

MP 3170

Dagbouw

Deeldictaat 1993 / 94

wordt niet
uitgeleend



Bijgewerkt door
Ir. P.A. Rossouw



DAGBOUW MP 3170

Hoofdstuk I: DAGBOUW-PRINCIPES

1.1. Inleiding

Onder dagbouw verstaat men die mijnbouwmethoden waarbij ertsen, kolen en andere mineralen en grondstoffen, aan de open lucht worden ontgonnen. Deze methoden werden gedurende de 20e eeuw in de geïndustrialiseerde landen (Amerika en Europa) ontwikkeld, vanwege de volgende factoren:

- a. Toenemende behoefte aan grondstoffen als metalen en kolen, en de daardoor snelle afname van de reserves die ondergronds economisch konden worden gewonnen.
- b. De vertraging en extra kosten verbonden aan de aanvoer destijds van in het buitenland te winnen grondstoffen.
- c. De technologische voortgang in de geïndustrialiseerde landen, waardoor het verzetten van grote massa's aan grond en gesteenten verantwoord werd, om armere, dicht bij de oppervlakte gelegen afzettingen te winnen.
- d. Grote verbeteringen in de verwerkingsmethoden, die de concentratie van de waardevolle bestanddelen uit dergelijke arme ertsen, mogelijk maakten.

Waarschijnlijk de eerste werkelijk gemechaniseerde dagmijnbouw van de wereld, namelijk de Jacklynmijn in Bingham, U.S.A., dateert uit 1906. De winning geschiedde met een door stoom aangedreven, op sporen geplaatste graafschop. De schopinhoud was ongeveer 1 m³. De afvoer van het kopererts geschiedde met paard en wagen. In vergelijking met ondergrondse winning, wordt er heden in dagbouw vrijwel twee keer zoveel wereldwijd aan ertsen en kolen gewonnen.

1.2. Kenmerken van Dagbouw

Hoewel de handelingen (breken, laden en afvoer) in dagbouw en ondergrondse winning gelijk zijn, wijken de uitvoering en het daarbij in te zetten materieel (machines) sterk af, vanwege:

- a. De uitvoering in de open lucht, met andere woorden men is vrij in zijn keuze ten aanzien van de dimensies van het in te zetten materieel. Dit biedt de dagbouwer de gelegenheid om optimaal gebruik te maken van de snelle technische ontwikkelingen die gedurende de laatste tientallen jaren hebben plaatsgevonden.
- b. De noodzaak in de dagbouw om behalve het minerale voorkomen tevens het bovenliggende dekterrein te verzetten (af te stropen). Het volume aan te verwijderen deklagen neemt progressief toe met de diepte en dientengevolge zal de toepassing van de dagbouw altijd beperkt blijven tot relatief ondiepe afzettingen.
- c. De uitvoering in de open lucht maakt de voortgang zeer gevoelig voor wijzigingen in de weersomstandigheden (vorst, sneeuw, wind, hitte, regen).
- d. Sterke beïnvloeding van de omstandigheden in de omgeving van de dagbouw mijn, door de mijnwerkzaamheden.

1.3. Voor- en nadelen van Dagbouw

Uit deze kenmerken blijken voor- en nadelen van dagbouw tegenover ondergrondse mijnen:

1.3.1. Voordelen

- De geologische bijzonderheden van de afzetting en de werkomgeving zijn gemakkelijker vast te stellen.
- De afbouwvolgorde is veelal soepeler (echter niet bij strookdagbouw), waardoor ertsgehaltebeheer gemakkelijker kan zijn.
- Ertsverliezen zijn meestal lager.
- De werkomstandigheden zijn minder gevaarlijk.
- Groottes en types van het in te zetten materieel kunnen optimaal geselecteerd worden.
- Eenvoudiger en beter onderhoud van dit materieel ("materieel" = machines) is mogelijk.
- Montage en verplaatsing van het materieel is eenvoudiger.
- Voorzieningen voor ventilatie, mijnverkoeling en ondersteuning worden in het algemeen overbodig.
- De bovenstaande factoren resulteren in een veel kleinere personeelsbehoefte per eenheid geproduceerd, en dus lagere personeelskosten.
- De lagere personeelskosten worden verder vermindert door de langere effectieve werktijd per dienst, vanwege de betere toegankelijkheid.
- De bovenstaande voordelen laten daarom vaak een economische winning van laagwaardige afzettingen toe.

1.3.2. Nadelen

De reeds vermelde beïnvloeding door een dagbouwmine op haar naaste omgeving zijn velerlei:

- Wijzigingen in de bestaande geografische omstandigheden, waaronder het omleggen van rivierbeddingen, het afgraven van heuvels en het verlagen van de grondwaterstand.
- Verplaatsing van infrastructurele voorzieningen, b.v. wegen, spoorwegen, opstallen en krachtleidingen.
- Het verkrijgen van eigendoms- of gebruiksrechten voor de noodzakelijke verwijdering en opslaan van het deklaagvolume.
- Het veroorzaken van overlast aan de omgeving: hieronder vallen onder meer lawaai veroorzaakt door het produktiematerieel, geluids- en grondtrillingen ten gevolge van het gebruik van springstoffen, en overlast van door de wind meegevoerde stof.

Deze nadelen, die neerkomen op aantasting van het milieu, stuiten op toenemende bezwaren van overheid, particulieren en de mijnmaatschappijen zelf. Dientengevolge worden de in een exploitatievergunning opgenomen voorwaarden ter ondervanging van deze bezwaren steeds moeilijker en kostbaarder in hun uitvoering, onder meer de voorwaarde tot "bebossing" van de opgeslagen deklagen bij open-groevemijnen of die tot herstel van de oorspronkelijke toestand bij strookdagbouwminen.

Verdere nadelen zijn:

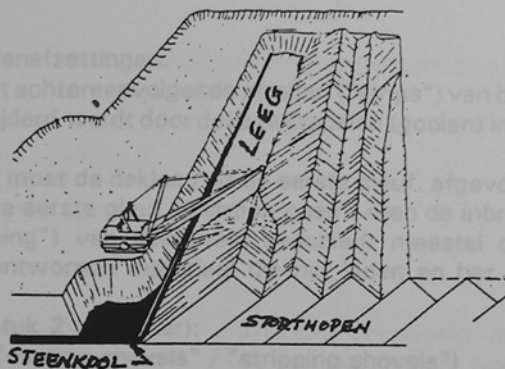
- Het grote volume aan dekterrein dat verwijderd moet worden alvorens de produktie een aanvang kan nemen, en de daaraan verbonden kosten.
- De stabilisatie van de hellingen van de uitgravingen.
- De invloed van weersomstandigheden (vorst, sneeuw, regen, hitte, wind) op de voortgang van de werkzaamheden.

1.4. Afbouwmethoden

In de dagbouw kent men de volgende winningsmethoden:

1.4.1. **Strookdagbouw** ("strip mining"; "opencast area mining").

Deze methode wordt toegepast bij de winning van horizontale of bijna horizontale

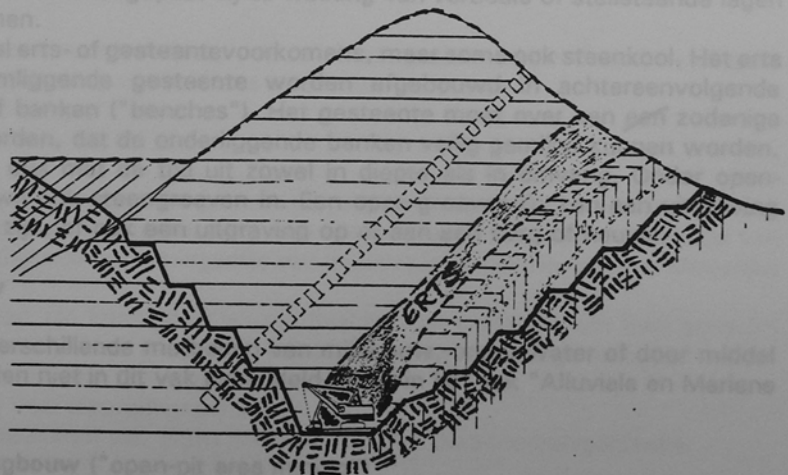


1. STROOKDAGBOUW

1.4.2. Open-groevedagbouw ("open-pit mining")

Open-groevenijdbouw wordt toegepast bij de winning van verticale of steilzakkende lagen en van massale lichamen.

