične stijene i rude	Brzina čistog bušenja mm/min	Vrijeme bušenja minske rupe, min/m'	Koeficijent čvrstoće po Protođakonovu, f
1	Jedri mikrokvarciti	31	32	35
2	Vrlo jedri kvarciti	40	25	25
3	Jedriji kvarciti i bazalti, andeziti, magneziti	50	20	20
4	Vrlo jedri andeziti i dijabazi	60	17	17
5	Kvarcni porfir	75	13	13
6	Kvarcni pješčenjaci, silificirani vapnenac, pirit	90	11	11
7	Jedar granit, žilna ruda željeza	110	9	9
8	Jedar pješčenjak, jedar vapnenac	130	8	8
9	Pješčenjak, načeti granit, siderit	160	6	6
10	Pjeskoviti škriljavci, jedar boksit	200	5	5
11	Slabiji pješčenjak, vapnenac, krupnozrne Pb-Zn sulfidne rude	250	4	4
12	Jako načete eruptivne stijene načeti kloritski škriljavci	300	3,5	3
13	Meki škriljavci, mekani laporac, kaolinizirane eruptivne stijene, kameni ugljen	350	2,9	2
14	Potpuno raspadnuti škriljavci, kameni ugljen, cerusit	400	2,5	1,5
15	Gips, kameni ugljen s jasnim klivažom, mrki ugljen, tvrda glina	500	2	2
16	Plovućac, biger, mekani ugljen	600	1,7	0,8

Klasifikacija prema mogućnosti dobivanja (SSSR) je bazirana na klasifikaciji stijena po Protođakonovu a toliko je uopćena da jedva ima praktično značenje.

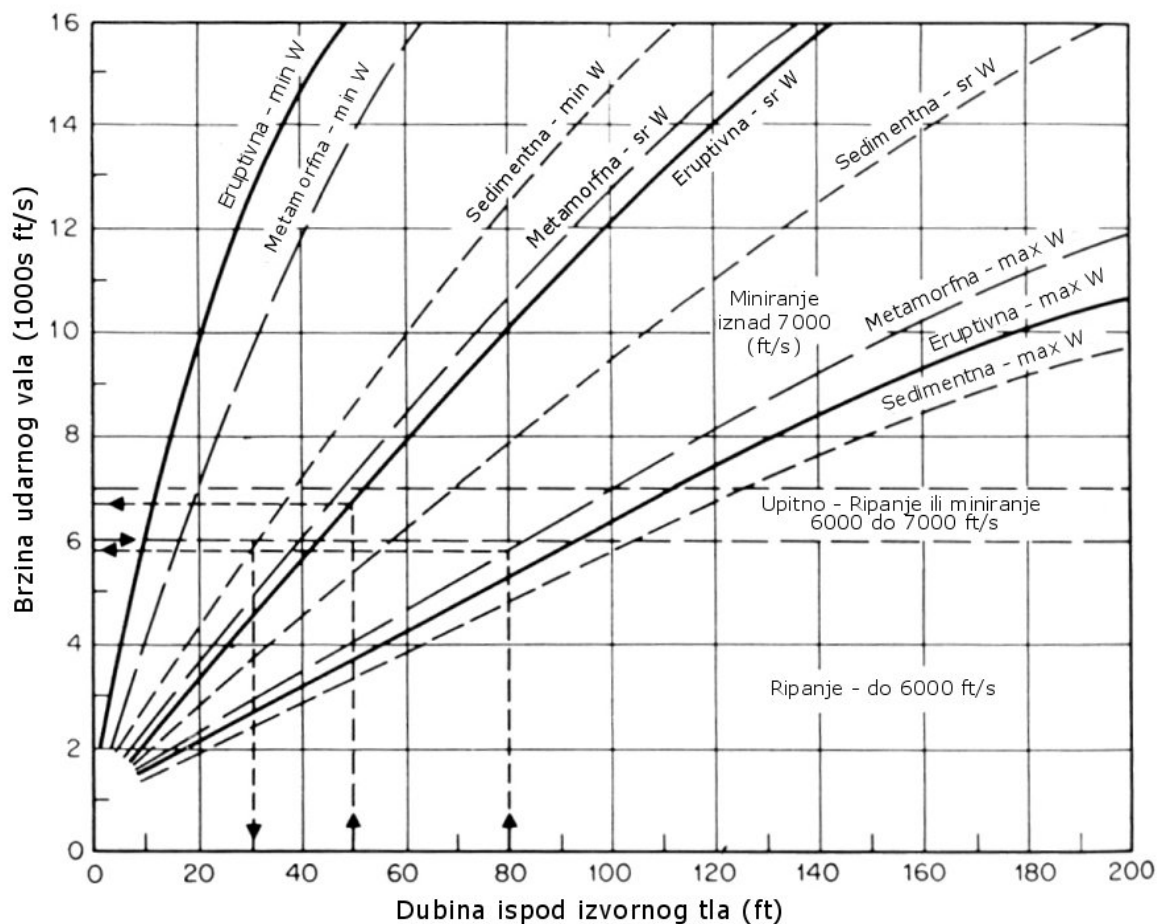
Klasifikacija stijena prema abrazivnosti prema L. I. Baronu je dobivena na temelju laboratorijskih ispitivanja na standardiziranim uzorcima a za pokazatelj ima gubitak mase uzorka u miligramima (Tablica 5).

Vrlo često se stijene dijele s obzirom na brzinu rasprostiranja seizmičkih valova na temelju čega se prethodno određuje mogućnost primjene određene tehnologije iskopa (mehanički iskop ili upotreba eksploziva). Na slici 9 je prikazan nomogram iz kojeg se na temelju brzina rasprostiranja seizmičkih valova, dubine iskopa ispod površine terena, vrste stijene te stupnja rastrošenosti w (minimalni – min., srednji – avg., te maksimalni – max.) može odrediti mogućnost primjene određene tehnologije iskopa (Ripping – rijanje buldozerom s rijačem, Blasting – bušenje i miniranje). Nomogram je dobiven na temelju mjerenja brzine seizmičkih valova na 6100 lokacija iskopa stijenskog materijala u SAD-u.

Tablica 5 Klasifikacija stijena prema abrazivnosti po L. I. Baronu (Preuzeto iz N. Popović: Osnove projektovanja u rudarstvu)

KLASIFIKACIJA STIJENA PO ABRAZIVNOSTI

Kategorija i stupanj abrazivnosti		Pokazatelj abrazivnosti „a”, mg	Karakteristične stijene u kategoriji
I	Izrazito slabo abrazivne stijene	do 5	Vapneneci, mramor, mekani sulfidi bez kvarca (galenit, sfalerit, pirotin) apatit, kamena sol
II	Malo abrazivne stijene	5–10	Sulfidne rude, baritne sulfidne rude, argiliti
III	Nešto više abrazivne stijene	10–18	Džespiliti, serpentiniti, magmatske sitnozrne stijene, kvarcni pješčenjaci, željezne rude, kvarcni vapnenci
IV	Srednje abrazivne stijene	18–30	Kvarcni pješčenjaci, sitnozrni dijabazi, krupnozrni pirit, arsenopirit, žilni kvarc, kvarcno-sulfidne rude, sitnozrne magmatske stijene, kvarcni vapnenci
V	Znatno abrazivne stijene	30–45	Srednje i krupnozrni pješčenjaci, plagiograniti, nefelinski sijeniti, sitnozrni graniti, sitnozrni dioriti, porfiriti, gabro, gnajs
VI	Povišeno abrazivne stijene	45–65	Srednje i krupnozrni graniti, dioriti, granodioriti, porfiriti, sijeniti, amfiboliti, kvarcni gnajs
VII	Visoko abrazivne stijene	65–90	Porfiriti dioriti, graniti, granitoidni nefelinski sijeniti
VIII	Izrazito abrazivne stijene	>90	Stijene sa sadržajem korunda



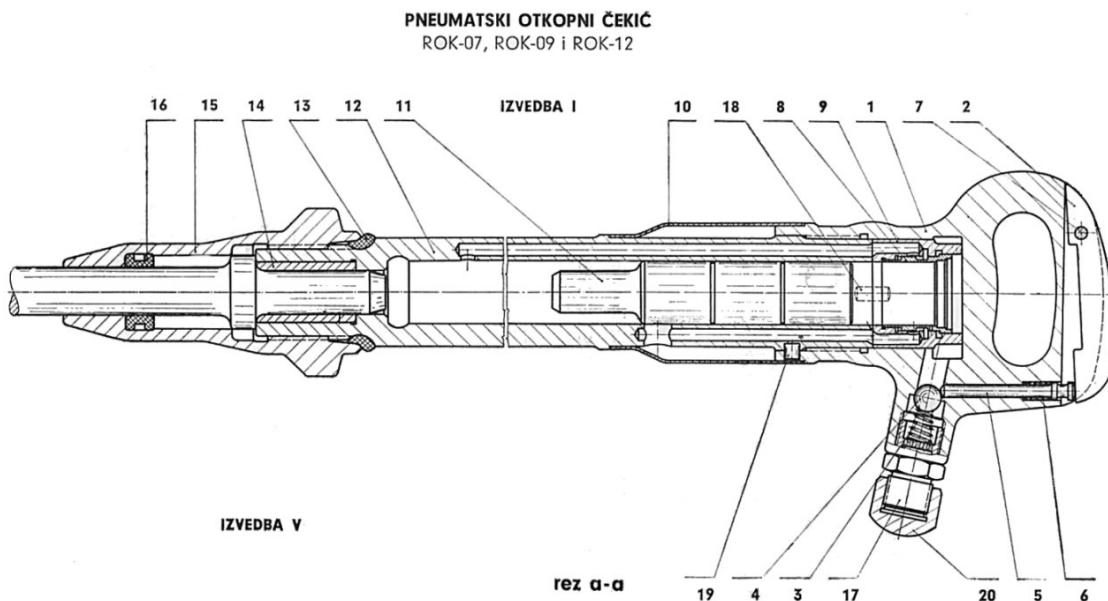
Slika 9 Klasifikacija stijena prema brzini rasprostriranja seizmičkih valova (Preuzeto iz Curch, H. K.: Excavation handbook)

6. RUČNI OTKOPNI ČEKIĆI

Ove se alatke zovu čekići jer je princip rada potpuno sličan nekada primjenjivanom ručnom načinu rada s čekićem i dlijetom. Čekić je zamijenjen stapom pogonjenim komprimiranim zrakom ili hidrauličnim uljem pod pritiskom, a ljudska živa sila, silom koju oslobađaju ovi energetske nositelji.

Otkopni čekić kao ručna alatka za dobivanje ugljena, čemu je prije uglavnom bio namijenjen, izgubio je tu ulogu. Zamijenilo ga je potpuno mehanizirano otkopavanje. U određenim slojnim prilikama - strmim veoma tankim slojevima kamenog ugljena, ovi čekići još u izvjesnoj mjeri nalaze primjenu. Primjenjuju se još ponekad za čišćenje radilišta, odvaljivanje ostataka ugljena u krovini ili podini nakon miniranja ili strojnog otkopavanja. Na površini još služi kao pomoćna alatka pri raznim manjim geotehničkim radovima.

Otkopni se čekić sastoji iz (slika 10): kućišta, rukohvata, stapa, dlijeta odnosno klina, razvodnog ventila, upusnog ventila i zaštitnog tuljca.



Slika 10 Ručni otkopni čekić pogonjen komprimiranim zrakom (Promidžbeni materijali tvornice Železarne Ravne)

Kučište (12) je šuplji valjak u kojem se giba stap (11), zatvoren sprijeda tuljcem (15) i dlijetom a straga rukohvatom (1). U stjenci su uzdužno izrađeni kanali za dovod-odvod komprimiranog zraka (9, 19), a poprečno otvori za ispuh zraka u atmosferu.

Rukohvat služi za držanje čekića i ujedno je u njemu smještena polužica upusnog ventila (5). Ova je polužica smještena i podešena tako da se čekić pušta u rad kad ga se drži rukom, a zaustavlja se kad ga se ispusti iz ruke. To je učinjeno dakako namjerno, da čekić ne može raditi izvan kontrole zaduženog radnika.

Stap je onaj dio koji će pod djelovanjem sile pritiska komprimiranog zraka dobiti izvjesnu kinetičku energiju koju će na kraju svog puta u kućištu predati dlijetu prilikom sraza s njim.

Dlijeto je radni element. Njegov je zadatak da se svojim klinastim vrhom zabija u stijenu. U tu se svrhu traže slojne i druge pukotine, jer samo u tom slučaju može djelovati kao klin. U homogenim materijalima, mekim i plastičnim, dlijeto će se samo zabijati (kao čavao!), dok će u homogenim tvrdim i žilavim materijalima klinasti vrh odskakivati i ubrzo se potpuno zatupiti. Već iz ovog slijedi da otkopni čekić nije bio svugdje primjenjiv, odnosno da je radnik morao imati iskustva kako ga koristiti. Dlijeto svojim suprotnim krajem (usadnikom) ulazi u čekić i zatvara otvore za odvod komprimiranog zraka u praznom radu. Ako dlijeto nije pritisnuto o stijenu čekić neće proraditi, iako će komprimirani zrak kroz njega prostrujavati i beskorisno se trošiti. Ovo rješenje nisu imali uostalom svi tipovi čekića.

Razvodni ventil (8) automatski dovodi komprimirani zrak jednom pred stap, a časak zatim iza njega, što rezultira radnim i povratnim gibanjem stapa. Ta je automatičnost postignuta oblikom razvodnika, kombinacijom djelovanja sile komprimiranog zraka ispred i iza stapa i položajem ispusnih otvora.

Upusni je ventil jednostavni opružni ventil koji pod djelovanjem ugrađene opruge (3) drži prekinut dovod komprimiranog zraka (17), a tek djelovanjem rukom, silom suprotnom i većom od sile opruge, omogućava se ustrojavanje komprimiranog zraka u čekić.

Zaštitni tuljac ima zadatak pridržavanja i ukrućenja dlijeta u uzdužnom smjeru, te omogućiti zabijanje čekića dublje u stijenu nego što je slobodna dužina dlijeta. Cijeli je čekić time dobio oblik klina.

Način rada

Pritiskom ruke na polužicu u rukohvatu potiskuje se, tj. otvara upusni ventil, čime se komprimirani zrak dovodi u čekić. Zrak ulazi u cilindar čekića kroz vijenac otvora na njegovom plaštu. Razvodni ventil mora biti u položaju da otvara te otvore. Zrak ulazi u cilindar, koji je sprijeda (gledano prema dlijetu) zatvoren pomičnim stapom. Zahvaljujući stalnoj sili

$$F = p' \cdot A \text{ [N]},$$

gdje su:

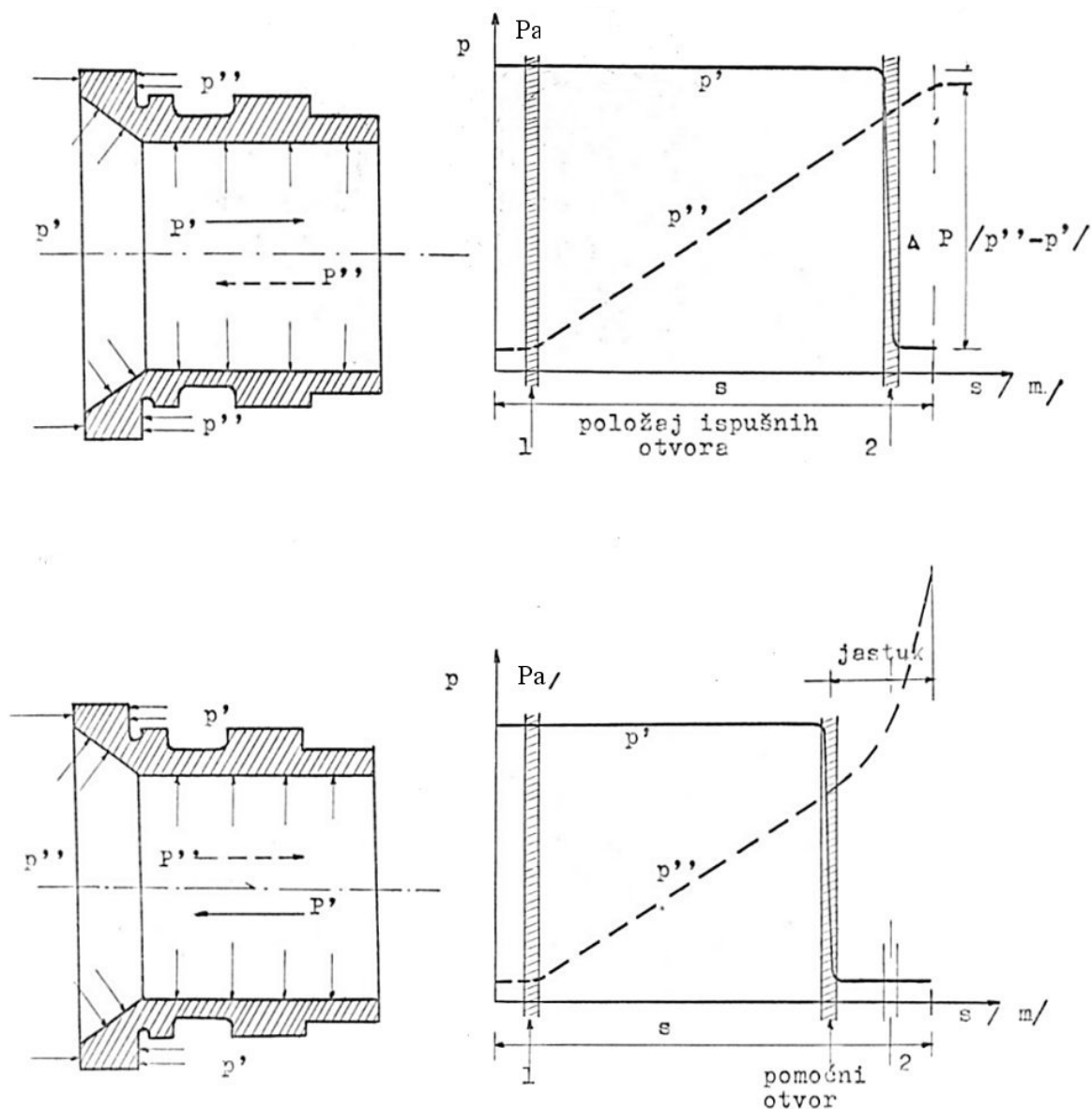
p' [Pa] ... pritisak komprimiranog zraka u cilindru,

A [m²] ... površina čela stapa,

stap će se gibati jednolikim ubrzanjem a , dosižući na kraju puta s neku određenu brzinu v . Kao produkt mase stapa m_s i kvadrata krajnje brzine, rezultirati će kinetička energija stapa, koja se pri srazu predaje dlijetu i pretvara u koristan rad.

Stap svojim prednjim čelom potiskuje zrak koji se nalazi u cilindru i istiskuje ga kroz uzdužne kanale i otvor na kućištu u atmosferu. To je istjecanje praćeno izvjesnim komprimiranjem zraka, jer spoj s atmosferom nije kratki spoj, već posredni preko dugih kanala, uslijed čega nastaje prigušenje i kompresija. Otvor u plaštu cilindra je smješten nešto prije kraja hoda stapa. Kad stap pređe otvor, zatvori ga, i daljnje istjecanje nije više moguće. Preostala se količina zraka komprimira u pravom smislu riječi, i zaustavlja stap da ne udari u čelni dio kućišta. Prethodno je stap udario u usadnik dlijeta i predao svoju energiju. Stap je pri ovom gibanju otvorio svojim stražnjim čelom otvore u kućištu koji kratko spajaju prostor cilindra iza stapa s atmosferom. Kad se to dogodi, natpritisak u cilindru naglo pada na (gotovo) nulu, odnosno pritisak se gotovo izjednači s atmosferskim.

Konfiguracija razvodnog ventila i veličine specifičnih pritiska zraka na pojedine njegove dijelove prouzrokuje njegovo prebacivanje u položaj koji dovodi ulazni, svjež i komprimirani zrak pred stap, što uzrokuje njegovo povratno gibanje. To će objasniti skica i dijagram na slici 11. Pritisak p' je pritisak komprimiranog zraka koji se privodi čekiću, a p'' je pritisak zraka kojeg stap istiskuje posredno u atmosferu. Taj je zrak na svom putu doveden i do kliznog razvodnika, i djeluje na plohe kao na slici 11. Iz dijagrama je vidljivo da je p' konstantan sve dok stap ne otvori ispusne otvore, kada uslijed kratkog spoja dolazi do naglog pada tog pritiska. S druge strane pritisak p'' gotovo i ne postoji dok stap prednjim čelom ne zatvori ispusni otvor, a zatim dolazi do kompresije. Pritisak p'' stalno raste kako raste i brzina gibanja stapa, jer je i prigušenje, kao posljedica, sve veće. Kad stap stražnjim čelom otvori ispusni otvor, pritisak p' pada naglo na (gotovo) nulu dok p'' ima u tom momentu maksimalnu vrijednost.



Slika 11 Princip rada ručnog otkopnog čekića

Rezultantne sile F' i F'' mijenjaju se dakako u istoj mjeri, pa će u opisanom trenutku F' nestati, i na razvodnik će djelovati samo F'' - i pomaknuti ga ulijevo. Razvodnik će time svojim tijelom zatvoriti vijenac otvora, a komprimirani će zrak, zahvaljujući vanjskoj konfiguraciji razvodnika i položaju prstenastog utora u kućištu, sada prolaziti kroz uzdužne kanale i dospjeti ispred stapa. Stap počinje povratno gibanje i potiskivanje zraka u stražnjem dijelu cilindra najprije kroz ispušni otvor, a kad ga stražnjim čelom prekrije, kroz otvor u kućištu, prstenasti utor, uzdužni kanal i konačno kroz pomoćni otvor u atmosferu. Kako to više nije istjecanje u kratkom spoju, već indirektno, to će uslijed prigušenja doći do rastuće kompresije (crta p'' , slika 11), jer se i u ovom slučaju stap giba s ubrzanjem. Kad stap u svom gibanju zatvori i pomoćni otvor, preostali se dio zraka intenzivno komprimira. Istovremeno će stap svojim prednjim čelom otvoriti ispušni otvor, i pritisak p' će naglo spasti gotovo na nulu. Sile F' i F'' će se mijenjati kao i pritisci p' i p'' . U opisanom će trenutku sila F'' imati maksimalnu vrijednost a F' spasti na nulu, što rezultira pomicanjem razvodnika udesno, time otvaranjem vijenca otvora pred razvodnikom i dovođenjem svježeg komprimiranog zraka ponovo iza stapa, odnosno početkom novog ciklusa.

Zrak koji je ostao zatvoren u cilindru nakon što je stap zatvorio u povratnom gibanju i pomoćni otvor služi kao "jastuk", sprečavajući da stap ne udari u stražnju stjenku kućišta i ozbiljno oštetiti odnosno onesposobi čekić.

Izvedbe i pogonske značajke

Oblikom i dimenzioniranjem otvora, kanala, stapa, cilindra i razvodnika, odabiranjem mase stapa, razvodnika i samog čekića, te konačno pogonskim pritiskom komprimiranog zraka određene su i pogonske značajke. Masa je čekića ograničena zahtjevom za relativno lakim i pogodnim rukovanjem. Čekići se dijele na lake i teške obzirom na njihovu masu. Na slici 12 navode se glavne tehničke značajke za neke otkopne čekiće.

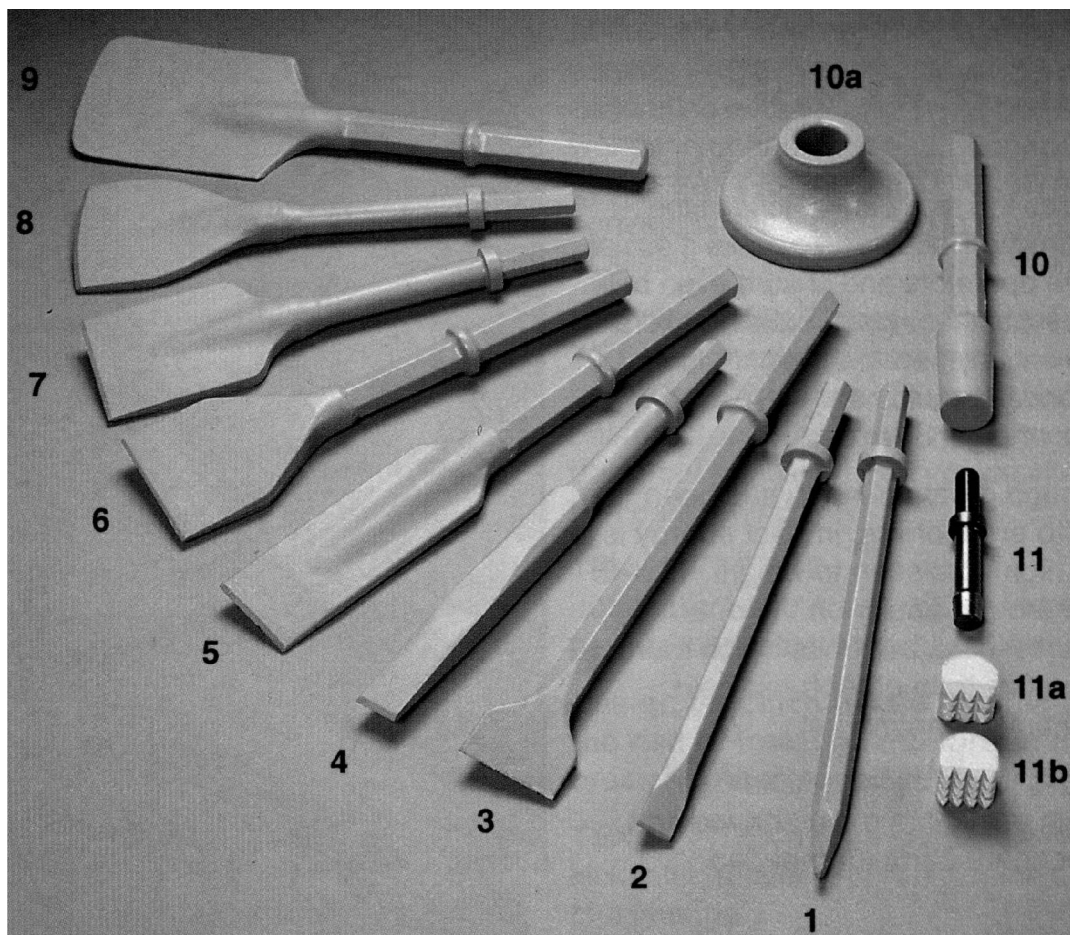
Technical data

Type	Masa		Petrošnja zraka				Dužina Broj udaraca		Usadnik	
	kg	lbs	l/s	cfm	mm	in	ft	blows/min	mm	in
TEX 3	3.7	8.1	6.9	15	310	12 1/4	68	4080	19 x 50	3/4 x 2
TEX 5	5.0	11	10.1	17	375	14 3/4	46	2760	19 x 50	3/4 x 2
TEX 5R	5.0	11	10.1	17	375	14 3/4	46	2760	19 x 95	3/4 x 3 3/4
TEX 8R ¹⁾	8.2	18	17.0	36	530	20 3/4	28	1680	25 x 75	1 x 3
TEX 8R ²⁾										
TEX 8RS ¹⁾	9.2	20								
TEX 8RS ²⁾										
TEX 8DK ¹⁾	9.7	21.4	17.0	36	530	21 1/4	28	1680	22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
TEX 8DK ²⁾										
TEX 8DKS ¹⁾	10.9	24								
TEX 8DKS ²⁾										
TEX 8H ¹⁾	8.6	19	17.0	36	540	21 1/4	28	1680	22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
TEX 8H ²⁾										
TEX 8HS ¹⁾	9.5	21								
TEX 8HS ²⁾										
TEX 11DC ¹⁾	10.1	22	19.0	40	600	23 1/2	27.2	1630	22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
TEX 11DCR ²⁾	10.1	22							25 x 75	1 x 3
TEX 11DCS ²⁾	11.2	25							22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
TEX 11DCSR ²⁾	11.2	25							25 x 75	1 x 3
TEX 11DK ²⁾	11.2	25			590	23			22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
TEX 11DKS ²⁾	12.4	27								
TEX 16 ¹⁾	14.8	32.6	17.9	38	570	22 1/2	25.0	1500	22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
	15.0	33.0							22 x 108	7/8 x 4 1/4
	15.3	33.7							25 x 108	1 x 4 1/4
TEX 16S ¹⁾	16.0	35.3	17.9	38	570	22 1/2	25.0	1500	22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
	16.2	35.6							22 x 108	7/8 x 4 1/4
	16.5	36.3							25 x 108	1 x 4 1/4
TEX 22 ²⁾	22.0	48.4	24.8	52	650	25 1/2	22.5	1350	25 x 108	1 x 4 1/4
	22.6	49.7							28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	22.9	50.2							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 22S ²⁾	23.9	52.5	24.8	52	650	25 1/2	22.5	1350	25 x 108	1 x 4 1/4
	24.5	54.0							28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	24.8	54.5							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 32 ²⁾	28.7	63.0	29.0	61	725	28 1/2	18.0	1080	28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	29.0	63.8							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 32S ²⁾	30.7	67.5	29.0	61	725	28 1/2	18.0	1080	28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	31.0	68.0							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 42 ²⁾	33.6	74.0	32.5	69	740	29	18.0	1080	28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	34.0	74.8							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 42S ²⁾	35.7	78.0	32.5	69	740	29	18.0	1080	28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	36.0	79.0							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 17E ¹⁾	21.5	47.4	17.9	37.9	555	22	27.2	1630	22 x 82.5	7/8 x 3 1/4
	22	48.5							22 x 108	7/8 x 4 1/4
	22	48.5							25 x 108	1 x 4 1/4
TEX 23E ²⁾	27.4	60.3	24.8	52.0	655	26	22.5	1350	25 x 108	1 x 4 1/4
	27.4	60.3			710	28			28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	27.7	60.8							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 33E ²⁾	35	77.0	29.0	61.4	820	32	18.0	1080	28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	35	77.0							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4
TEX 43E ²⁾	40	88.0	32.5	68.8	840	33	18.0	1080	28 x 160	1 1/8 x 6 1/4
	40	88.0							32 x 160	1 1/4 x 6 1/4

Data at 6 bar air pressure. ¹⁾ Hose connection 12.5 mm (1/2"). ²⁾ Hose connection 19 mm (3/4").

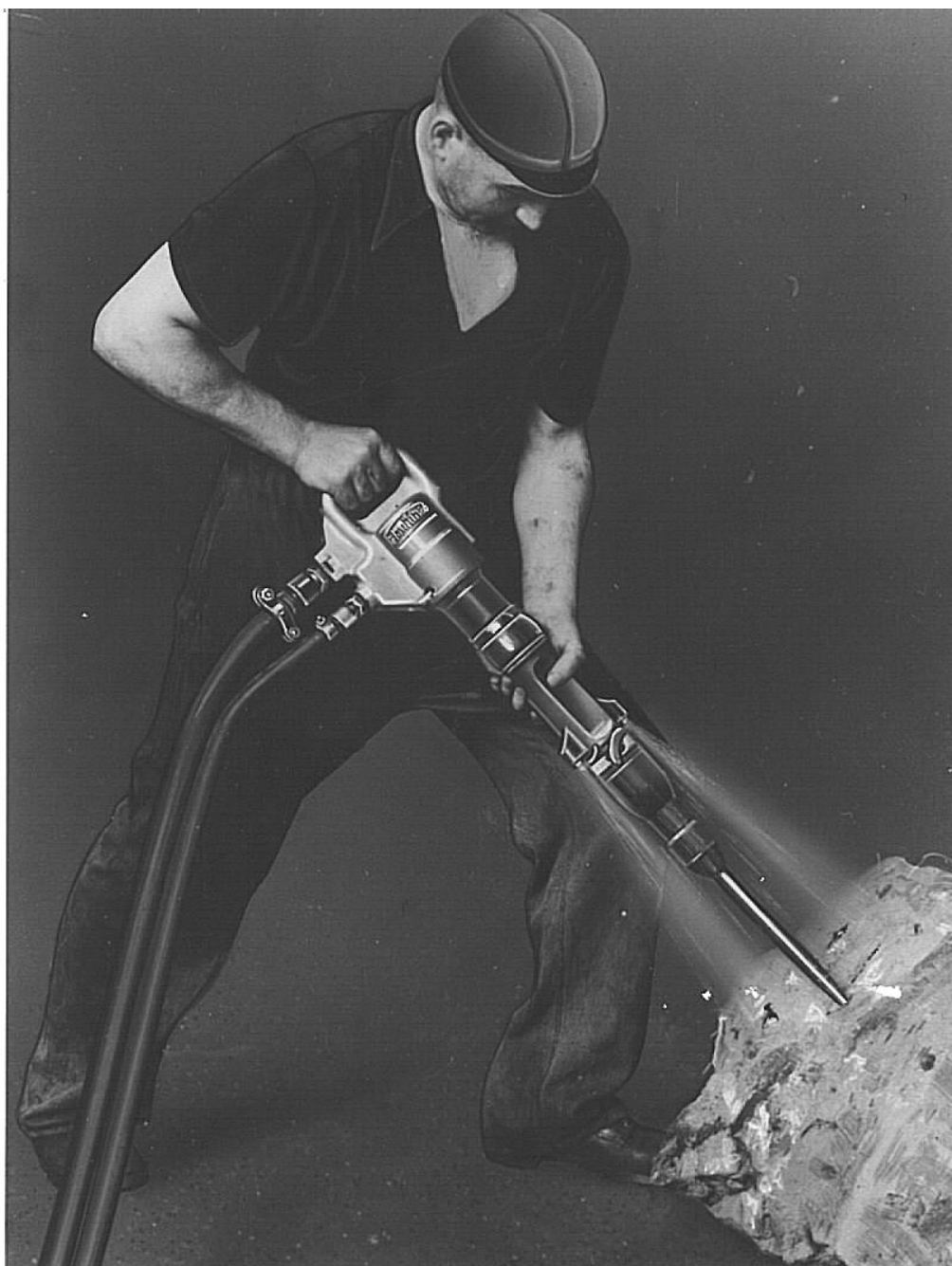
Slika 12 Tehničke karakteristike nekih ručnih otkopnih čekića (Promidžbeni materijali tvornice Atlas Copco)

Otkopni se čekić može umjesto klinastim dlijetom opremiti i drugačijim radnim elementom - sjekačem, skidačem hrđe, podbijačem ili pak dlijetom koje se širi u lopatu, što se upotrebljavalo za dobivanje ciglarske gline, lapora i slično (Slika 13).



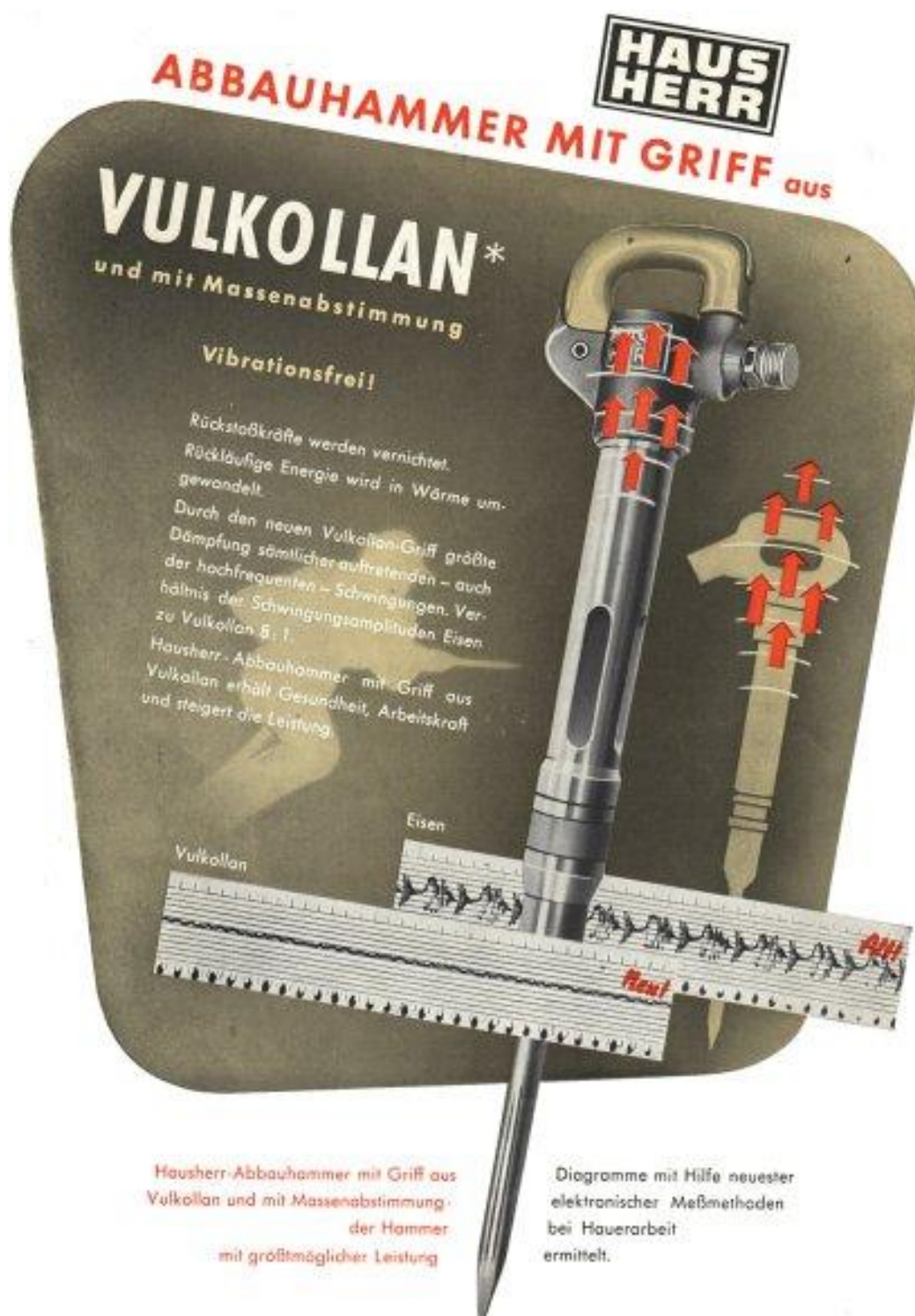
Slika 13 Vrste radnih alata ručnog otkopnog čekića (Promidžbeni materijali tvornice Atlas Copco)

Otkopni se čekić može izvesti i tako da se za vrijeme rada šprica vodu na radno mjesto. U tu se svrhu mora napraviti priključak za vodu. U tijelu čekića tu vodu kanalom dovesti do prednjeg dijela i tu je pomoću mlaznice raspršivati (Slika 14).



Slika 14 Ručni otkopni čekić s priključkom za vodu (Promidžbeni materijali tvornice HausHerr)

Rad s otkopnim čekićem je štetan po zdravlje zbog vibracija i povratnih udaraca na ruku radnika. Da bi se taj nedostatak ublažio, jer otkloniti se sasvim ne može, ulaže se u tijelo cilindra gumeni "jastuk" o koji na kraju puta radnog dijela ciklusa udara stap. Rukohvat se iz istog razloga oblaže gumom ili sličnim materijalom ("vulkollan") i ujedno elastično spaja s tijelom čekića. Amplituda vibracija se ovim mjerama znatno smanjuje (Slika 15).



Slika 15 Ručni otkopni čekić s rukohvatom obloženim gumenom oblogom (Promidžbeni materijal tvornice HausHerr)

7. HIDRAULIČNI OTKOPNI ČEKIĆ

Razvoj hidrauličnih čekića

Koncept mehaničkog udarnog razbijanja stijena datira još od prvih udarnih strojeva korištenih za bušenje bušotina (Couch 1849.; Fowle 1849.; Cave 1851.; Barlett 1854.). Ti strojevi su se koristili za bušenje bušotina malog promjera u odnosu na dubinu pa je zahtijevana udarna energija bila relativno mala. Drugi tip strojeva koji se razvio bili su udarni otkopni čekići (ručni) čija je udarna energija bila limitirana reaktivnim udarima koje je čovjek mogao podnijeti, što je iznosilo oko 140 J i manje.