Het betreft hier meestal erts- of gesteentevoorkomen, maar ook steenkool. Het erts en het boven- en omringende gesteente wordt achtereenvolgens in horizontale schijven of banken ("benches") afgegraven. Het zandafstand verwijderd wordt. Het erts wordt zodanig afgegraven dat de groevenrijen sluiten en de beneden het massieve gesteente.



1.4.3. Waterrijbouw

Deze bezaming sluit water af van de ondergrond. Het water wordt afgevoerd en buiten de groeve afgevoerd en buiten de groeve afgevoerd en buiten de groeve afgevoerd.

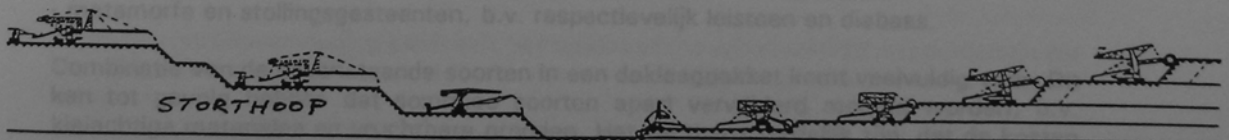
1.4.4. Brede-groevedagbouw ("open-pit mining")

Deze methode wordt vooral toegepast bij de winning van brede bruinkool- of steenkoolafzettingen b.v. bruinkool in het gebied van de rivier (Navel).

2. OPEN-GROEVEDAGBOUW

1.5. Dakterrein (Mekel)

Het te winnen mineraal (b.v. erts of kolen) zal betrekkelijk constant zijn in samenstelling en eigenschappen. In tegenstelling daarmee kunnen de dekkingen in oorsprong, samenstelling en eigenschappen sterk variëren, als de volgende ruwe indeling aantoont: niet of weinig geconsolideerde gronden, industrieel los zand of klei, geconsolideerde sedimentaire afzettingen b.v. zandsteen en kalksteen, vulkanische en stollingsmassieven, b.v. respectievelijk basalt en diabas.



3. BREDE-GROEVEDAGBOUW

afzettingen, onder andere kolenafzettingen.

De kolen worden gewonnen uit achtereenvolgende stroken ("strips") van beperkte breedte, waarover het dekterrein verwijderd wordt door deze te stapelen (gooien) in de vorige, reeds gemijnde, gleuf of strook.

Tenzij de afzetting dagzoomt, moet de deklaag uit de eerste gleuf, afgevoerd en buiten de mijn opgeslagen worden. Deze eerste gleuf of strook noemt men de inbraakgroeve ("box cut"). Het afstropen ("stripping") van dekterrein geschiedt meestal door middel van speciaal voor dit doeleinde ontworpen materieel die het laden en het vervoer van het dekterrein combineren.

Men onderscheidt (zie hoofdstuk 2 en verder):

- goograafschoppen ("casting shovels" / "stripping shovels")
- sleepschoppen ("dragline excavators")
- graafwielen ("bucket wheel excavators") van het type dat speciaal voor rechtstreeks gooiwerk ontworpen is.

1.4.2. Open-groevedagbouw ("open-pit mining")

Open-groevemijnbouw wordt toegepast bij de winning van verticale of steilstaande lagen en van massale lichamen.

Het betreft hier meestal erts- of gesteentevoorkomens, maar soms ook steenkool. Het erts en het boven- en omliggende gesteente worden afgebouwd in achtereenvolgende horizontale schijven of banken ("benches"). Het gesteente moet over een zodanige afstand verwijderd worden, dat de onderliggende banken veilig gemijnd kunnen worden. De groeve breidt zich dus met de tijd uit zowel in diepte als in omvang. Onder open-groevemijnen sluiten wij ook steengroeven in. Een open-groevemijn kan een uitgraving beneden het maaiveld zijn, of ook een uitgraving op of aan een berg of heuvel.

1.4.3. Watermijnbouw

Deze benaming sluit verschillende methoden van mijnbouw, onder water of door middel van water, in. Zij worden niet in dit vak behandeld, maar in het vak "Alluviale en Mariene Mijnbouw".

1.4.4. Brede-groevedagbouw ("open-pit area mining")

Deze methode wordt vooral toegepast in grote, betrekkelijk diepe bruinkool- of steenkoolafzettingen b.v. bruinkool in Duitsland (Rheinbraun) en India (Neyveli).

1.5. Dekterrein (deklaag)

Het te winnen mineraal (b.v. erts of kolen) zal betrekkelijk constant zijn in samenstelling en eigenschappen. In tegenstelling daarmee kunnen de deklagen in oorsprong, samenstelling en eigenschappen sterk variëren, als de volgende ruwe indeling aantoont:

- niet of weinig geconsolideerde gronden, inclusief los zand of klei.
- geconsolideerde sedimentaire afzettingen b.v. zandsteen en kalksteen.
- metamorfe en stollingsgesteenten, b.v. respectievelijk leisteen en diabaas.

Combinatie van de bovenstaande soorten in een deklaagpakket komt veelvuldig voor. Dit kan tot gevolg hebben dat sommige soorten apart verwijderd moeten worden, b.v. kleiachtige materialen en vruchtbare gronden. Het zal thans duidelijk zijn, dat de kosten voor verwijdering van het dekterrein sterk variëren met de samenstelling als wel met

de dikte ervan. Deze kosten overtreffen heel vaak de kosten verbonden aan het mijnen van het erts.

1.6. Werkfasen

In de dagbouw onderscheidt men de volgende werkfasen:

1.6.1. Voor-afstroping

Gedurende de voor-afstropingsperiode wordt uitsluitend dekterrein verwijderd en wel voldoende om zoveel van het ertslichaam bloot te leggen om hierin betrouwbare productiefrenten te kunnen ontwikkelen. Voor-afstroping is dus vergelijkbaar met de ontsluitingsperiode bij ondergrondse winning.

De voorafstropingsperiode kan wel lang zijn en de daarin te maken kosten kunnen zeer hoog oplopen. Een voorbeeld hiervan is de bruinkoolmijn Hambach in Duitsland. De voorafstropingsperiode bedroeg hier 6 jaar; waar er met drie graafwielen werd gewerkt.

1.6.2. Productie-fase

Gedurende deze periode worden zowel de afstropingsactiviteiten (voorbereidingen) voortgezet alsmede de winning van het erts uitgevoerd.

1.6.3. Aannemers

In de dagbouw wordt vaak met vrucht gebruik gemaakt van de diensten van aannemers. De voordelen verbonden aan de inschakeling van een aannemer zijn sterk afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden en de urgentie van de uitvoering van het project. Mogelijke voordelen zijn:

- Het gebruik maken van zijn kundigheid en zijn beschikbaar materieel om (een gedeelte van) het dekterrein te verwijderen. Dit geldt in het bijzonder als het nodige materieel minder geschikt is voor de afbouw van het ertslichaam zelf.
- Het verkorten van de voorafstropingsperiode.
- Tijdwinst voor het opbouwen van eigen materieelpark en personeelsorganisatie.

1.7. Afstroopverhoudingen

De afstroopverhouding geeft aan, het aantal eenheden te verwijderen afval per eenheid erts. Onder afval (ook steriel geheten) dient men te verstaan, het totaal aan dekterrein (en eventueel laagwaardig erts) dat economisch niet verkocht of verwerkt kan worden.

Noot: Afstroopverhoudingen worden vaak in volume-eenheden uitgedrukt, b.v. m^3/m^3 ; doch ook andere eenheden worden gebruikt, b.v. m^3/ton en ton/ton .