Bez obzira što je tijekom godina uloženi veliki napor u razvoju rudarskih otkopnih strojeva, općenito gledajući, još uvijek je ostalo mnogo područja u kojima se osjećala potreba za snažnim rudarskim strojem za selektivno otkopavanje. Kod mekših stijena to se moglo ostvariti upotrebom tunelera ("krtica") za sukcesivni iskop (roadheader) što se u tvrdim stijenama pokazalo neupotrebljivim i gdje je kao jedina alternativa preostalo miniranje.

Tijekom kasnih 60-tih u SAD-u i Velikoj Britaniji, porastom troškova radne snage, uslijed problema vezanih uz prašinu prilikom rada krticama i uslijed štetnih efekata kod miniranja, ukazala se potreba za novom metodom selektivnog otkopavanja. U Engleskoj je razvoj koncepta mehaničkog udarnog razrušenja stijena započeo uvođenjem udarnih plugova u škotskim rudnicima ugljena (MARK I II i III) već rane 1961. i trajao je do 1964. godine kad se od njega odustalo zbog problema vezanih uz upravljanje tim strojevima.

Sam udarni mehanizam premješten je kasnije na noseće "ruke" mobilnih bušilica 1966. godine. Kod tih prototipova udarni mehanizam je pokazao uglavnom zadovoljavajuće rezultate, dok je najviše kvarova dolazilo na nosećim rukama koje nisu bile dimenzionirane za visoka udarna naprezanja koja su se javljala (do 2700 J). Krajem 1969. i početkom 1970. godine u Engleskoj se pojavljuju hidraulični udarni čekići raznih proizvođača koji su se ugrađivali u podgradne konstrukcije ili na samohodna vozila. Najpoznatiji proizvođač takvih jedinica u Engleskoj je bila firma "Gullick Dobson". Do 1977. godine u Engleskoj se koristilo oko 50 tipova hidrauličnih čekića za selektivno otkopavanje, pretežno u rudnicima ugljena.

U Americi je razvoj hidrauličnih čekića započeo 1966. godine kad je firma Ingersoll-Rand u suradnji s firmom Impuls Products započela razvojni program na udarnim razbijačima. Do tog razvoja došlo je iz ideje da se uljno-plinski akceleratori, korišteni u testiranju projektila u vojnoj industriji, primjene za konstrukciju građevinskih strojeva tj. u privredne svrhe. To je dovelo do prvog udarnog razbijača tj. hidrauličnog čekića nazvanog "Hobgoblin" predstavljenog od firme Ingersoll-Rand u listopadu 1967. godine.

Istog mjeseca u Njemačkoj na sajmu u Hannoveru predstavljen je hidraulični čekić HM 400 firme Krupp iz Essena. HM 400 je imao energiju pojedinog udarca oko 542 J dok je "Hobgoblin" proizvodio 1360 J energije pojedinog udarca (Stack, B.; 1982).

Može se općenito reći da je do razvoja hidrauličnog udarnog mehanizma moglo doći tek pojavom hidrauličnih bagera i mnogo veće snage koja se mogla dobiti primjenom hidraulike i hidrauličnih pumpi u odnosu na komprimirani zrak odnosno primjenom kompresora.

U kratkom vremenskom roku su hidraulični bageri zauzeli svoje mjesto uz do tada dominantne povlačne bagere "dragline". Kao dodatna pogodnost bagerski se hidraulični pogon mogao iskoristiti kao pogonski izvor za razne priključne alate pa je time otvoren put za uspješni razvoj hidrauličnih čekića.

Od 1967. godine do srednjih 80-tih godina trend u razvoju hidrauličnih čekića je bio u konstrukciji što težeg i što snažnijeg čekića dok su se u srednjim 80-tim godinama, pojavom mini-bagera, na tržištu kao odgovor pojavili čekići u klasi do 150 kg. Općenito gledajući mogli bismo reći da se u razdoblju od 1967 - 1990. godine razvoj hidrauličnih čekića bazirao na slijedećim smjernicama (kronološki poredanim):

- testiranje raznih osnovnih konstruktivnih principa
- konstruiranje čekića sa što većom energijom pojedinog udarca
- prilagođavanje čekića mini-bagerima (manja masa čekića)
- istraživanje raznih područja moguće primjene hidrauličnih čekića
- smanjenje buke i vibracija pri radu

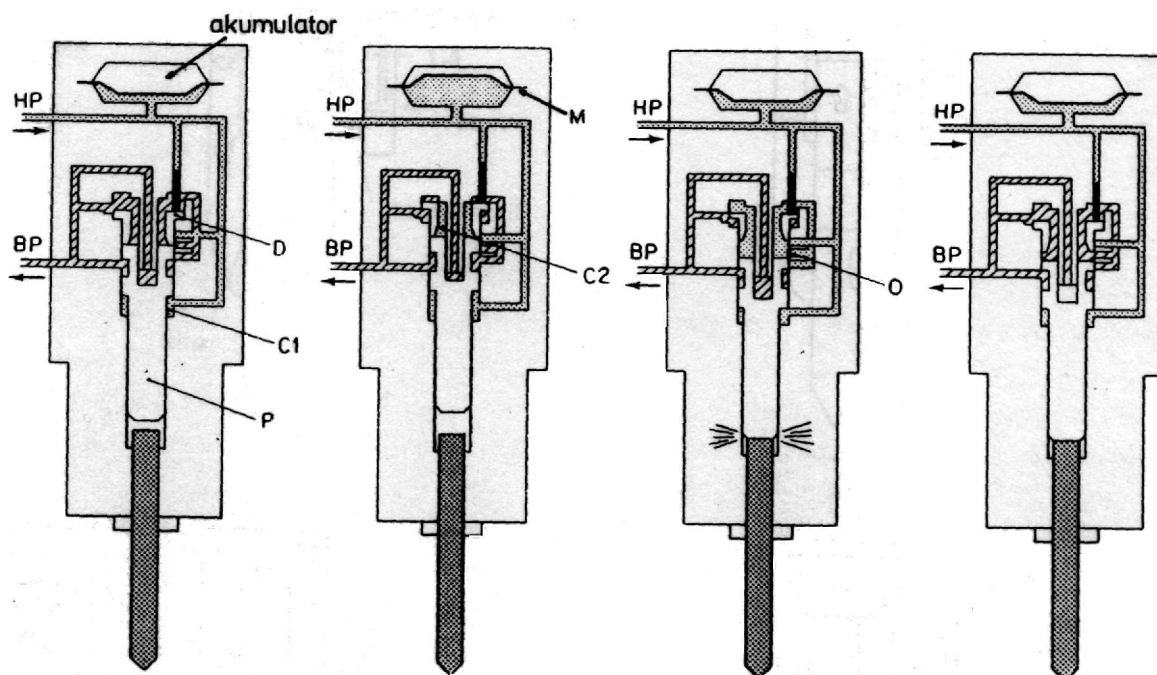
U razdoblju od 1990. godine pa do današnjih dana došlo je do promjene u smjernicama:

- težnja za visokim poboljšanjem izvedbe
- nastojanja na unapređenju pouzdanosti čekića (što manje kvarova)
- proizvodnja čekića sa širokom lepezom kombinacija broja udaraca i energije pojedinog udarca
- još izraženija nastojanja na smanjenju buke prilikom rada hidrauličnog čekića (Bartels, R., 1992)

Princip rada hidrauličnih čekića

Od pojave hidrauličnih čekića do danas postoji oko 60 proizvođača hidrauličnih čekića širom svijeta. Od toga ih je nekoliko vodećih i svjetski znanih. Razvili su se razni tipovi i modeli čekića, no možemo ih podijeliti na tri tipa prema načinu na koji se ostvaruje udarno gibanje klipa unutar čekića:

1. Isključivo pomoću hidrauličnog ulja (Rammer, Montabert)
2. Isključivo pomoću plina (NPK)
3. Kombinacijom plina i hidrauličnog ulja (Ingersoll-Rand)



HP - vod visokog pritiska

BP - vod niskog pritiska

C1 - ulje pod visokim pritiskom je dovedeno u komoru C1

P - klip

D - razvodni ventil

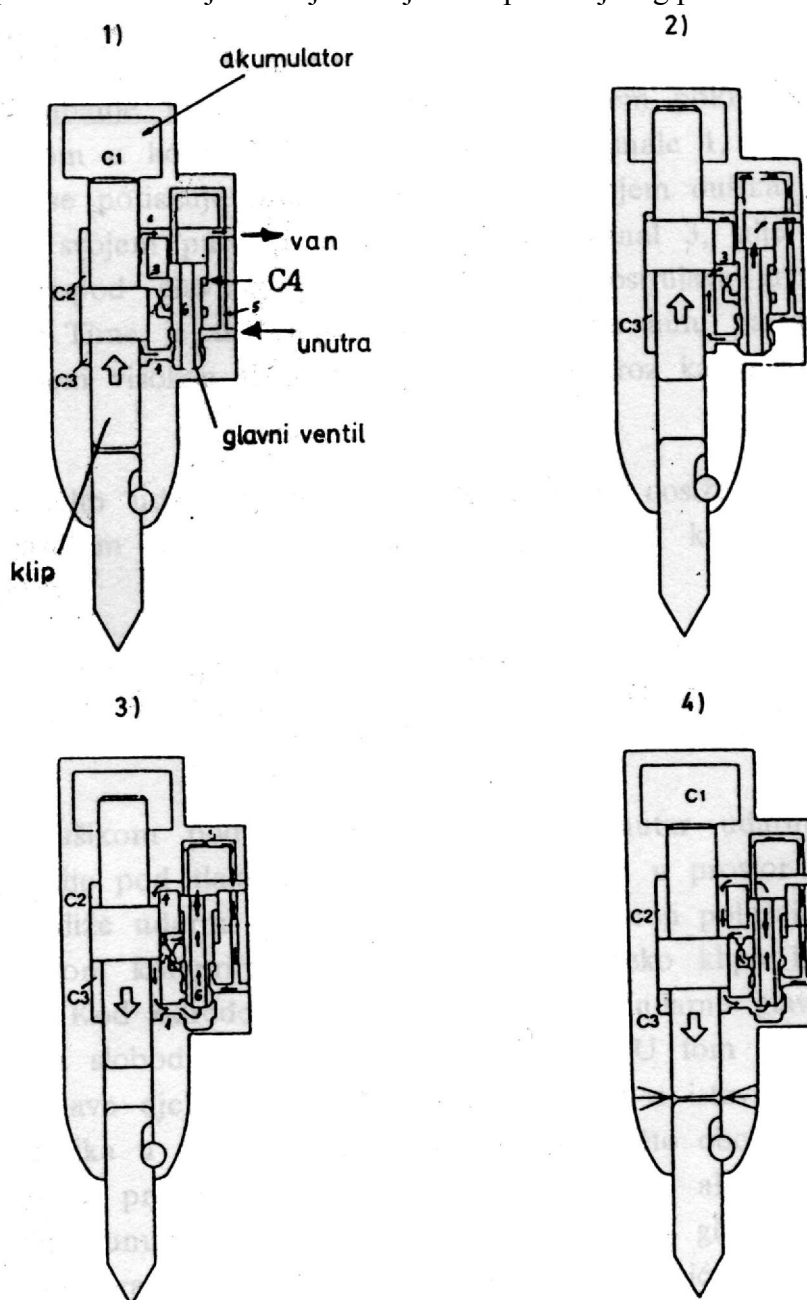
M - membrana u akumulatoru

O - otvor

Slika 16. Princip rada hidrauličnih čekića BRH 250 i BRH 501 L tvornice Montabert
(Promidžbeni materijali)

Ad 1.) Otvor O se otvara pri gibanju klipa prema dole što omogućava da ulje pod visokim tlakom gurne razvodni ventil D prema dole. Razvodni ventil time prekida dovod ulja pod visokim tlakom iza klipa u komoru C2 i spaja komoru C2 s vodom niskog pritiska ulja. Ulje pod visokim tlakom se sada, djelovanjem razvodnog ventila, dovodi ispred klipa i započinje novi radni ciklus. Akumulator u gornjem dijelu čekića služi da spriječi udare tlaka u povratnom vodu hidrauličnog ulja. Punjen je dušikom koji je od ulja odijeljen membranom.

Ad 2.) Na slici 17 prikazan je tipičan radni ciklus za hidraulične čekiće čije je udarno gibanje klipa proizvedeno isključivo djelovanjem ekspandirajućeg plina.



Slika 17. Princip rada hidrauličnog čekića s akumulatorom punjenim dušikom pod visokim tlakom (Promidžbeni materijali tvornice NPK)

1.) Podizanje klipa: Ulje pod tlakom ulazi u čekić kroz otvor U i usmjerava se kroz kanal 5 na vrh glavnog ventila, gurajući glavni ventil na donju poziciju. Ulje pod tlakom prostrujava u donju komoru ispod klipa C3. Tlak ulja djeluje na klip i podiže ga, čime dolazi do kompresije dušika u akumulatoru i istiskivanja ulja iz gornje komore C2 u povratni vod kroz otvor 4.

2.) Promjena položaja glavnog ventila: Kako se podiže klip, donja komora C3 se kratko spaja s komorom C4 kroz kanal 3. Budući da je površina ispod glavnog ventila u komori C4 veća od površine s donje strane glavnog ventila, on se podiže prema gore.

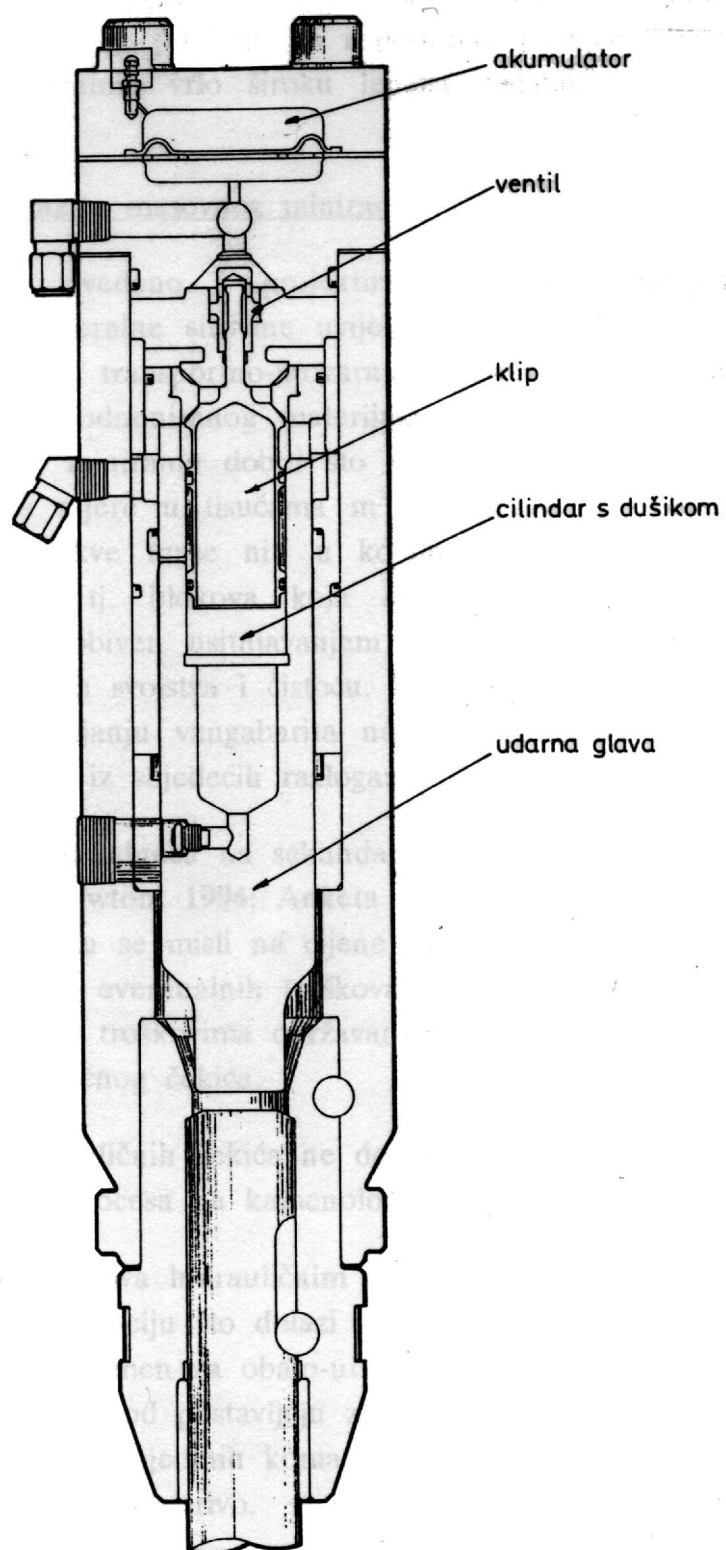
3.) Udarno gibanje klipa: Glavni ventil u gornjem položaju zatvara dovod ulja pod tlakom u komoru C3 i spaja je kroz kanale 1, 6 i 4 s povratnim vodom. Klip se potiskuje prema dolje ekspanzijom dušika u akumulatoru. Kad klip na svojem putu prema dolje otvori

kanal 3, ulje pod tlakom iz komore C4 ispod glavnog ventila slobodno prostrujava u komoru C2 i povratni vod. Time je tlak u komori C4 pao na nulu pa se glavni ventil, pod djelovanjem visokog tlaka hidrauličnog ulja kroz kanal 5, pomiče prema dolje.

4.) Udarac: Klip udara u dlijeto a glavni ventil dosiže svoj donji položaj. Ulje pod visokim tlakom je usmjereno opet ispod klipa i može započeti slijedeći ciklus.

Ad 3.) Udarno djelovanje čekića proizvedeno kombiniranim djelovanjem plina i hidrauličnog ulja pod visokim tlakom shematski je prikazano na slici 18.

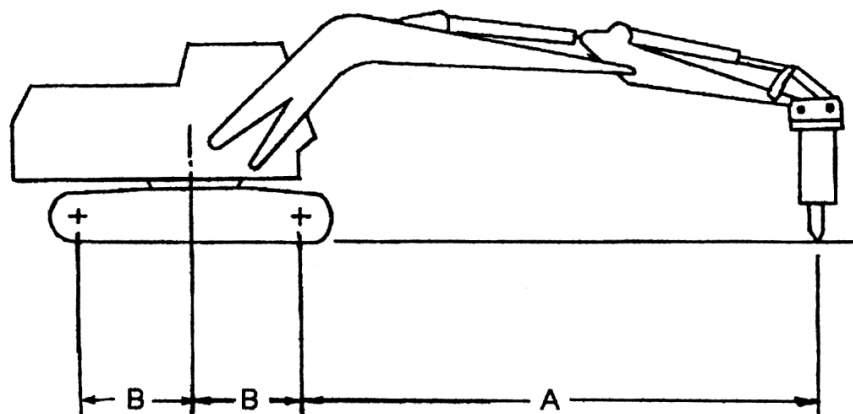
Cilindar s dušikom pod tlakom je smješten unutar udarne glave čekića. Hidraulično ulje pod tlakom ulazi u udarnu glavu u prostor iznad cilindra s dušikom i podiže udarnu glavu u njezin krajnji gornji položaj. U isto vrijeme ulje pod tlakom komprimira dušik u cilindru preko klipa koji se potiskuje prema dolje. Kod određenog tlaka ventil unutar udarne glave oslobađa ulje iz cilindra da slobodno isteče (u povratni vod). U tom trenutku, na gornji dio udarne glave djeluje ulje pod visokim tlakom a istovremeno dolazi i do ekspanzije dušika u cilindru unutar udarne glave, što oboje rezultira udarnim gibanjem glave prema dolje do sraza sa radnim alatom i istovremenim gibanjem klipa unutar cilindra s dušikom u udarnoj glavi prema gore, čime započinje novi radni ciklus. Na gornjoj ploči čekića nalazi se ugrađeni membranski akumulator koji služi za absorpciju tlačnih udara hidrauličnog ulja da se ne prenose u hidraulični rezervoar bagera odnosno stroja na koji je montiran hidraulični čekić.



Slika 18 Uzdužni presjek Ingersoll-Randovog hidrauličnog čekića (Promidžbeni materijali)

Usklađenost hidrauličnog čekića i bagera

Hidraulički čekić se praktički može priključiti na sve modele hidrauličnih bagera. Pri tome je bitno da mase čekića i bagera budu usklađene tj. bager ne smije biti pretežak niti prelagan za odabrani čekić i obrnuto. Neuravnoteženost ovog tipa najčešće rezultira smanjenom učinkovitošću i ubrzanim habanjem i kvarovima na čekiću ili bageru. Pored činjenice da svi proizvođači hidrauličnih čekića u njihovim tehničkim karakteristikama navode prihvatljivu masu bagera, postoje još dva načina za provjeru usklađenosti. Prvi je način utvrđivanja usklađenosti prema relaciji J. T. Andersona i W. N. Papineaua (slika 19) a drugi prema dijagramu dobivenom na temelju usporedbe tehničkih karakteristika brojnih tipova hidrauličnih čekića (slika 20).

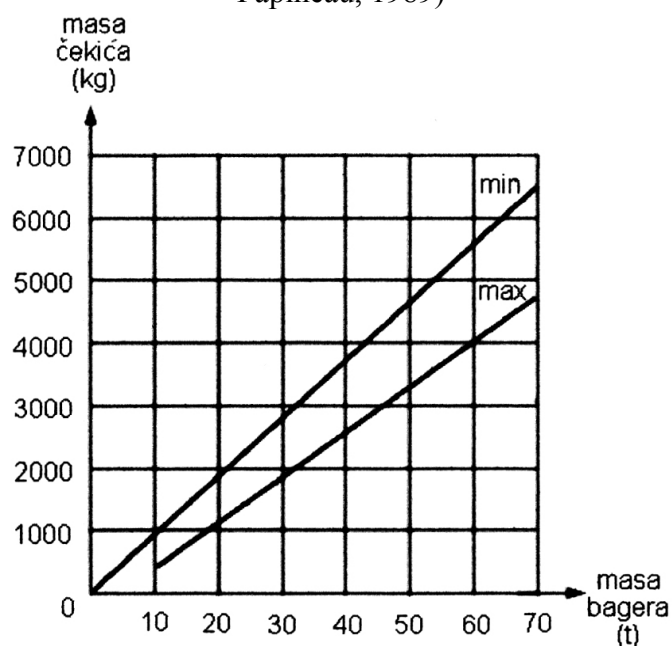


$$0,3 < \frac{A \cdot m_h}{B \cdot m_c} < 0,5$$

gdje je:

m_h - masa čekića
 m_c - masa bagera

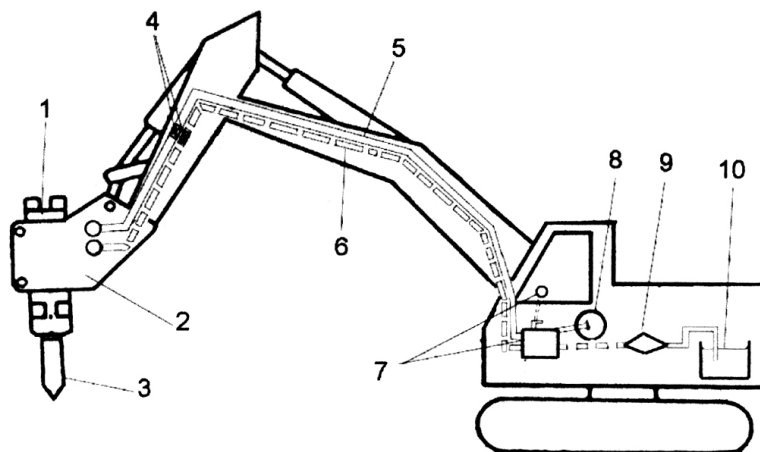
Slika 19 Utvrđivanje usklađenosti hidrauličnog čekića i bagera (J. T. Anderson i W. N. Papineau, 1989)



Slika 20 Dijagram za utvrđivanje usklađenosti hidrauličnog čekića i bagera (Tunnels & Tunneling, 1994)

Povezivanje čekića s hidrauličnim sustavom bagera

Noviji hidraulični bageri imaju već tvornički predviđenu instalaciju za priključenje hidrauličnog čekića dok se na starije bagere ona mora naknadno ugraditi. Na slici 21 shematski je prikazano povezivanje čekića u hidraulični sustav bagera.

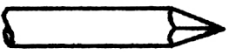
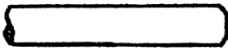
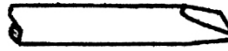


1. Hidraulični čekić
2. Nosač čekića
3. Radni alat
4. Hidraulični ventil za regulaciju radnog tlaka i protoka ulja u čekiću
5. Cjevovod hidrauličnog ulja pod visokim tlakom
6. Cjevovod hidrauličnog ulja pod niskim tlakom
7. Ograničavanje tlaka ulja na izvodu iz hidraulične pumpe bagera
8. Hidraulična pumpa
9. Hladnjak ulja
10. Rezervoar hidrauličnog ulja

Slika 21 Priključivanje čekića na hidraulični sustav bagera

Radni alat hidrauličnog čekića

Radni alat hidrauličnog čekića može imati završetak (vrh) u obliku špice («moil»), tupi završetak («blunt») ili završetak u obliku dljeteta («chisel»), slika 22.

oštri završetak (moil)	
tupi završetak (blunt)	
dljeto (chisel)	

Slika 22 Tipovi radnog alata čekića

Radni alat u obliku špice usmjerava udarnu energiju čekića u jednu točku što se obično koristi kod usitnjavanja vangabaritnih blokova stijena kad je izražena potreba za točno određenom granulacijom razbijenih komada (kamen za izradu obaloutvrda, suhozida itd.). Kod alata s tupim završetkom se postiže najgušći tj. najučinkovitiji prijenos udarne energije čekića na materijal što se pokazalo vrlo učinkovito kod razbijanja vangabaritnih blokova stijena, međutim pri tome se nemože kontrolirati granulacija razbijenih komada.

Kod iskopa stijena (usjeci, zasjeci, eksploatacija mineralne sirovine, kanali, itd.) se najučinkovitiji pokazao alat u obliku dlijeta (klina) jer se stijena iskopava zapravo njegovim zabijanjem u postojeće šupljine i pukotine u stijeni.

Primjena hidrauličnih čekića

Od pojave prvih hidrauličnih čekića pa do danas, razvojem hidrauličnih čekića i bagera, razvijalo se tj. proširilo se i područje primjene hidrauličnih čekića pa tako danas nalazimo vrlo široku lepezu zadataka na kojima se primjenjuju:

a) Usitnjavanje blokova nakon masovnog miniranja:

Ma koliko dobro bilo izvedeno i projektirano masovno miniranje pri površinskoj eksploataciji mineralne sirovine uvijek se mora računati s 5 - 10 % vangabarita (obzirom na transportno-utovarna sredstva ili otvor primarne drobilice) u ukupnoj masi odminiranog materijala. Budući da je u interesu prilikom svakog masovnog miniranja dobiti što više materijala to se količine prilikom takvih miniranja mjere u tisućama m³ materijala. Iz toga proizlazi da količina od 5-10 % takve mase niti u kojem slučaju nije zanemariva, zbog količine vangabarita tj. blokova koja se pojavljuje i obzirom na činjenicu da je materijal dobiven usitnjavanjem takvih blokova najkvalitetniji obzirom na fizičko-mehanička svojstva i čistoću. Do gotovo isključive primjene hidrauličnih čekića na razbijanju vangabarita na kamenolomima u Republici Hrvatskoj i u svijetu, dolazi iz slijedećih razloga:

- 1.) manji troškovi u odnosu na sekundarno miniranje (Kamennyi, 1985; Kuhar, 1988; Lawton, 1994; Anketa na kamenolomima u Republici Hrvatskoj) tu se misli na cijene eksploziva i eksplozivnih sredstava te nadnica i eventualnih troškova rada kompresora i ručnih bušilica u usporedbi s troškovima održavanja i pogonskim troškovima rada bagera i hidrauličnog čekića.
- 2.) primjenom hidrauličnih čekića ne dolazi do prekida ostalih dijelova tehnološkog procesa na kamenolomima
- 3.) Kod razbijanja blokova hidrauličnim čekićem moguće je u velikoj mjeri kontrolirati granulaciju što dolazi do izražaja ukoliko se kamen prodaje kao lomljeni kamen za obalotvrde ili za zidanje potpornih zidova gdje se na proizvod postavljaju zahtjevi povezani s određenom granulacijom i oblikom pojedinih komada a što je sekundarnim miniranjem mnogo teže ostvarivo.
- 4.) Manje opasnosti i rizici pri radu
- 5.) Manja buka i prašina
- 6.) Nema razbacivanja komada što smanjuje i troškove na kasnijem utovaru i transportu
- 7.) Mogućnost primjene i za ostale zadatke na kamenolomu kao što je npr. čišćenje čela etaže nakon miniranja od nestabilnih dijelova stijenske mase, probijanje putova itd.

Hidraulični čekić se osim mobilno (na bageru) može montirati i za stacionaran rad tj. na usipnim bunkerima na primarnim drobilicama, gdje uvelike sprečava tj. smanjuje zastoje pri radu uslijed zaglave materijala na rešetci, do kojih obavezno dolazi ukoliko se to rješava miniranjem. Nema opasnosti od oštećenja postrojenja a i opasnosti pri radu su svedene na minimum. Interesantan primjer takve primjene nalazimo u čileanskom rudniku bakra "El Teniente" (Chadwick, 1994.) gdje su na primarnom drobilničnom postrojenju u podzemlju instalirane tri takve jedinice, a posebno je interesantno što su daljinski upravljane iz kontrolnog centra 200 m udaljenog. Na taj način je ostvarena mnogo veća sigurnost za operatera, koji se nalazi u "kancelariji" zaštićen od buke i prašine, prostor oko usipnog bunkera je mnogo manji jer ne mora sadržavati kabinu za operatera. Jedan čovjek može na taj način nadzirati veći broj jedinica na više radnih mjesta.

b) Iskop kanala za cjevovode

c) Iskop zasjeka ili usjeka u cestogradnji

d) Razni iskopi ili rušenja dotrajalih građevina u urbanim sredinama gdje nije dozvoljeno miniranje

U krškim terenima je često puta isplativije kopati kanale čekićem montiranim na bager i to zbog toga jer se na takvim terenima često izmjenjuju dionice s kamenim i zemljanim materijalom a izmjena hidrauličnog čekića s klasičnom dubinskom lopatom traje 3-4 minute kod čega praktički nema prekida radnog procesa (bušenje, punjenje, povezivanje, otpucavanje, kontrola) nego se proces iskopa odvija gotovo kontinuirano.

Pri čišćenju terena i skidanju humusnog pokrivača kod izrade prometnica vrlo često se upotrebljavaju hidraulični bageri a uz dodatak hidrauličnog čekića njegova namjena se proširuje i na iskop manjih zasjeka i usjeka ili propusta za odvodnjavanje. Tu nije isplativo organizirati tj. izvoditi miniranje zbog povećanja broja radnika i kompliciranije organizacije radilišta (dovoz eksploziva, dozvole, usklađivanje s ostalim dijelovima tehnološkog procesa itd.)

U urbanim sredinama vrlo često se čuje karakteristični zvuk hidrauličnog čekića na mnogim gradskim radilištima: pri skidanju starog asfaltnog sloja s prometnica, pri iskopu kanala radi polaganja raznih instalacija, rušenju dotrajalih zgrada itd. Proizvođači hidrauličnih čekića su za takve namjene prilagodili svoj proizvodni program pa tako na tržištu nalazimo hidraulične čekiće manje mase predviđene za rad na mini bagerima a cijele serije su predviđene za tzv. "tihi rad" tj. sa znatno smanjenom razinom buke pri radu.

e) Dotjerivanje profila iskopa nakon miniranja u tunelogradnji i cestogradnji

f) Iskop tunela

U tunelogradnji, gdje se primjenjuje klasična metoda iskopa: bušenje i miniranje, nakon svakog miniranja potrebno je sa odminirane konture ukloniti nestabilne komade stijena a često puta je potrebno dodatno minirati uslijed zatajenja pojedinih mina ili zbog nepravilnosti profila uslijed nedostatnog odloma. Za takve zadatke se sve češće koriste mini-bageri s hidrauličnim čekićem. Takav primjer nalazimo i u Republici Hrvatskoj gdje je taj način rada primijenjen u poduzeću "Viadukt" pri iskopu tunela "Tuhobić" na autocesti Karlovac-Rijeka.

Primjena hidrauličnih bagera s teškim hidrauličnim čekićem kao jednim otkopnim strojem pri iskopu tunela datira od 1985. godine kada je u Italiji po prvi puta cijeli tunel iskopan takvim načinom rada.

Ukupna dužina tunela iznosila je 1200 m a površina poprečnog profila 98 m². Tunel je iskopan u uslojenim vapnencima s pojavama dolomita. Dnevno napredovanje iznosilo je 6,0-8,0 m a korišten je Rammerov hidraulični čekić S86 montiran na Caterpillarov hidraulični bager CAT 235. (Lawton, 1994; Promidžbeni materijali tvornice Rammer, 1994).

Razlog zbog kojeg se čekići sve više upotrebljavaju pri iskopu tunela vidljiv je iz slijedeće usporedbe radnih operacija kod iskopa tunela klasičnom metodom i iskopa s hidrauličnim čekićem:

Bušenje i miniranje:

- 1.) Bušenje
- 2.) Punjenje minskih bušotina
- 3.) Miniranje
- 4.) Ventilacija
- 5.) "Kavanje"
- 6.) Utovar i transport
- 7.) Podgrađivanje

Hidraulični čekić:

- 1.) Iskop uz istovremeni utovar i transport
- 2.) Podgrađivanje

Iz usporedbe proizlazi i manji broj ljudi zaposlenih direktno na iskopu:

Bušenje i miniranje:

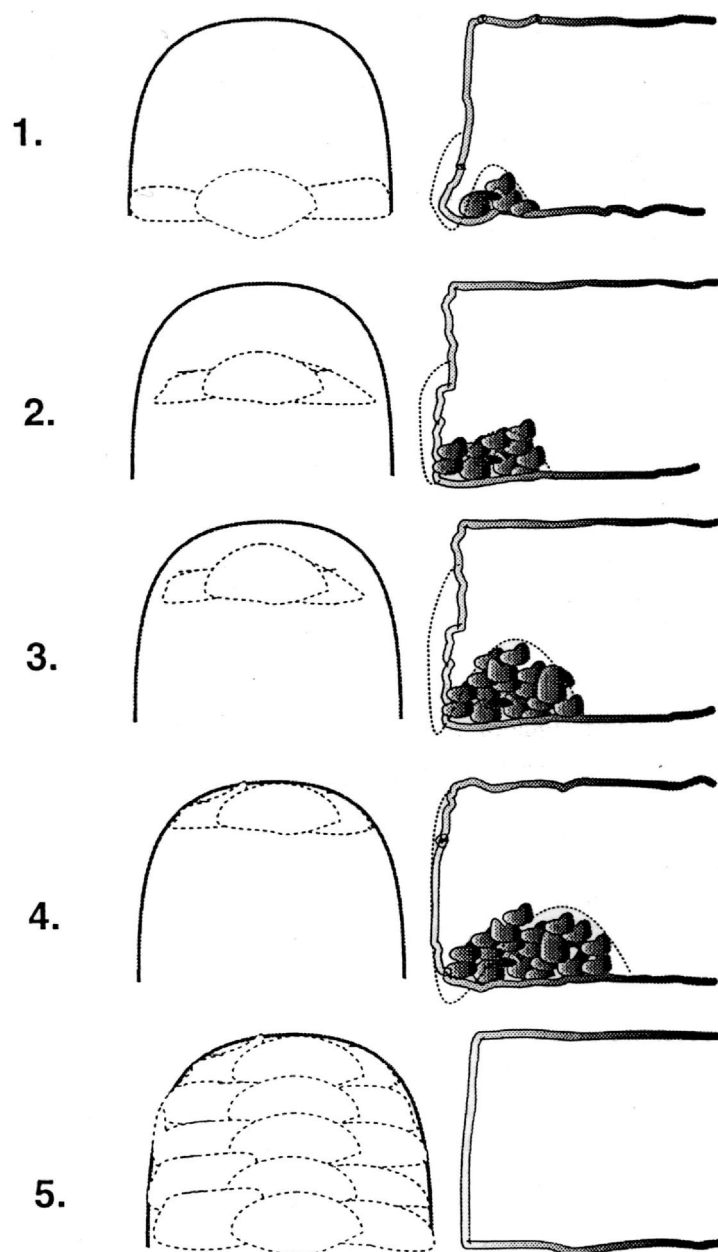
1.) Bušenje	1 radnik
2.) Punjenje	2 radnika
3.) Utovar	1 radnik
4.) Transport	3 radnika
5.) Predradnik	1 radnik
6.) Poslovođa	1 radnik
Ukupno:	9 radnika

Iskop hidrauličnim čekićem:

1.) Iskop	1 radnik
2.) Utovar	1 radnik
3.) Transport	3 radnika
4.) Predradnik	1 radnik
5.) Poslovođa	1 radnik
Ukupno:	7 radnika

Kod uspoređivanja tradicionalne metode i iskopa s hidrauličnim čekićem i njihove primjene na raznim tipovima stijena treba naglasiti da je još uvijek tradicionalna metoda primjenjivija na kompaktnim, čvrstim stijenama u odnosu na iskop s hidrauličnim čekićem, koji je pokazao svoje prednosti na ispucalijim stijenama s čestim pukotinama, slojnim plohama, rasjednim zonama itd. što također uključuje i mekše i tvrđe stijene. U takvim stijenama je bušenje minskih bušotina a kasnije i punjenje eksplozivom vrlo usporeno i otežano, što dodatno poskupljuje troškove iskopa.

Princip iskopa tunela hidrauličnim čekićem montiranim na ruku bagera prikazan je na slici 23.



Slika 23. Tehnološka shema iskopa tunela teškim hidrauličnim čekićem

Iskop započinje u centru poprečnog profila na visini 1-1,5 m od dna tunela. Dubina iskopa je za jedan ciklus 1,5-2,0 m. Iskop dalje slijedi od ruba takve udubine prema bokovima tunela. Kad se na taj način potkopa čelo iskopa, napredovanje se nastavlja odozdo prema kaloti poprečnog profila. Narušavanjem ravnoteže stijenske mase na čelu iskopa takvim kontroliranim potkopavanjem postižu se najbolji učinci pri iskopu hidrauličnim čekićem. Na taj način se i najučinkovitije iskorištava udarna energija čekića jer se osim nje može primijeniti i maksimalno ostvariva sila bagera za pritiskanje čekića o površinu stijene što zasigurno doprinosi učinkovitosti iskopa.

Prema podacima finske tvornice Rammer, njihovim čekićima je probijeno, od 1985. do 1994. godine u Italiji, ukupno 32,56 km tunela raznih poprečnih profila (od 65 m²-120 m²) pretežno u vapnenastim stijenskim formacijama.

g) Iskop mineralne sirovine na površinskim kopovima:

Pri eksploataciji tehničkog kamena na površinskim kopovima najraširenija i mogli bismo reći najekonomičnija metoda dobivanja mineralne sirovine jest masovno

miniranje pri kojem se odjednom dobije vrlo velika količina mineralne sirovine za daljnju preradu.

Velikom ekspanzijom gradova i naseljenih područja u današnje vrijeme, mnogi su se kamenolomi našli u neposrednoj blizini urbanih područja što je dovelo u pitanje masovno miniranje kao najekonomičniju metodu iz razloga ekstremno pooštrenih uvjeta eksploatacije obzirom na manipulaciju eksplozivnim sredstvima a i na zaštitu okoliša (prašina, buka, vibracije itd.).

Kao najekonomičnija alternativa primijenili su se hidraulični čekići. U tablici br. 6 navedeni su neki primjeri takve eksploatacije u svijetu.

Kod eksploatacije hidrauličnim čekićima veći učinci se postižu ukoliko je stijenska masa čim više uslojena i razlomljena što nasuprot tome, kod bušenja i miniranja stvara velike probleme (otežano bušenje, veći utrošak eksploziva). Metodu eksploatacije hidrauličnim čekićima karakteriziraju niske etaže (3-5 m) kako bi bila osigurana čim veća dostupnost i preglednost pri radu s bagerom. Učinak u velikoj mjeri ovisi o iskustvu i sposobnosti strojara a iz tablice je vidljivo da se primjenjuju čekići velike mase s energijom pojedinog udarca od 4000 J do čak 15000 J i manjim brojem udaraca u minuti.

Tablica 6 Primjeri površinske eksploatacije mineralne sirovine hidrauličnim čekićima

God.	Država, lokacija	Mineralna sirovina	Tip čekića i teh. karakteristike	Tip bagera	Učinkovitost
1989.	Velika Britanija, Everard	Pješčenjak	Montabert BRV 32, 1050-440 udaraca/min, energija udarca varijabilna 1000-4000 J, Masa čekića 1250 kg	CAT 215	20000 t/mjesec ⁽¹⁾
1989.	Italija, Monterotondo (Rim)	Vapnenac	Krupp HM 2000CS, Masa čekića 2970 kg, 250-550 udaraca/min	CAT 235	300-400 m ³ /dan ⁽²⁾
1990.	Velika Britanija, Dorset	Lapor (tvrđi)	Rammer G120, Masa čekića 5800 kg, Energija pojedinog udarca 12000 J, 300-450 udaraca/min	Liebherr 974	200 t/h ⁽³⁾
1993.	Rusija, Poluotok Kola	Željezna ruda	2 x Krupp HM 2000CS, 2 x Krupp HM 185, masa čekića 243 kg, 450-1200 udaraca/min	Nepoznat	300 m ³ /8h ⁽⁴⁾
1993.	Velika Britanija, Chorley Lanes	Pješčenjak	Rammer G100 City, masa čekića 3800 kg, energija pojedinog udarca 9000 J, 350-550 udaraca/min	Akerman H25c	Radi sa 70% kapaciteta 500-750t/dan ⁽⁵⁾
1995.	Italija, Palermo	Vapnenac	2 x Krupp 2500CS-Cs, masa čekića 4120 kg, 240-530 udaraca u minuti 1 x Krupp HM 4000CS-c, masa čekića 6900 kg, 230-440 udaraca/minuti	Nepoznat	Nepoznat ⁽⁶⁾

(¹ Anon., 1989; ² Anon., 1992; ³ Anon., 1990; ⁴ Anon., 1993; ⁵ Horton, 1993; ⁶ Anon., 1995.)

h) Podvodni radovi (iskop, usitnjavanje blokova itd.)

Rad ispod vode zahtijeva neznatne modifikacije u opremi hidrauličnih čekića što npr. kod Kruppovih čekića uključuje klip od nehrđajućeg čelika i zračni kompresor kapaciteta od 0,6-1 m³/min koji je savitljivim crijevom spojen na kućište hidrauličnog čekića u kojem zrak pod tlakom sprečava prodiranje vode u udarnu komoru čekića.

Tlak komprimiranog zraka od oko 2 bara je dovoljan za rad čekića do 10 m ispod vodene površine. Tlak i količina komprimiranog zraka se mora strogo kontrolirati da ne bi, uslijed prevelikih vrijednosti, došlo do ispuhivanja sredstva za podmazivanje. Kompresor se uključuje prije uranjanja čekića u vodu i ostavlja uključenim 10-15 min nakon izranjanja čekića tj. prestanka rada kako bi se isušila unutrašnjost čekića (Anon., 1990).

i) Čišćenje kalupa u metalurgiji:

Posude za manipulaciju sa rastaljenim metalom su vrlo masivne i proizvode se u različitim veličinama. Na primjer 60-tonska posuda je 3 m duboka a unutrašnji promjer je oko 2,3 m dok je npr. 100-tonska posuda 3,4 m duboka a unutrašnji promjer je 3,3 m.

Svaki put kad se takve posude koriste za odljevanje rastopljenog metala u kalupe, potrebno je njihovu unutarnju izolirajuću oblogu obnoviti i to u potpunosti ili djelomično. Stara obloga se prije uklanjala ručno uz pomoć ručnih otkopnih čekića na komprimirani zrak. Ne mora se posebno naglašavati da je to bilo vrlo sporo i mukotrpno a postojala je i velika opasnost za radnike od nenadanog otpadanja komada obloge pri radu iznad glave (R=3,3 m). Pri takvom ručnom radu moralo se čekati 10-12 sati da bi se posude ohladile prije nego se moglo započeti s radom.

Svi ti problemi su riješeni upotrebom bagera s hidrauličnim čekićem. Na taj način znatno se ubrzao proces uklanjanja stare obloge a rad je postao mnogo sigurniji tj. praktički bez opasnosti po radnika (Kujundžić, 1997.). Takva jedna primjena prikazana je na slici 24.



Slika 24 Čišćenje kalupa u metalurgiji

8. JAMSKI UTOVARAČI

U prilično širokom dijapazonu rudarskih radnji ne primjenjuje se (iz različitih razloga) kompleksna tehnologija koja dakako uključuje i utovar. U tim se slučajevima za utovar koriste strojevi koji izvršavaju samo jednu fazu određenog tehnološkog procesa - utovar. Naznaka "jamski" gotovo da je posve izgubila pravi značaj, odnosno izgubile su se specifičnosti koje ju određuju za namjenu isključivo u jamskom rudarstvu i podzemnim radovima uopće. Podjela na jamske i površinske utovarače zadržava se zbog toga što ipak još postoje strojevi koji su namijenjeni pretežito jamskom radu, kao i s druge strane takvi koji su namijenjeni pretežito za rad na površini. Međutim, kod velike većine tipova ta je razlika sve manje izražena, odnosno strojevi postaju uporabljivi za sve namjene. Glavna razlika ostaje veličina odnosno gabariti, prije svega visina utovarača.

Jamski se utovarači međusobno razlikuju po nizu značajki:

- po načinu rada (kontinuirani ili ciklički način rada),
- po tipu radnog elementa (s lopatom ili s prigrtajućim elementima),
- po načinu daljeg postupka s utovarenim materijalom (s neposrednim prebacivanjem u transportno sredstvo, s posrednim prebacivanjem posredstvom kraćeg transportera ili s deponiranjem određene količine utovarenog materijala na samom stroju),
- po načinu predavanja utovarenog materijala daljem uređaju u utovarno-prijevoznom lancu (materijal se predaje direktno u pravcu iza stroja, materijal se može dodavati u jednom pojasu iza stroja ili se materijal dodaje bočno),
- po sposobnosti manevriranja predajnim dijelom (materijal se predaje daljnjem sredstvu na fiksnoj konstruktivno određenoj visini ili se ta visina može prilagođavati prijevoznom sredstvu),
- utovarni element zahvaća pojas određene širine (zakretanjem cijelog stroja ili zakretanjem samo neposrednog radnog utovarnog dijela).

Prema ostalim konstrukcijskim značajkama utovarni se strojevi razvrstavaju:

- po vrsti pogona - na komprimirani zrak, električni ili na pogon motorima s unutarnjim izgaranjem (beziznimno dizelski motori),
- po tipu voznog uređaja - na tračnicama (gotovo potpuno izbačeni), na gumenim kotačima, na gusjenicama,
- pogon pojedinih funkcija odnosno sklopova je od jednog motora (jednomotorni pogon) ili je svaki pogonjen posebnim motorom (polimotorni pogon),
- upravljanje funkcijama odnosno odgovarajućim sklopovima je mehaničko, električno, zračno ili hidraulično.

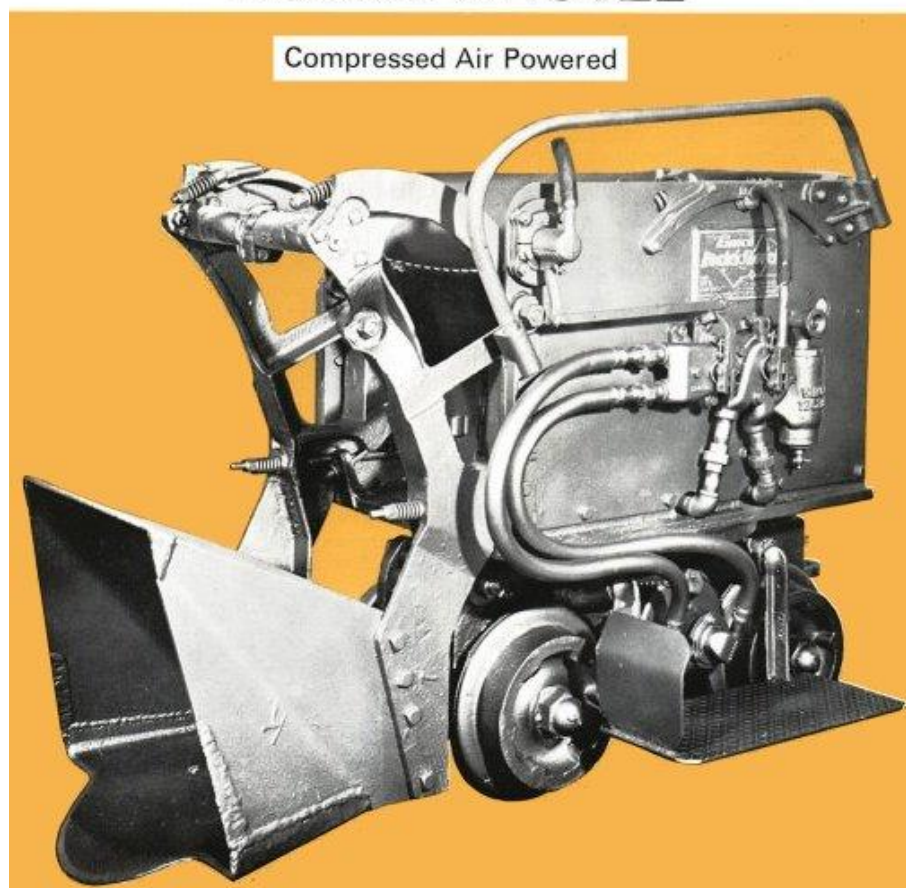
Na kraju, utovarni su strojevi namijenjeni samo za utovar materijala ili su kombinirani s prijevoznim sredstvom. U ovom drugom slučaju nastaju, u određenim uvjetima, jako rasprostranjeni utovarno-transportni strojevi (tzv. LHD ili Load-Haul-Dump, odnosno "utovari-otpremi-istresi" strojevi).

Utovarači cikličkog načina rada

Jamski utovarači cikličkog načina rada, tj. utovarači s lopatom poznati su pod imenom Eimco-utovarači, po nazivu tvrtke koja ih je prva plasirala. Opći izgled najstarije i dugo najraširenije izvedbe pokazuje slika 25. Stroj se sastoji iz voznog

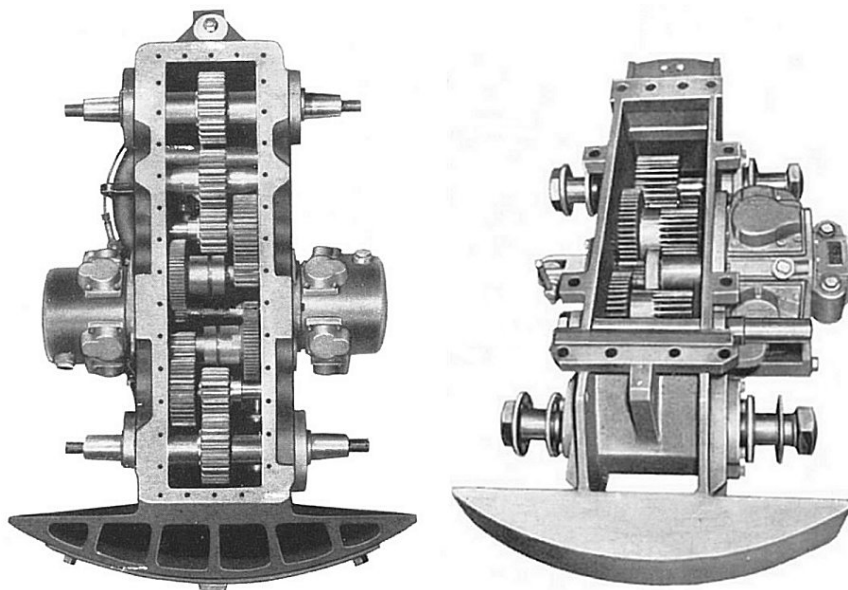
postolja na kolskim slogovima, na koje je vrtivo montirano tijelo utovarača. U tijelu je, na različite moguće načine, ugrađen radni element - utovarna lopata.

EIMCO 12B ROCKERSHOVEL®



Slika 25 Jamski utovarač cikličnog načina rada – «Eimco» (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

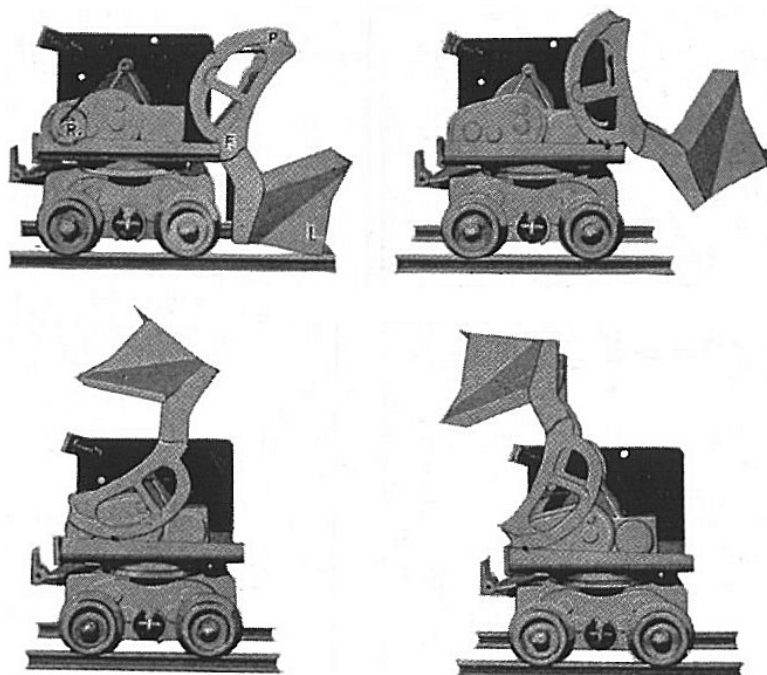
Vozno postolje ima vlastiti pogon, zračni ili električni motor koji posredstvom mehaničkog prijenosa (u pravilu niza čelnih zupčanika – slika 26) pogoni sva 4 kotača.



Slika 26 Mehanički prijenos (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

Pogon utovarnog elementa je također nezavisan pomoću motora i mehaničkog uređaja kojim se radni element diže i spušta. Kod kasnijih izvedbi ovaj je pogonsko-prijenosni sklop zamijenjen sustavom: motor, hidraulična pumpa, hidraulični cilindri. Kod strojeva s komprimiranim zrakom kao pogonskom energijom koristi se taj zrak u zračnim cilindrima (identično kao i kod hidrauličnih) za upravljanjem radnim elementom. Stroj se giba naprijed-nazad upravljanjem pomoću jedne poluge i dvokrakog zračnog ventila, a dizanje/spuštanje lopate drugom takvom polugom i ventilom. Smjer pomicanja poluge upravljanja identičan je smjeru gibanja odnosnog elementa, što olakšava ovladavanje upravljanjem.

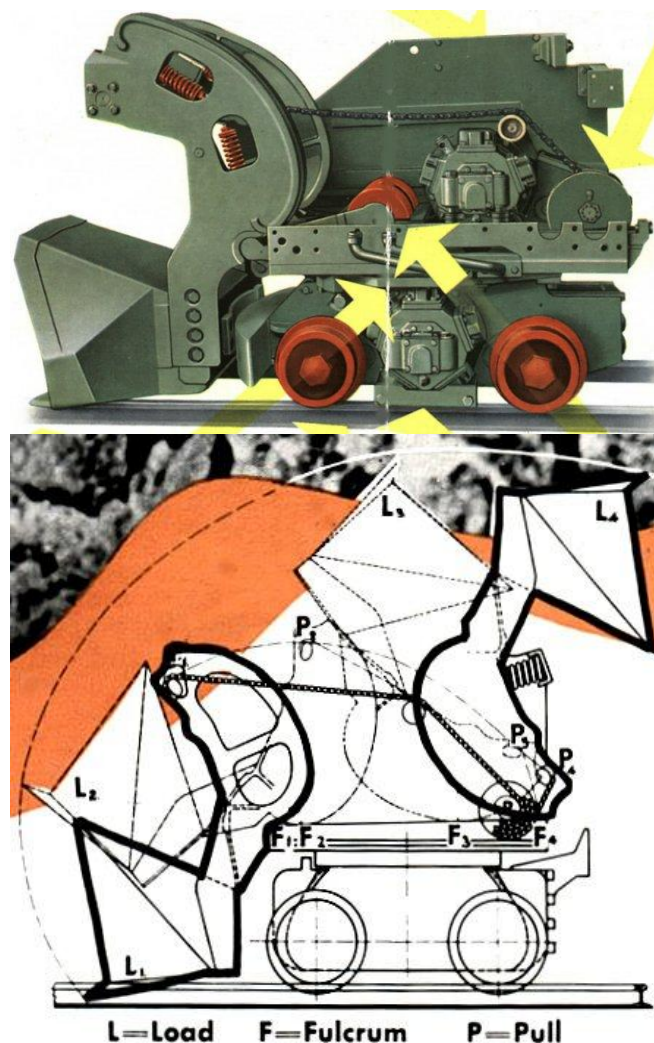
Lopata radnog elementa montirana je na krajeve dvaju jednakih segmenata kojima se postiže posebna, veoma interesantna kinematika podizanja-spuštanja (slika 27). Ta kinematika omogućava da lopata svlada dužinu cijelog stroja, jer je pražnjenje (istresanje) pozadi kompletnog utovarača, a da pri tom ima veoma nisku putanju.



Slika 27 Kinematika gibanja utovarne lopate (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

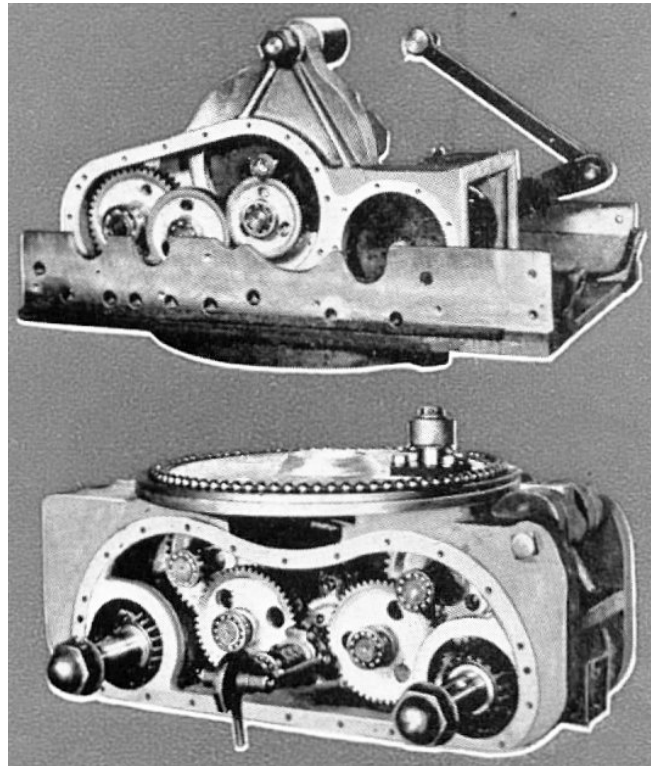
Kod izrade hodnika u rudnicima visina je često minimalna. Ovi se segmenti valjaju po posebnim za to montiranim tračnicama (L presjek) unutar tijela stroja. Valjanje znači da segment nije zgloбно ili šarnirno spojen s tijelom stroja. Jasno je, međutim, da segmenti s lopatom na kraju moraju na neki način biti spojeni s tijelom utovarača. To je postignuto pomoću para nasuprotno zapetih užeta na svakom segmentu. U jednom krajnjem položaju lopate (kada je npr. spuštena na tlo) jedno je uže napeto po cijelom luku segmenta, dok je drugo ispruženo duž staze valjanja. Kako se lopata podiže, to se ono prvo uže u istoj mjeri odmata, silazi s luka segmenta, a istovremeno i u istoj mjeri drugo namata, tj. naliže na segment. Na kraju podizanja lopate užeta su potpuno zamijenila stanja: prvo je opruženo duž staze valjanja a drugo je prileglo uz segment. Užeta su svojim krajevima zapeta (uz posredstvo opruga radi napinjanja užeta a i radi kompenzacije izduženja užeta) s jedne strane za tijelo utovarača i s druge za kraj (krajeve) segmenta. Ovakvim je učvršćenjem postignuto da je segment u svakoj točki putanje pritegnut uz stazu valjanja.

Podizanje lopate izvodi se tako što je za gornji kraj segmenta pričvršćen jedan kraj (Galovog) lanca, dok se drugi kraj namotava na kotur pogonjen posebnim, vlastitim motorom s odgovarajućim prijenosom odnosno reduktorom. Lopata se spušta oslobađanjem mehanizma za dizanje, pri čemu ona svojom težinom dovede do valjanja segmenta u početni položaj (slika 28).



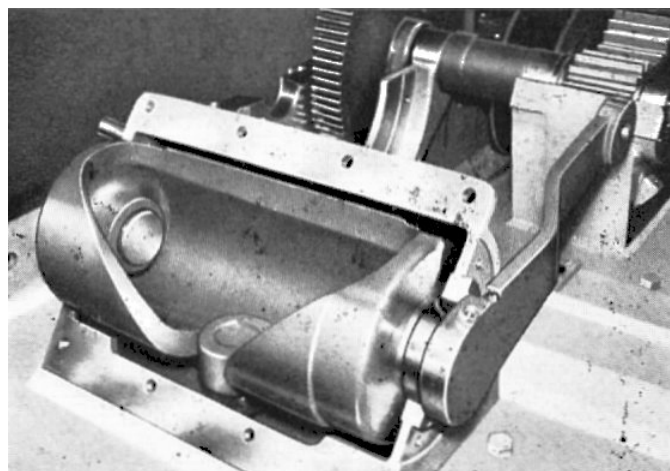
Slika 28 Mehaniizam za podizanje i spuštanje utovarne lopate (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

S donjim dijelom stroja, tj. s voznim uređajem, spojeno je vrtivo tijelo utovarača. Time se postiže da se s lopatom može zahvatiti jedan razmjerno širok pojas, a bez dodatnog manevriranja strojem (slika 29).



Slika 29 Mehaniizam za zaokretanje utovarača (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

Kako bi se međutim osiguralo da će lopata materijal baciti u prijevozno sredstvo direktno iza sebe, a ne pod onim kutom u kojem je smjeru utovarena, ugrađen je uređaj koji lopatu automatski ispravlja u suosni pravac prilikom podizanja do položaja pražnjenja. Gibanje (dizanje) lopate prenosi se polugom na jedan valjak s trokutno isječenim plaštem (slika 30).



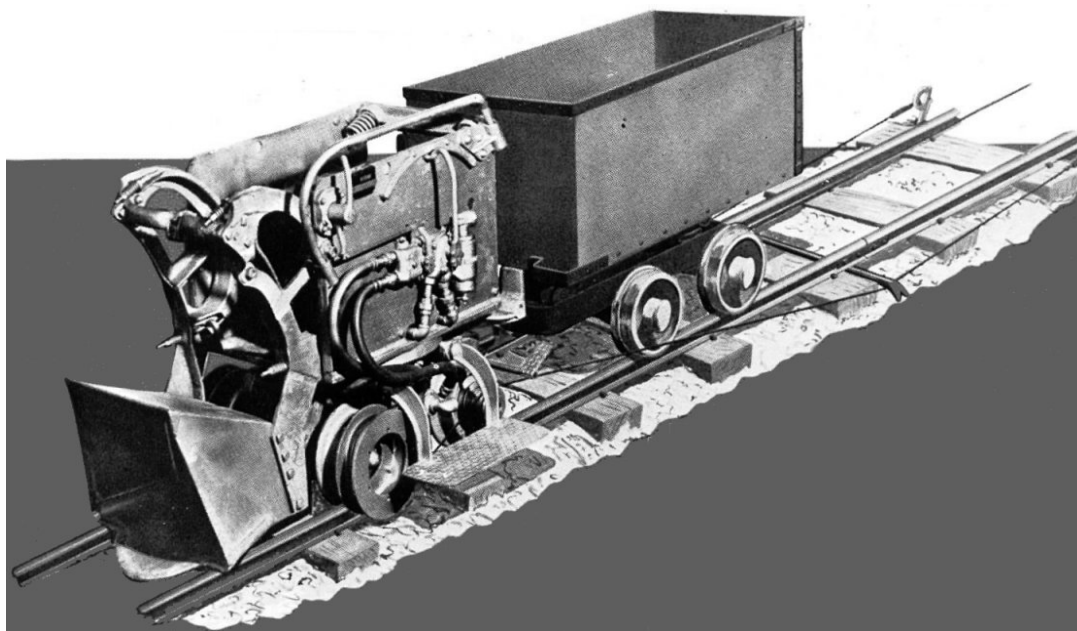
Slika 30 Valjak s trokutno izrezanim plaštem(Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

U taj izrez ulazi jedan kotačić montiran na donjem dijelu stroja (voznom postolju). U spuštenom položaju lopate naći će se taj fiksni kotačić uz bazu trokutnog

isječka. To znači da se gornji vrtivi dio stroja, čiji je element i opisani valjak s isječenim plaštem, može zakretati lijevo-desno koliko to baza tog isječenog trokuta u plaštu dozvoljava. Kako se lopata podiže tako se i valjak zakreće, a prostor u kojem se onaj fiksni kotačić može pomicati se smanjuje. Na kraju podizanja kotačić se našao u vrhu trokuta, i to jednoznačno određuje položaj lopate u momentu pražnjenja.

Utovarna se lopata na radnom mjestu zakreće ručno u željeni položaj, dok je njezino ispravljanje u suosni smjer automatsko na prije opisani način. Ovi strojevi rade u sprezi s vagonom odnosno kolosiječnim prijevozom. Vagon koji se upravo utovara je prikopčan za utovarač, te se s njime zajedno giba pri utovaru naprijed-nazad, sukladno s načinom rada ovih strojeva. To povećava masu koju treba gibati, smanjujući silu zarivanja lopate u nakopani materijal i povisujući troškove za utrošenu energiju. Kopča kojom se priključuje vagonet je opružna s uređajem za okidanje. Vozeći unatrag utovarač kopčom zahvati osovinu kolskog sloga vagoneta. Otkopčavanje se izvodi tako da se kopča spušta oslobađajući osovinu vagoneta i (u nekim izvedbama) istovremeno okidajući opružni ili zračni odgurivač. Zahvaljujući sili kojom je vagonet odgurnut samim utovaračem, uz još eventualnu silu od odgurivača, postiže se da puni vagonet sam dospije do vlaka punih vagoneta, oslobađajući neposredni komad kolosijeka i skretnicu za dovlačenje slijedećeg praznog vagoneta. Za bolje pražnjenje lopate, posebice za slučaj ljepljivog utovarnog materijala, na tijelu stroja su montirani opružni odbojnici na mjestu dokud dospijevaju segmenti pri valjanju. Time je omogućeno da lopata naleti na kraj svoga puta maksimalnom brzinom, pri čemu će materijal iz lopate uslijed inercije poletjeti u priključeni vagonet.

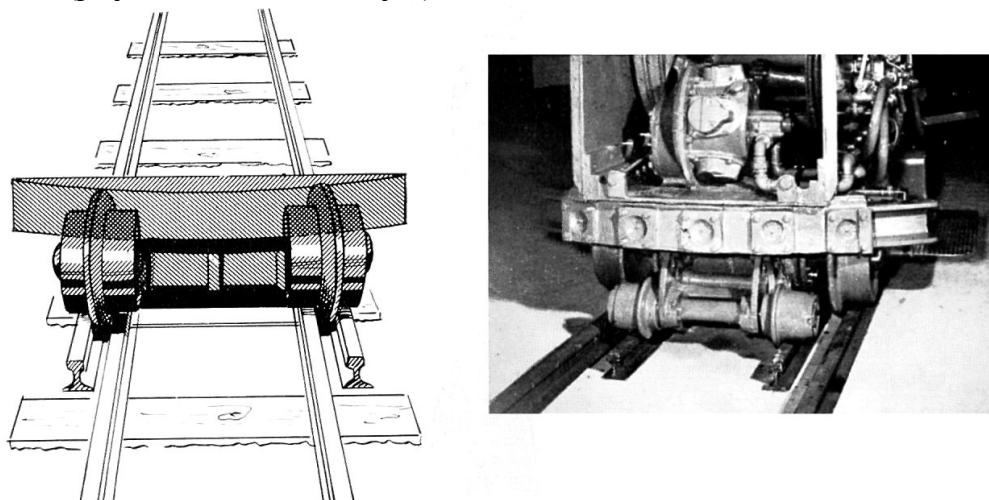
Pri radu u naklonjenim prostorijama (niskopima) jedan se par kotača opremi bubnjevima, na koje se namata odnosno odmata uže učvršćeno u prostoriji, ovisno giba li se stroj naprijed ili nazad (slika 31).



Slika 31 Rad u naklonjenim prostorijama (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

Pri radovima u hodnicima s kolosiječnim prijevozom polaže se prvo privremeni kolosijek, koji se zatim povlači (na neki način teleskopski) kako rad napreduje. U tu se svrhu opremi utovarač ili dodatnim kolskim slogovima s

razmakom kotača koji odgovara tom pomoćnom kolosijeku, ili kotačima s dvostrukim obodima (po jedan za svaki kolosijek), slika 32.



Slika 32 Kotači s dvostrukim obodima i dodatni kolski slogovi (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)

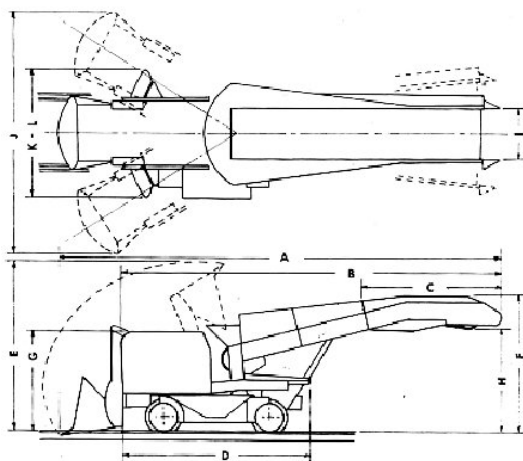
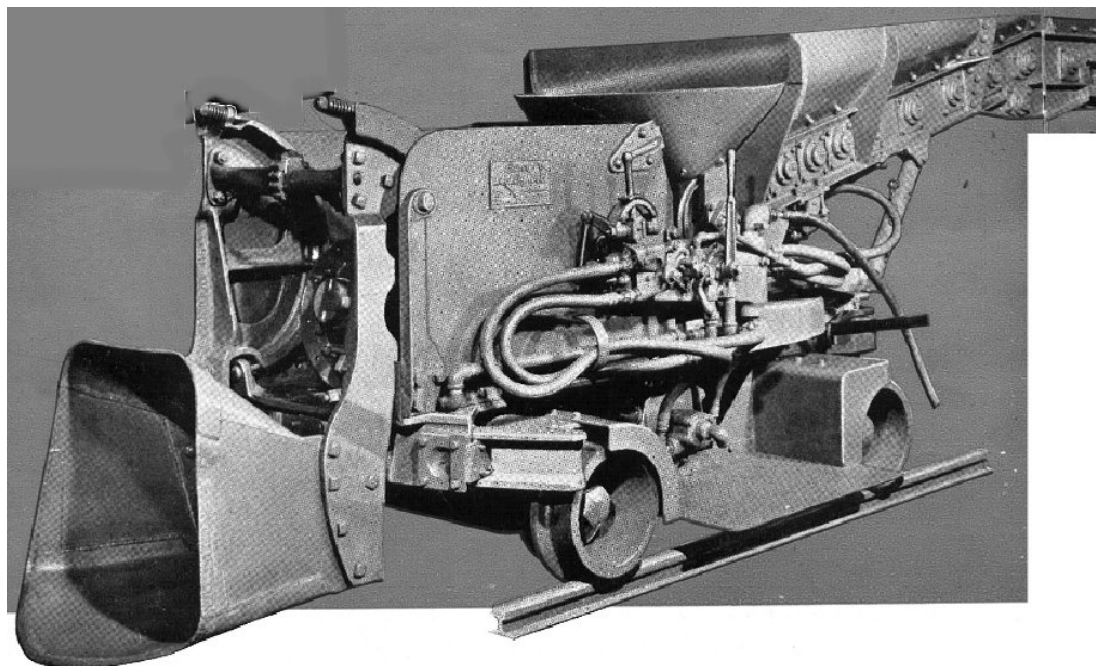
Ovi strojevi kao male jedinice volumena lopate 0,12 do najčešće približno 0,3 m³, koriste se još pri izradi podzemnih hodnika malih presjeka u rudarstvu i građevinarstvu klasičnim načinom, kao i tamo gdje ili nije potrebno ili se nema na raspolaganju modernije i efikasnije utovarne i druge mehanizacije. Sve u svemu, ovaj se stroj poglavito u ovakvoj prvobitnoj izvedbi jako malo upotrebljava. Varijante ovog tipa utovarača s gusjeničnim voznim postoljem i poglavito na gumenim kotačima posjeduju znatno veću manevarsku fleksibilnost (slika 33).



Slika 33 Varijanta utovarača na gusjenicama

Daljnja razvojna faza je utovarač s prihvatnim lijevkom i priključenim otpremnim transporterom (slika 34). Ovaj je transporter omogućio da se utovarač slobodno giba pri utovaru naprijed-nazad za dužinu tog transportera, odnosno da se utovareni materijal stalno prebacuje na daljnje prijevozno sredstvo. To daljnje

prijevozno sredstvo postalo je gumeni ili lančani kontinuirani transporter, što je pak omogućilo da se tehnologija izrade podzemnih hodnika unaprijedi i učini efikasnijom.



Slika 34 Utovarač s prihvatnim lijevkom i priključenim otpremnim transporterom

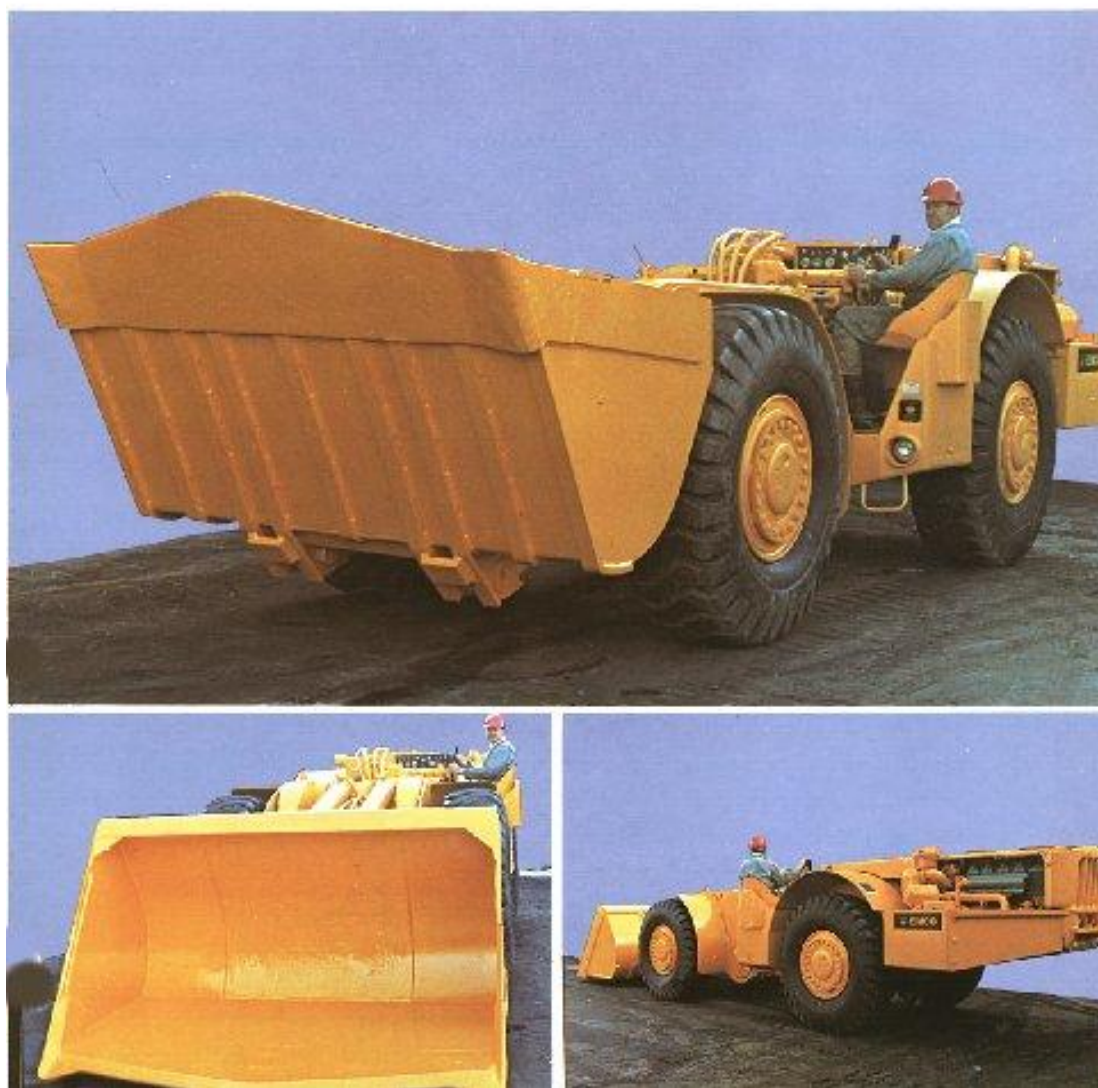
Pri nekim je načinima dobivanja (komorni i sličan način otkopavanja) također puno uporabljiv ovakav (Eimco) utovarač. Poboljšanje i moderniziranje konstrukcije za ovu namjenu išlo je u drugom pravcu - da se izbjegne transportni posrednik uopće. To je značilo da utovarač treba utovareni materijal sam i prevesti na kraću udaljenost do nekog određenog punkta (najčešće sipke). Razvoj se tu podijelio na strojeve koji u velikoj lopati ponesu onu količinu materijala koju odjednom utovare (slika 35), i na strojeve koji relativno malom lopatom u više ciklusa napune jedan spremnik (bunker) na sebi, i tada taj materijal prevoze do mjesta pražnjenja (slika 36). Prvo su tzv. LHD strojevi, a drugo tzv. bunkerski utovarači.