Men onderscheidt verschillende afstroopverhoudingen, o.m.:

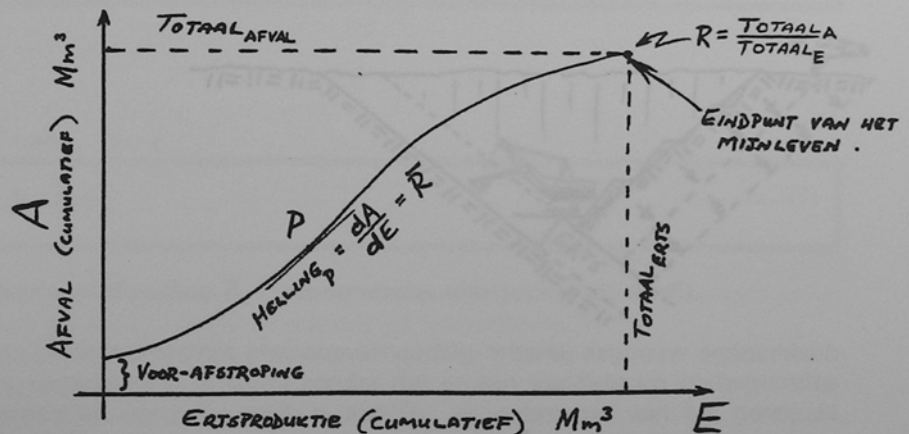
1.7.1. De algehele (of gemiddelde) afstroopverhouding R

Algehele afstroopverhouding geeft aan, het totale volume aan afval (incl. het dekterrein dat verwijderd dient te worden om stabiele wanden te verkrijgen) gedeeld door het totale te winnen volume erts:

$$R = \frac{\text{totaal te verwijderen volume afval}}{\text{totaal te winnen volume erts}}$$

1.7.2. Momentele afstroopverhouding \bar{R}

Onder de momentele afstroopverhouding wordt verstaan het aantal m^3 afval dat verwijderd moet worden om één additionele m^3 erts te kunnen winnen. \bar{R} verandert naarmate dieper gelegen erts gewonnen wordt, ze kan wiskundig beschouwd worden als de afgeleide van A, dus dA/dE , waar E de ertsproductie voorstelt (cumulatief) en A de afvalproductie (cumulatief).



1.8. Economische parameters

1.8.1. Kosten in de dagbouw

De hierboven vermelde verhoudingen R en \bar{R} geven slechts de geometrische verhoudingen tussen afval en erts weer, welke respectievelijk gelden voor de gehele levensduur van de mijn en voor elk willekeurig moment tijdens haar levensduur. Zij zeggen dus nog niets van de waarde van het te winnen erts. De winning in dagbouw zal slechts verantwoord zijn indien de totale kosten kleiner zijn dan de opbrengst van het verwerkte erts.

De kosten per m^3 erts kunnen in formule als volgt worden uitgedrukt:

$$K_D = a\bar{R} + b + c \quad \text{.....(1)}$$

waarin: K_D = totale kosten bij winning, in dagbouw, van 1 m^3 erts.

a = kosten voor het verwijderen van 1 m^3 afval.

\bar{R} = momentele afstroopverhouding.

b = kosten voor het mijnen in dagbouw van 1 m^3 erts alleen.

c = kosten van verwerking en verkoop van 1 m^3 erts.

De opbrengst kan weergegeven worden door:

$$G = r \cdot v \cdot F \quad \text{.....(2)}$$

waarin: G = totale geldopbrengst per m^3 erts.

r = geldopbrengst per mineraal-eenheid (b.v. per gram metaal)

v = ertsgehalte b.v. in gram metaal per m^3 erts

F = terugwinningsfactor bij de verwerking van het erts, als decimale breuk, b.v. 0,85 bij 85% terugwinning (dus 15% verliezen).

Stel verder P = winst

d = kosten voor het ondergronds mijnen van 1 m^3 erts:

Nu is dus de winst bij dagbouw $P_D = G - K_D$

$$P_D = rvF - a\bar{R} - b - c \quad \text{.....(3)}$$

Hiertegenover is bij ondergrondse mijnbouw $P_{OG} = G - K_{OG}$

Dus met $K_{OG} = c + d$

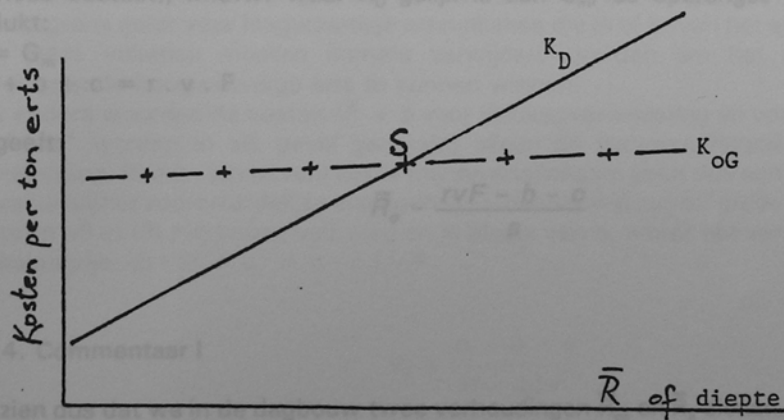
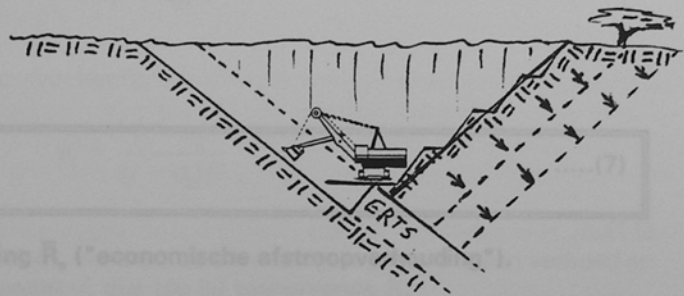
.....(4)

is $P_{OG} = G - d - c$

.....(5)

Beschouw het regelmatige, dieper wordende voorkomen op de schets beneden:

Het zal duidelijk zijn dat de winningskosten in de dagbouw snel toenemen met de diepte waarop het erts gewonnen wordt en dus met \bar{R} ; dus in tegenstelling met de winningskosten bij ondergrondse mijnbouw (K_{OG}), waarbij de aanvangskosten hoog zijn, maar de toename van deze kosten nogal langzamer verloopt met de diepte:



Op het snijpunt S van beide kostenkrommen is $K_{OG} = K_D$ en op grotere diepte verkrijgt ondergrondse winning de voorkeur. Hoewel beide winningsmethoden nog economisch verantwoord mogen zijn, is ondergrondse winning nu voordeliger dan dagbouw.

1.8.2. Overgangsafstroopverhouding \bar{R}_{CO} ("Overgangsafsnij-economische afstroopverhouding")

Het snijpunt S in bovenstaande grafiek geeft dus het economische overgangspunt aan van dagbouw naar ondergrondse winning. We noemen dit punt de overgangsdiepte en de momentele afstroopverhouding $\bar{R} = \bar{R}_{CO}$ in dit bijzondere geval heet de overgangsafstroopverhouding.

Voor S geldt:

$$K_{OG} = K_D$$

en met G constant, dus $G - K_{OG} = G - K_D$, geldt dan dat

$$P_{OG} = P_D$$

\bar{R}_{CO} kan dus op twee manieren uitgedrukt worden:

$$(i) \quad K_{OG} = K_D$$

$$\therefore d + c = a\bar{R}_{CO} + b + c$$

$$\therefore \bar{R}_{CO} = \frac{d - b}{a} \quad \dots(6)$$

òf

$$(ii) \quad P_{OG} = P_D$$

$$\therefore P_{OG} = rvF - a\bar{R}_{CO} - b - c$$

$$\therefore \bar{R}_{CO} = \frac{rvF - b - c - P_{OG}}{a} \quad \dots(7)$$

1.8.3. De afsnij-afstroopverhouding \bar{R}_e ("economische afstroopverhouding").

Hieronder verstaan we de momentele afstroopverhouding waarbij dagbouw economisch helemaal niet meer verantwoord is (zelfs zonder dat er een goedkopere ondergrondse methode bestaat); m.a.w. waar K_D gelijk is aan G_m , de opbrengst van het gemijnde produkt:

$$K_D = G_m$$

$$a\bar{R}_e + b + c = r \cdot v \cdot F$$

Dit geeft:

$$\bar{R}_e = \frac{rvF - b - c}{a} \quad \dots(8)$$

1.8.4. Commentaar I

We zien dus dat we in de dagbouw twee verhoudingen \bar{R}_{CO} en \bar{R}_e dienen te onderscheiden, waarbij \bar{R}_{CO} niet en \bar{R}_e wel afhankelijk is van de waarde van het erts (zie 6. en 8. hierboven). Beiden zijn ze echter momentele afstroopverhoudingen; dus geen gemiddelde of algehele afstroopverhoudingen.