EIMCO[®] 915H LHD

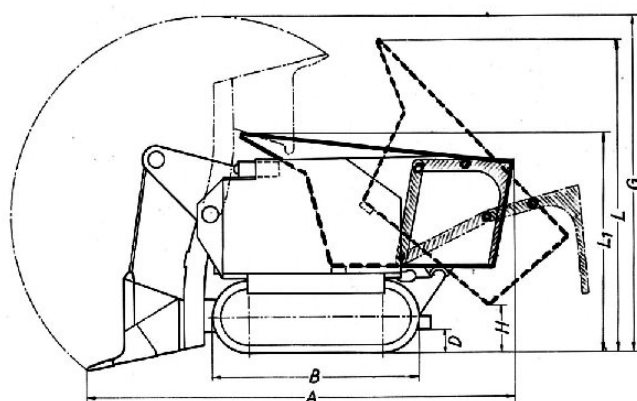
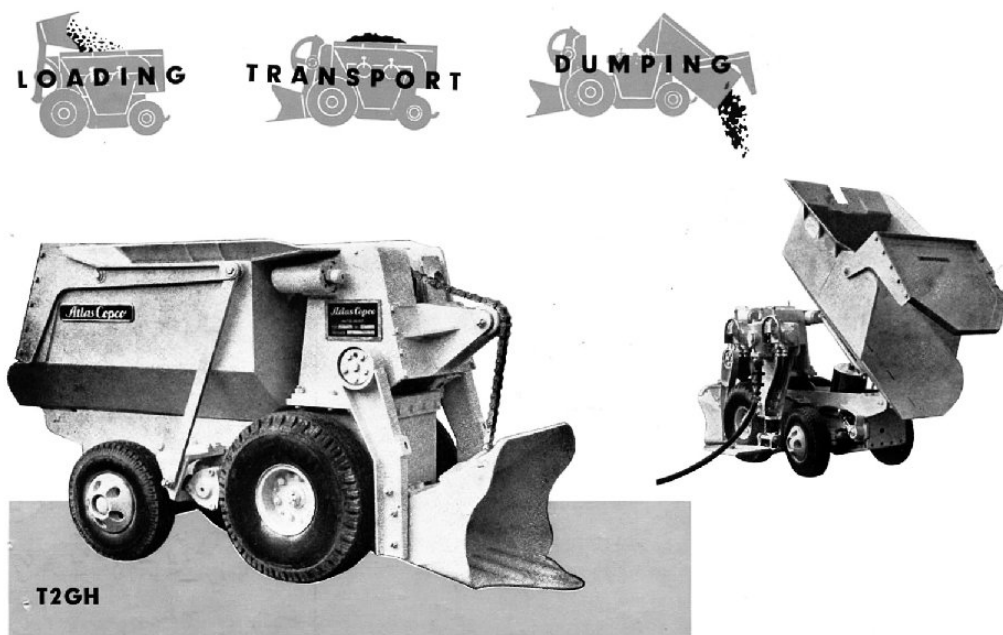


Exceptional Operator Visibility

76 Inches High 18,000 Pound Carry Capacity



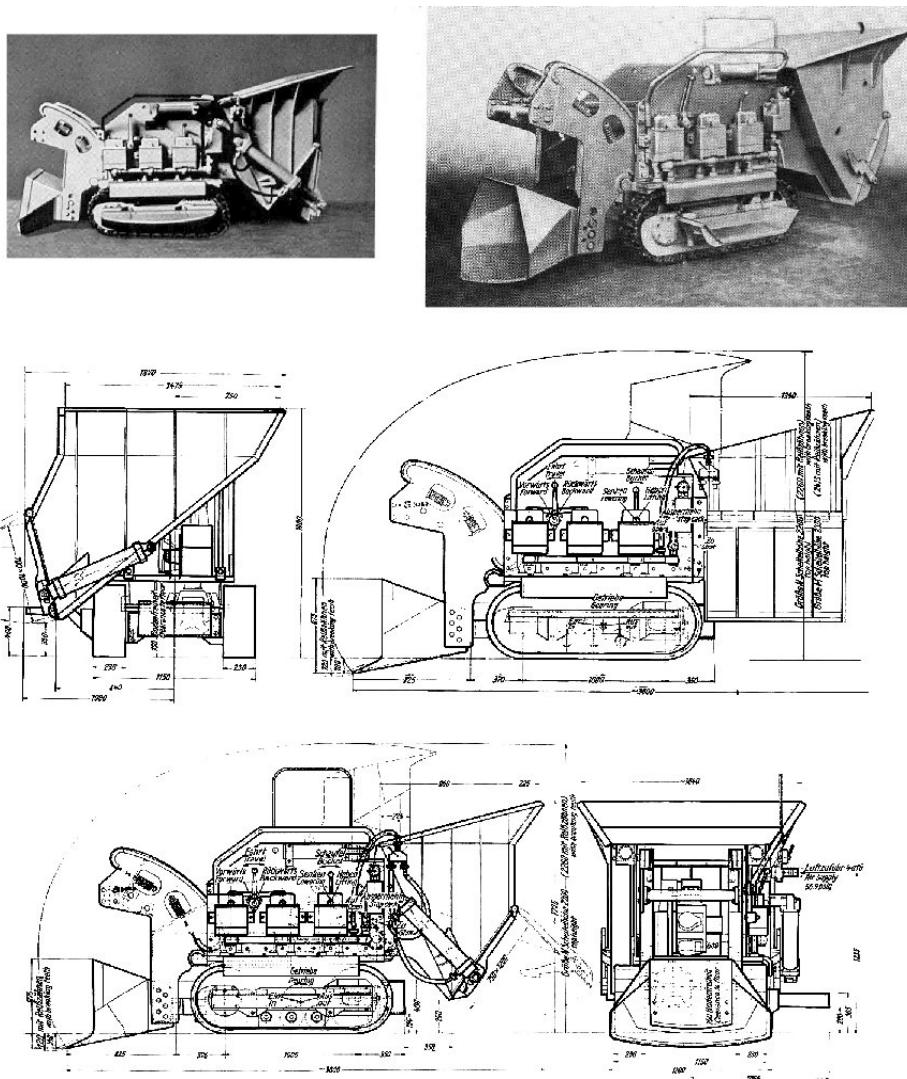
Slika 35 LHD strojevi (Promidžbeni materijal tvornice Eimco)



Slika 36 Bunkerski utovarači (Promidžbeni materijal tvornice Atlas Copco)

Kinematika dizanja-spuštanja lopate bunkerskih utovarača je istovjetna kao i kod klasičnih utovarača tipa Eimco, tj sa segmentima i valjajućom kinematikom (jako rijetko), ili s lopatom na dršalici šarnirno spojenoj s tijelom stroja. Dizanje lopate izvodi se zatezanjem Galovog lanca pomoću posebnog zračnog motora, dakle kao i kod klasičnih utovarača tog tipa, ili pomoću hidrauličnih odnosno zračnih cilindara. Spuštanje, odnosno vraćanje lopate u prvom slučaju je pod djelovanjem vlastite težine lopate, a u drugom pomoću istih cilindara. Spremnik ili bunker smješten je ili na odnosno u stroju ili iza stroja kao privjesak (slika 37). U svezi s tim razlikuje se i kinematika pražnjenja. Kod prvih se cijeli sanduk (bunker) kutno podiže prednjim krajem na način kao kod kamiona istresača, tako da se dovede u kosi položaj pri kojem će materijal kliziti po plohi dna. Istovremeno s podizanjem sanduka podiže se odnosno otvara i stražnja stranica sanduka. Ovo je postignuto tako što su vrata zavješena na jednom kraju dvokrake poluge, a drugi kraj koje je spojena motka vezana za tijelo stroja. Oslonac dvokrake poluge (to je vrtište spojeno sa sandukom) podiže se kako se podiže i sanduk, time jedan kraj te poluge (onaj spojen motkom s tijelom stroja) ponire, dok se drugi (dvokraka poluga!) podiže, podižući pritom i vrata. To je inače kinematika otvaranja vrata koja se i drugdje primjenjuje (npr.

Granby vagoni). Kod utovarača s bunkerom kao privjeskom iza stroja pražnjenje je isključivo tako da se pomoću hidrauličnih ili zračnih cilindara otvaraju vrata na dnu. Oblik sanduka, položaj vratiju kao i smjer pražnjenja prilagođeni su svrsi odnosno mjestu, tipu i vrsti sredstva u koje se materijal dalje predaje.



Slika 37 Bunkerski utovarači sa sandukom u obliku privjeska

Svi opisani tipovi utovarača prebacuju materijal na jedan ili drugi način iza sebe. Jedna varijanta ima utovarnu lopatu kojom se materijal podiže i istresa isključivo u stranu (slika 38). Prijevozno sredstvo u tom slučaju je isključivo kontinuirani transporter položen bočno pokraj utovarača. U određenim uvjetima ima ovo rješenje znatne prednosti: cijeli je stroj manji i lakši za istu veličinu lopate, manji je utrošak energije za isti radni efekt, veći učinak u usporedbi sa strojem iste kategorije u klasičnoj izvedbi.

Posebnu grupu utovarača predstavljaju strojevi s radnim elementom koji prigrće materijal na rampu u kojoj je transporter za daljnju otpremu. Takvi su se strojevi primjenjivali (ili se još ponegdje primjenjuju) u rudnicima soli i rjeđe ugljena s podetažnim otkopavanjem s obrušavanjem u povlačenju, gdje se u prostor s obrušenom rudom ne smije ulaziti. Ruda se obrušava na prethodno srušenu krovinu,

pa ju je potrebno s kosine te obrušene krovine prigrnuti u podgrađeni i zaštićeni hodnik, utovariti i otpremiti.



Slika 38 Varijanta utovarača s lopatom koja se prazni u stranu

LHD strojevi

Ova tipično američka mehanizacija ima značajke površinskih utovarača. Velike dimenzije, velike snage, visoki učinci, pored niza drugih čimbenika ograničavaju njihovu primjenu u puno pogleda. Međutim, tamo gdje ih se može primijeniti s tehničkog i ekonomskog gledišta predstavljaju izvanredno modernu i efikasnu mehanizaciju.

Primjena takvih utovarača zahtijeva veliku pažnju na uređenju transportnih putova. Naime, kao što je prethodno spomenuto, tim strojevima se materijal i prevozi na određenu kraću udaljenost. Shodno tome, njihova će učinkovitost direktno ovisiti o brzini kretanja koja će pak nesumnjivo jako ovisiti o stanju i tipu podloge tj. puta po kojem se kreću. Transportni put po kojem se kreću LHD utovarači, da bi se smanjili otpori gibanju a time i povećala brzina, moguće je stabilizirati i učvrstiti na više načina (Walker, 1982):

- Primjenom betona s vrlo malom količinom cementa
- Mehaničkom stabilizacijom primjenom strojeva (valjci, nabijači itd.)
- Cementnom stabilizacijom, tako da se postojeći materijal podloge puta razrahlji i usitni, pomiješa sa cementom uz dodatak vode, ako je potrebno, te strojevima zbije
- Stabilizacijom posipanjem vapnom
- Stabilizacijom prskanjem bitumenom
- Stabilizacijom posipanjem anhidritom
- Popločavanjem prethodno izlivenim betonskim pločama

Danas u cijelom svijetu postoje brojni proizvođači raznih modela ovih strojeva no, općenito možemo ustvrditi da današnje LHD utovarače karakteriziraju slijedeće zajedničke karakteristike:

- Mogućnost odabira, kod istog modela, između električnog i diesel pogonskog motora (diesel opcija uključuje kondicioniranje ispušnih plinova)
- Zglobno upravljanje, koje je ostvareno pomoću centralno smještenog zgloba čime je tijelo utovarača podijeljeno na dva dijela koji se oko njega, pri okretanju upravljača, djelovanjem hidrauličnih cilindara s jedne i druge strane zgloba, zakreću na jednu ili na drugu stranu.
- Mogućnost daljinskog upravljanja strojem u opasnim zonama
- Protueksplozijska sigurnosna zaštita motora
- Robusna konstrukcija
- Mala visina i širina
- Pogon na sva četiri kotača
- Upravljačko sjedište je smješteno bočno što osigurava vozaču jednako dobru preglednost pri vožnji unaprijed i unatrag a time i jednaku brzinu gibanja.

Utovarači kontinuiranog načina rada

Po vrsti pogonskog uređaja odnosno vrsti pogonske energije, kao i po vrsti voznog uređaja izvode se ovi utovarači u svim kombinacijama kao i utovarači cikličkog načina rada. Radni je proces međutim suštinski drugačiji. Materijal se grabi, dohvaća i neposredno dalje predaje u transportno sredstvo u kontinuiranom procesu. Ovi su strojevi bez iznimke samo utovarači. Ne izvode se eventualno kao kombinacija utovarnog i prijevoznog sredstva.

S obzirom na način rada prilagođen je radni element kontinuiranom procesu utovara materijala. Izvedbe su:

- s utovarnim prigrtačima ("rukama"),
- s bubnjem i greblima na plaštu,
- s rotorom i vedricama na obodu
- s lancem i vedricama,
- s nazubljenim (narovašenim) stošcem,
- s propelerskim prigrtačima,
- s parom beskrajnih lanaca s greblima.

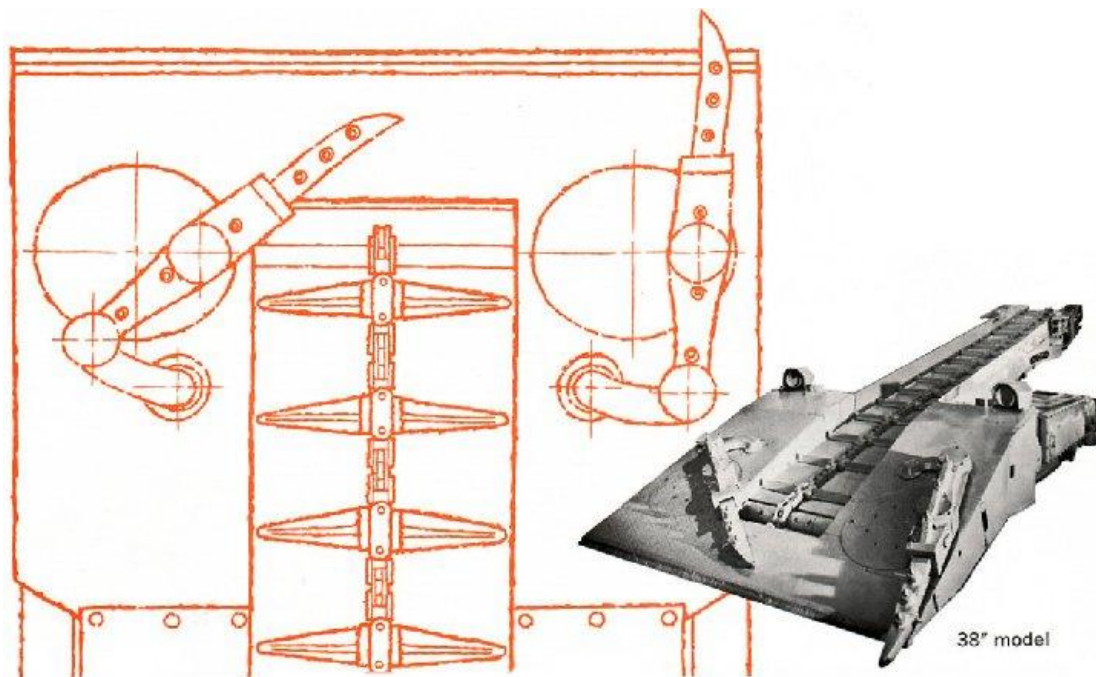
U svim izvedbama neposredni radni element prigrće, zahvaća i podiže ili priguruje materijal na otpremni transporter, koji pak taj materijal podiže i usmjerava u daljnje transportno sredstvo. Otpremni se transporter može, kod većine ovih strojeva, na slobodnom kraju dizati odnosno spuštati, prilagođavajući se time visini daljnjeg prijevoznog sredstva, a kod izvjesnog broja i zakretati lijevo-desno.

Otpremni je transporter najčešće jednolančani grabuljasti transporter koji omogućuje zakretanje slobodnog istovarnog kraja, rjeđe dvolančani grabuljar, i za sipke materijale sitnije granulacije, kao i za neabrazivne materijale (gline i slično) gumeni transporter. U posljednja dva slučaja slobodni kraj ovog transportera nema mogućnosti zakretanja lijevo-desno. Ako je to ipak potrebno, tada se otpremni transporter u sredini tijela stroja prekida, pri čemu nastaju dva neovisna transportera, od kojih je stražnji (istovarni) vrtiv u horizontalnoj ravnini s vrtištem na presipnoj točki, kao i pomičan u smjeru gore-dolje.

Radni elementi u obliku prigrtača ("ruku"), propelerski, s beskrajnim lancima s greblima, te s nazubljenim stošcem redovno se montiraju na kosoj rampi - plugu. Plug je šarnirno spojen s tijelom stroja, te se po potrebi može, najčešće hidraulično,

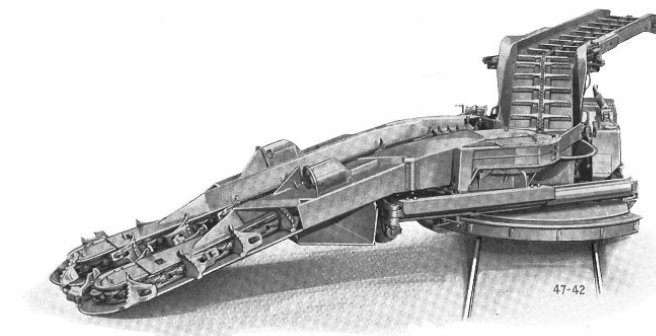
podizati i spuštati. Ovo je posebice potrebno pri manevriranju odnosno pri prebacivanju stroja s lokacije na lokaciju.

Od svih tipova radnih elemenata najširu primjenu imaju prigrtači ("ruke") – slika 39 i beskrajni lanci s greblima. Kinematika gibanja prigrtača slična je kinematici ljudske ruke pri prigrtanju i izvanredno je efikasna. Značajka tog tipa radnog elementa je mali broj dijelova, mali broj točaka u kojima se dijelovi vrte ili klate, te kao posljedica ovih dvaju momenata velika robusnost i pogonska pouzdanost.



Slika 39 Utovarač kontinuiranog načina rada s prigrtajućim radnim elementima u obliku «ruku»

Radni element s dva nasuprotno smještena beskrajna lanca s greblima po vanjskom obodu (slika 40), također je veoma efikasan u radu, ali je robusnost i pogonska pouzdanost manja zbog znatno većeg broja dijelova i točaka u kojima se ti dijelovi spajaju odnosno vrte (članci lanca!).



Slika 40 Utovarač kontinuiranog načina rada s dva nasuprotno smještena beskrajna lanca s greblima po vanjskom obodu (Promidžbeni materijal tvornice Jeffrey)

Ostali se tipovi radnih elemenata rjeđe primjenjuju u tipičnim uvjetima. Zbog svojih svojstava primjenjuje se radni element u obliku bubnja s greblima na plaštu, kao i vedričasti element s rotorom ili beskrajnim lancem kao nosačem vedrica i u uvjetima kad materijal treba silom odvajati. To je slučaj s nakopanim te ponovo slijepljenim ili smrznutim materijalom, ili kad se mekši (gline i slično) odnosno sipki materijal primarno uklanja odnosno otkopava. U ovim slučajevima predstavlja utovarni stroj u neku ruku i stroj za dobivanje. Kako im to nije primarni zadatak i u takvim se uvjetima primjenjuju iznimno, ne svrstava se ovakav tip utovarača u strojeve za dobivanje. Obratan slučaj, tj. da se stroj za dobivanje (gotovo sve vrste bagera) primjenjuje i za utovar češće se pojavljuje, pa se takvi strojevi i shvaćaju kao mehanizacija za dobivanje i za utovar. U velikoj većini tehnoloških procesa pri kojima se primjenjuju takvi strojevi čine dobivanje i utovar tehnološku cjelinu.

9. POVRŠINSKI UTOVARAČI

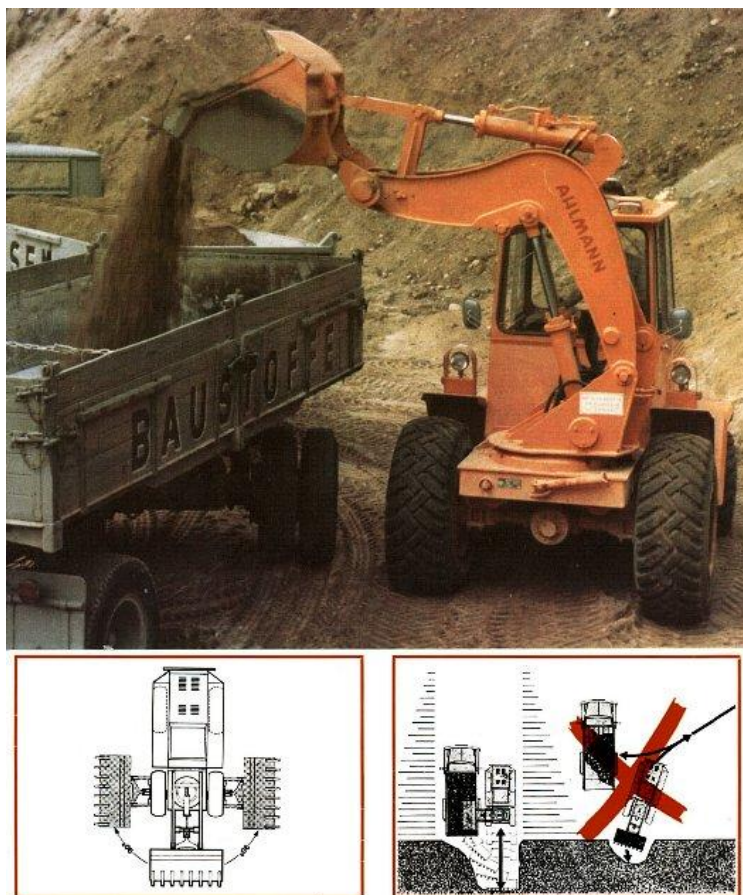
Utovarači koji se primjenjuju za radove na površini uglavnom su cikličkog načina rada. Radni je element utovarna lopata, vozni uređaj je gusjenični ili na gumenim kotačima, a pogon motorima s unutarnjim izgaranjem (dizelski) – slika 41.



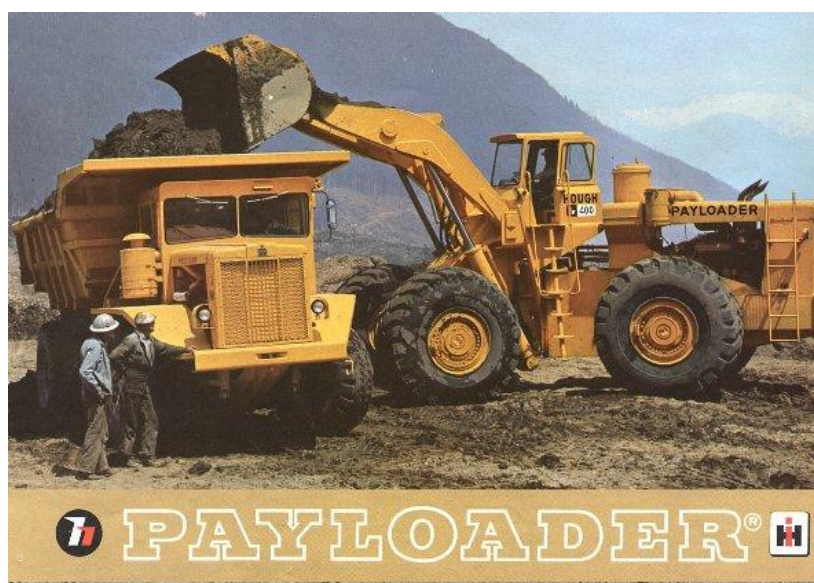
Slika 41 Površinski utovarači (Promidžbeni materijali tvornice Payloader)

Odstupanja od ove sheme su rijetka, i tada su to strojevi za sasvim specifične uvjete ili namjene.

Unutar ove sheme razlikuju se dva tipa utovarača: sa zakretnim (slika 42) i sa nezakretnim radnim elementom – lopatom (slika 43). Kod prve se izvedbe zakreće samo radni element u potrebni položaj (bočno) prilikom pražnjenja, dok se kod druge izvedbe mora manevriranjem zakretati cijeli stroj.



Slika 42 Površinski utovarač sa zakretnim utovarnim elementom (Promidžbeni materijali tvornice Allmann)



Slika 43 Površinski utovarač sa nezakretnim utovarnim elementom (Promidžbeni materijali tvornice Payloader)

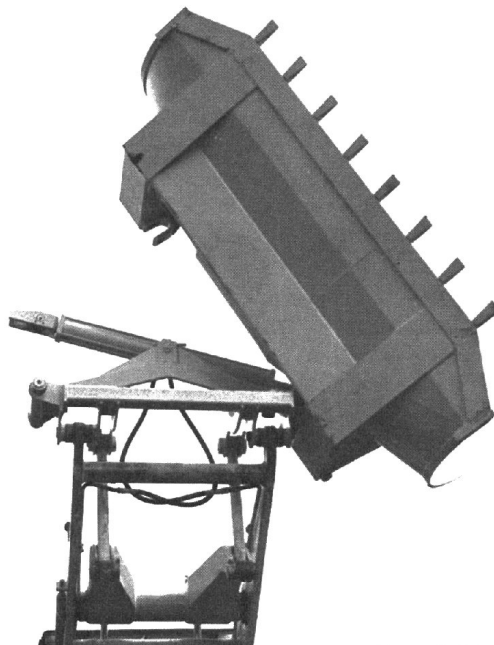
Radi prevrtnog momenta koji nastaje pri zakretanju samo radnog elementa u bočni položaj, moraju ovi strojevi imati ili podupirače koji povećavaju (proširuju) osnovicu oslanjanja stroja o tlo (pri čemu stroj mora mirovati na određenom mjestu), ili im je veličina radnog elementa ograničena uvjetom da prevrtni moment uvijek bude manji od momenta samog stroja protiv prevrtanja (uz koeficijent sigurnosti protiv toga). Budući da je mobilnost utovarnih strojeva jedna od glavnih značajki odnosno zahtijeva, to se rješenje s podupiračima ne koristi kod standardnih utovarača. Posljedica je da se utovarači sa zakretnim radnim elementom grade rijetko odnosno s lopatama malog volumena. Neke određene granice nema, jer će moment protiv prevrtanja ovisiti od težine stroja, širine uporne osnovice (traga kotača ili gusjenica), te visine težišta, prema dužini bočnog dohvata radnog elementa i materijala u njemu.

Tip utovarača s nezakretnim radnim elementom (čelni utovarač) najčešća je izvedba. Veličina i težina stroja, volumen lopate i pogonska snaga neprekidno rastu, osvajajući područja primjene koja inače pokrivaju manji do srednje veliki bageri. Mobilnost na radnom prostoru, i još više mobilnost na javnim prometnicama su čimbenici koji su postavili gornju granicu veličine ovih strojeva.

Radni se element čelnih utovarača sastoji iz lopate montirane na kraju sustava poluga koje imaju oslonac na tijelu stroja. Ovaj sustav poluga omogućava podizanje i spuštanje lopate, te njeno zakretanje u položaj za punjenje i pražnjenje. Izvjestan broj ovakvih strojeva oprema se sustavom koji omogućava iskretanje lopate preko jednog ili čak preko oba svoja boka (tzv. LIBU lopata) – slika 44.

LIBU

3-way shovel



Slika 44 Površinski utovarač s lopatom za iskretanje u stranu (Promidžbeni materijali tvornice LIBU)

Po načinu rada mogu se utovarači s čelnom lopatom podijeliti na one koji grabe i prazne materijal ispred sebe, i one koji grabe ispred a prazne lopatu iza tj. preko sebe. Ima izvedbi i s obje ove mogućnosti. Dakako najčešći tip je utovarač koji lopatu puni i prazni ispred sebe. Ovdje spadaju i izvedbe lopate koje se mogu prazniti bočno, ali i ispred stroja.

Potrebna gibanja lopate ostvaruju se preko polužnog sustava indirektno, što je starije rješenje i uglavnom se napušta ili direktno. U oba se slučaja potrebno gibanje dobiva od hidrauličnih cilindara.

Utovarna je lopata redovno sandučastog oblika, zaobljena na dnu i otvorena odozgo. Prednja se strana oprema pojačanim rubom ili privarenim ili pomoću vijaka spojenim zubima, ovisno o materijalu koji se utovaruje. Posebna je izvedba lopata kojoj se jedna stranica (dno ili prednja odnosno stražnja) hidraulički otvaraju s svrhu pražnjenja – slika 45.



The LR631 hydrostatic loading shovel

Slika 45 Posebna izvedba utovarne lopate s dnom koje se otvara (Promidžbeni materijali tvornice Liebherr)

Utovarači na gusjeničnom voznom uređaju su ustvari traktori - gusjeničari s pridodanom hidrauličnom i polužnom opremom lopate. Utovarači na kotačima redovno su specijalne konstrukcije. Vozni se uređaj s gumenim kotačima gradi u dvije izvedbe:

- s neupravljivim kotačima, i
- s upravljivim jednim parom kotača.

Vozni se uređaj s neupravljivim kotačima gradi također u dvije različite izvedbe:

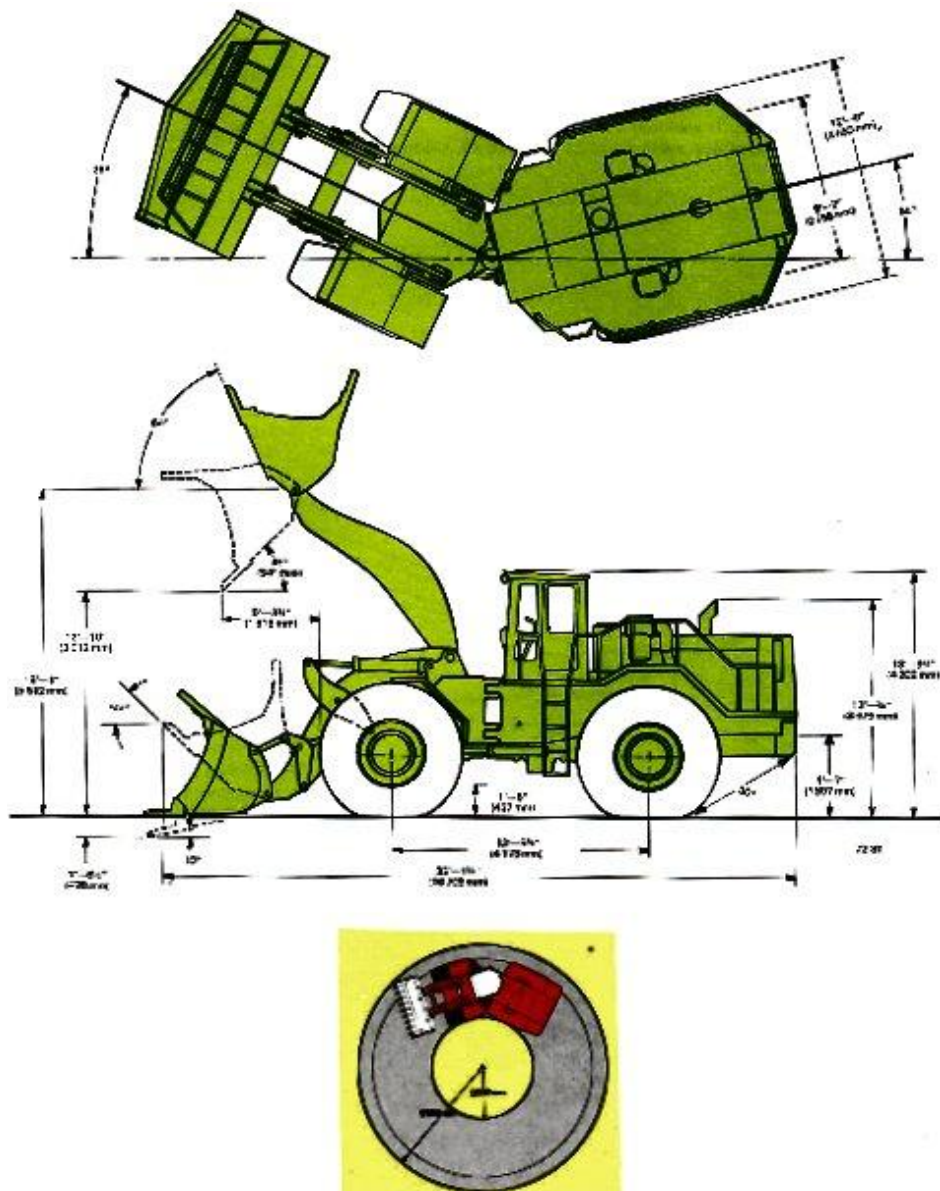
- s krutim tijelom voznog uređaja, i
- s voznim uređajem u dva dijela, međusobno šarnirno zglobovno spojena (slika 46).

Upravljanje je kod izvedbe s krutim tijelom voznog uređaja na principu kočenja onih kotača koji su na strani u koju se cijeli stroj zakreće. To je identično principu upravljanja kod gusjeničnih voznih uređaja. Kočeni kotači tada bočno kližu (ne kotrljaju se, jer su ukočeni!) po tlu, čega je posljedica veliko habanje guma. Ovaj sustav, upravo iz ovih razloga, nije našao širu primjenu.

Izvedba s voznim uređajem iz dva odvojena dijela međusobno zglobovno spojenih je rješenje koje, pored klasičnog načina upravljanja pomoću para

upravljačkih kotača (automobili!), nalazi veoma široku primjenu. Svaki je od dva dijela voznog uređaja opremljen parom kotača. Zakretanje je dakle takvo da se cijeli stroj uvija u sredini nalijevo ili nadesno, pri čemu kotači ne mijenjaju položaj na svom ovjesu. Ovakvo rješenje ima neke znatne prednosti pred svim ostalim načinima upravljanja. Ovjes svih kotača je znatno čvršći, krući. Kod upravljivih kotača ovjes je inače upravo slaba točka, a posebice kod radnih strojeva velike vlastite mase. Kod utovarača je ovo još pogoršano i činjenicom da je raspored tereta na prednje i stražnje kotače nejednolik, tj. pri podizanju pune lopate prednji kotači i njihov ovjes su znatno opterećeni. Upravo iz tog razloga ukoliko se grade utovarači s klasičnim načinom upravljanja, grade se najčešće tako da upravljivi kotači budu stražnji par i da su manjih dimenzija od prednjih neupravljivih.

Zakretanje jednog spram drugog dijela voznog postroja, tj. upravljanje izvodi se pomoću hidrauličnih cilindara smještenih s obje strane šarnirog spoja odnosno vrtišne točke. Uz pretpostavku kvalitetne hidraulične opreme ovo predstavlja najjednostavnije i najjeftinije rješenje upravljanja utovaračima.



Slika 46 Površinski utovarači s voznim uređajem u dva dijela, međusobno šarnirno spojena

10. STROJNI ISKOP STIJENA

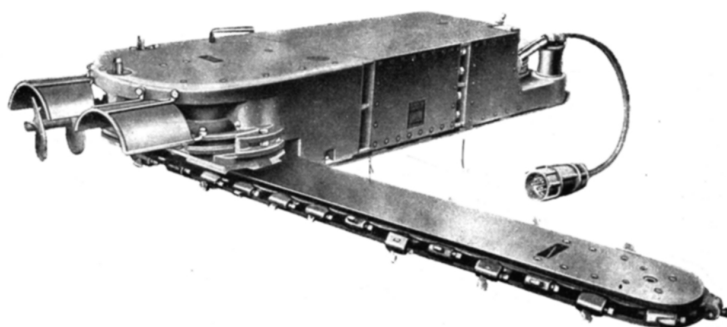
Još od prvih začetaka civilizacije, čovjek je u svojem neprekidnom hodu za boljitkom izmišljao i koristio različita oruđa za najrazličitije namjene. Prvi alati i oruđa još iz kamenog doba izrađena su od životinjskih kostiju, rogova jelena, drveta, bjelokosti i kamena. Prva oruđa ili oružja su bili slučajno pronađeni komadi kostiju ili kamena zgodnog oblika. S vremenom je čovjek počeo svjesno koristiti te izrađivati mnogo sofisticiranija oruđa. Pa je tako odbačeni jelenski rog, komad šiljaste kosti postao klin, grablje ili čekić, komad kamena je postao sjekira ili nož. Vrlo brzo, čovjek je naučio razlikovati kremen od običnog kamena. Uvidio je da se drugim komadom kremenom može udaranjem oblikovati te da je mnogo tvrdi od ostalih tada raspoloživih materijala. Kad je prethistorijski čovjek u svojoj neposrednoj okolini iscrpio površinske zalihe dragocjenog kamena počeo je u potrazi za njim kopati u podzemlje. Iz toga proizlazi da je rudarenje za kremenom najraniji čovjekov organizirani rad – nekoliko milenija stariji od poljodjelstva. Dokaz tomu su širom svijeta razasuti rudnici kvarca još iz kamenog doba kao što je npr. lokacija Grime's Graves u blizini Brandona u pokrajini Suffolk u Engleskoj za koju se zna da je starija od 10 000 godina. Upotreba kremenom kao alata zadržala se čak do početka željeznog doba. Interesantno je da je većina željeznih predmeta pronađena u Egiptu i drugdje širom svijeta bila oružje i ukrasi a ne alati. Alati su se pojavili mnogo kasnije (G. Clark et al., 1933.).

Podjela i kronologija razvoja strojeva za iskop stijena

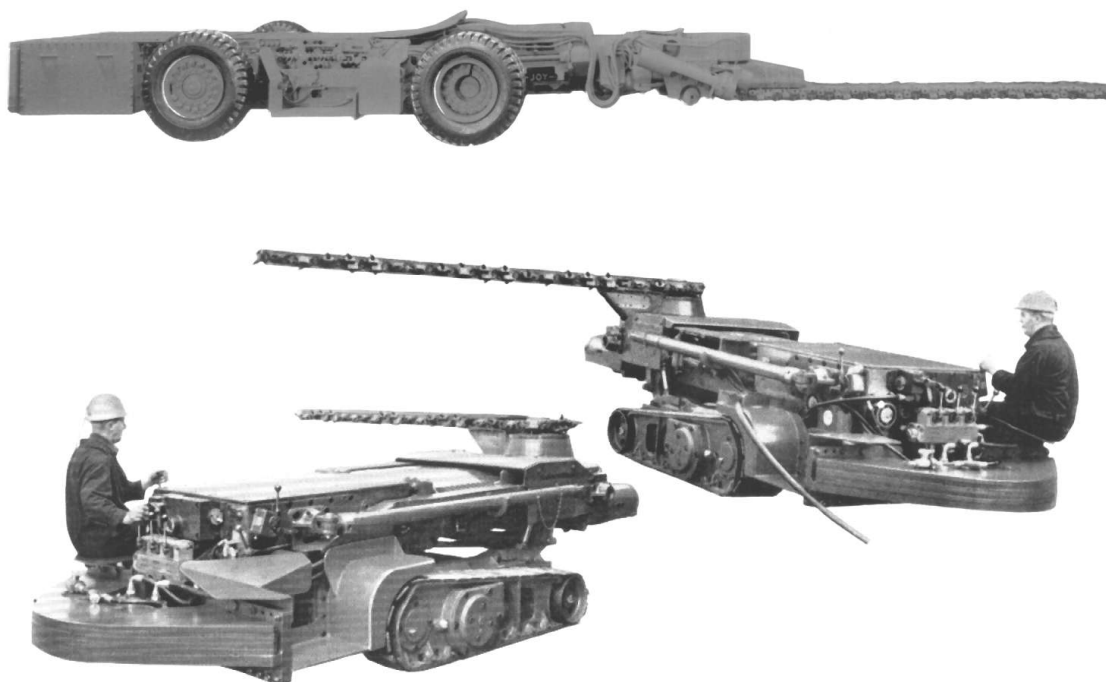
Nakon alata za kopanje iz željeznog doba, u XVII stoljeću se pojavljuju strojevi za razrušavanje stijena tj. iskop, povezani uz upotrebu i primjenu eksploziva. Bušenje minskih bušotina je u početku bilo ručno, jedan radnik je držao dlijeto stalno prislonjeno uz stijenu te ga nakon svakog udarca čekićem zakretao a drugi radnik je udarao čekićem mase 4-5 kg na drugi kraj dlijeta. Ukoliko je bilo potrebno izbušiti bušotinu veće dužine, dva su radnika naizmjenice udarala čekićima. To je bio mukotrpan i dugotrajan posao. Upravo zbog toga su se prve pojavile bušilice za bušenje bušotina.

Gotovo istovremeno s početkom razvoja bušilica počeli su se razvijati strojevi za podsijecanje ugljena tzv. podsjekačice. Za podsjekačice možemo reći da su to bili strojevi iz kojih se kasnije razvila cijela grupa strojeva za kontinuirani iskop stijena. Stotinama godina su lopata i pijuk a kasnije i eksploziv bili jedini alati koji su se koristili u rudarstvu. Početkom industrijske ere polako se počela materijalizirati ideja o stroju koji bi olakšao teški rudarski posao. Michael Menzies iz Newcastlea u Engleskoj 1761. godine prvi patentira stroj za podsijecanje ugljena. Menziesov patent predlaže upotrebu reznih alata pričvršćenih na seriju teških lanaca koji se pokreću ljudskim radom ili konjima. No ti prvi pokušaji uvođenja mehanizacije su propali uslijed nepostojanja prikladne pogonske energije i zbog jeftine radne snage. Gotovo sto godina kasnije, pojavljuju se prvi ozbiljniji strojevi za podsijecanje ugljena. William Peace 1853 patentira stroj koji je imao na lancu pričvršćene šiljke a 1861. godine William Firth predstavlja stroj koji je oponašao ljudski rad na podsijecanju pa je popularno nazvan "Željezni čovjek". Već 1864. godine William Baird proizvodi stroj čiji su koncept, gotovo u cijelosti, zadržale sve kasnije verzije podsjekačica. Te prve podsjekačice su pogonjene komprimiranim zrakom. Prva podsjekačica pogonjena električnom energijom patentirana je 1856. godine u Engleskoj ali je prvu

ozbiljnu primjenu doživjela tek 1888. godine. Osim što je pogonjena el. strujom, umjesto lanca s režućim elementima radni organ je bila rotirajuća šipka s reznim elementima – “zubima”. Na slici 47 prikazana je podsjsjekačica pogonjena električnom energijom. Dok je razvoj podsjsjekačica u Engleskoj bio usko povezan sa širokočelnom otkopnom metodom pa su podsjsjekačice povlačene užetom ili lancem uzduž dugog čela, u Americi se gotovo isključivo koristila stupno komorna otkopna metoda (“room and pillar”) pa su podsjsjekačice postavljane na podvozja koja su se pokretala na kotačima ili gusjenicama zbog veće mobilnosti (slika 48).



Slika 47 podsjsjekačica pogonjena električnom energijom



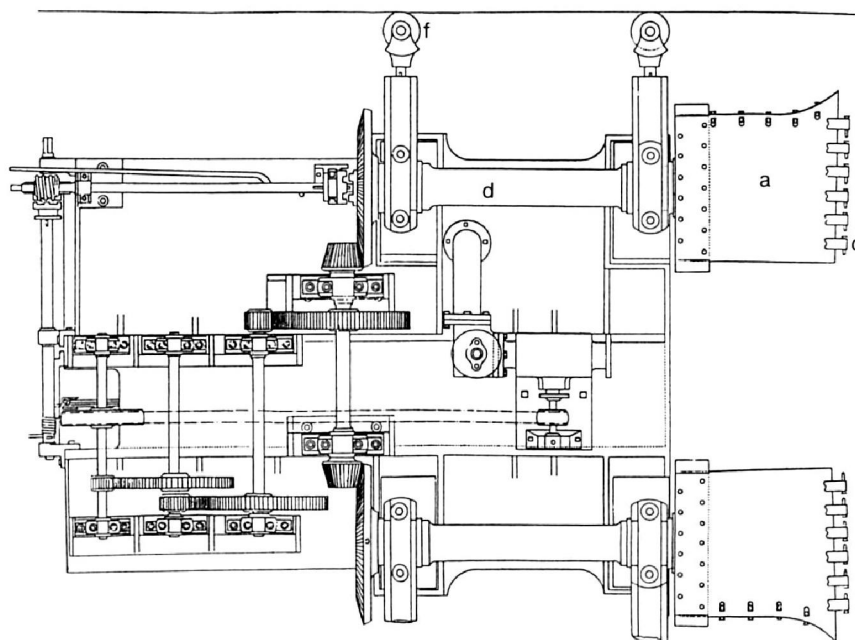
Slika 48 Mobilne podsjsjekačice

Iz podsjsjekačica, u Engleskoj se razvila cijela grupa strojeva za rad na širokom čelu. To su bili “kombajni”, “strugovi” (dinamički i statički), itd. Zajedničke karakteristike su im bile:

1. kontinuirano dobivanje mineralne sirovine (ugljen, fosfati,...)
2. istovremeni utovar mineralne sirovine
3. kontinuirani transport otkopane mineralne sirovine (grabuljari, transporteri s beskonačnom trakom)
4. Upotreba samopremještajuće hidraulične podgrade

Nakon što je upotreba podsječkača na širokočelnom iskopu u Engleskoj već postala uobičajena a njihov razvoj već uvelike poodmakao, 1875. godine William Johnson iz Bretbya, predlaže po prvi put upotrebu strojeva za punoprofilni iskop pripremnih hodnika, no idućih 10 godina nije bilo niti jednog pokušaja. U razdoblju od 1885 do 1890 godine Reginald Stanley isprobava razne prototipove strojeva za punoprofilni iskop u njegovom ugljenokopu u Nuneatonu.

Stanleyevim strojevima prethodio je rad Cookea i Huntera na razvoju strojeva za iskop škrljavca u kamenolomima sjevernog Walesa od 1865.-1867. godine. Njihov stroj je imao robusno podvozje na kotačima na kojem su se sprijeda nalazile dvije rotirajuće rezne glave od kojih je svaka bila sastavljena od dva polucilindrična segmenta. Svaka rezna glava je na prednjem rubu imala rezne elemente, slika 49. Osim toga u centru svake rezne glave se nalazilo svrdlo koje je bušilo bušotinu u centru jezgre dobivene rotacijom reznih glava. Nakon bušenja stroj bi se povlačio a jezgre bi se vadile cijepanjem klinovima ako je bio dobar materijal a ako ne miniranjem.



Slika 49. Stroj za iskop škrljavca (Cooke i Hunter, 1865-1867. godine)

Stanley je nastavio razvoj svojih strojeva sve do 1905. godine te prijavio 11 patenata. Nažalost, njegovi strojevi nisu doživjeli širu primjenu iz tri razloga:

1. U Engleskim ugljenokopima u to vrijeme razvoj je uglavnom bio usmjeren na razvoj strojeva za širokočelni iskop
2. Podsječkače su bile jeftinije a rezervni dijelovi mnogo jeftiniji nego za punoprofilne strojeve
3. Ljudski rad je i dalje bio ekstremno jeftin.

Razvoj Stanleyevih inovacija nastavio je Edward Scofield McKinlay. On je svoj stroj za punoprofilni iskop dizajnirao i razvio u Engleskoj ali ga nije tu izgradio i patentirao već ga je odlučio patentirati u Americi 1918. godine gdje je po prvi put i sastavljen. Tijekom ranih 1920-tih, proizvedeno je i pušteno u rad oko dvadeset njegovih strojeva u različitim rudnicima širom Amerike. No njihov je rad uglavnom

bio neuspješan zbog toga što je ugljenarstvo u to vrijeme u Americi bilo na ranom stupnju razvoja a mnogi rudnici nisu imali mogućnosti niti sredstva za daljnji razvoj i otklanjanje nedostataka koji su se pojavili u njihovom radu. McKinleyevi strojevi bi ubrzo pali u zaborav da ih uprava, u ono vrijeme najvećeg ugljenokopa na svijetu, "New Orient Mine" 1926 godine nije predvidjela za izradu pripremnih hodnika. To je bio ugljenokop koji je postigao do tada najveću dnevnu proizvodnju ugljena od 15 000 t. Normalno da je izrada pripremnih hodnika u takvom rudniku bila znatno veća nego drugdje pa je jedino upotreba takvih strojeva mogla osigurati dovoljno brzu izradu pripremnih radova. McKinleyevi strojevi su u tom rudniku uspješno eksploatirani slijedećih 25 godina te je njihovom primjenom iskopano ukupno 160 kilometara pripremnih hodnika.

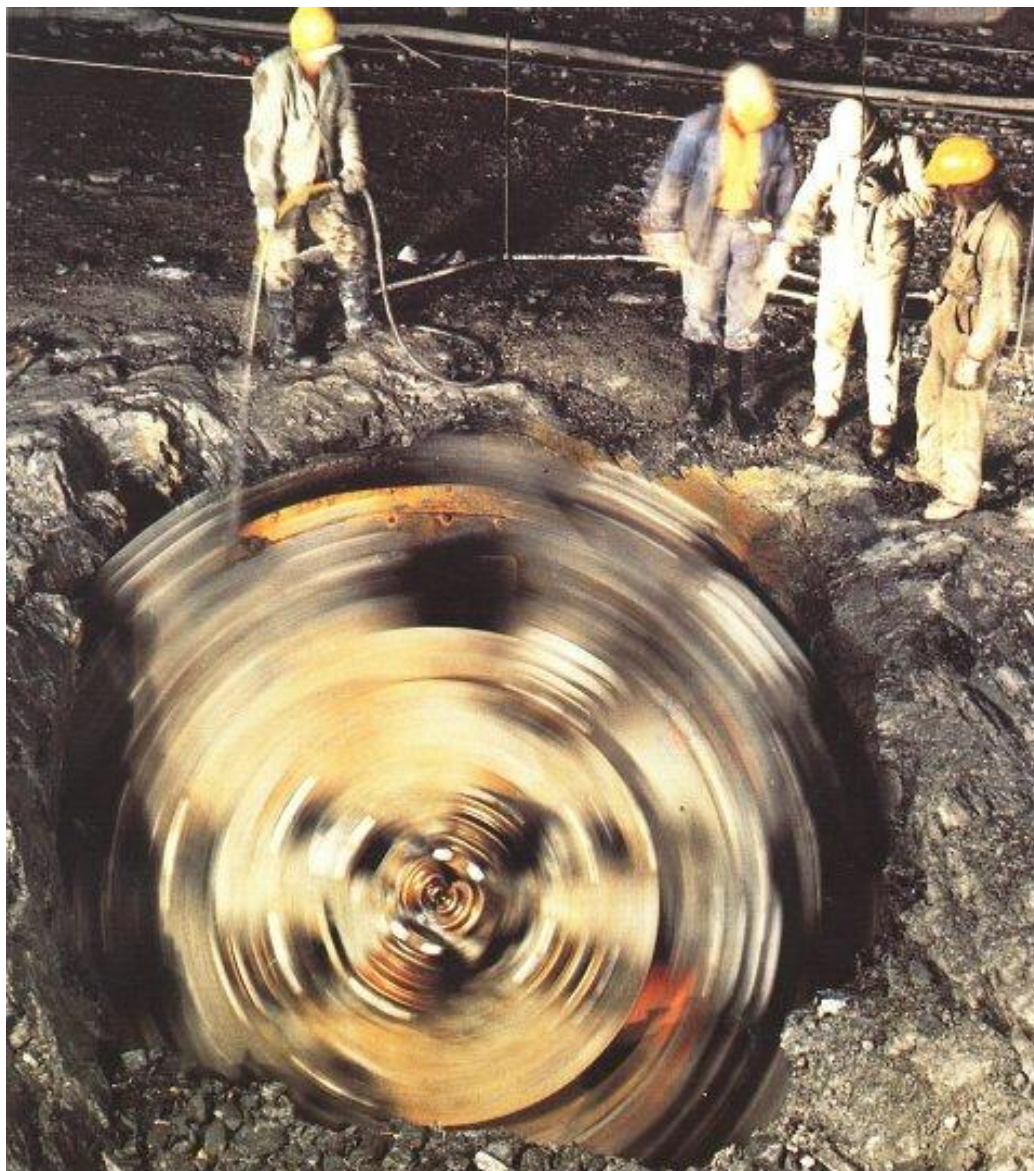
Iz tih prvih strojeva za punoprofilni iskop pripremnih hodnika u rudarstvu razvila se cijela grupa strojeva za punoprofilni iskop tunela popularno nazvanih "krtice" odnosno tuneleri (slika 50).

Odlikuju se slijedećim bitnim značajkama:

- cijeli se profil izgrađuje odjednom,
- veličina profila je za dani tip stroja konstantna, odnosno može se malo mijenjati samo promjenama na radnom elementu,
- proces kopanja, odnosno izdvajanja materijala iz sklopa temelji se na principu bušenja (slika 51),
- mogućnost napredovanja je samo u pravcu odnosno krivinama velikog radijusa (80 - 200 m),
- stroj se ne može, odnosno izvanredno je komplicirano, vraćati unatrag. Ovi strojevi stoga redovno uđu s površine na jednom kraju i po izradi zadanog tunela iziđu ponovo na površinu na suprotnom kraju. Otuda i popularni naziv "krtica" (odnosno u njemačkom "jazavac").



Slika 50 «Krtica»



Slika 51 Princip iskopa tunela «krticom»

Iz izloženog proizlazi da je ovakav tip mehanizacije primjenjiv u tunelogradnji, gradnji metroa, podzemnih rovova za dovod odnosno odvod vode za hidroelektrane, opskrbe vodom gradova ili velikih industrijskih kompleksa. U svim ovim slučajevima tunel je i temeljni cilj tog iskopa, dok su u rudarstvu pripremni radovi samo posredni stadij za glavni cilj, a to je proizvodnja mineralne supstance.

Prednosti ove vrste strojeva su:

- zbog otpadanja miniranja moguće je izrađivati tunele ispod gradskih područja, plitko ispod površine, kao i svagdje tamo gdje bi rastresanje i potresanje bilo štetno odnosno opasno,
- izrađeni profil je veoma gladak, što u većini slučajeva isključuje potrebu kasnijeg oblaganja, betoniranja, torkretiranja ili drugih sličnih postupaka (slika 52),
- relativno veliki napredci u usporedbi s klasičnim načinom izrade (bušenje-miniranje-utovar-odvoz).

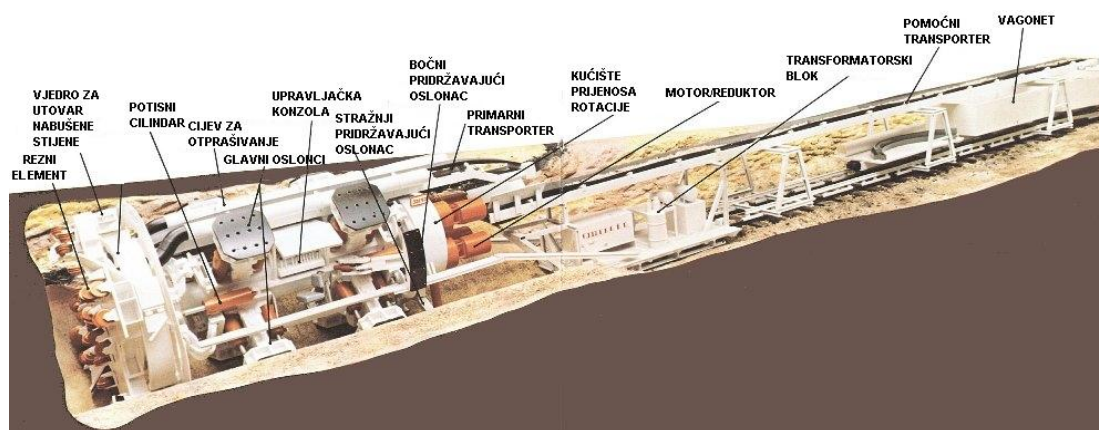


Slika 52 Izgled profila tunela nakon iskopa tunelerom

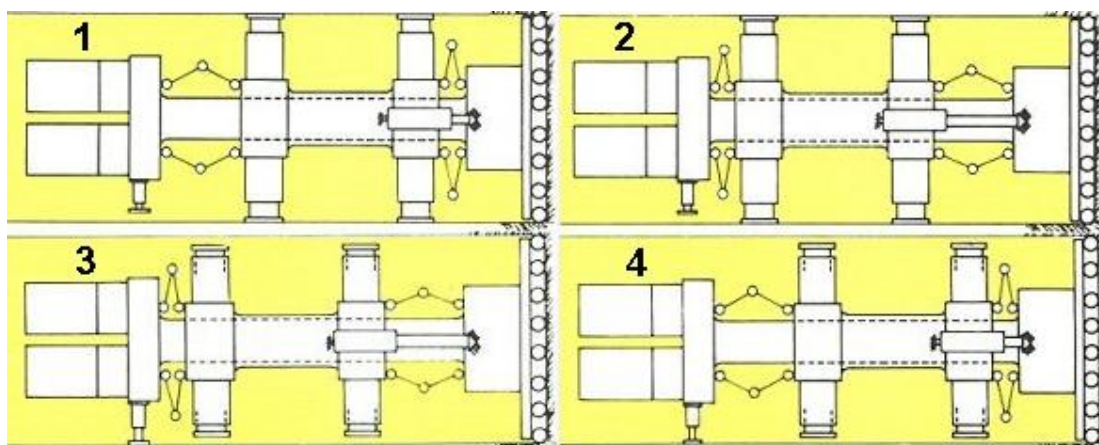
Tipičan tuneler se sastoji od slijedećih funkcijskih grupa (slika 53):

- Radni (rezn) element - glava s vedrima koja podižu izbušeni materijal i istresaju u otpremni transporter. Ovaj sklop rotira prilikom rada, i biva hidraulično potiskivan uz čelo koje se buši, ostvarujući potrebni pritisak za rušenje stijene;
- Između ovog sklopa i daljnjih (u smjeru prema kraju stroja) smješten je štit koji iskopani profil gotovo potpuno zatvara (malu razliku u promjerima štita i tunela brtvi gumena zavjesa). Time je neposredni radni prostor odvojen od ostalog dijela, u kojem se nalazi najosjetljiviji i najskuplji dio stroja, kao i posada koja njime rukuje;
- Uređaj za podgrađivanje pomoću tibing segmenata sastoji se iz transportera za dopremu tih segmenata i hidrauličnih kliješta kojima se svaki pojedini segment zakretanjem dovede do određenog mjesta u kružnom nizu, i zatim pomoću hidraulike utisne u svoje predviđeno mjesto. Nakon što se segment vijcima učvrsti za segmente susjednog završnog niza (okvira) i za susjedni prethodni u istom nizu, hidraulična kliješta oslobađaju segment, uvlače se i zakreću u početni položaj da prihvate novi segment;
- Transporter u stroju kojim se dopremaju segmenti postavljen je tako da ih direktno doprema na gornji kraj, ili pak uz tlo, pri čem ih dodaje na donji kraj rotacijskih hidrauličnih kliješta. Dalja je manipulacija u oba slučaja ista;

- Uređaj za gibanje stroja sasvim je specifične izvedbe, pa ga se ovdje niti ne naziva vozni postroj ili uređaj. Uređaj se dakle sastoji iz dvije skupine hidrauličnih stupova i papuča za oslanjanje o stjenku tunela (slika 54). Cijeli je stroj u predjelu između tih grupa prekinut, dok je međusobni spoj izveden posredstvom hidrauličnih cilindara. Napredovanje stroja izgleda ovako: oba dijela stroja primaknuta su maksimalno jedan drugome (1). Ovo znači da su hidraulični cilindri koji spajaju ta dva dijela stroja maksimalno uvučeni. Istovremeno su hidraulični cilindri (stupovi) sa stopama za oslanjanje stražnjeg dijela stroja uvučeni, dok su hidraulični cilindri prednjeg dijela (gledano u smjeru napredovanja) upeti o stjenku tunela. Izvlačenjem spojnih hidrauličnih cilindara gura se i prednji dio s radnim elementom na čelo stijene, postizujući pri tom dovoljnu odnosno potrebnu silu na reznim elementima za rušenje stijene (2). Ovi cilindri se pri tom guranju prednjeg dijela oslanjaju na stražnji dio, koji je pak učvršćen pomoću hidrauličnih cilindara sa stopama upetih o stjenku tunela. Kad je napredovanjem iskopa dosegnut maksimalni domet spojnih hidrauličnih cilindara mijenja se situacija s upornim cilindrima: prednji se oslobode a stražnji upiru o stjenku tunela (3), nakon čega se spojnim cilindrima privlači stražnji dio stroja (4). Napredovanje nije, kako je iz opisa vidljivo, stalno, kontinuirano, već s prekidima. Ovako se gibanje može usporediti s gibanjem (nekih) gusjenica!



Slika 53 Glavni dijelovi tunelera



Slika 54 Shematski prikaz gibanja tunelera

U Engleskoj je daljnji razvoj strojeva za punoprofilni iskop pripremnih hodnika za široko čelnu otkopnu metodu rezultirao strojevima koji su mogli raditi i u tvrdim stijenama. U Americi, uslijed primjene komorno-stupne otkopne metode

(“room and pillar”) došlo je do razvoja nove grupe strojeva namijenjenih za kontinuiranu eksploataciju ugljena u komorama (“Continuous Miners”). Do tada je ugljen u Americi eksploatiran podsijecanjem, bušenjem minskih bušotina, miniranjem te nakon toga utovarom odminiranog ugljena – cikličkim načinom rada. Upotrebom strojeva za kontinuirani punoprofilni iskop, iz procesa dobivanja otpalo je bušenje i miniranje a utovar se odvijao istovremeno jer je zajednička karakteristika svih tipova strojeva bio uređaj za istovremeni kontinuirani utovar. Prvi strojevi za kontinuirani iskop pojavljuju se u Americi 1948 godine i to redom modeli s režućim lancima, slika 55. Radni ciklus tih strojeva odvijao se na slijedeći način: Prilaskom stroja radnom čelu, rezna glava s lancima bi urezala rez u dnu čela zatim bi se polako pomicala prema krovini sloja. Rezni lanci bi svojom rotacijom otkopani ugljen prenosili do grabuljara kojim je ugljen dalje transportiran do stražnje strane stroja. Gotovo dvadeset godina kasnije pojavljuju se 1967 godine prvi modeli s rotirajućim bubnjem na kojem su se nalazili helikoidalno pričvršćeni rezni elementi – “zubi”, slika 56. Radni ciklus strojeva s rotirajućim bubnjem razlikovao se utoliko što je otkopavanje napredovalo od krovine sloja prema podini. Strojevi s rotirajućim bubnjem su iskopani ugljen utovarali ekscentrično oscilirajućim polugama, smještenim na koso položenoj metalnoj rampi, koje su ugljen prigrtale do grabuljara koji je ugljen istovarao sa stražnje strane stroja.

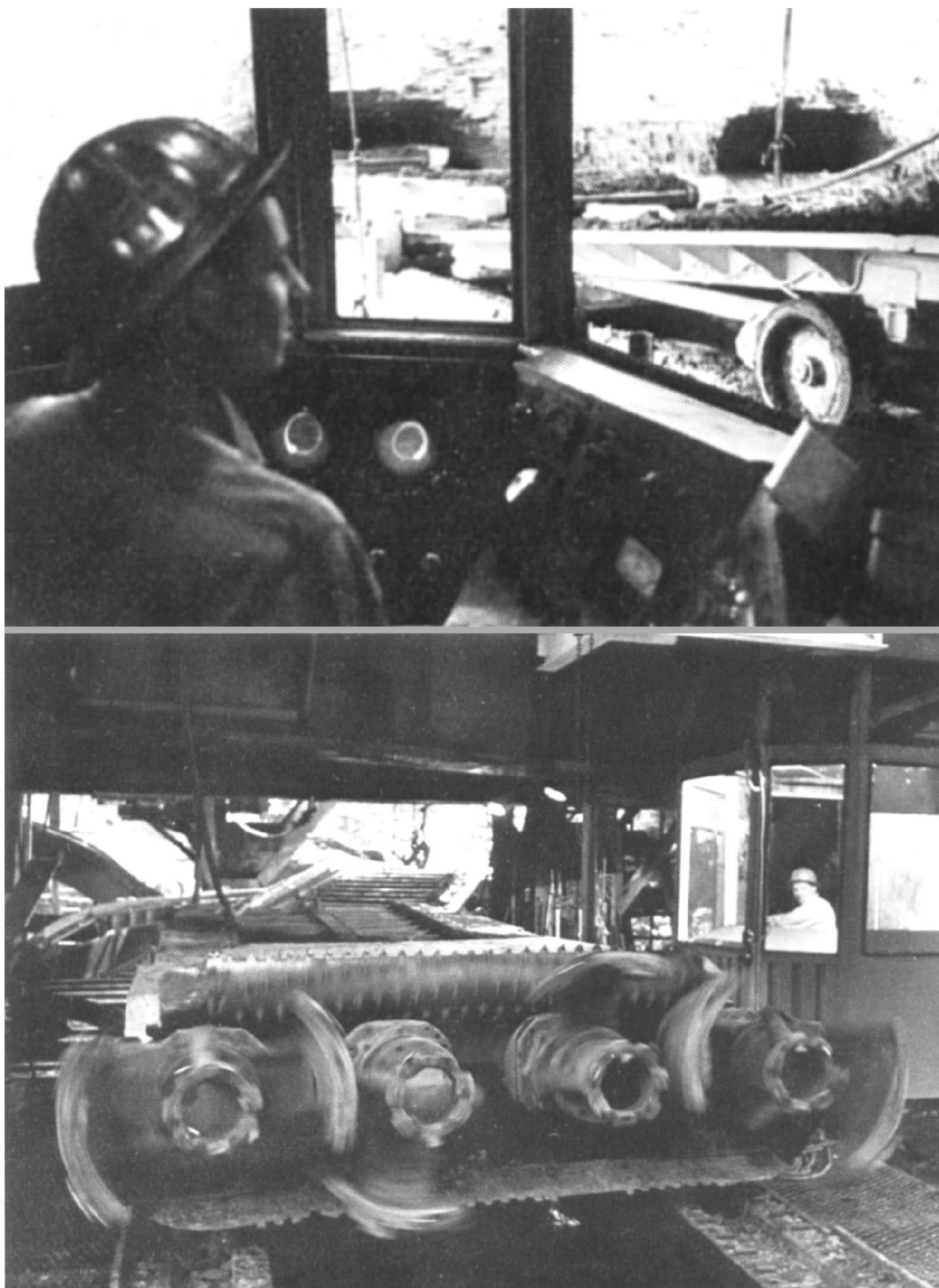


Slika 55 Stroj za kontinuirani punoprofilni iskop s reznim lancima (Harold Silver, 1940)



Slika 56 Stroj za kontinuirani punoprofilni iskop s rotirajućim reznim bubnjem

Vrlo često znanstvenici, inženjeri ili projektanti istovremeno u različitim dijelovima svijeta prepoznaju potrebu za razvojem novih strojeva. Pa je tako u Engleskoj i ostatku Evrope pažnja bila koncentrirana na razvoju daljinskog upravljanja širokočelnom mehanizacijom dok je u isto vrijeme u Americi, u razdoblju od 1946. do 1958. godine, veliki trud uložen na razvoj daljinskog upravljanja strojeva za kontinuirani iskop. U Americi su ti strojevi s daljinskim upravljanjem prvi put upotrijebljeni za bušenje paralelnih bušotina u ugljenom sloju za dovod zraka kod uplinjavanja ugljena. Bušotine su bile 914 mm promjera. Vrlo brzo je uplinjavanje ocijenjeno neekonomično pa je daljnji razvoj usmjeren na razvoj strojeva za eksploataciju ugljena iz tankih slojeva na površini gdje je debljina otkrivke bila prevelika i neekonomična za otkop s obzirom na malu debljinu ugljenog sloja. Ugljen je otkopavan bušenjem serije paralelnih tunela u sloju između kojih je ostavljan razmak od 61 do 121 cm u svrhu osiguranja iskopa od zarušavanja krovine, slika 57. Stroj se sastojao od otkopne jedinice koja je na sebi imala četiri međusobno preklapajuće rezne glave. Otkopna jedinica je bila smještena na podvozje s gusjenicama. Svijetli otvor izbušenog tunela je bio 965 mm visok i 2,95 m širok. Otkopani ugljen je rotacijom reznih glava usmjeravan na centralno smješteni kratki grabuljar kojim je ugljen otpreman na lanac nastavljajućih sekcija grabuljara koje su slijedile otkopnu jedinicu. Dužina svakog pojedinog tunela je bila u početku razvoja 210 m da bi dosegla duljinu od čak 305 m.



Slika 57 Eksploatacija tankih ugljenih slojeva na površini daljinski upravljanim strojem za kontinuirani iskop

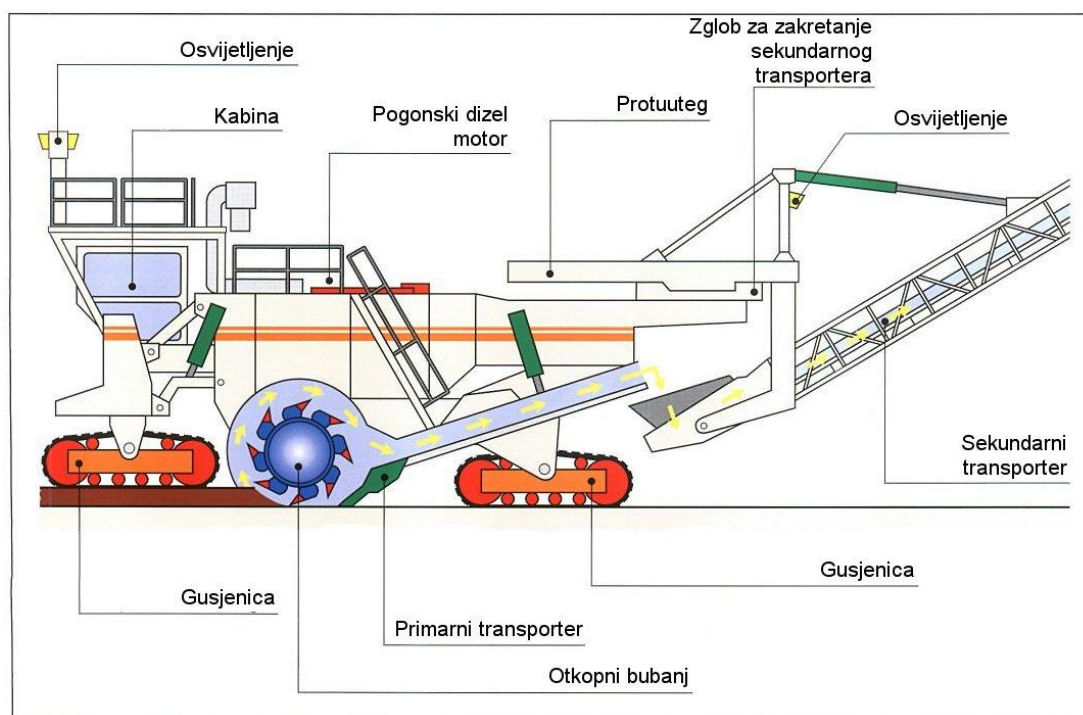
Otkopna jedinica je daljinski upravljana s kontrolnog mjesta preko senzora smještenih u reznim glavama koji su registrirali silu otpora rezanju. Ukoliko bi otkopna jedinica počela otkopavati stijenu krovine ili podine otpor bi se povećao na što bi operator preko hidrauličnih cilindara, također daljinski upravljanih, promijenio smjer napredovanja otkopne jedinice. Na taj način je bilo moguće slijediti prostorna povijanja sloja.

Krajem dvadesetog stoljeća, početkom osamdesetih godina, tvrtka “Wirtgen” iz Njemačke predstavlja na tržištu strojeve za kontinuirani iskop mineralne sirovine namijenjene za rad isključivo na površini, slika 58.



Slika 58 Stroj za kontinuirani iskop stijena na površini tvrtke “Wirtgen” (Promidžbeni materijali)

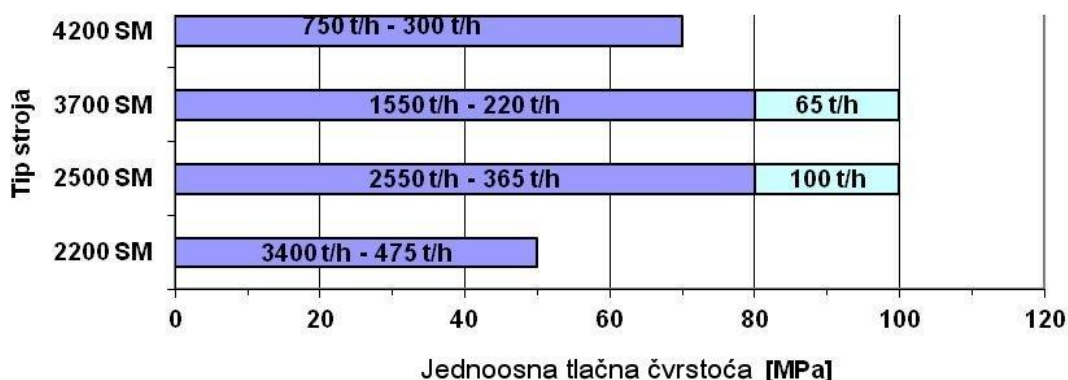
Osnovni princip otkopavanja im je bio gotovo identičan strojevima s rotirajućim reznim bubnjem za kontinuirani iskop ugljena u podzemlju s tom razlikom što se bubanj na Wirtgenovim strojevima nije više nalazio na konzolnoj ruci nego je smješten centralno ispod stroja. Rezni “zubi” su na bubnju pričvršćeni helikoidalno tako da se rotacijom bubnja otkopani materijal usmjerava prema sredini bubnja gdje se utovaruje na primarni transporter s gumenom trakom koji materijal dalje transportira do transportera za utovar kamiona ili za bočno odlaganje iskopane mineralne sirovine, slika 59. Rotacijom bubnja je osim primarnog iskopa osigurano i usitnjavanje mineralne sirovine na granulaciju prikladnu za transport gumenim trakama.



Slika 59 Osnovne konstrukcijske značajke Wirtgenovih strojeva (Promidžbeni materijali)

Strojevi tvrtke Wirtgen su podijeljeni u tri kategorije s obzirom na čvrstoću materijala za čiji iskop su predviđeni, tablica 7.

Tablica 7 Podjela i učinkovitost Wirtgenovih strojeva s obzirom na tlačnu čvrstoću stijena



Podaci o učinkovitosti su preuzeti iz reklamnih materijala tvrtke a vrijede za volumnu gustoću materijala od:

- 1,3 t/m³ za materijal od 10 MPa srednje tlačne čvrstoće i
- 2,5 t/m³ za materijal od 50 - 80 MPa srednje tlačne čvrstoće

Osim o tlačnoj čvrstoći, učinkovitost im ovisi i o vlačnoj čvrstoći, abrazivnosti te o strukturnom sklopu stijenske mase (npr. broj, razmak i položaj pukotina u prostoru).

S obzirom na trend stagnacije broja površinskih kopova u svijetu a s druge strane stalnim zahtjevom za povećanjem produktivnosti i ekonomičnosti uz mnogo strože uvijete zaštite okoliša i iskorištenja mineralne sirovine, nametnula se potreba za selektivnim otkopavanjem tankih slojeva mineralne sirovine koji su se prije odstranjivali zajedno s jalovinom jer ih bušenjem i miniranjem nije bilo moguće isplativo otkopavati. Pa je tako 1993. godine, na zahtjev površinskog ugljenokopa "Kleinkopje" iz Južnoafričke Republike, tvrtka Voest-Alpine, razvila svoj prototip stroja za kontinuirani iskop stijena na površini tvrtke Voest-Alpine (Promidžbeni materijali).



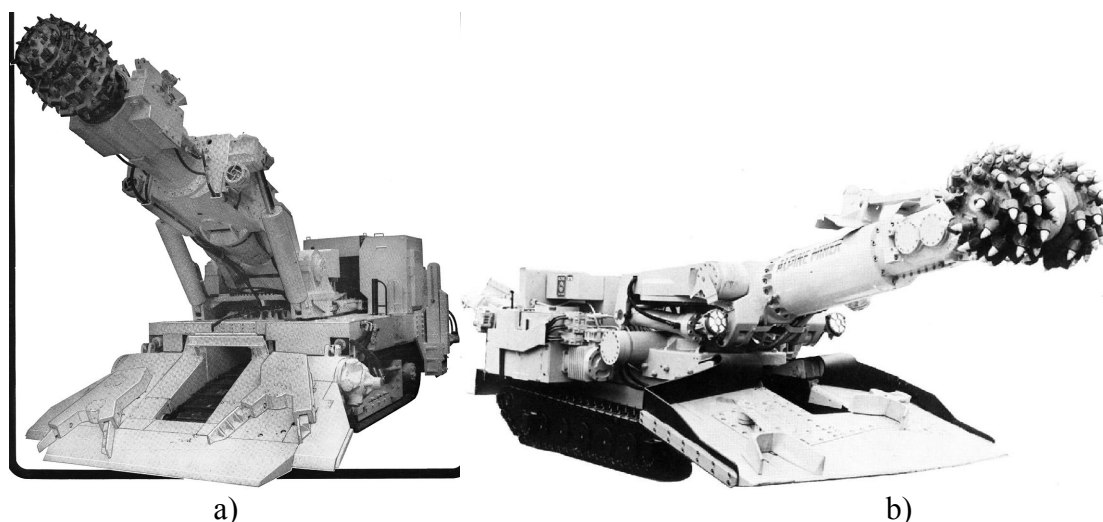
Slika 60 Stroj za kontinuirani iskop stijena na površini tvrtke Voest-Alpine (Promidžbeni materijali)

Koncepcija stroja je u potpunosti jednaka prvim strojevima za punoprofilni kontinuirani iskop u podzemlju s rotirajućim reznim bubnjem koji je bio učvršćen na konzolno smještenoj ruci s prednje strane stroja (slika 56), jedino su dimenzije stroja bile mnogo veće što je i razumljivo s obzirom da je namijenjen za površinsku eksploataciju. Za vrijeme pokusnog perioda, ciljana učinkovitost mu je bila 850 t/h što je (prema podacima tvrtke Voest-Alpine) s lakoćom ostvareno sa stvarnom srednjom proizvodnjom od 1000 t/h.

Strojeve s centralno smještenom radnom “rukom” koja je konzolno učvršćena s prednje strane stroja (“Boom-type”) možemo podijeliti na tri osnovne grupe s obzirom na tip radnog elementa na završetku ruke:

1. Strojevi za sukcesivni iskop s radnim elementom u obliku rotirajuće rezne glave (“Roadheaders”)
2. Strojevi kojima je radni element udarni čekić
3. Bageri

Strojeve za sukcesivni iskop možemo podijeliti na dva osnovna tipa, na strojeve s longitudinalno rotirajućom reznom glavom i transverzalno rotirajućom reznom glavom (slika 61).

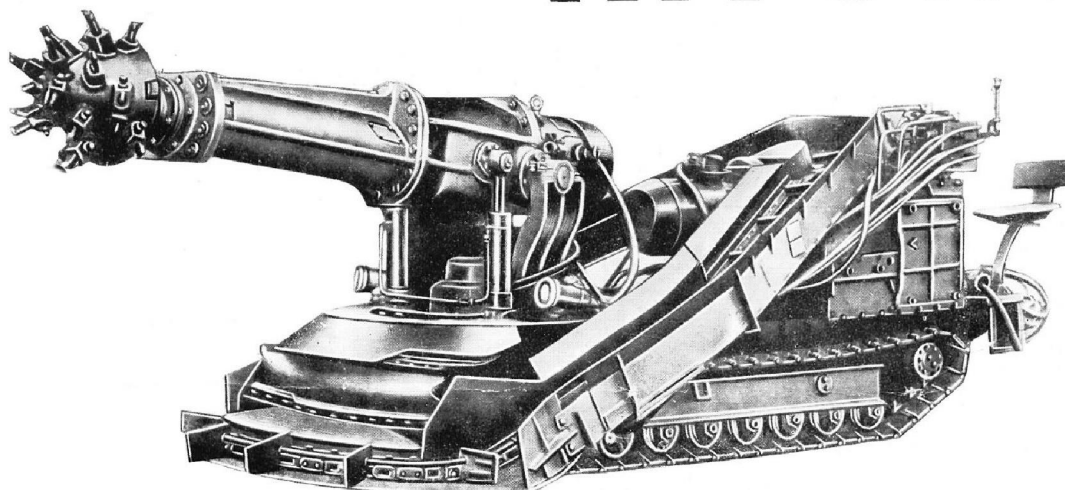


Slika 61 Strojevi za sukcesivni iskop stijena: a) strojevi s longitudinalno rotirajućom reznom glavom, b) strojevi s transverzalno rotirajućom reznom glavom

Strojevi s longitudinalno rotirajućom reznom glavom imaju rezu glavu u obliku cilindra ili “ananasa” koja svojom rotacijom otkida materijal s čela iskopa i izbacuje ga na stranu. Kod strojeva s transverzalno rotirajućom glavom materijal se otkida s čela iskopa na sličan način kao kod strojeva za kontinuirani punoprofilni iskop ugljena s rotirajućim bubnjem ili strojeva s lancima na kojima su postavljeni rezni zubi. Većina strojeva za sukcesivni iskop je postavljena na podvozje s gusjenicama. Pri iskopu tvrdog tj. čvršćeg materijala, stabiliziraju se pomoću vertikalno ili horizontalno izdužujućih hidrauličnih cilindara koji se odupiru o bokove (horizontalni cilindri) ili se razupiru između stropa i poda prostorije (vertikalni cilindri). S obzirom da se pri iskopu takvim strojevima stvara velika količina prašine, neposredno iza rezne glave nalaze se smještene mlaznice za vodu usmjerene prema čelu iskopa ili je na nekim modelima to riješeno tako da mlazevi vode izbijaju iz svakog reznog elementa na rotirajućoj glavi. Rezna glava je smještena na robusnoj,

hidraulički upravljanoj “ruci”, koja je obično centralno učvršćena s prednje strane stroja u obliku konzole. Ruka se može vertikalno podizati prema gore ili spuštati prema dole, može se zakretati po lučnoj putanji s jedne na drugu stranu a na nekim modelima strojeva se može teleskopski izduživati. Otkopani materijal se prigrće oscilirajućim polugama smještenim na koso položenoj metalnoj rampi koja se nalazi s prednje strane stroja, uz tlo, ispod ruke s reznom glavom. Oscilirajuće ruke iskopani materijal prigrću do grabuljara centralno smještenog na kraju metalne rampe, koji transportira otkopani materijal kroz tijelo stroja do stražnje strane gdje se istresa u neko drugo transportno sredstvo. Strojevi za sukcesivni iskop imaju manji otkopni učinak u odnosu na strojeve za kontinuirani iskop u otkopnim komorama iz kojih su se razvili no njihova velika prednost je u tome što mogu selektivno otkopavati te je njima moguće postići bilo koji oblik poprečnog presjeka otkopavane prostorije. Osim toga, zbog činjenice da je kod strojeva za sukcesivni iskop sva snaga stroja koncentrirana u relativno malu rezu glavu u odnosu na veličinu stroja, strojevi za sukcesivni iskop mogu otkopavati mnogo čvršći materijal nego što je to bilo moguće sa strojevima za kontinuirani iskop u otkopnim komorama. Upravo zbog toga, ti strojevi su, inicijalno razvijeni za izradu hodnika u rudarstvu, kasnije primijenjeni u građevinarstvu za iskop tunela. Strojevi za sukcesivni iskop svoj današnji oblik te osnovne tehničke karakteristike direktno razvijaju i nasljeđuju pojavom mađarskog modela “Tip-F”, kojeg je 1949 godine patentirao Dr. Z. Ajtay, rudarski inženjer. 1953 godine, tadašnji Sovjetski savez, preuzima kompletnu razvojnu i konstrukcijsku dokumentaciju mađarskih strojeva tipa F i razvija svoj model nazvan “PK-3” (slika 62) koji se pokazao tako učinkovit da je doživio naglu primjenu u velikom broju ruskih ugljenokopa a nakon toga je, prema navodima tvrtke Machinoexport iz Sovjetskog saveza, od 1960 godine izvažen u Poljsku, Rumunjsku, zemlje bivše Jugoslavije i Španjolsku.