1.8.5. Het afsnij-erstgehalte

Tot dusver hebben we ertslichamen beschouwd met een constant (gemiddelde) ertsgehalte. Dit zal in het algemeen niet juist zijn. Het afsnij-gehalte, m.a.w. op zichzelf het minimum ertsgehalte dat economisch gewonnen kan worden, kan weer bepaald worden de volgende formule:

$$a\bar{R} + b + c = r \cdot v \cdot F \quad \text{waarin } v \text{ nu een variabele is en } c \text{ verdeeld wordt in twee delen, } c = c_1 + c_2 \text{ waar}$$

c_1 = alle ertsverwerkingskosten (b.v. vermalen) die volumetries uitgedrukt worden (b.v. guldens/m³ erts), en

c_2 = alle ertsverwerkingskosten en dergelijke (b.v. raffinerings- en verkoopkosten) die per mineraal-eenheid uitgedrukt worden (b.v.: guldens/gram metaal):

dus

$$a\bar{R} + b + c_1 = (r - c_2) \cdot v \cdot F \quad \dots(9)$$

Noem deze waarde van v nu v_1 .

Dus:

$$v_1 = \frac{a\bar{R} + b + c_1}{(r - c_2) F} \quad \dots(10)$$

of indien afstroping al plaatsgevonden heeft:

$$v_1 = \frac{b + c_1}{(r - c_2) F} \quad \dots(11)$$

Indien besluitneming bijtijds geschiedt, wanneer de afstroping nog kan worden verhoed en die dus nog wel een rol speelt, neemt v_1 dus toe bij toenemende \bar{R} .

Deze waarde van v geldt slechts indien men de keuze heeft om een m³ erts wel of niet te mijnen, b.v. aan de onderkant of langs de randen van het ertslichaam. We kunnen deze afsnijwaarde het eerste afsnijgehalte v_1 noemen ("first cut-off grade"). Een geheel andere gehaltegrens geldt voor laagwaardige erts volumes die in of boven het ertslichaam gelegen zijn. Deze volumes moeten immers verwijderd worden om het achterliggende en onderliggende hoogwaardige erts te kunnen winnen.

Met andere woorden de kosten $a\bar{R} + b$ voor deklaagverwijdering en voor winning van een m³ "erts" worden in elk geval gemaakt; alleen de vervoersafstand verschilt volgens bestemming. Binnen (en boven) het te mijnen ertslichaam geldt dus een lager afsnijgehalte v_2 welke wij het voorwaardelijke afsnijgehalte ("conditional cut-off grade") kunnen noemen.

De term $a\bar{R}$ in (9) hierboven valt weg en in plaats van b , wordt het verschil tussen b en a nu belangrijk: $(b - a) + c_1 = (r - c_2) \cdot v \cdot F$

dus

$$v_2 = \frac{c_1 + b - a}{(r - c_2) \cdot F} \quad \dots(12)$$

Is het ertsgehalte dus plaatselijk hoger dan v_2 dan kan het met winst gewonnen en verwerkt worden. Indien c_2 nalaatbaar klein is tegenover r en indien $b \approx a$ bij benadering geldt, dan is bij benadering

$$v_2 \approx \frac{c_1}{r \cdot F} \quad \dots(13)$$

1.8.6. Commentaar II

De hierboven afgeleide formules zijn sterk vereenvoudigd. De gebruikte parameters zijn namelijk als constante grootheden ingebracht. In werkelijkheid zijn zij echter afhankelijk van

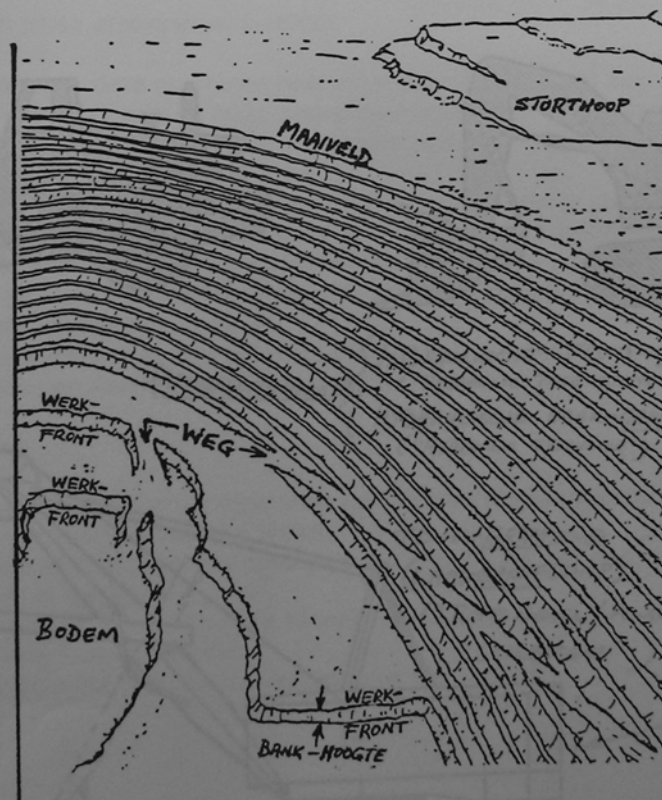
omstandigheden. Evenmin komt in bovenstaande formules tot uitdrukking dat de mijnextractie (%) in dagbouw gemiddeld hoger is dan bij ondergrondse winning. Verder zullen de eenheidskosten van ondergrondse winning toenemen bij afname van het ertsvolume dat nog resteert voor ondergrondse winning. Dit is als gevolg van de vaste ontsluitingskosten, die dus aan het verminderde ertsvolume moeten worden toegerekend. Niet tegenstaande de genoemde bezwaren geven de bovenstaande formules toch een snel inzicht voor de evaluatie van een ertslichaam, in hoeverre dagbouwwinning verantwoord is.

1.9. Overgangsvorm tussen dagbouw en ondergrondse winning

Stortgatwinning ("glory hole mining")

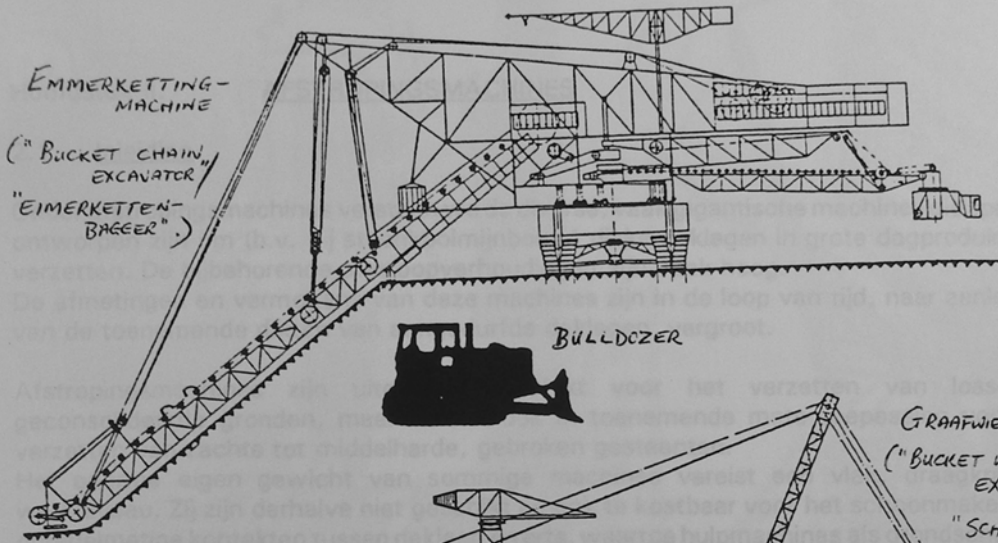
Indien na de dagbouwfase verdere ondergrondse afbouw van een ertslichaam voorzien is, kan de zogeheten stortgatwinning als overgangsfase worden toegepast. Het erts in dagbouw gewonnen, wordt door middel van een grote stortkoker afgevoerd naar een ondergrondse transportgang en vervolgens via de schacht naar de verwerkingsinstallatie vervoerd.

Bij diepe dagbouw mijnen zal deze wijze van vervoer minder kostbaar zijn dan het rechtstreekse vervoer door middel van mijnvrachtwagens.

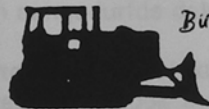


TYPISCHE
OPEN-GROEVEMIJN.

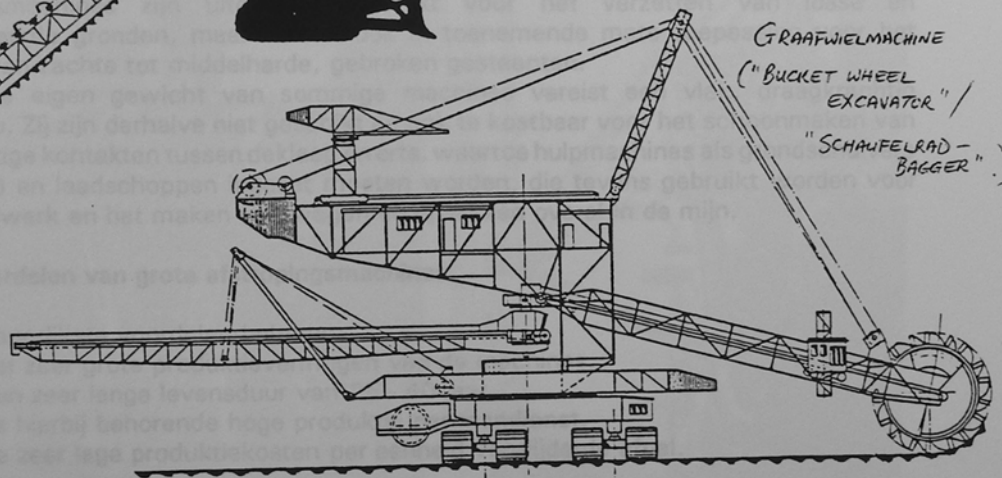
VERSCHILLENDE MIJNBOWMACHINES



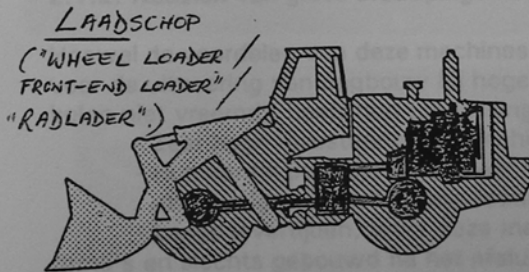
EMMERKETING-
MACHINE
("BUCKET CHAIN
EXCAVATOR"
"EIMERKETTEN-
BAGGER".)



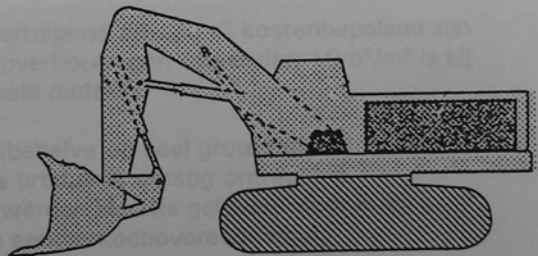
BULLDOZER



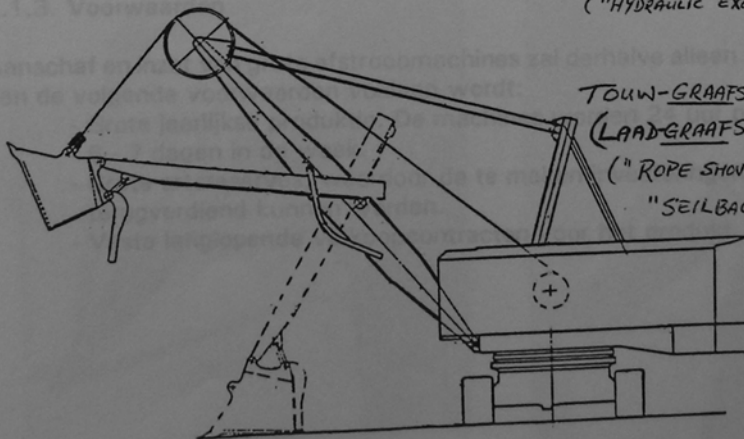
GRAAFWIELMACHINE
("BUCKET WHEEL
EXCAVATOR"
"SCHAUFELRAD-
BAGGER".)



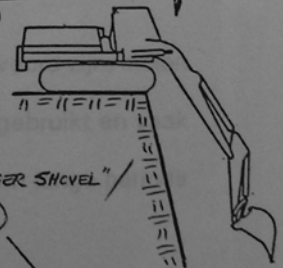
LAADSCHOP
("WHEEL LOADER
FRONT-END LOADER"
"RADLADER".)



HYDRAULISCHE FRONT-GRAAFSCHOP
("HYDRAULIC FACE SHOVEL")
HYDRAULISCHE HAAK-GRAAFSCHOP
("HYDRAULIC EXCAVATOR")



TOUW-GRAAFSCHOP
(LAAD-GRAAFSCHOP)
("ROPE SHOVEL / POWER SHOVEL"
"SEILBAGGER")



Hoofdstuk II. AFSTROPINGSMACHINES

2.1. Inleiding

Onder afstropingsmachines verstaan we de diverse, vaak gigantische machines die speciaal ontworpen zijn om (b.v. bij steenkoolmijnbouw) dikke deklagen in grote dagproductie te verzetten. De bijbehorende afstroopverhoudingen zijn vaak hoog.

De afmetingen en vermogens van deze machines zijn in de loop van tijd, naar aanleiding van de toenemende dikten van aangedurfde deklagen, vergroot.

Afstropingsmachines zijn uitermate geschikt voor het verzetten van losse en geconsolideerde gronden, maar vinden ook in toenemende mate toepassing voor het verzetten van zachte tot middelharde, gebroken gesteenten.

Het enorme eigen gewicht van sommige machines vereist een vlak, draagkrachtig werkniveau. Zij zijn derhalve niet geschikt en ook te kostbaar voor het schoonmaken van onregelmatige kontakten tussen deklaag en erts, waartoe hulpmachines als grondschuivers (bulldozers) en laadschoppen ingezet moeten worden, die tevens gebruikt worden voor opruimingswerk en het maken van wegen en rijvlakken overal in de mijn.

2.1.1. **Voordelen van grote afstropingsmachines**

Tot de belangrijkste voordelen behoren:

- Het zeer grote produktievermogen van de machines.
- Hun zeer lange levensduur van 25 - 40 jaar.
- De hierbij behorende hoge produktie per mandienst.
- De zeer lage produktiekosten per eenheid verwijderde afval.