PK-3M



Slika 62 Stroj za sukcesivni iskop stijena “PK-3” (Promidžbeni materijali tvrtke Machinoexport)

Mađarska tvrtka “NIKEX”, 1964 godine, prodaje Austrijskoj tvrtki “Alpine Montan AK” licencu za proizvodnju i prodaju strojeva za sukcesivni iskop tipa F u zemlje zapadne Evrope. Otprilike u isto vrijeme, početkom 60-tih godina, i u ostalim evropskim zemljama (Engleska, Njemačka) strojevi za sukcesivni iskop doživljavaju svoj nagli razvoj i primjenu te se tako pojavljuju brojne tvrtke koje ih proizvode kao što su npr. Dosco, Paurat, Demag, Westfalia Lunen, Eickhoff, itd. Iz mnoštva tipova i modela, svojom jedinstvenošću, izdvaja se model tvrtke Dosco opremljen “vodenim topom” za iskop ekstremno tvrdih tj. čvrstih stijena, slika 63.

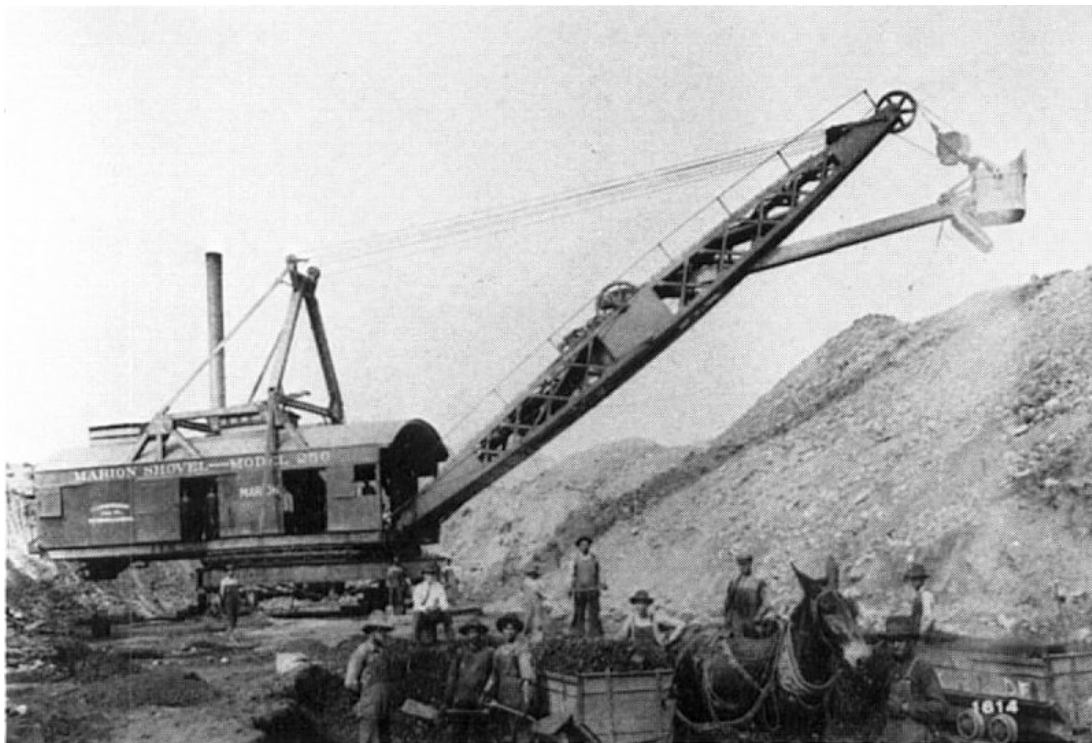


Slika 63 Stroj za sukcesivni iskop stijena u podzemlju s „vodenim topom“
(Promidžbeni materijali tvrtke Dosco)

“Vodeni top” je dodatni uređaj koji se postavlja na ruku stroja a sastoji se od vodilice na kojoj je smješten hidraulični bušaći čekić te uređaj za generiranje visokotlačnog vodenog impulsa za frakturiranje vrlo čvrstih stijena. Kad se pri strojnom iskopu naiđe na dijelove koji su prečvrsti za rezu glavu, hidrauličnim bušaćim čekićem se izbuši potrebni broj bušotina promjera 38 mm i dubine do 1 m. Međusobni razmak bušotina se određuje na temelju čvrstoće stijene. Zatim se dovodi u funkciju “vodeni top”. Uređaj se postavlja na ušće svake pojedine bušotine nakon čega se oslobađa u njemu komprimirana voda na 2 760 bara uslijed čega u bušotini dolazi do snažnog vodenog udara čime se frakturira okolna stijena. Energija koja se pri tome oslobađa iznosi 146 000 J a to je približno ekvivalentno energiji koju, prilikom detonacije, razvija 110 g nekog snažnijeg eksploziva (Kujundžić, 2002.).

Izumitelj prvog bagera bio je William Otis 1837 u Americi. Njegov bager je bio pogonjen vodenom parom i imao je visinsku lopatu. Do pojave revolucionarnog Otisovog izuma, otkrivka se u površinskom rudarstvu skidala pijucima, lopatama i prevozila tačkama. No kao što je u povijesti redovita pojava da revolucionarni izumi dugo čekaju na svoju prvu konkretnu primjenu, tako je i Otisov bager prvi put primijenjen tek 1877 za skidanje otkrivke na jednom površinskom kopu ugljena i to na žalost bezuspješno zahvaljujući prevelikoj debljini otkrivke tj. “ruka” na kojoj se nalazila držalica s lopatom je bila prekratka. Bez obzira na taj neslavni pokušaj, u godinama koje su slijedile, nastavljen je razvoj Otisovog bagera što je rezultiralo konstrukcijom, u ono vrijeme, najvećeg bagera na svijetu, s 20-metarskom rukom i lopatom volumena od 2.7 m³, slika 64. Bager je 1911 godine izgradila Američka tvrtka “Marion”. Osnovni tehnički principi s tog bagera zadržani su sve do danas. Već do 1930 godine ustalila se upotreba bagera za otkopavanje otkrivke te su se pojavili i prvi povlačni bageri (dreglajni) te bageri s dubinskom (obrnutom) lopatom. Kasnije,

razvojem hidraulike, pojavljuje se 1949 godine i prvi hidraulički pogonjeni utovarač tvrtke JCB (J.C. Bamford) a 1953 i prvi hidraulički rovokopač “Mark I”.



Slika 64 Bager s visinskom lopatom tvrtke “Marion”

Prema načinu rada bagere možemo podijeliti na cikličke i kontinuirane. Bageri cikličnog načina rada se dalje mogu podijeliti s obzirom na način pričvršćenja lopate, na bagere s lopatom čvrsto priključenom na držalicu tj. ruku i to:

- bagere s visinskom lopatom (slika 65)
- bagere s dubinskom lopatom (slika 66)



Slika 65 Bager s visinskom lopatom (Promidžbeni materijali tvrtke Demag)



Slika 66 Bager s dubinskom lopatom (Promidžbeni materijali tvrtke Caterpillar)

Druga velika grupa cikličkih bagera su bageri sa slobodno zavješenom lopatom (pomoću čelične užadi):

- skreperski bageri (“dreglajni” slika 67)
- bageri grabilice (“grajferi” slika 68)



Slika 67 Skreperski bager – “dreglajn” (Promidžbeni materijali tvrtke Weserhutte)



Slika 68 Bager grabilica – “grajfer” (Promidžbeni materijali tvrtke Weserhutte)

Bagere kontinuiranog načina rada možemo, s obzirom na oblik radnog organa, podijeliti na rotorne (slika 69) i na bagere vedričare (slika 70). Takvi tipovi bagera su posebno ekonomični pri iskopu velikih količina mekih i srednje tvrdih materijala no susrećemo ih, doduše vrlo rijetko, i na iskopu tvrdih materijala kao što je na primjer primjena rotornog bagera za iskop vapnenca u jednom površinskom kopu u sjevernoj Njemačkoj, slika 71. Prema navodima proizvođača (Krupp Fördertechnik GmbH) učinkovitost iskopa mu je bila 1200 m^3 na sat. Rotor s integriranim vedricama mu je oblikovan kao alat za glodanje.

S obzirom na način pokretanja bagere možemo podijeliti na: gusjeničare, bagere na kotačima, na tračnicama, koračajuće i plovne. Bageri su, obzirom na primarni pogon, podijeljeni na električne i bagere s motorom s unutarnjim sagorijevanjem (gotovo uvijek diesel motor) odnosno prema eventualnom sekundarnom pogonu mogu biti još i hidraulički. Prema načinu prijenosa snage na pojedine bagerske sklopove bageri mogu biti i užetni. Prema broju pogonskih jedinica bageri mogu biti jednomotorni i višemotorni.



Slika 69 Rotorni bager



Slika 70 Bager vedričar



Slika 71 Rotorni bager tvrtke “Krupp” za tvrde stijene (Promidžbeni materijali tvrtke O&K)

Prema volumenu lopate tj. po učinkovitosti bagere možemo podijeliti u tri grupe:

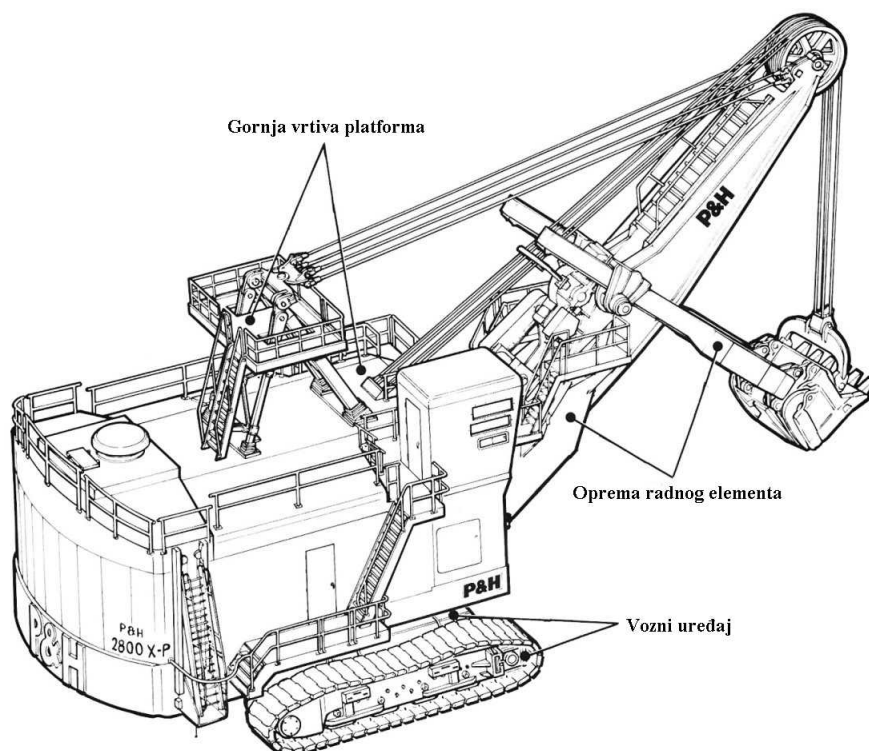
1. Mali bageri (to su u većini slučajeva univerzalne jedinice, radni element se može izmjenjivati tj. visinska lopata se može npr. zamijeniti dubinskom lopatom istih ili nešto manjih dimenzija)
2. Veliki bageri (redovito specijalizirane konstrukcije npr. konstruirani za rad samo s visinskom lopatom)
3. Velebageri (karakteriziraju ih zapanjujuće velike dimenzije i učinci uslijed čega im je i osnovna konstrukcija nešto drugačija od ostalih bagera)

Često puta na jednom bageru možemo susresti konstruktivne elemente koji po svojim karakteristikama pripadaju raznim grupama no to je u današnje vrijeme rijetka pojava jer bi, na primjer, kod velebagera bilo gotovo nemoguće konstrukcijski riješiti odnosno izraditi jednomotornu verziju pa su oni redovito višemotorni (Morović, B.; 1989.).

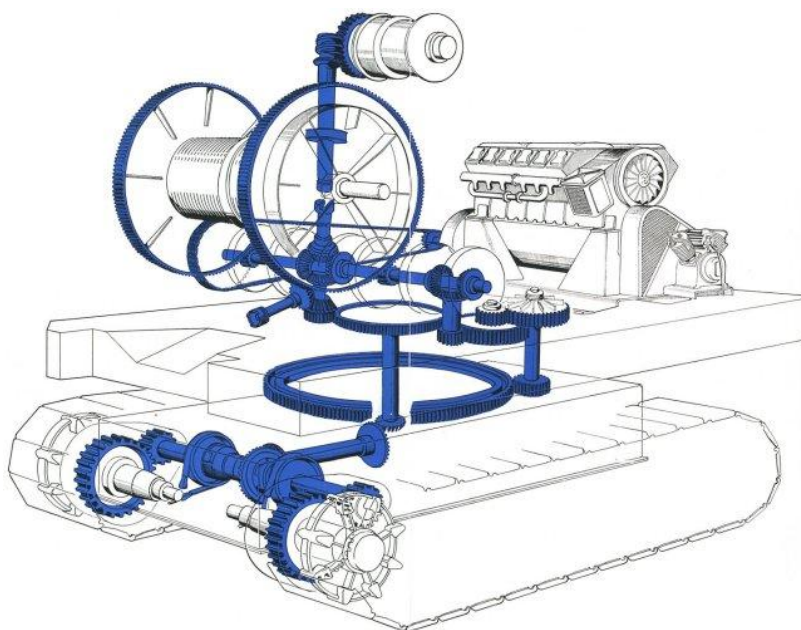
Užetni bager s visinskom lopatom

Bager se sastoji iz dva dijela - voznog uređaja i gornje vrtive platforme odnosno bagerske kućice (slika 72).

Vozni je uređaj bagera sličan voznim uređajima sličnih strojeva- traktorima i utovaračima, s tim da je pogonski agregat u gornjem vrtivom dijelu bagera, odakle se sila za pogon kotača odnosno gusjenica privodi mehaničkim putem kroz os rotacije odnosno šuplju stožernu osovinu (slika 73). Kod velebagera odnosno uopće kod velikih jedinica nije primijenjeno takvo rješenje zbog velikih dimenzija mehaničkih elemenata kinematike pogona voznog uređaja, i isto tako velikih snaga koje bi ti elementi morali prenositi, već se gusjenice pogone pojedinačno i direktno elektromotorima. Slično je naravno i kod hidrauličnih bagera, gdje se gusjenice pogone nezavisno direktno hidrauličnim motorima.



Slika 72 Užetni bager s visinskom lopatom (Promidžbeni materijali tvrtke P&H)



Slika 73 Način pogona voznog uređaja

Na gornjem vrtivom dijelu bagera nalaze se svi mehanizmi i uređaji (slika 74):

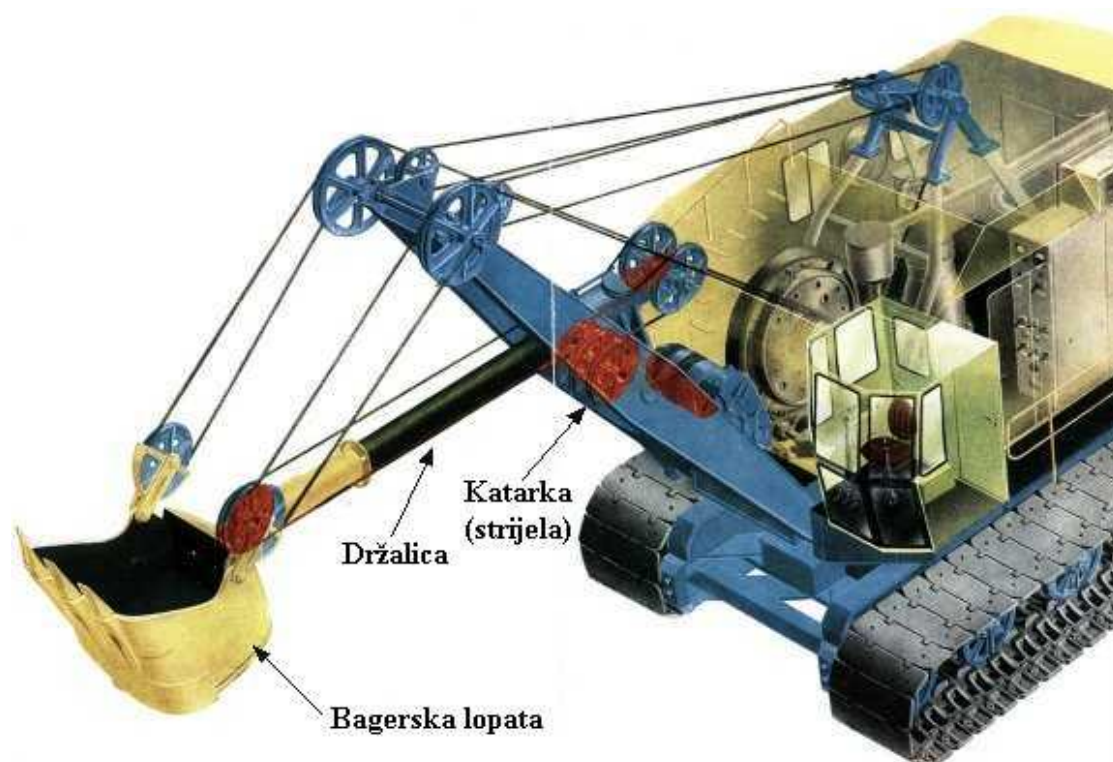
- pogonski motor,
- oprema radnog elementa,
- oprema upravljanja radnim elementom,
- oprema upravljanja voznim uređajem.

Oprema radnog elementa sastoji se iz:

- katarke (strijele),
- držalice (ručice) i
- bagerske lopate,

dok su u samoj bagerskoj kućici smješteni:

- vitlo za dizanje - spuštanje katarke,
- vitlo za dizanje - spuštanje lopate,
- vitlo za izvlačenje - uvlačenje držalice (ukoliko ta funkcija nije riješena drugačije), i konačno
- oprema pogona odnosno upravljanja radnim elementom.

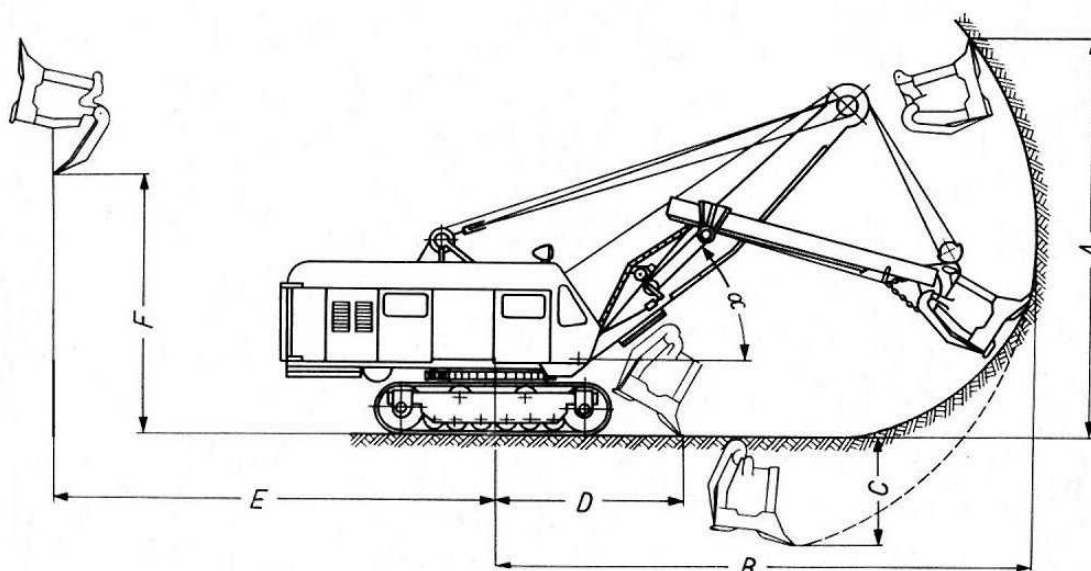


Slika 74 Mehanizmi i uređaji na gornjem vrtivom dijelu bagera

Funkcioniranje radnog elementa

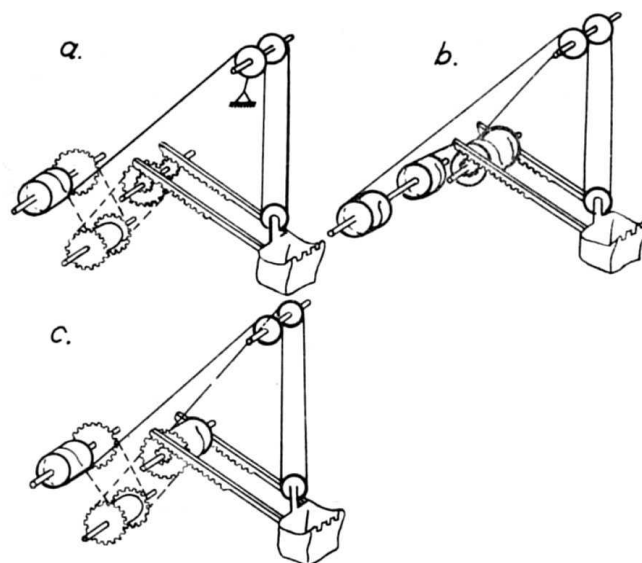
Bagerska je lopata montirana ili čvrsto na kraju držalice, ili zglobno kod manjih bagera. Držalica se izrađuje ili iz cijevi ili iz sandučastog profila. U prvom je slučaju redovno jedinstvena, a u drugom udvojena. Držalica prolazi kroz stremen na katarci i može se u njemu kutno zakretati i pomicati naprijed - nazad. Kutno je

zakretanje potrebno da bi lopata mogla opisati luk pri podizanju odnosno spuštanju, dok je uvlačenje i izvlačenje potrebno da bi lopata mogla imati potrebni raspon dohvata. Prilikom grabljenja, tj. punjenja lopate mora se ova privući što bliže bageru, a prilikom pražnjenja odmaći što dalje. Zahvaljujući dvojakom gibanju lopata opisuje različite trajektorije. Od (otprilike) jedne četvrtine položene elipse preko četvrtine kruga, do četvrtine uspravne elipse. Najčešće se praktično primjenjuje prva do druga trajektorija, što konkretno ovisi o načinu rada i uvjetima u određenom slučaju (slika 75).



Slika 75 trajektorija gibanja utovarne lopate kod visinskih užetnih bagera

Uvlačenje odnosno izvlačenje držalice riješeno je na nekoliko načina (slika 76). Kod jednomotornih bagera pogon ovog mehanizma je ili užetni ili lančani. Užetni privod može biti zavisni (koristi se uže za podizanje i spuštanje lopate) ili nezavisni (s istim užetom ali s odvojenim bubnjevima za svaki kraj užeta), te konačno kombinirani privod.



Slika 76 Načini uvlačenja tj. izvlačenja držalice: (a) zavisni, (b) nezavisni i (c) kombinirani

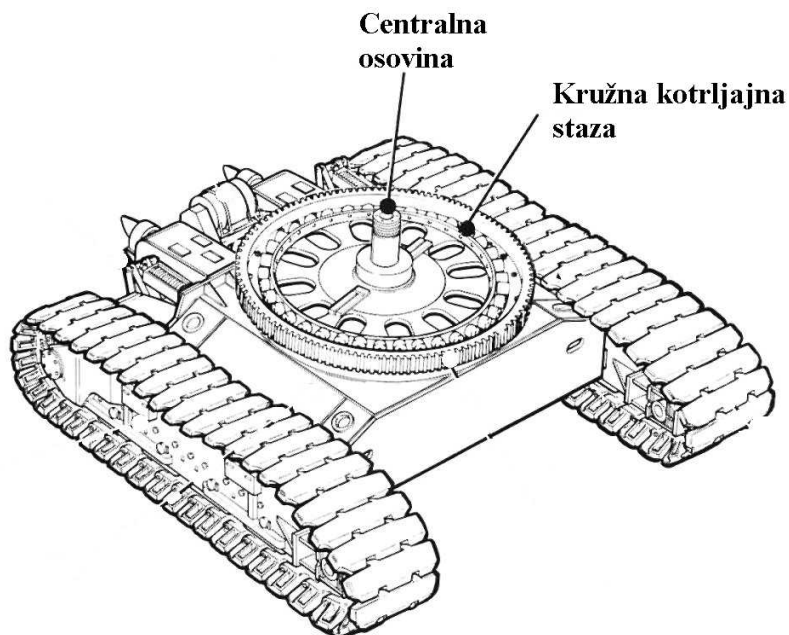
Kod ovog posljednjeg načina može se jednostavnim prekapčanjem vitlova prijeći sa zavisnog na nezavisni (ili obratno) pogon držalice. Po tome ovaj način predstavlja najbolje rješenje. Naime, u izvjesnim slučajevima, pri npr. utovaru odminirane stijene, biti će pogodniji nezavisni način. U normalnim okolnostima pogodniji je zavisni način jer manje zamara rukovaoca. Kod zavisnog načina rukovalac upravlja samo jednom polugom- onom za regulaciju brzine vitla za dizanje - spuštanje lopate.

Kod nezavisnog načina mora upravljati dvjema polugama - za dva odvojeno pogonjena bubnja, koliko ih ovaj sustav mora imati. Zavisni odnosno nezavisni način znači da se lopata može privlačiti odnosno udaljavati zavisno odnosno nezavisno od istovremenog podizanja odnosno spuštanja. Noviji bageri su gotovo bez iznimke rađeni s nezavisnim ili kombiniranim pogonom uvlačenja - izvlačenja držalice. Lančani pogon, kao i pogon zasebnim motorom su nezavisni pogoni. Držalica se izrađuje kao ozubljena letva u koju zahvaća zupčanik pogonjen na jedan od opisanih načina. Pri bilo kojem sustavu mora postojati kočnica koja aretira držalicu u određenom položaju. Oslobođanjem (dearetiranjem) mora biti automatsko i sinkrono s uključenjem privoda mehanizma za pomicanje držalice. Pored sustava ozubljena letva - zupčanik postoji i sustav pomicanja držalice pomoću nasuprotno povlačnih užeta. Zbog elastičnosti užeta je i zavjes držalice elastičan, što je pozitivna značajka. Cijena ovakvog uređaja kao i održavanje su također pogodniji.

Katarka (strijela) je držač, oslonac cijelog radnog elementa. Na donjem je kraju šarnirno spojena s bagerskom kućicom, a na gornjem slobodnom kraju katarke nalaze se užetne koloture preko kojih se vodi uža za koje je zavješena lopata. Ovo je uža namotano na bubanj vitla za podizanje lopate. Sva zavješanja, kako katarke tako i lopate izvedena su kao koloture i to jednostruke kod manjih bagera i višestruke kod težih bagera.

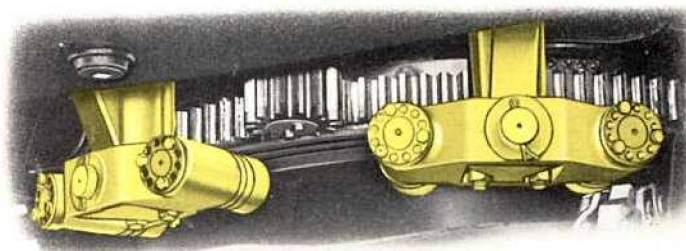
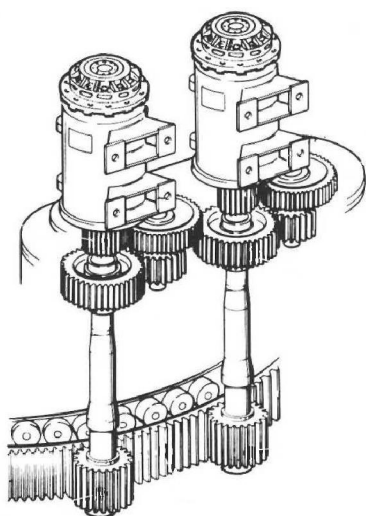
Bagerska je lopata najčešće (otprilike) kockastog oblika, otvorena odozgo, s radnim bridom (za meke materijale) odnosno s izmjenjivim zubima (za tvrde materijale) na prednjem gornjem rubu, te s dnom koje se otvara prilikom pražnjenja. Donja stranica (dno) spojena je u tu svrhu šarnirno s lopatom. Kad je lopata (držalica) u vertikalnom položaju dno se samo zatvara. Oslobođanje dna u položaju lopate za pražnjenje vrši se izvlačenjem zasuna. Kod manjih se bagera to izvodi ručno posredstvom tankog čeličnog užeta, a kod većih pomoću posebnog malog dodatnog bubnja na produžetku osovine vitla za dizanje spuštanje lopate odnosno uvlačenje - izvlačenje držalice, na koji se bubanj namata to uža za otvaranje dna. Daljnja su rješenja otvaranja dna pomoću hidrauličnog cilindra ili zračnog cilindra, ovisno o sustavu upravljanja bagerom, ili pomoću malog posebnog elektromotora i vitla.

Uređaj za zakretanje (sukanje) gornjeg vrtivog dijela bagera na voznom uređaju posebno je delikatan mehanizam, izložen veoma neugodnim i skupim kvarovima (slika 77).



Slika 77 Uređaj za zakretanje gornjeg dijela bagera

Bagerska se kućica vrti oko centralnog stožera (centralne osovine), a na kružnoj kotrljajnoj stazi. Gornja kotrljajna ploha pripada gornjem, a donja ploha donjem dijelu bagera. Između je vijenac ili valjaka ili kuglica. S obzirom na različite položaje držalice i lopate, teret u lopati i konačno sile na zubima lopate, bit će težište gornjeg vrtivog dijela bagera jedva ikad u osi vrtnje. Kod prazne i privučene lopate bit će težište iza vrtišta, a kod pune i ispružene ispred vrtišta. Prilikom punjenja i naročito kopanja stijenske mase, kada se na zubima lopate javlja i znatna dodatna sila, moment prevrtanja će imati velike vrijednosti. Slična će situacija biti i kada se bager nađe na kosoj podlozi. Da se kompenzira takav veliki prevrtni moment, montiraju se na gornjoj kotrljajnoj plohi držači s kotačićima koji zahvaćaju ispod donje kotrljajne plohe i onemogućavaju odizanje bagerske kućice spram voznog postolja (slika 78).



Slika 78 Držači s kotačićima

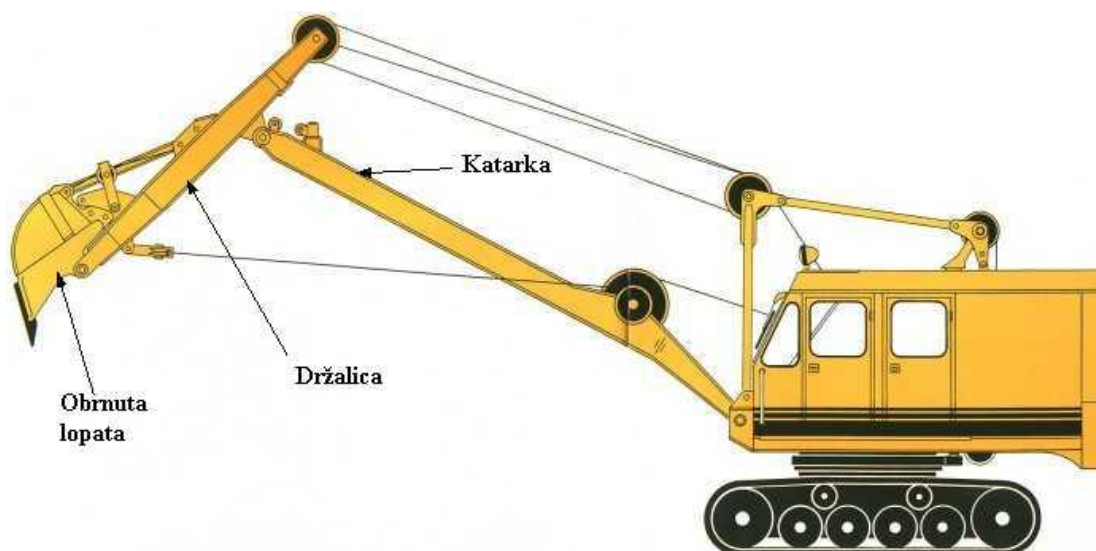
Takvo odizanje odnosno naginjanje ne smije se nikako dopustiti, jer bi u tom slučaju dio ili cijeli prevrtni moment preuzela stožerna osovina. Posljedica bi bila oštećenje uležištenja ili čak savijanje osovine. Upravo iz tog razloga svaki proizvođač navodi za svoj bager maksimalno dopušteni nagib (uspon ili pad) na kojem se bager smije zateći, bilo za rada bilo za prebacivanja. Teške havarije nastaju ako se pod bagerom uruši etaža ili se zbog nedovoljne nosivosti tla bager nejednakomjerno zaglibi.

Karakteristične veličine koje određuju značajke jednog bagera su:

- volumen lopate,
- trajanje jednog ciklusa (redovno za utovar odgovarajuće odminiranog materijala) pri zakretanju za 90° ,
- dohvat lopate ispod planuma gusjenica (kotača),
- maksimalni visinski dohvat pri radu,
- maksimalna visina pražnjenja,
- maksimalni dohvat pri pražnjenju,
- nazivna masa (težina),
- instalirana snaga, privodni napon,
- specifični pritisak gusjenica (kotača) na tlo,
- maksimalno dozvoljeni nagib,
- brzina (brzine) gibanja bagera.

Užetni bager s obrnutom lopatom

Osim u radnom elementu ovi su bageri identični bagerima s visinskom lopatom, te se redovno kod manjih jedinica koristi isti temeljni stroj za obje izvedbe (univerzalni bageri). Dijelovi radnog elementa također su slični, iako ne i identični: katarka, držalica, obrnuta lopata (slika 79).



Slika 79 Uzetni bager s obrnutom lopatom

Način montiranja i kinematika gibanja radnog elementa su međutim specifični. Držalica je šarnirno učvršćena na slobodnom kraju katarke, dok je lopata opet šarnirno učvršćena na kraju držalice. Držalica je spojena na katarku otprilike u sredini, tako da tvori dvokraku polugu s vrtištem u mjestu šarnirnog spoja. Svaki kraj

te poluge (držalice) zavješene su po jednom užetu, povlačnim odnosno otpuštajućim, pomoću odnosnih vitlova. Vitlo i uže spojeno na slobodni kraj držalice odgovara vitlu i užetu za uvlačenje-izvlačenje držalice kod visinskog bagera, a vitlo i odnosno uže priključeno na kraj držalice na kojem je lopata odgovara vitlu i užetu za dizanje - spuštanje visinske lopate. Iz ovog se vidi da isti temeljni stroj može bez preinaka poslužiti za priključenje obaju tipova radnog elementa. Vitlo za pridržavanje katarke kao i uređaj za otvaranje dna lopate kod bagera s visinskom lopatom bit će ovdje suvišni.

Uže priključeno na slobodni kraj držalice služi za ispružanje držalice s lopatom na kraju, a samim time i za podizanje katarke. Drugo uže, tj. ono priključeno za samu lopatu, služi za privlačenje lopate prilikom punjenja odnosno kopanja materijala.

Pražnjenje materijala je kod ovakvog radnog elementa donekle slaba točka. Obrnuta (dubinska) lopata imat će stražnju (prema bageru) stranu otvorenu, odnosno kao donja zatvorena ploha djelovati će čelna strana lopate samo u položaju kad je maksimalno privučena bageru na bilo kojoj dubini odnosno visini dohvata. Zahvaćeni će materijal stajati u lopati u takvom položaju samo zahvaljujući unutaršnjem trenju u materijalu odnosno prirodnom kutu nasipanja. Iz toga slijedi da je punjenje lopate na potpuni geometrijski volumen jedva moguće, odnosno da je koeficijent punjenja redovno manji od 1. Za pražnjenje treba lopatu nagnuti za kut ~ 30 do 90° (ovisno o vrsti i stanju materijala). Materijal se ne može zadržati dok lopata ne poprimi dovoljan nagib, pa će materijal ispadati prilikom tog nagnjivanja. Kako se lopata pri tom redovno i udaljuje od bagera i bagerska kućica zakreće, materijal će se prosipati u prilično širokom području oko bagera. Materijal koji je prosut a ne utovaren u prijevozno sredstvo znači direktno daljnji gubitak kapaciteta. Taj materijal prosut na platou prilaza prijevoznih sredstava predstavlja i problem sam po sebi jer otežava manipulaciju tim sredstvima.

Užetni bageri s obrnutom (dubinskom) lopatom nisu korišteni za klasično dobivanje a niti utovar, već gotovo isključivo za iskope jaraka ili tranši u mekim materijalima (slika 80).



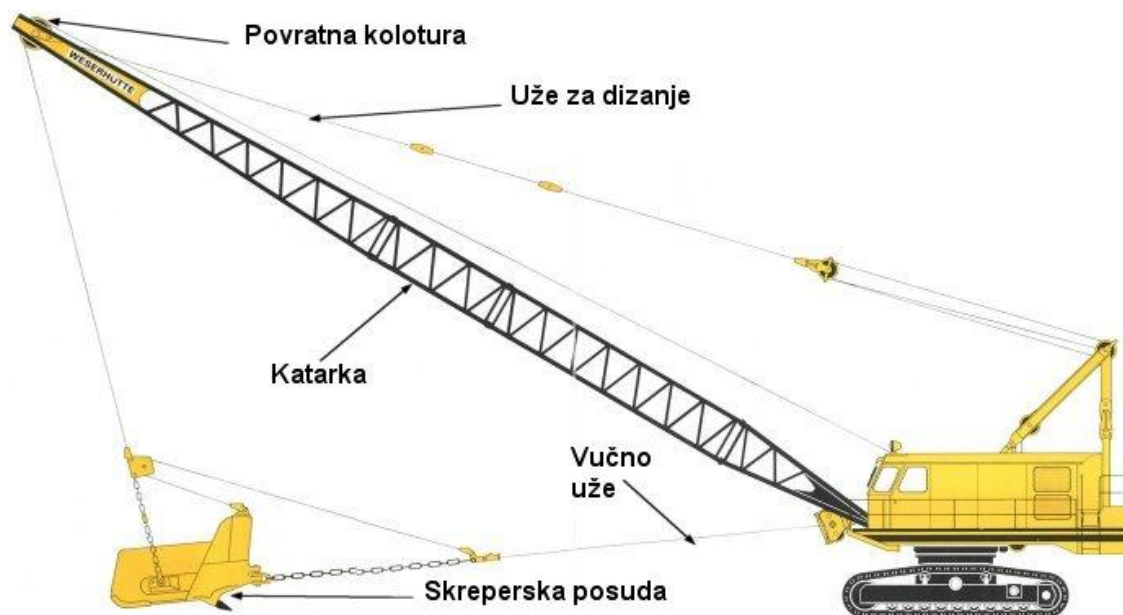
Slika 80 Iskop jaraka s bagerom s dubinskom lopatom

Materijal koji ispada iz lopate pada natrag u jarak i biva zahvaćen u slijedećem ili slijedećim ciklusima. Uvođenjem hidrauličnih bagera, užetni bageri s dubinskom lopatom su, zbog navedenih negativnosti, gotovo upotpunosti zamijenjeni hidrauličnim. Otklanjanjem tih negativnosti uz druge prednosti koje imaju hidraulični

bageri, njihovim uvođenjem je proširena namjena bagera s dubinskom (obrnutom) lopatom.