2.1.2. **Nadelen van grote afstropingsmachines**

Hoewel de voordelen van deze machines heel overtuigend zijn, en zij kostenbepalend zijn voor de uitvoering van dagbouw bij hoge afstroopverhoudingen (meer dan $10\text{m}^3/\text{m}^3$ is bij kolen niet vreemd), heeft hun toepassing toch reële nadelen:

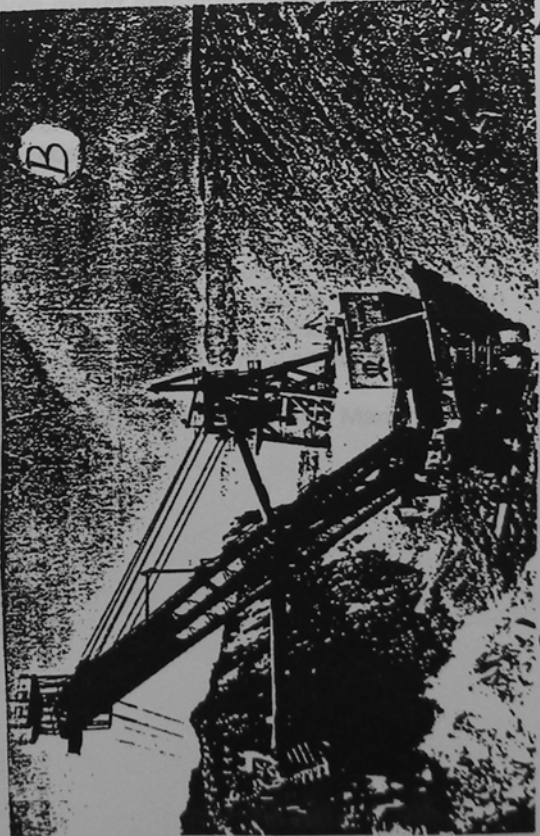
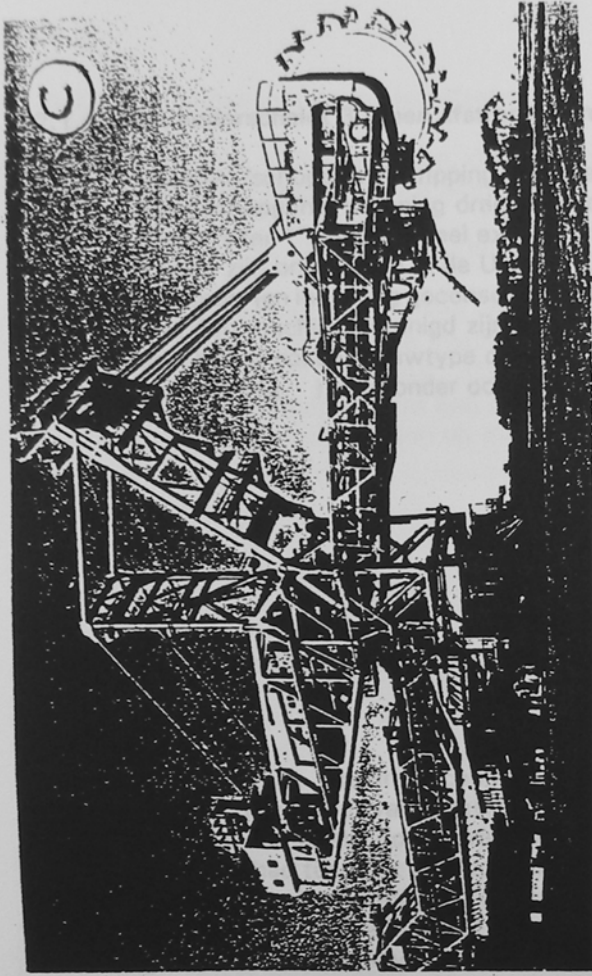
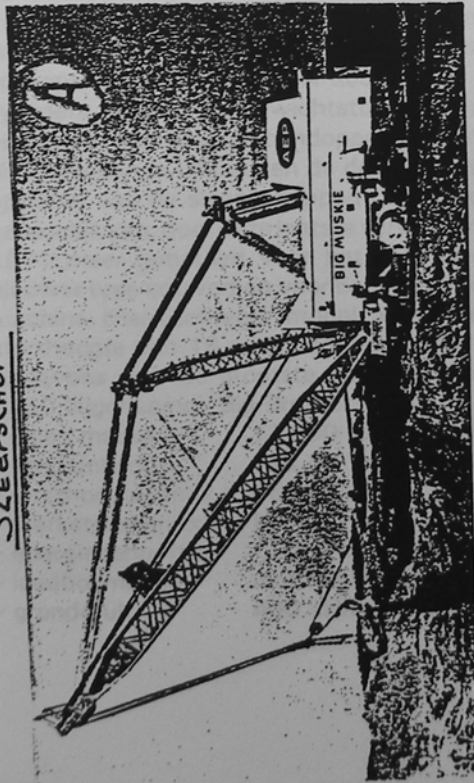
- Zeer hoge investering per machine.
- Hun aantal per mijn is dus zeer beperkt (behalve op heel grote mijnen). Dit heeft als gevolg dat onvoorziene reparaties de produktie ernstig ontregelen.
- Lange levertijden, want deze machines worden slechts geleverd door enkele firma's en slechts gebouwd na het afsluiten van een verkoopovereenkomst.
- Grote vaste kosten per machine.
- Voor de bedrijfsvoering zijn zij bovendien niet of nauwelijks verwisselbaar.
- Verwisselen van zware onderdelen moet in het veld geschieden.

2.1.3. **Voorwaarden**

Aanschaf en inzet van grote afstroopmachines zal derhalve alleen verantwoord zijn, indien aan de volgende voorwaarden voldaan wordt:

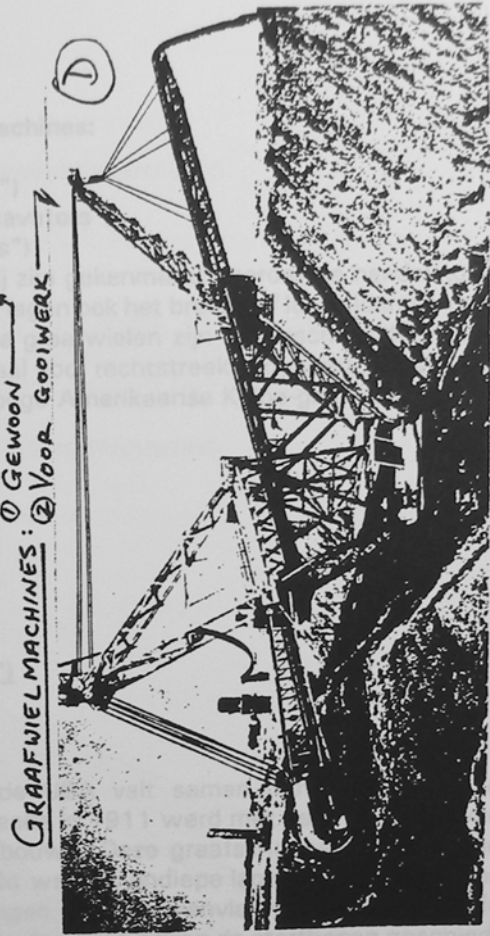
- Grote jaarlijkse produktie. De machines worden 24 uur per dag gebruikt en vaak 6 - 7 dagen in de week.
- Grote ertsreserves, waardoor de te maken investeringen over een lange periode terugverdiend kunnen worden.
- Vaste langlopende verkoopcontracten voor het produkt.

SLEEPSCHOP



GOOI- GRAAFSCHOP

STORTHOOP



GRAAFWIEL MACHINES: ① GEWOON ② Voor GOOIWERK

2.1.4. Men onderscheidt 3 typen afstropingsmachines:

- Gooigraafschoppen ("stripping shovels")
- Sleepschoppen ("stripping dragline excavators")
- Graafwielen ("bucket wheel excavators")

De eerste twee zijn ontwikkeld in de U.S.A.. Zij zijn gekenmerkt doordat de handelingen laden en transport (en in weinig geconsolideerde lagen ook het breken of lossnijden van het materiaal) in één machine verenigd zijn. Van de graafwielen zijn er verschillende types; onder andere het strookdagbouwtype dat speciaal voor rechtstreeks gooiwerk ontworpen is (zie schets op pag.) waaronder ook het vroege Amerikaanse Kolbe-graafwiel telt.

2.2. Gooigraafschoppen ("Stripping shovels")

Algemeen

De ontwikkeling van gooigraafschoppen in de USA valt samen met de belangrijke ontwikkeling, in Duitsland, van graafwielen. Reeds in 1911 werd met een reikwijdte van ongeveer 20 m, de eerste gooigraafschop gebouwd. Deze graafschoppen hebben hun hoogtijperiode gehad toen het afstropen beperkt was tot ondiepe lagen. Zo een machine is noodzakelijk, door haar configuratie, gedwongen op het bovenvlak van de steenkool in de bodem van de mijn te werken. Het lossen van de schop boven de storthopen geschiedt dus hoog boven haar standniveau. Haar laadboom maakt derhalve een grote hoek (45° - 50°) met het horizontale vlak en haar reikwijdte is daardoor beperkt.

Verder vereist het onregelmatige werkoppervlak, voorzieningen ten aanzien van het horizontaal houden van de bovenbouw, van de op rupsbanden gemonteerde machines. Het horizontaal stellen geschiedt door middel van boven de rupsbanden gemonteerde, zware cilindres. Deze extra gewichtstoename van de reeds zware machines, heeft een verdere vergroting van het rupsbandoppervlak ten gevolge.

Bij toenemende dikten van de deklagen kwamen de nadelen van deze graafschoppen ten opzichte van de sleepschoppen ("draglines") steeds duidelijker aan het licht en werd zij geleidelijk aan, door deze laatste vervangen. Daarom werden geen gooigraafschoppen sinds 1971 meer gebouwd voor het verwijderen van dikke deklagen; wel is sindsdien een nieuwer type ontworpen voor het verwijderen van de tussenlaag tussen 2 kolenlagen. Deze machine (Harnischfeger model 5700) heeft een schop van 19 m^3 , en een maximum storthoogte van 16 m bij een werkstraal van 32,5 m.

Gegevens over de grootste gooigraafschop die ooit gebouwd werd, een Marion model 6360 bijgenaamd "Big Brother" zijn:

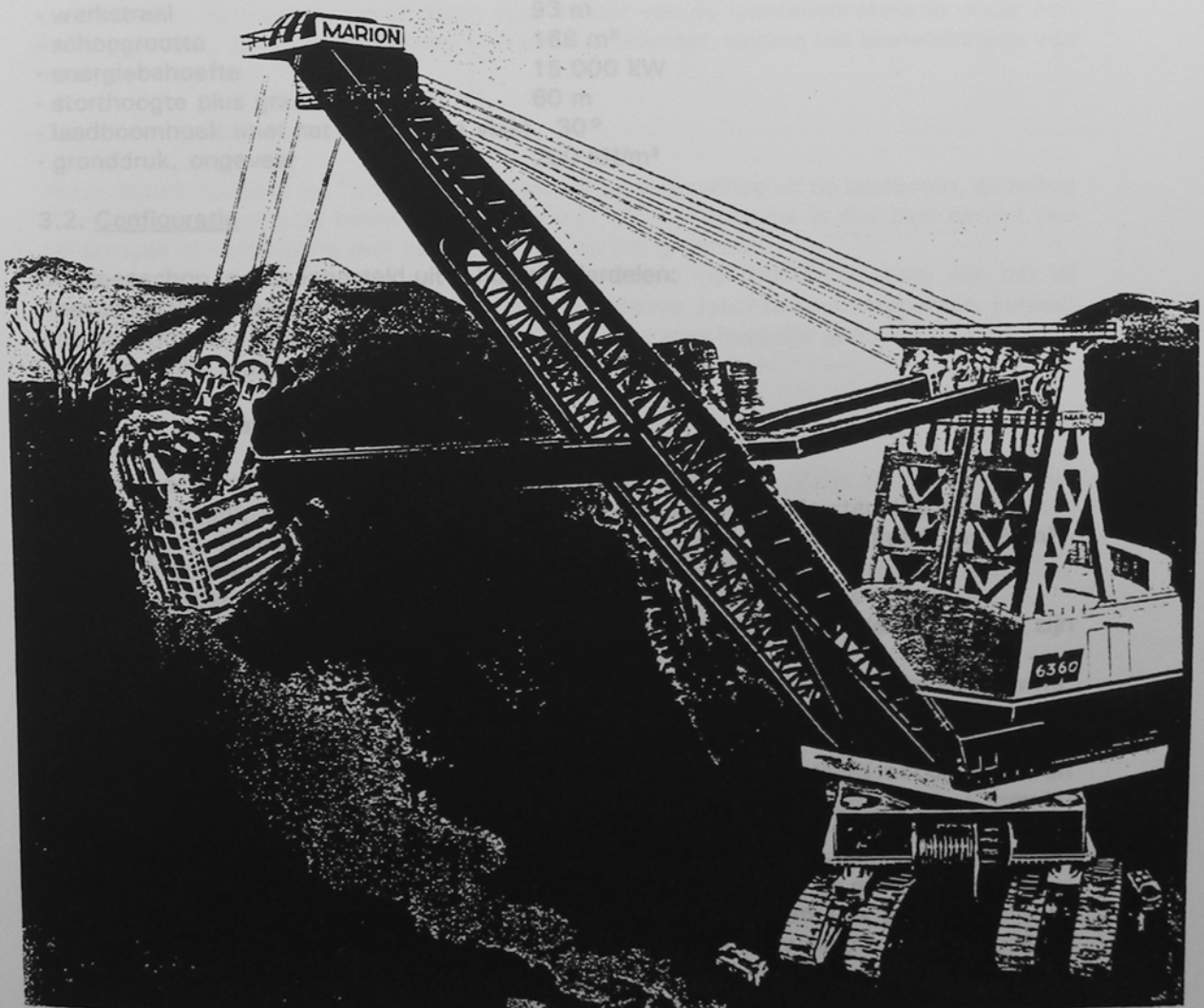
- eigen massa 12 600 ton (metriek)
- schopinhoud 135 m^3
- storthoogte (max.) 46m
- werkstraal (max.) 66m
- energiebehoefte 15000 kW
- laadboomhoek met het horizontale vlak 46°
- gronddruk 400 kN/m^2

2.2.1. Voordelen van de gooigraafschop

- Korte cyclustijd < 50 seconden, dus hoog productievermogen.
- Groot inspuitvermogen ("crowd action").

2.2.2. Nadelen van de gooigraafschop

- Steile laadboomhoek ten gevolge van vereiste reikhoogte, en dus kleine reikwijdte.
- Grotere diepte vereist hogere machines met afnemende stabiliteit.
- Groot gewicht (hoge gronddruk: 350 - 420kN/m²) beperkt haar toepassing: verpulvering van het kolenoppervlak wordt een probleem.
- Kwetsbaar voor afschuivingen uit mijnfront, en wateroverlast.



Hoofdstuk III. SLEEPSCHOPPEN ("Dragline excavators")

3.1. Algemeen

De sleepschop heeft sinds de zestiger jaren de gooigraafschop zo goed als verdrreven, mede vanwege de met de tijd toenemende dikten van het af te graven dekterrein. De sleepschop is de meest gebruikte machine voor gooiwerk - dat wil zeggen de directe verplaatsing van al of niet geschoten materiaal uit de mijn, naar een definitieve plaats op de storthopen. Daarbij komt dat haar constructie relatief eenvoudig is en de onderhoudskosten derhalve laag. Tegenover de steile laadboomhoek van een gooigraafschop, ligt deze voor sleepschoppen tussen 30 en 38 graden.

Enkele gegevens over een van de grootste ooit geconstrueerde sleepschoppen, een Bucyrus-Erie model 4250-W bijgenaamd "Big Muskie" zijn:

- eigen massa	12 000 ton (metriek)
- laadboomlengte	94,5 m
- werkstraal	93 m
- schopgrootte	168 m ³
- energiebehoefte	15 000 kW
- storthoogte plus graafdiepte, ong.	60 m
- laadboomhoek (met het horizontale vlak)	30°
- gronddruk, ongeveer	200 kN/m ²

3.2. Configuratie

De sleepschop is samengesteld uit 3 hoofdonderdelen:

- het onderstel, waarop roteert
- de bovenbouw, waaraan opgehangen is
- het eigenlijke graafmechanisatie, inclusief de laadboom.

3.2.1. Het onderstel

Bij deze machine onderscheidt men 2 typen van onderstellen.

- met rupsbanden; deze combineren de functies van gewichtsondersteuning en verplaatsing. Sinds de dertiger jaren is dit type op grotere modellen (groter dan 20m³ schop, met reikafstanden van 50 - 70 m) meestal vervangen door:
- een voetstuk (cirkelvormig) met loopschoenen ("tub and walking shoes").

De verplaatsing geschiedt nu door middel van twee "schoenen" die aan de bovenbouw zijn opgehangen.

Tijdens verplaatsing worden de schoenen, door middel van een excentrische aandrijving, op de grond gedrukt en dusdoende wordt het geheel opgetild en vooruitgeschoven.