Bager sa skreperskom posudom (dreglajn)

Ovo je tip bagera sa slobodno na užetima zavješenoj posudi. Katarka kod ovog bagera služi za nošenje povratne koloture skreperskog užeta (čime je ostvarena klasična kinematika gibanja skreperske posude) kao i za nošenje odnosno zavješanje cijelog skreperskog uređaja (slika 81).



Slika 81 Bager dreglajn (Promidžbeni materijali tvrtke Weserhutte)

Katarka je šarnirno spojena s gornjim vrtivim dijelom bagera, Užetom i odgovarajućim vitlom drži se u određenom nagibu. Time određuje smjer skreperovanja i smjer pražnjenja posude.

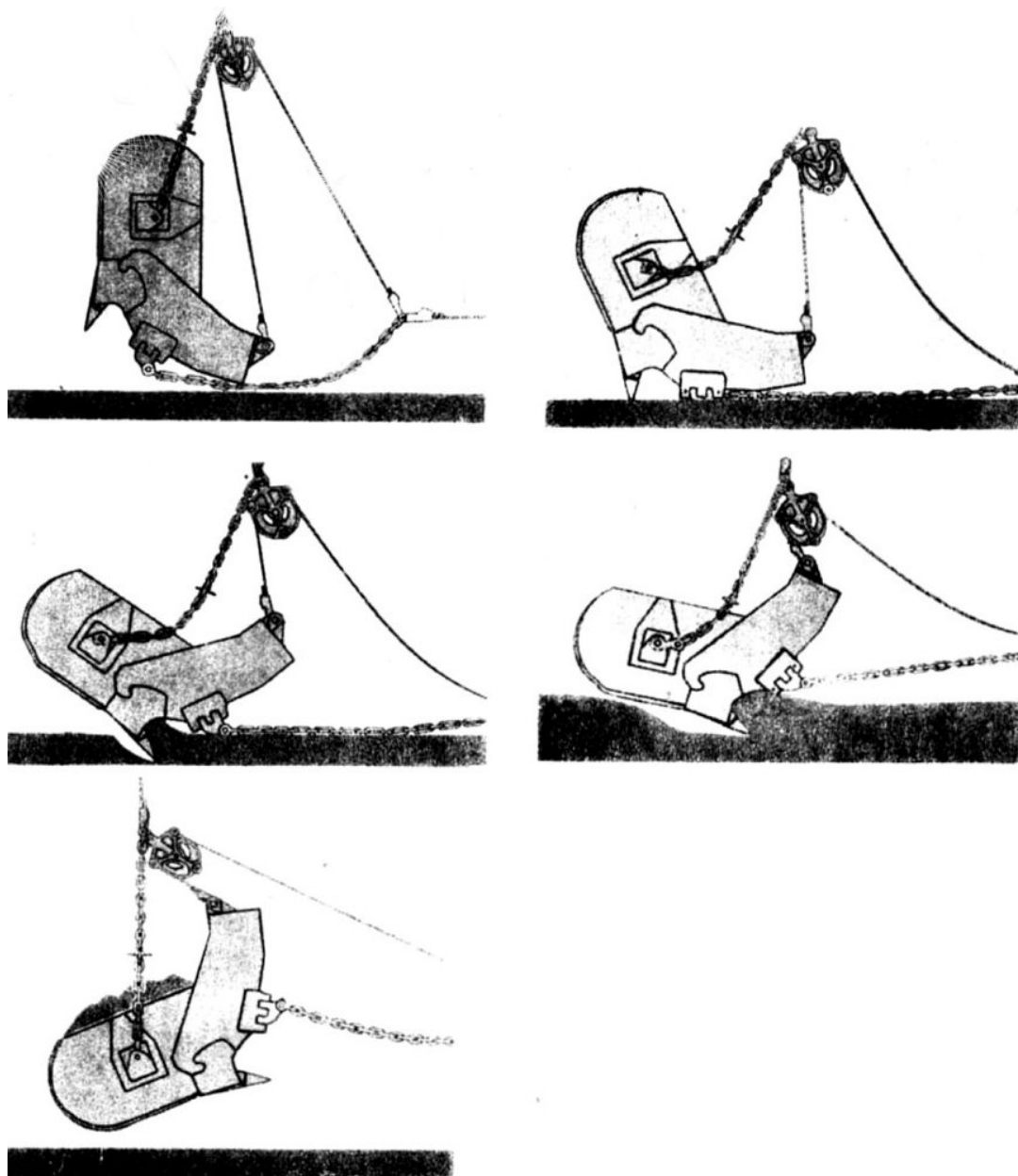
Posuda je zavješena na uže za dizanje ili povratno uže, koje od vitla prelazi preko koloture na vrhu katarke, a privlačena je vučnim užetom i odgovarajućim vitlom.

Posuda je izduženog sandučastog oblika, otvorena sprijeda radi punjenja-pražnjenja, i odozgo. Točka zavjesa za dižuće (povratno) uže je pomaknuta od težišta na suprotnu stranu od otvora za punjenje-pražnjenje. Time je postignuto da se posuda, i kad je puna i kad je prazna, sama iskreće s otvorom prema dolje.

Vučno je uže priključeno za posudu preko koloture zavješene na dižućem užetu. Povlačenjem vučnog užeta posuda se na taj način ispravlja, odnosno, opuštanjem užeta iskreće za pražnjenje. Kraći komad lanca (radi oštećivanja!) povezuje vučno uže direktno s prednjim krajem posude. Time je spriječeno iskretanje posude prema gore, što bi se inače dogodilo kao posljedica povlačenja vučnog užeta prebačenog preko koloture.

Radni element ovog bagera funkcionira na slijedeći način (slika 82). Prilikom punjenja odnosno kopanja spusti se, opuštanjem dižućeg užeta, posuda na tlo. Zatim se povlačenjem pomoću vučnog užeta posuda zapuni. Zatezanjem dižućeg užeta posuda se podiže, pri čem se istovremeno zateže i vučno uže koje drži posudu u horizontalnom položaju. Nakon što se bagerska kućica s katarkom i zapunjenom

posudom zakrenula u određeni pravac za pražnjenje, oslobađa se vučno uže a posuda sama iskreće i prazni.



Slika 82 Princip kopanja skreperske posuda

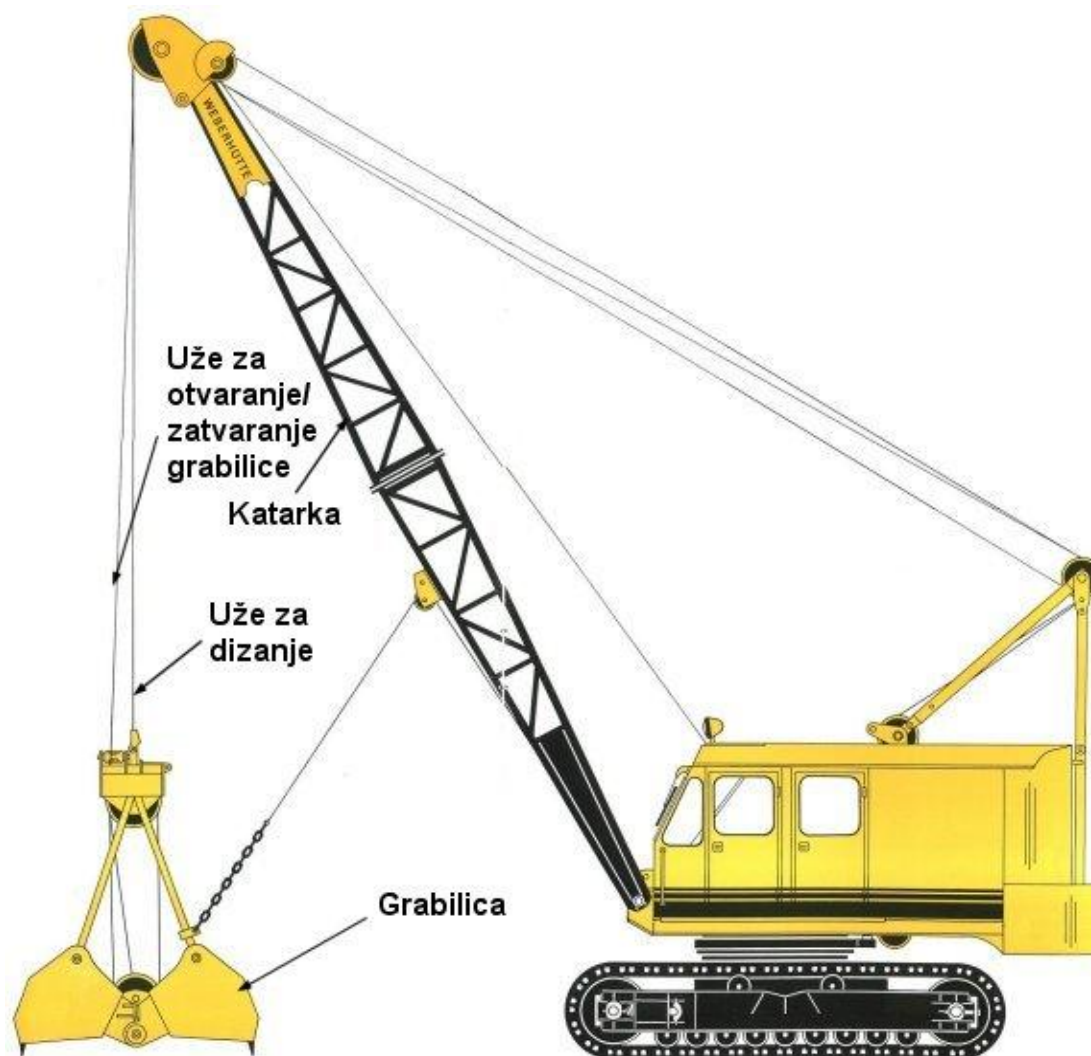
Zbog slobodnog zavjesa posude moguće je ostvariti dohvat veći nego što je uopće dužina katarke. Bagerist vješt看 manevrom zabaci posudu koja se slobodno klata na dižućem užetu. Ovo se može izvesti i prilikom pražnjenja, ali zahtjeva veću vještinu, budući da treba u odgovarajućoj mjeri otpuštati pri tom i vučno uže. Materijal se u svakom slučaju na taj način razbacuje, što u izvjesnim uvjetima predstavlja i prednost.

Kako se radnim elementom ne kopa pri čvrstom osloncu lopate, moguće je na osnovnom stroju iste mase koristiti katarku znatno veće dužine. Redovno je katarka znatno lakše konstrukcije. Rešetkasta ili cijevna konstrukcija ili čak jedna cijev ukrućena užetima.

Upravo zbog mogućnosti velikog dohvata koriste se ovi bageri za direktno prebacivanje raskrivke na površinskim kopovima bez primjene transporta. Slijedeći ovaj pravac razvoja napravljeni su bageri ove namjene do ogromnih dimenzija. Kao manje jedinice (redovno kao jedna od izvedbi univerzalnih bagera) ovi se bageri koriste slično kao i bageri s obrnutom lopatom, za iskope jaraka i slično u mekšim materijalima. Kao jedinice za dobivanje ili raskrivanje u rudarstvu površinskim kopovima, redovno su to veliki, specijalizirani bageri odnosno velebageri.

Bager s grabilicom („grajfer“)

Hvatalica (grabilica) ili „grajfer“ je jedna daljnja izvedba radnog elementa univerzalnih bagera. Hvatalica je slobodno zavješena na užu prebačeno preko koloture na vrhu katarke. Za upravljanje ovim radnim elementom služe dva užeta s odnosnim vitlovima. Uže za dizanje, na koje je hvatalica zavješena, i uže za otvaranje i zatvaranje grabilice. Trećim užetom i odgovarajućim vitlom pridržava se odnosno regulira nagib katarke (slika 83).



Slika 83 Bager s grabilicom (Promidžbeni materijali tvrtke Weserhutte)

Za vrijeme dizanja i spuštanja grajferske posude gibaju se oba užeta jednako. U svrhu otvaranja posude (za koje vrijeme ona visi na dižućem užetu) opušta se drugo uže, zbog čega se centralni dio posude spušta uslijed vlastite težine. Kako su krajevi posude spojeni motkama s glavom uređaja za koju je cijela posuda zavješena, moraju se krajevi razmicati kad se glava spušta. To je razmicanje ustvari kutno zakretanje svake od polovice posude. Zatvaranje posude se izvodi istim postupkom, no ovaj put zatezanjem užeta za otvaranje-zatvaranje. Donji bridovi polovica posude, opremljeni ojačanim rubom ili zubima, opisuju pri tom luk, što osigurava prigrtanje i zahvaćanje materijala.

Kod hidrauličnih bagera posuda je zavješena pomoću kardanskog zgloba direktno za katarku, dok se otvaranjem i zatvaranjem posude kao i naginjanjem katarke upravlja pomoću hidrauličnih cilindara. Kod hidrauličnih bagera koristi se i tzv. poligrajferska posuda, koja se ne sastoji iz dviju polovica, već iz 3 do 5 segmenata (kao latice na ruži), koje zatvaraju jedan kuglasti prostor. Ovakvom posudom moguće je lakše nego kod posude s dvije polovice zahvatiti jedan jedini veći komad stijene, volumena i većeg nego što je sama posuda. Komad može ostati zahvaćen samo vrhovima segmenata, i tako se podiže i prenosi. Pri tom dakako postoji opasnost od ispadanja, pa se mora paziti da se time ne ugrozi instalacije, oprema i prije svega ljudi.

Bageri s ovakvim radnim elementom koriste se rjeđe, naročito u rudarstvu. Inače služe za iskop i utovar.

Velebageri

Velebageri se opremaju samo visinskom lopatom ili skreperskom posudom. Kinematika gibanja visinske lopate razlikuje se unekoliko od klasične kinematike bagera s takvim radnim elementom, dok je kod skreperske opreme kinematika potpuno identična.

Držalica kod velebagera s visinskom lopatom je sastavljena iz dva dijela, spojena međusobno šarnirnim zglobovom (slika 84). Na prednjoj polovici takve držalice montirana je lopata, dok je druga polovica (ona prema bagerskoj kućici) ozubljena i u zahvatu sa zupčanicom kojim se ostvaruje uvlačenje-izvlačenje držalice. Lopata se podiže i spušta zajedno s prednjom polovicom držalice. Ovakve su konstruktivne mjere razumljive ako se uzmu u obzir dimenzije i mase takvih bagera (lopate do 200 m³ i mase do 5000 t).



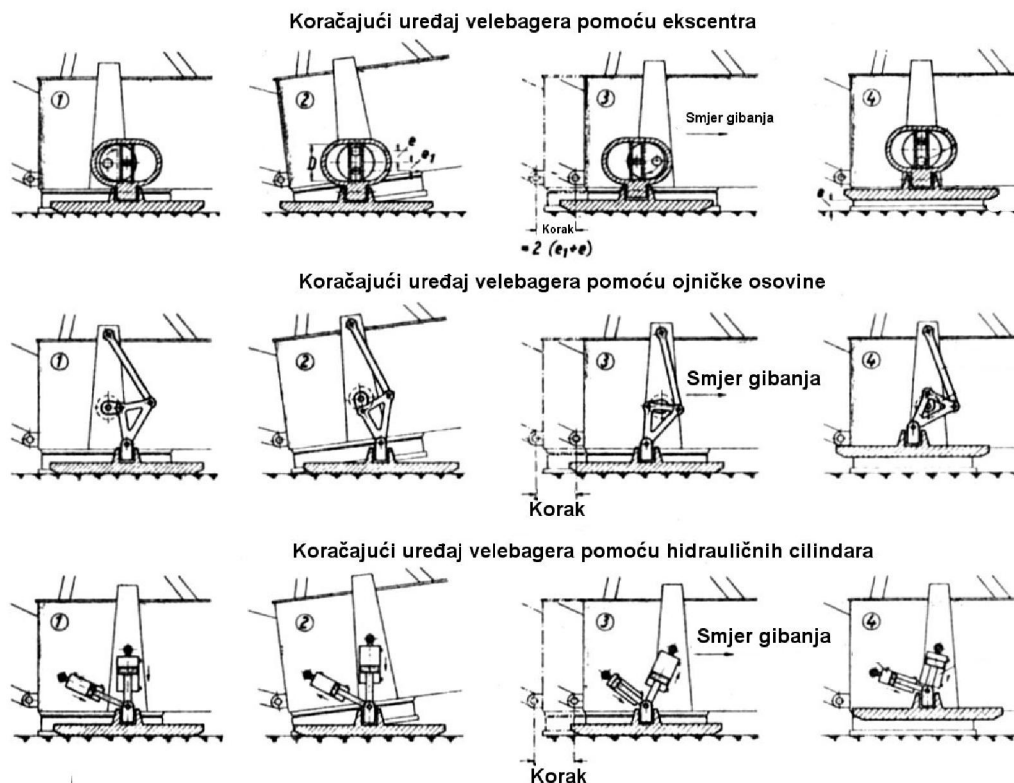
Slika 84 Velebager s visinskom lopatom

Velebageri s visinskom lopatom i dreglajni razlikuju se međusobno i u tipu voznog uređaja. Bageri s lopatom opremaju se redovno gusjenicama i to, dvije, tri ili četiri odnosno tolikim brojem grupa s po jednom, dvije ili četiri u svakoj grupi, ovisno dakako o masi bagera i dopuštenom specifičnom pritisku na tlo. Dreglajni se opremaju tzv. koračajućim uređajem. Bager, kod ovog uređaja, ima dvije plohe oslanjanja. Jedna je uvijek samo tijelo donjeg, statičkog dijela bagera, a druga posebna (ili posebne) stopa. Najčešće je rješenje s dvije bočne stope, dok je rjeđe rješenje (Čehoslovačka) s jednom kružnom stopom koja prstenasto okružuje osnovnu naležnu plohu.

Gibanje koračajućim uređajem s dvije bočne stope slično kretanju invalida uz pomoć dvije štake. Dok je cijeli bager oslonjen na osnovnoj stopi, pomaknu se bočne stope za jedan korak naprijed. Kako se one oslanjaju na tlo, tako sve veći dio ukupne

težine prelazi s osnovne stope na njih, pri čem se osnovna stopa i dakako cijeli bager počima odizati od tla i pomicati za dužinu koraka prema naprijed. Na kraju tog puta (koraka) bager se osnovnom stopom ponovo svom svojom težinom osloni na tlo. Bočne su stope ostale sada iza bagera za jedan korak, pa njihovim premještanjem dospijevaju ponovo ispred bagera, i ciklus se ponavlja.

Ovakav se način gibanja bagera ostvaruje pomoću nekoliko različitih mehanizama: ojničkog uređaja, ekscentra ili pomoću hidrauličnih cilindara (slika 85).



Slika 85 Koračajući uređaj veebagera

Koračajući uređaj s jednom osnovnom i jednom kružnom stopom drugačiji je i u načinu funkcioniranja i u izvedbi. Cijeli se bager oslanja na tlo posredstvom jedne centralne osnovne stope i druge vanjske stope oblika kružnog vijenca. Njihov je međusobni položaj ili centričan ili ekscentričan u bilo kojem smjeru. Veličina i smjer ekscentriteta regulira se posebnim mehanizmom. Napredovanje bagera je posljedica naizmjeničnog oslanjanja centralne i vanjske stope i pomicanja uvijek one stope koja je podignuta, tj. na koju se bager momentalno ne oslanja.

Ovaj uređaj ima nekoliko značajnih prednosti pred uređajem s bočnim stopama: zakretanje putanje napredovanja bagera i reguliranje dužine koraka. Kad se želi bager zakrenuti u svom gibanju, osloni se na vanjsku stopu, a unutarnja se posebnim mehanizmom zakrene u željeni smjer. Daljnje je koračanje opet pravocrtno, ali dakako u novom smjeru. Dužina koraka lako se regulira dužinom relativnog pomicanja unutarnje prema vanjskoj stopi (ili obratno). Osim opisanih ovaj način koračanja ima i daljnju prednost što se cijeli bager ne naginje pri svakom koraku.

Bageri kontinuiranog načina rada

Prema vrsti radnog elementa dijele se ovi bageri na rotorne bagere (Slika 86) i bagere vedričare (Slika 87).



Slika 86. Rotorni bager

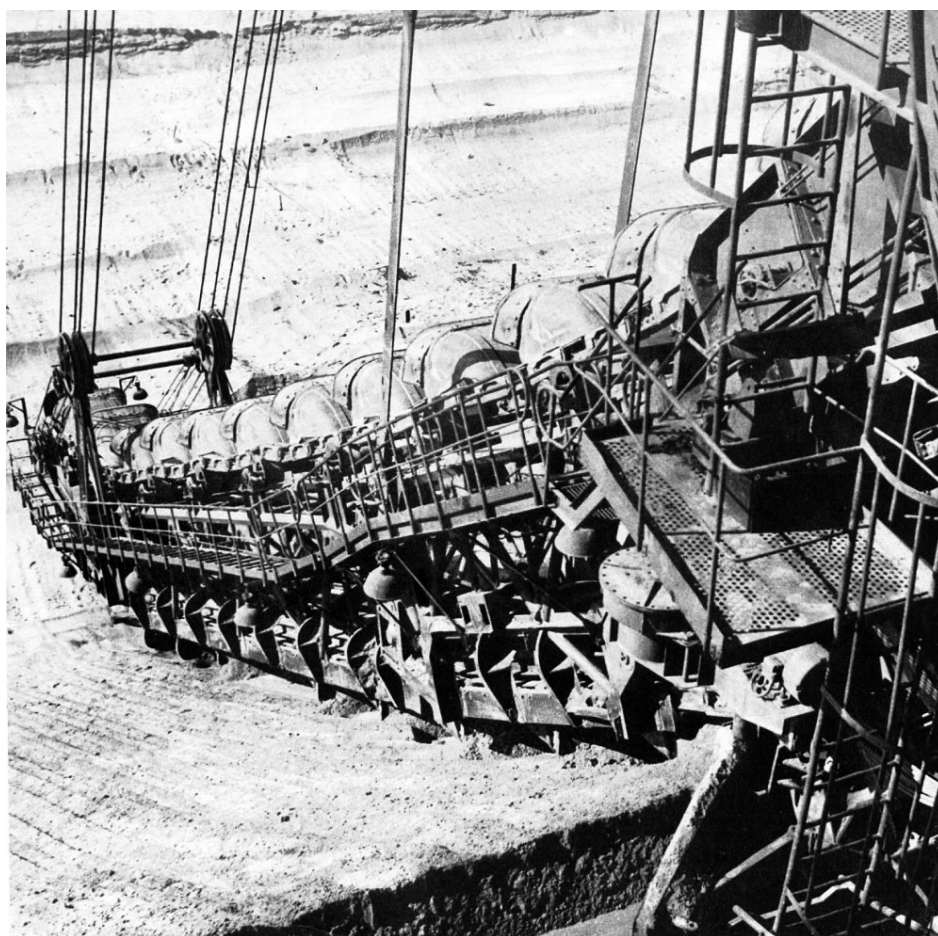


Slika 87. Bager vedričar

Radni organ rotornih bagera je rotor (kolo) s lopatama (vedricama) raspoređenim po opsegu (Slika 88). Kod bagera vedričara su lopate odnosno vedrice postavljene u određenim razmacima duž beskonačnog lanca vođenog vodećim okvirom (Slika 89).



Slika 88 Radni organ rotornog bagera

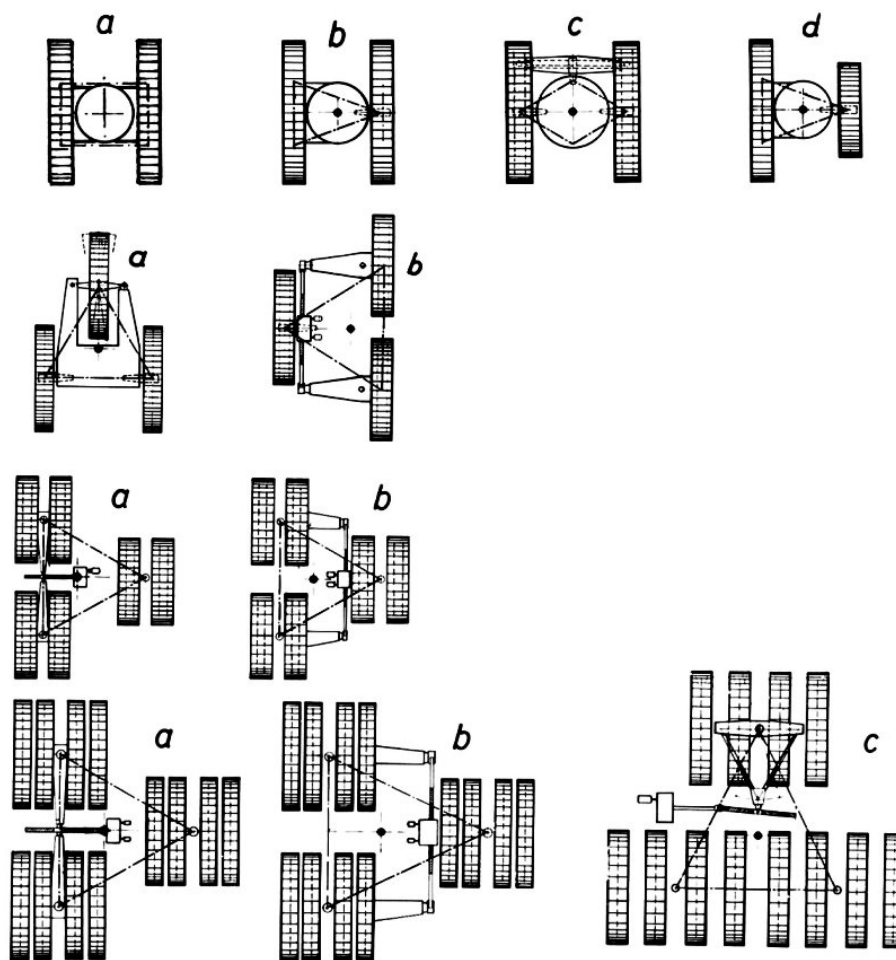


Slika 89 Radni organ bagera vedričara

Glavni dijelovi rotornog bagera su:

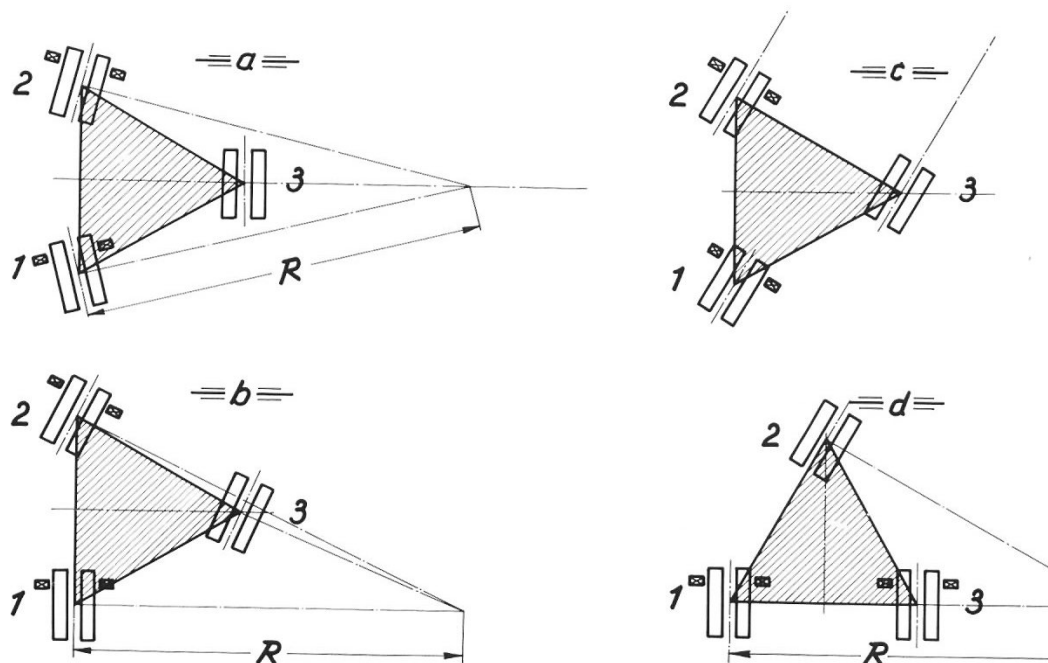
- vozni uređaj
- bagersko kućište
- radni organ – držalica s rotorom na kraju
- katarka s otpremlnim transporterom s beskonačnom trakom

Vozni uređaj rotornih bagera omogućava gibanje duž otkopne fronte i redovito je snabdjeven gusjenicama. Oslanjanje je izvedeno ili na jedan par gusjenica ili na više gusjenica odnosno grupa gusjenica (3 ili 4). Oslanjanje na tri gusjenice (ili grupe) ima prednost zbog samopodešavanja odnosno prilagođavanja tlu. Kod oslanjanja na dvije ili četiri gusjenice ili grupe gusjenica neće oslone točke preuzimati na neravnom tlu jednake dijelove težine bagera. Projektirani i predviđeni specifični pritisak na tlo će biti nejednak pa može doći do zaglibljivanja, propadanja, naginjanja i konačno do teških havarija. Iz tog razloga je oslanjanje i kod parnog broja gusjenica odnosno grupa gusjenica redovno izvedeno u tri točke. Kod izvedbe sa samo dvije gusjenice ili grupe gusjenica biti će dvije oslone točke na krajevima jedne (grupe) gusjenice a treća oslona točka u sredini druge (grupe) gusjenice. Kod izvedbe sa četiri gusjenice ili grupe gusjenica dvije će oslone točke počivati na po jednoj (grupi) gusjenici a treća oslona točka na spojnoj konstrukciji ostalih dviju (grupa) gusjenica. Treći, osamljeni oslonac uvijek će biti izveden zglobno da se omogući upravo samopodešavanje voznog uređaja prema tlu (Slika 90)



Slika 90 Vozni uređaj rotornog bagera

Sa stanovišta upravljanja pogodniji su sustavi s više gusjenica odnosno grupa gusjenica. Upravljačka ili upravljiva gusjenica (grupa) vrtivo je pričvršćena za okvir voznog uređaja te se posebnom kinematikom ostvaruje vožnja u krivini. Takvih kinematika ima nekoliko, zavisno da li se u krivini zakreće unutarnja jedna ili vanjske dvije gusjenice (grupe) ili pak samo vanjska jedna ili konačno sve (grupe) gusjenice (Slika 91).



Slika 91 Kinematika vožnje rotornog bagera u krivini

Gusjenice su redovno nezavisno pogonjene elektromotorima. Tek kod vrlo malih rotornih bagera koji su slični bagerima s radnim elementom u obliku lopate, mogu gusjenice biti mehanički pogonjene od motora u bagerskoj kućici.

Bagersko kućište u smislu kao kod manjih bagera ovdje ne postoji. To je točnije rečeno konstrukcija koja nosi sve ostale elemente pa i komandnu kućicu ili kabinu. Cijela je konstrukcija vrtiva na voznom uređaju što omogućuje radne manevre u luku dohvata radnog elementa. Mogućnost zakretanja varira kod različitih bagera od otprilike 270° pa do 360°.

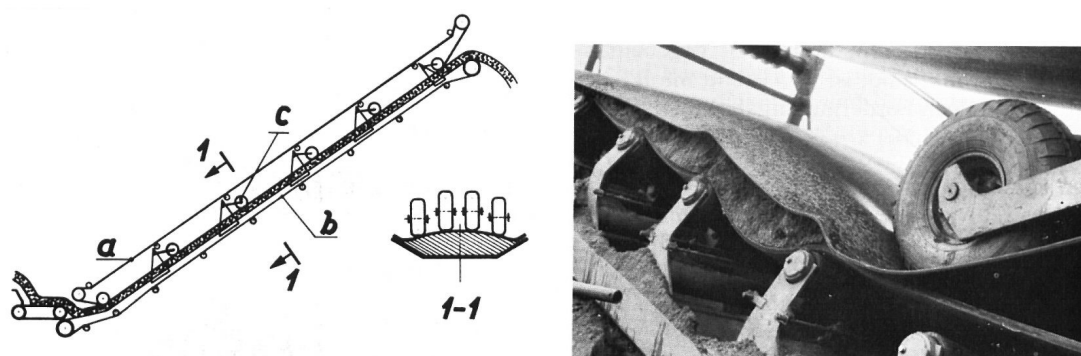
Gornja vrtiva konstrukcija se sastoji u stvari iz dva nezavisna dijela. Uz prvi, donji dio, priključen je konzolni nosač otpremnog transportera kojim se nakopani materijal otprema do daljnjeg transportnog sredstva. Taj se dio može nezavisno zakretati da se prilagodi položaju i udaljenosti transportnih sredstava. Gornji dio bagerske konstrukcije ima s jedne strane šarnirno spojen radni organ, poviše njega kruto izbačenu katarku o koju je zavješten radni organ te na suprotnoj strani konzolni nosač protuutega (Slika 92).



Slika 92 Gornja vrtiva konstrukcija rotornog bagera

Kompletna konstrukcija svih ovih dijelova je u rešetkastoj izvedbi sa zavješanjima i ukrućenjima pomoću čeličnih užeta. Bageri kontinuiranog načina rada redovno su velike do upravo gigantske jedinice čija je vlastita masa također velika. Zbog cijene takvih jedinica, potrebne energije za njihov pogon kao i zbog specifičnog pritiska na tlo, vode konstruktori i proizvođači stalnu borbu za smanjenje konstruktivne težine.

Radni organ ovih bagera je kolo ili rotor s lopatama (vedricama) razmještenim u pravilnim razmacima duž opsega. Rotor je montiran na kraju nosača (odgovara držalici kod manjih bagera) i zavješan pomoću užeta o krutu katarku. Na ovaj način se može radni organ spuštati i dizati unutar raspona dosega. Budući da se nakopani materijal otprema od rotora dalje pomoću gumenog transportera, ograničen je rad ovom bageru u dubinskom zahvatu na maksimalni nagib tog transportera pri kojem još može podizati materijal. Taj moment uostalom ograničava i maksimalni visinski dohvat. Uz ova ograničenja rotorni bageri rade pretežno u visinskom i tek u manjoj mjeri u dubinskom zahvatu. Da se dohvat bagera proširi, naročito za dubinski zahvat, primjenjuje se u nekim izvedbama specijalna konstrukcija traka. To je u stvari udvojeni sistem traka gdje je materijal nošen priklješten između tih dviju paralelno se gibajućih traka (Slika 93).



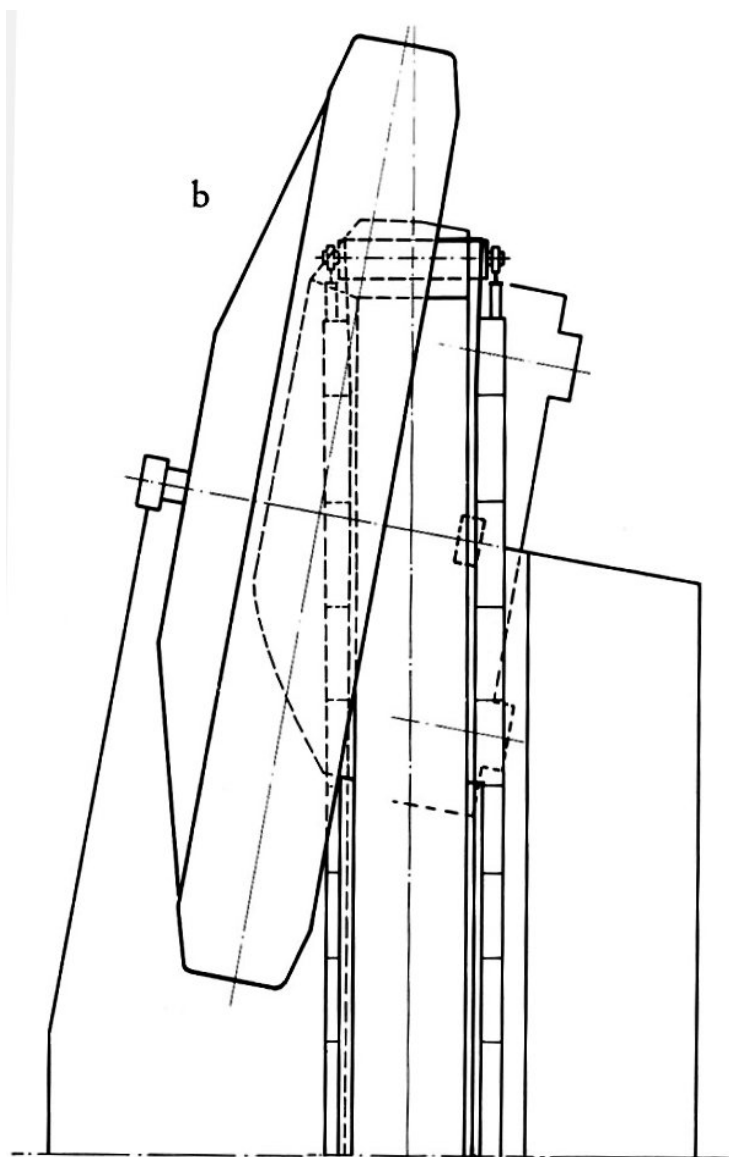
Slika 93 Specijalna konstrukcija transportnih traka za povećanje nagiba nosača radnog elementa rotornog bagera

Težina konzolno priključenog radnog organa time se povećava što pak iziskuje ili ojačanje cijele konstrukcije ili smanjenje dužine nosača rotora što je oboje nepovoljan moment.

Rotor je montiran asimetrično na slobodnom kraju nosača jer je otpremni transporter smješten sredinom konstrukcije nosača (Slika 94). Uležištenje rotora je dvostrano a pogonska grupa – elektromotor ili kod većih jedinica više njih te reduktor smješteni su na suprotnoj strani od otpremnog transportera.

Konstrukcija rotora i lopata podešena je za pražnjenje u obrtanju. U tom pogledu se razlikuju dva tipa rotora: rotor s ćelijama i bezćelijski rotor (Slika 95).

Rotor s ćelijama je izrađen kao jedna cjelina, gdje svakoj lopati (ponegdje i dvjema zajedno) pripada odgovarajući kružni isječak, skošen bočno (u ravnini rotacije rotora) prema otpremnom transporteru. Lopata prilikom rotacije naviše podiže u sebi poneseni materijal, pa kad kut nagiba stražnje (u odnosu na smjer vrtnje) plohe ćelije dosegne i premaši kut klizanja materijala, počinje pražnjenje. Proces pražnjenja lopate je ograničen samo na određeni lučni put odnosno kut. Naime, nakon što lopata pređe taj put, materijal sa stražnje stjenke pada na prednju stjenku ćelije koja već ima kut manji od potrebnog da materijal po njoj klizne do otpremnog transportera.



Slika 94 Asimetrični smještaj rotora

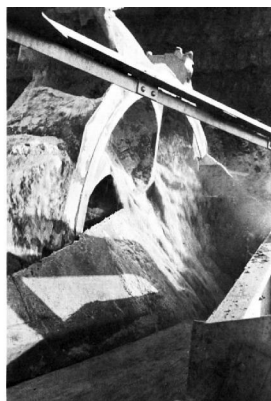


Bild 6-2 Entleerung des Fördergutes bei einem Zellenrad mit Gleitschurre (LMG)

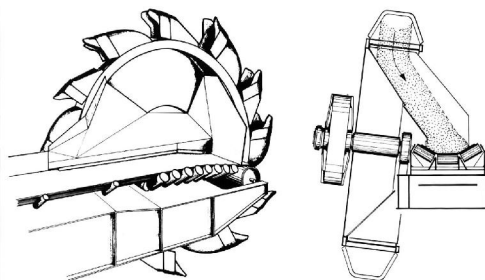


Bild 6-4 Gleitschurrentleerung durch Kegelmantelausbildung des Schaufelrades (Fried. Krupp)



a)

b)

Slika 95 Rotor s ćelijama (a) i bezćelijski rotor (b)

Taj dio materijala neće, dakle, biti otpremljen nego će pasti natrag na radilište, redovno na mjesto s kojeg se mora ponovo zahvaćati. Da se ova nepoželjna pojava spriječi mora brzina rotacije biti mala – tolika da se svaka ćelija uspije potpuno isprazniti na putu (kutu) pražnjenja. Ovaj moment ograničava kapacitet rotornih bagera pa se to rješenje sve više napušta.

Drugi, suvremeniji tip rotora je sastavljen iz dva dijela: nevirtivog vodećeg diska i vrtivog vijenca s lopatama po obodu. U disku je, na plohi kojom se kružno kreću lopate, izrez na gornjem kraju na mjestu pražnjenja. Kako su lopate bez dna, to nailaskom na izrez za pražnjenje materijal odjednom propada u taj izrez. Materijal se otpremnom transporteru dodaje ili skošenim lijevkom koji je sastavni dio konstrukcije statičnog diska ili posebnim tanjurastim dodavačem pogonjenim sinkrono s rotorom. Pražnjenje lopata je kod ovog načina znatno efikasnije i brže pa je brzina rotora a time i kapacitet povećan. S druge strane, moguće je za isti kapacitet upotrijebiti rotor manjeg promjera s manjim brojem lopata kao i lopate manje zapremine što rezultira smanjenjem mase rotora i posljedično lakšom kompletnom konstrukcijom bagera. Ovo će biti još jasnije kad se vidi koji parametri utječu na kapacitet ovih bagera. Bezćelijska konstrukcija rotora ima i nedostatak što su otpori, najvećim djelom zbog trenja materijala koji se povlači po oplati statičnog diska rotora, znatno veći. Također je i habanje ploha na kojima vijenac s lopatama rotira kod ove konstrukcije znatno.

Kapacitet rotornog bagera je funkcija zapremine pojedinačne lopate i broja pražnjenja u jedinici vremena:

$$Q_{\text{teoretski}} = V \cdot n \cdot 60 / 1000, [\text{m}^3/\text{h}]$$

Gdje je:

- V [l] volumen lopate,
- n [min^{-1}] broj pražnjenja u minuti.

Ako se u gornjem izrazu broj pražnjenja n izrazi kao:

$$n = m \cdot n_r$$

gdje je:

- m broj lopata na rotoru, i
- n_r [min^{-1}], broj okretaja rotora

a broj okretaja rotora n_r kao:

$$n_r = 60 \cdot v / \pi \cdot D, [\text{min}^{-1}]$$

gdje je:

- v [m/s] obodna brzina ili brzina rezanja, i
- D [m] promjer rotora po obodu rezanja

to će konačno izraz za teoretski kapacitet glasiti:

$$Q_{\text{teoretski}} = 3,6 \cdot V \cdot m \cdot v / D \cdot \pi, [\text{m}^3/\text{h}]$$

Isti ovaj kapacitet se može izraziti i pomoću eksploatacijskih veličina:

$$Q_{\text{teoretski}} = 0,5 \cdot D \cdot s \cdot B \cdot n_s \cdot 60 \cdot k_r / 1000, [\text{m}^3/\text{h}]$$

Gdje je:

- s [m] dubina zahvata,
- B [m] širina zahvata,
- n_s [min^{-1}] brzina zakretanja radnog elementa
- k_r koeficijent rastresitosti materijala koji se kopa.

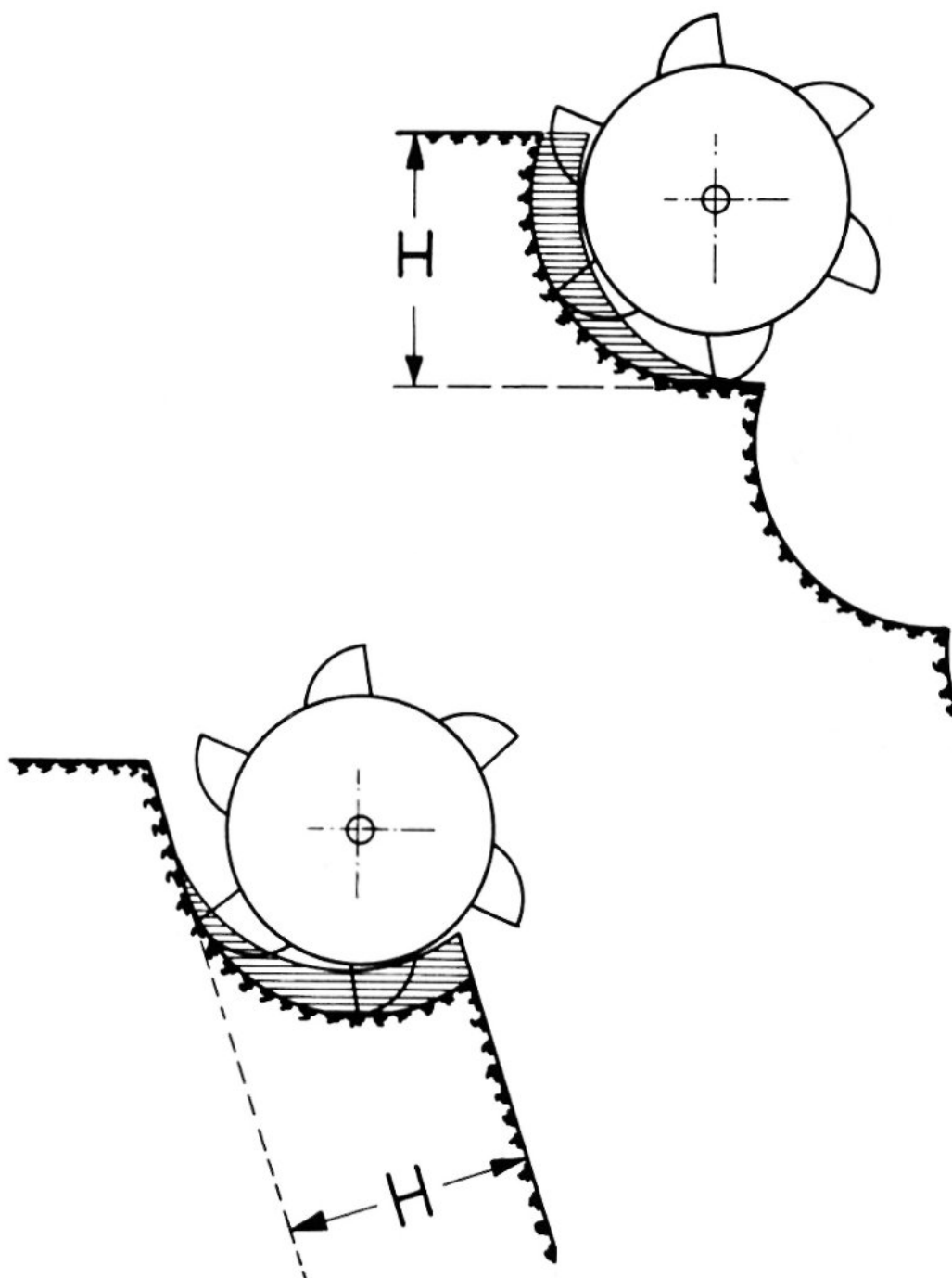
U gornjem izrazu se može dio $B \cdot n_s$ zamijeniti s brzinom zakretanja v_s [m/min], zavisno kojim se podatkom raspolaže.

Kao što se iz gornjeg izraza vidi, kapacitet rotornog bagra je funkcija dubine zahvata što je veličina koju je jako teško povećati (samo oblikom lopate) i visine rezanja odnosno promjera rotora, čije povećanje vrlo nepovoljno utječe na cijelu konstrukciju bagera. U svrhu povećanja kapaciteta, ostaje jedina praktična mogućnost u povećanju brzine zakretanja radnog organa.

Snaga potrebna za pogon rotora troši se na savladavanje dvije vrste otpora: dizanje otkopanog materijala u lopati do najviše točke odnosno točke pražnjenja, što je manji dio, cca 20 – 25 % ukupne snage, i na rad otkopavanja, odvajanja materijala iz stjenkog sklopa.

Od svih lopata na rotoru, u radnom dodiru (zahvatu) sa stijenom koja se otkopava biti će svega 2 – 3 i to svaka u drugačijoj fazi budući da je oblik koji svaka lopata skida, srpolik. To će značiti i da će u svakom momentu svaka od 2 – 3 lopate u zahvatu nailaziti na različit otpor a ukupna će potrebna snaga stalno kolebati. To je kolebanje znatno i iznosi 30 – 50 % srednje vrijednosti snage. U čvrstim materijalima ta su kolebanja još i veća.

Proces kopanja rotornim radnim organom moguć je na dva načina: horizontalnim rezovima ili vertikalnim rezovima (Slika 96). Kako je ovjes nosača rotora kao i konstrukcija i težina radnog organa neprikladna za stalno i brzo premještanje po visini, to se način s vertikalnim rezovima u praksi ne upotrebljava.

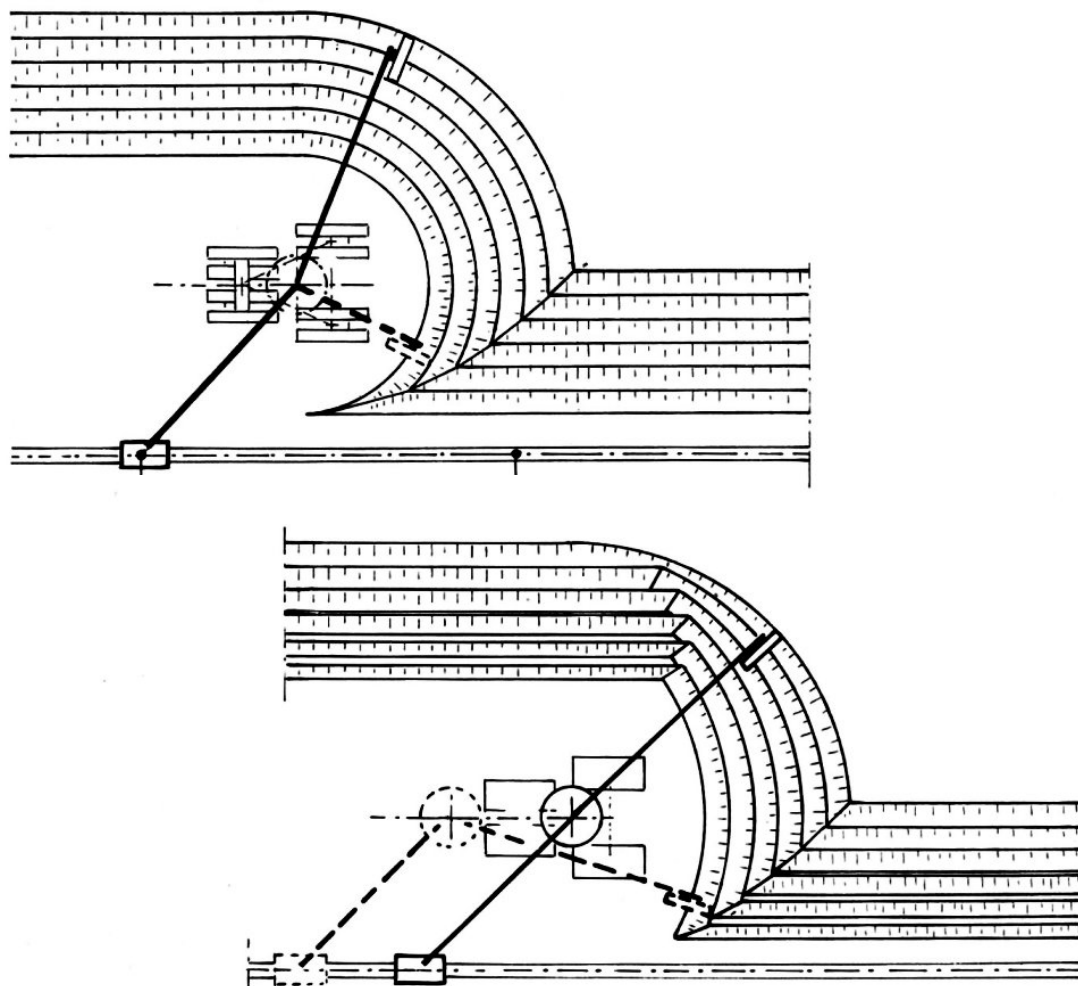


Slika 96 Otkopavanje rotornim bagerom u vertikalnim rezovima (dolje) i u horizontalnim rezovima (gore)

Rad u horizontalnim rezovima moguć je i opet na dva načina:

- s jednom podešenom visinom rotora otkopavaju se uzastopno pojasevi po dubini zahvata do postizanja pune dubine zahvata, nakon čega se rotor spušta na slijedeći niži pojas i postupak ponavlja, ili
- s jednom podešenom dubinom zahvata otkopava se pojas za pojasom dok se cijela visina otkopnog čela ne otkopa za tu dubinu, zatim se radni organ podešava na slijedeći rez po dubini i tako do postizanja pune dubine zahvata.

Iz ovog opisa rada je vidljivo da se radni organ mora moći pomicati i u smjeru nosača rotora. To je moguće ili zahvaljujući teleskopskoj izvedbi nosača rotora ili se mora cijelim bagerom ostvariti pomicanje radnog organa prema otkopnom čelu (slika 97).



Slika 97 Način otkopavanja s bagerom s teleskopskom držalicom (gore) i s bagerom s krutom držalicom(dolje)

Teleskopska izvedba nosača ima prednost što je znatno smanjeno gibanje cijelog bagera svedeno na jedinicu otkopanog materijala, što pridonosi čuvanju voznog uređaja bagera kao i očuvanju planuma trase gibanja (u materijalima sa slabom nosivošću). Nedostatak je što se masa konstrukcije bagera povećava (čak i do 25 %) što se mnogostruko negativno odražava.

Rotorni bageri s krutim nosačima rotora ostvaruju, zahvaljujući toj činjenici, slabije efekte pri otkopavanju – njihovi rezovi su srpoliki tj. stanjuju se pri kraju a punjenje lopata je zbog toga slabije. Taj se nedostatak može dosta jednostavno kompenzirati povećanjem brzine zakretanja na tom užem dijelu srpolikog reza. Zapunjenost lopate je direktno proporcionalna površini koju zahvaća, dakle umnošku dubine i širine zahvata. Širina zahvata ovisi direktno o brzini zakretanja: pri većoj brzini zahvaćat će svaka lopata širi pojas. Rukovatelj radnog organa koji se nalazi u kućici direktno uz rotor može na temelju direktnog opažanja zapunjenja lopata regulirati brzinu zakretanja držalice s rotorom.

Iz svega izloženog proizlazi da rotorni bageri s krutim nosačem (držalicom) postižu otprilike iste otkopne učinke uz činjenicu da su lakši, jednostavniji, jeftiniji i u pogonu pouzdaniji. U tlima sa slabom nosivošću su ipak nepodesni (više prevoženja) pa tu primjenu nalaze bageri s teleskopskim nosačem rotora.

Rotorni bageri beziznimno su opremljeni i posebnom konstrukcijom s gumenim transporterom za otpremu nakopanog materijala u daljnja transportna sredstva. Kod manjih bagera je ta konstrukcija konzolno spojena i užetima zavješena za glavnu konstrukciju bagera (slika 98), dok je kod većih jedinica oslonjena na vlastito vozno postolje pogonjeno vlastitim pogonom. Taj otpremni most prati kretanje bagera a redovno ima i mogućnost kutnog zakretanja spram bagera kao cjeline (slika 99).



Slika 98 Otpremni transporter s gumenom trakom zavješen čeličnim užetima za glavnu konstrukciju sa stražnje strane bagera



Slika 99 Otpremni most s gumenim transporterom na vlastitom voznom postolju (Promidžbeni materijali tvornice O&K)

Zbog velike težine i dimenzija ovih bagera, posebno nosača i rotora, kao i veoma velikog momenta prevrtanja, izazivat će i najmanje promjene u geometriji položaja radnog organa znatan nesklad između momenta prevrtanja pojedinih grupa konstrukcije. Da bi u svakom momentu odnosno u svakom položaju suma svih momenata bila (približno) jednaka nuli, ugrađuje se u konstrukciju pomični uteg. Odgovarajućim kinematikama gibanja tog utega postiže se automatsko podešavanje prema mjeri pretega momenta od konstrukcije bagera. Kod manjih bagera s krutim nosačem rotora protuuteg je fiksiran na jednom konzolnom prepustu na suprotnoj strani od radnog organa i s njim se zajedno zakreće.

Upravljanje je kod velikih jedinica razdvojeno po funkcijama. Na kraju radnog organa je kabina iz koje se upravlja svim elementima gibanja kako radnog organa tako i cijelog bagera. Varijanta ovog rješenja je da je upravljačka kabina na posebnom konzolnom držaču što omogućava da se kabina odnosno rukovatelj postavi u najpovoljniji položaj prema rotoru i radnom čelu. Ta konzola ima naime mogućnost dizanja i spuštanja nezavisno od radnog organa. Ako je rotornom bageru pridodan i pretovarni most s vlastitim voznim postoljem, tada je redovno snabdjeven i upravljačkom kabinom i zasebnim rukovateljem. U centralnoj bagerskoj konstrukciji postoji i centralno upravljačko odnosno kontrolno mjesto. Ovdje se nadgledaju i upravljaju svi ostali pogoni (transporteri, vitla) sva električna, pneumatska i hidraulična oprema i sistemi. Za kontrolu i održavanje ovako velikih jedinica, koje se mogu usporediti s jednom manjom do srednjom tvornicom po instaliranim snagama i broju odnosno količini najrazličitije strojne, električne i ostale opreme, brine se prilično brojna ekipa specijaliziranih i visokostručnih radnika – sve do strojarskih i elektro inženjera.

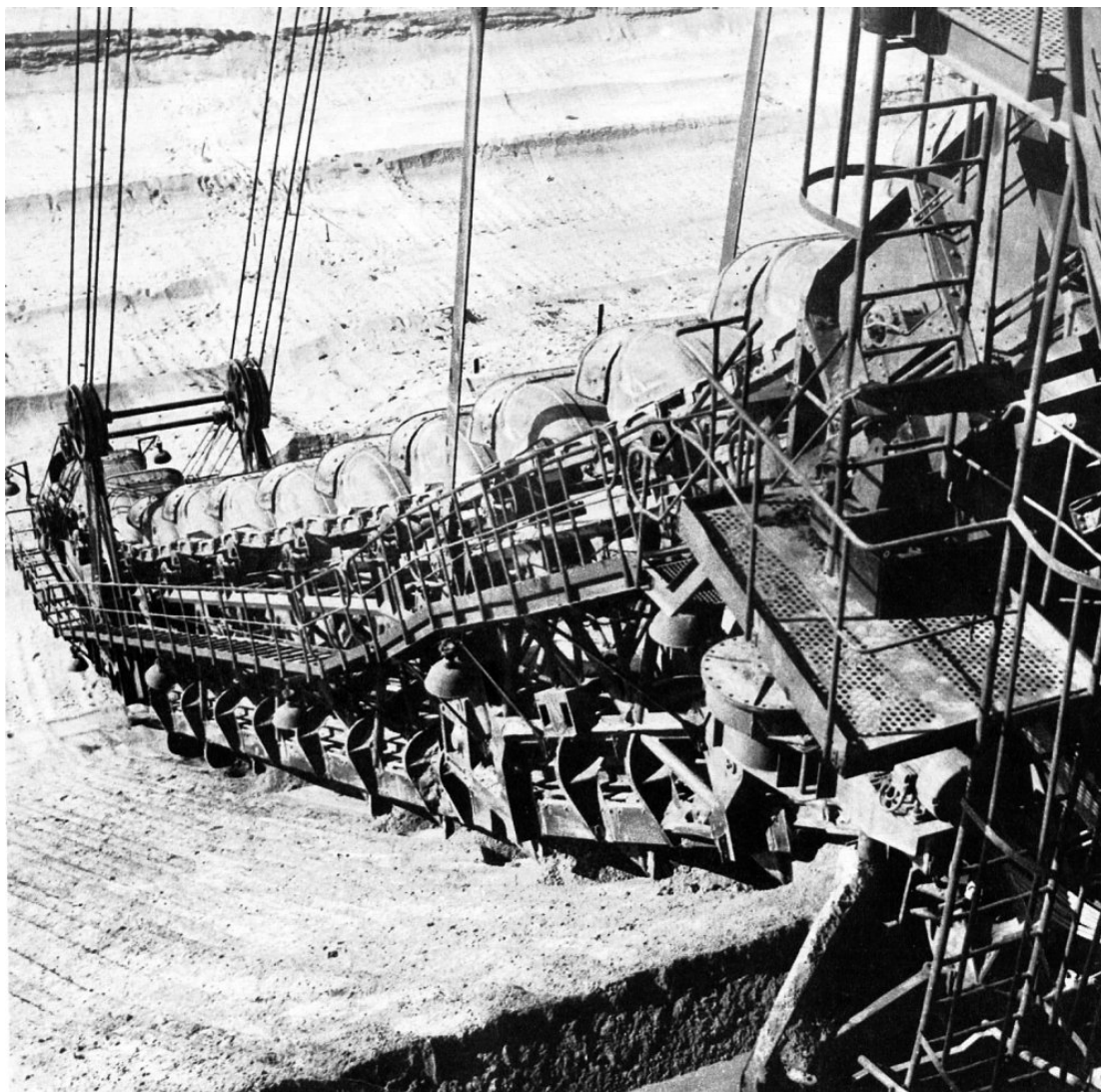
Bageri vedričari

Ovi bageri imaju mnogo sličnosti s rotornim bagerima ali i suštinskih razlika. U tehnološkom pogledu, glavne su razlike ove:

- bageri vedričari uglavnom rade u fronti za razliku od rotornih bagera koji rade u bloku
- bageri vedričari podjednako dobro rade i u visinskom i u dubinskom zahvatu – s nekim prednostima u korist ovog posljednjeg

U konstruktivnom pogledu razlikuju se bageri vedričari utoliko što se dobivanje i otprema nakopanog materijala obavlja istim elementom – radnim organom.

Radni organ (slika 100) je beskrajni lanac na kojem su u pravilnim razmacima pričvršćene vedrice (lopate). Za vrijeme kopanja cijeli se bager pomiče duž otkopne fronte pa se vedrice gibaju u stvari po sastavljenoj putanji pod nekim kutem prema osi fronte. Uzdužna komponenta gibanja (tj. u smjeru osi fronte) mora biti tolika da svakoj vedrici pripada pojas tolike širine da se na putu kopanja odnosno punjenja uspije potpuno zapuniti (uz zadanu dubinu zahvata). Povećanjem ove uzdužne komponente gibanja moguće je postići da se vedrice zapune i više nego što im je geometrijski volumen. U tom slučaju svaka vedrica gura pred sobom još dodatnu količinu materijala – slično kao kod skreperskih posuda. Stvarni kapacitet bagera na taj način će biti veći od teoretskog o čemu treba voditi računa pri dimenzioniranju daljnjih transportnih sredstava.



Slika 100 Beskonačni lanac s vedricama na vodećem okviru

Nosaču rotora kod rotornih bagera odgovara ovdje vodeći okvir (slika 100) za beskonačni lanac s vedricama. Okvir je sastavljen od nekoliko sekcija, segmenata. Svaki segment je zavješena užetima za konzolnu konstrukciju i pogonjen odnosno pomican odvojenim vitlima. Na taj način se može okviru davati oblik po želji odnosno potrebi. Zadnja sekcija se redovno ispruži horizontalno čime se postiže planiranje donjeg planuma etaže. Istim se vitlima cijeli okvir podiže ili spušta na potrebni kut pod kojim se etaža otkopava, kao i namješta cijeli radni organ za dubinski ili visinski zahvat. U visinskom zahvatu okvir se lomi u najmanje tri sekcije, pri čem je srednja horizontalna (održavanje planuma) a krajnja uz bager je usponska za podizanje vedrica do točke pražnjenja unutar bagera.

Kako bageri vedričari redovno rade u fronti (slika 101), to je njihovo radno gibanje jednom u jednom smjeru – prema jednom kraju otkopne fronte a nakon toga u povratnom gibanju prema drugom kraju. Da bi se u oba smjera moglo kontrolirati i upravljati radnim organom i cijelim bagerom smještena je po jedna upravljačka kabina na svakoj strani radnog organa.



Slika 101 Rad s bagerom vedričarom u fronti

Protutuget za kompenzaciju prevrtnog momenta od radnog organa kod bagera vedričara redovno je fiksiran. Premještanje težišta kod raznih položaja radnog organa iznosi svega do 0,5 metara. Fiksni uteg znatno pojednostavljuje konstrukciju bagera.

Lanac nosač vedrica je izložen intenzivnom habanju tako da mu je vijek svega 1,5 do 2 mjeseca (uz dvadesetosatni efektivni rad dnevno). Za izmjenu vučnog lanca, što je bila operacija koja je iziskivala veoma mnogo vremena i znatno negativno utjecala na učinak bagera, koristi se danas specijalni samohodni uređaj pomoću kojeg se cijeli lanac (s vedricama zajedno!) zamijeni u tri sekcije.

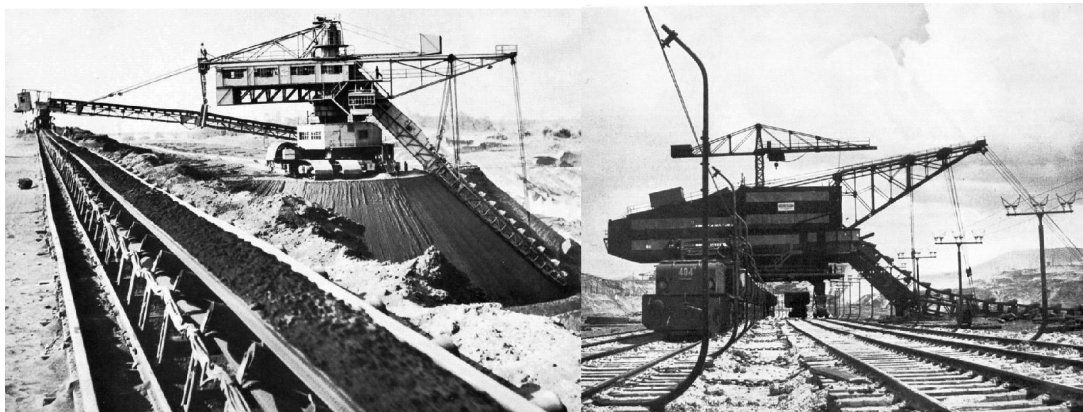
Zbog održavanja potrebne napetosti lanca, a što s radom opada kao posljedica habanja u spojevima pojedinih elemenata, nužno je na povratnim koturima predvidjeti uređaj za napinjanje. Uređaj se sastoji iz vretena i matice i pogonjen je elektromotorom.

Budući se na radnom organu javljaju za vrijeme rada i poprečne sile kao posljedica gibanja bagera duž otkopne fronte, mora se radni organ užetima tako zavjesiti da poprečne zatege preuzmu te poprečne sile.

Noseći ili vučni lanac za vedrice vodi se u okviru s gornje strane u zatvorenom U – profilu. Zbog smanjenja trenja u profilima su na razmacima ugrađeni vrtivi valjci, u novije vrijeme uležišteni na kotrljajućim ležajevima. U slučaju prekida lanca na gornjoj strani došlo bi do obrušavanja lanca i vedrica na njemu što prouzrokuje oštećenje konstrukcije i velike zastoje, pa se na toj strani u izvjesnim razmacima ugrađuju hvatači lanca. Ovi hvatači stupaju u djelovanje samo pri olabavljenju lanca. Na donjoj (radnoj – otkopnoj) strani ovakvi hvatači nisu potrebni jer će zbog zahvata vedrica i trenja o tlo, vedrice zadržati lanac od obrušavanja. Na donjoj strani lanac se vodi na otvorenom L – čeličnom profilu.

Pogonski lančanik ima 6 – 8 zubi (palaca) kojima se ostvaruje gibanje lanca. Veći broj zubaca ostvaruje mirnije gibanje a manji broj prouzrokuje gibanje na mahove, trzaje. Gibanje na mahove nije dobro po konstrukciju lanca, vodećeg okvira i konačno cijelog bagera (vibracije!) ali pogoduje boljem pražnjenju vedrica. Kod ljepljivih materijala bira se dakle manji broj zubaca pogonskog zupčanika. Između pogonskog motora i lančanika se ugrađuje sigurnosno kvačilo koje će prekinuti pogon lanca u slučaju nailaska vedrice na uklopak tvrde stijene.

Vozni uređaj bagera vedričara je ili tračnički ili gusjeničji. Ako je transport nakopine riješen pomoću kolosiječnog transporta, onda je i sam bager na tračnicama. Kako se u novije vrijeme ovaj transport sve više zamjenjuje transporterima s beskonačnom trakom, to se bageri sve češće opremaju gusjeničjim voznim uređajem.



a)

b)

Slika 102 Gusjenični (a) i tračnički (b) vozni uređaj bagera vedričara

Međusobna usporedba rotornih i bagera vedričara

Tendencija je u gradnji velikih kontinuiranih bagera ka rotornim bagerima. Međusobna usporedba tehničkih i tehnoloških karakteristika daje slijedeću sliku:

a) Način rada odnosno primjena

Rotorni bager je pogodan za rad u bloku gdje prevladava visinski zahvat. Prijelaz na dubinski zahvat, koji može doseći najviše do 40 % visine visinskog zahvata, rijetko se primjenjuje. Rotorni se bager dakle primjenjuje tamo gdje nije nužno održavati pravolinijski profil kosine etaže kao i tamo gdje je iz otkopnih razloga povoljno dobivanje u horizontalnim pojasevima.

Bager vedričar će se primijeniti gdje je potrebno otkopavati mase i u dubinskom i u visinskom zahvatu jer je prijelaz s jednog na drugi način brz i jednostavan. Kod primjene transportnih mostova za direktno prebacivanje primijenit će se u pravilu bager vedričar. Zahvaljujući dugom putu punjenja vedrica mogu se bagerom vedričarom otkopavati slojevi debljine i ispod 0,5 metara dok međutim kod rotornog bagera debljina sloja ne može biti manja od polovice promjera rotora.

b) Konstrukcija

Rotor s lopatama po obodu koji se vrti na osovini s uležištenjem na kotrljajućim ležajevima znatno je povoljnije rješenje u pogledu veličine otpora i habanja nego prilično slobodno vođeni vučni lanac s vedricama. Izričitu prednost u smislu veličine otpora, habanja i konstruktivne mase (težine) ima transporter s beskonačnom trakom u nosaču rotora spram vučnog lanca i vedrica, što u oba slučaja služi za otpremu odnosno izvlačenje nakopanog materijala do presipne točke u bageru.

c) Kapacitet

Zbog znatno veće brzine rezanja i broja pražnjenja lopata u jedinici vremena imaju rotorni bageri za istu veličinu lopate (vedrice) veći učinak nego bageri vedričari. Učinak se i povećava još ako za punjenje materijala stoji na raspolaganju osim samih lopata i prstenasti prostor ispod njih (a do statičnog dijela rotora – tzv. kombinirani tip rotora).

Efikasnost odnosno brzina pražnjenja vedrica jedva ovisi o vrsti i stanju materijala u njima kod bagera vedričara jer se vedrice iskreću za 180° a nemiran hod vučnog lanca pogoduje pražnjenju. Osim toga, materijal koji nije ispao na samom okretištu lanca ispast će iz vedrice ubrzo na njenom povratnom putu, kad se kreće s otvorenom stranom nadolje i bit će zahvaćen od vedrica na donjoj, radnoj strani i priključen ostaloj iskopanoj masi.

Efikasnost pražnjenja lopata rotora a time i učinak znatno ovisi o ljepljivosti i konzistenciji nakopanog materijala. Materijal koji ne dopije na otpremni transporter već pada na tlo znači direktni gubitak kapaciteta.

d) Težina i dimenzije

Rotorni bager ima za isti teoretski učinak i za istu visinu dohvata manju ukupnu masu (težinu) i jeftiniji je nego bager vedričar.

e) Instalirana odnosno pogonska snaga

Rotorni bager je i u ovom pogledu znatno povoljniji od bagera vedričara, najviše na račun znatno manje potrebne snage za dizanje materijala do presipne točke.

f) Habanje i pogonska pouzdanost

Kod bagera vedričara izvrnut je lanac i vodeći okvir u donjem dijelu znatnom habanju zbog suhog trenja klizanja među njima. Kod rotornog bagera su međutim zubi lopata znatnije izloženi trošenju jer je ukupni broj lopata manji nego kod bagera vedričara pa su i lopate češće u radnom zahvatu kao i zbog veće brzine rezanja. Upravo zbog veće brzine gibanja izložene su većoj opasnosti lopate kod rotornih bagera pri udaru na uloženi komad tvrde stijene ili druge prepreke. Zbog izvjesne slobode u vođenju lanca i zglobne veze među elementima lanca kao i znatno manje dubine zahvata bit će nalet vedrice kod bagera vedričara manje opasan odnosno čak će i preskočiti prepreku.

g) Ekonomičnost

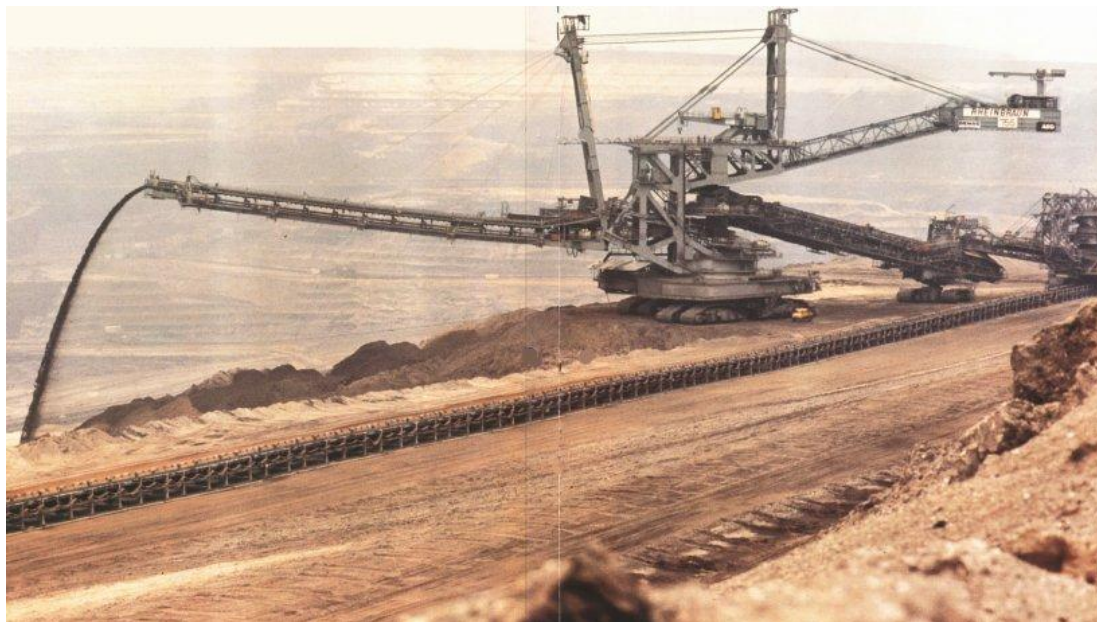
Ako na izbor vrste bagera ne utječu jednoznačno tehnološki, rudarsko – geološki i geomehanički momenti, onda odluka mora počivati na ekonomskim pokazateljima. Na ekonomičnost utječe toliko mnogo za određeni slučaj specifičnih elemenata, da se zaključak može donijeti samo na temelju opsežne i temeljite studije. Većina momenata opisanih ovdje od a) do g) odnaša u sve većem broju slučajeva prevagu prema rotornim bagerima, tako da se bageri vedričari još jedva više grade odnosno prodaju.

Ostala i pomoćna oprema odnosno mehanizacija (velikih) površinskih kopova lignita

Iako je u izlaganju materije ovih nastavnih materijala prihvaćen princip grupiranja mehanizacije po tehničkim i tehnološkim osobinama a ne (odnosno ne isključivo) po namjeni, moralo se odstupiti u ovom slučaju. Naime površinski kopovi lignita odlikuju se specifičnim tehnološkim shemama za koje je razvijena i specifična mehanizacija. Konačno, i upravo opisani rotorni i bageri vedričari specifična su mehanizacija površinskih kopova lignita.

U tehnološkoj sprezi s njima primjenjuju se:

- transportni mostovi (slika 103)
- odlagači
- pokretni bunker i drobilice
- premicači pruge i transportnih traka.



Slika 103 Transportni most

11. LITERATURA

Cabral, A. R., Lehmann, B., Kwitko, R., Cravo Costa, C.H. (2002): The Serra Pelada au-pd-pt deposit, Carajás mineral province, northern Brazil: Reconnaissance mineralogy and chemistry of very high grade palladian gold mineralization. *Economic Geology*, Vol. 97, , pp. 1127–1138.

http://en.wikipedia.org/wiki/Watt_steam_engine, pristup: 01.03.2015.

Morović, B. (1989): Rudarski strojevi. (interna skripta), Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.

Newcomen, 1712., http://en.wikipedia.org/wiki/Newcomen_steam_engine

Arar, I., (1962): Transportna sredstva u rudarstvu. Tehnička knjiga, Zagreb.

Machowski, J., Dudek, W., Szklarski, L. (1970): Rozwoj elektrycznych urzadzen do przewozu urobku w polskim gornictwie, *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki*, 15/1, 81 – 107.

<https://www.hk-hydraulik.com/en/hydraulics-encyclopaedia>, pristup: 01.03.2015.

Popović, N. (1984): Naučne osnove projektovanja površinskih kopova - drugo izdanje, (pp. 971), NIRO Zajednica - NIŠRO Oslobođenje, Sarajevo.

Church, H. K. (1981): Excavation handbook, McGraw-Hill Inc., SAD.

Stack, B. (1982): Handbook of mining and tunnelling machinery. Wiley, pp. 578-583, New York.

Bartels, R. J. (1992): Recent findings in the development of hydraulic hammers and hydraulic demolition cutters. *Technische Mitteilungen Krupp*, No. 1, p. 38-44.

Anderson, J. T., Papineau, W. N. (1989): Rock excavation with boom mounted hydraulic impact hammers. *Foundation engineering: Current principles and practices*, p. 418-431, Evanston, IL, USA.

Lawton D. (1994): Hydraulic hammers for no-blast applications. *Tunnels & Tunnelling*, January, p. 40-41.

Kamennyi, B. *et al.* (1985): Soviet hydraulic breakers for oversized rocks. *Mining magazine*, Vol. 125, No. 5, p. 441, London.

Kuhar, M. S. (1988): Secondary breaking with a drop ball. *Pit & Quarry*, Vol. 81, No. 2, p. 114-116.

Chadwick, J. (1994): El Teniente's Sub-6 looks to automation. *Mining Magazine*, November, p. 264-270.

Anon. (1989): Day one green breaker on the ball. World mining equipment, Vol. 13, No. 9, 14.

Anon. (1990): Hydraulic breakers. World mining equipment, Vol. 14, No. 6, 8-14.

Anon. (1992): Breaking new ground. World mining equipment, Vol. 16, No. 4, 37-38.

Anon. (1993): Hydraulic breakers cost-efficient at Olengorsk. World mining equipment, Vol. 18, No. 4, 4.

Anon. (1995): Hydraulic hammers dig limestone. Mining Journal, Vol. 324, No. 8319, 216.

Horton, N. (1993): No blast, no damnation. World mining equipment, Vol. 17, No. 2, 22-26.

Walker, S. C. (1988): Mine Winding and Transport. Advances in Mining Science and Technology, 4, Elsevier, Nizozemska.

Kujundžić, T. (1997): Istraživanje učinkovitosti hidrauličnih čekića ovisno o fizičko-mehaničkim svojstvima stijena. Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb, pp. 114, Zagreb.

Clark, G., Piggott, S. (1933): The age of the British flint mines. Antiquity, Vol. 7, 166 – 183.

Kujundžić, T. (2002.): Utjecajne veličine pri iskopu stijena hidrauličkim čekićem. Disertacija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.