De machines uitgerust met dit mechanisme worden algemeen aangeduid met de naam van loopsleepschop ("walking dragline"), tegenover rupsbandsleepschoppen ("crawler draglines"). De voordelen van deze loop-uitvoering zijn:

- Groot grondoppervlak geeft een gelijkmatige en lage gronddruk, welke varieert tussen 100 kN/m² voor de kleinste loopsleepschop tot 200 kN/m² voor de grotere modellen.
- Waar nodig kunnen de standaardvoetstukken vervangen worden door grotere voetstukken. De machines kunnen dus werken op weinig geconsolideerde grondoppervlakken.
- De machine heeft een lager zwaartepunt, dus grotere stabiliteit dan met rupsbanden.
- De machine kan zich in elke richting verplaatsten zonder het werkvlak te beschadigen.

Aan het voetstuk verbonden nadelen zijn:

- Minder grondweerstand en derhalve glijdt zij sneller op gladde hellingen. Toegestane hellingen zijn beperkt tot 5° - $7,5^\circ$.
- Verplaatsing geschiedt langzaam, ongeveer 5 m/minuut.
- Het voetstuk is hol en derhalve kwetsbaar voor doorboring van de onderplaat door grof gesteente. Voorbereiding van een schoon, vlak wegoppervlak is dus noodzakelijk.

3.2.2. De bovenbouw

De bovenbouw, die met de laadboom roteert op het onderstel, bevat de machinerie - dus de elektrische aandrijfmotoren, kabeltrommels voor de hijs- en sleepkabels - en het tegengewicht. Bij de grote machines behoren daartoe de A-vormige structuur (op het dak van de bovenbouw) en de mast (of anders een combinatie van A-structuur en mast), welke voor het afhangen van de laadboom dienen. (De laadboom behoort zelf echter niet tot de bovenbouw). Ook is in de voorzijde van de bovenbouw, de stuurcabine opgenomen. De cabine en de machineruimte staan door middel van de luchtkoelinstallatie onder een lichte overdruk, om bij het reguleren van het werkklimaat, tevens het binnendringen van stof te voorkomen.

3.2.3. Het graafmechanisme

Het graafmechanisme (of "front end") bestaat bij de sleepschop uit de laadboom, de schop ("bucket") en de daarbij behorende bekabeling. Dit mechanisme is dus zeer simpel van constructie in vergelijking met de graafschop en het graafwiel.

De dimensies en sterkte van de laadboom en de schop moeten zodanig zijn dat zij gedurende lange tijd, de bij de graafactie optredende krachten en momenten kunnen opnemen. Anderzijds moet hun eigen gewicht ook zo laag mogelijk gehouden worden om de vereiste vermogens van de benodigde motoren te beperken.

Laadboom ("boom")

Laadbomen worden daarom als open vakwerkliggers uitgevoerd. Zij zijn vaak samengesteld uit segmenten, zodat verkorting of verlenging technisch mogelijk is.

Ter verdere gewichtsbesparing worden ze vervaardigd van hoogwaardig staal, of ook van aluminium legeringen. Die legeringen zijn duur maar geven een gewichtsbesparing tot 33% en zijn corrosiebestendig.

Soms worden holle buisvormige profielen toegepast (ter vermindering van het gewicht), die het additionele voordeel hebben, dat zij met gas of lucht gevuld kunnen worden, waardoor het ontstaan van scheurvorming snel geconstateerd worden door geïnstalleerde drukmeters.

Schoppen

Er bestaat een grote variatie in vormgeving en grootte van schoppen. Zij zijn van hard staal (b.v. mangaanstaal) vervaardigd. Men onderscheidt lichte, standaard- en zware - dienstschoppen, die gebruikt worden afhankelijk van verschillende factoren, zoals brokgrootte, afschurend vermogen, vochtgehalte en cohesie van het materiaal dat gemijnd moet worden.

De schop is voorzien van tanden, die in vormgeving en snijhoek variëren, om de benodigde snijkracht te optimaliseren. De tanden zijn snel verwisselbaar. Een standaardschop weegt

Typisch ongeveer 1,2 ton per kubieke meter inhoud.

Bestanddeel

De draagboom van de hijskraan wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

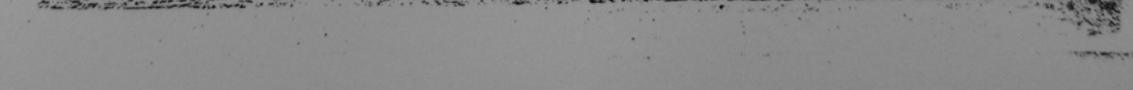
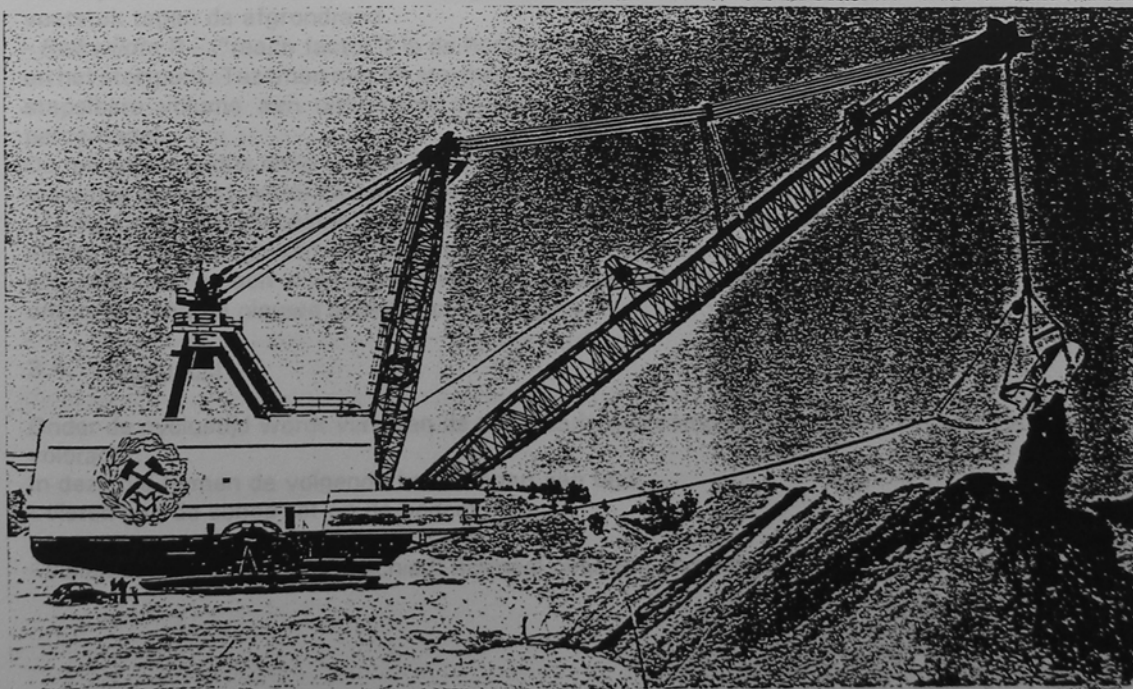
De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.

De draagboom wordt vóór het gebruik met een draagkabel vastgemaakt aan de draagkabel van de hijskraan.



typisch ongeveer 1,2 ton per kubieke meter inhoud.

Bekabeling

Doorsnede van de kabels is uiteraard aangepast aan de over te brengen krachten. Verder moeten mogelijke slijtage wegens de afschurende werking van het te verzetten materiaal (gesteente) in aanmerking worden genomen bij de trekkabel.

3.3. Sleepschopterminologie

Aan de hand van de bijgaande schets worden hieronder enkele veel gebruikte begrippen geïntroduceerd:

- *Werkstraal B* - ("Operating radius") is de horizontale afstand tussen de rotatie-as van de bovenbouw, en het stortpunt van de schop: m.a.w. de te bereiken stortafstand gemeten vanaf de rotatie-as van de machine.

De werkstraal is afhankelijk van de hoek waaronder de laadboom is afgehangen; typisch een hoek tussen de 30° en 38°.

In formule uitgedrukt: $B = L \cos \phi + c$.

- *Stortheogte G* - is verticale afstand tussen het werkniveau waar de machine op staat, en het laagste punt van een helemaal omhoog gehesen lege schop. De stortheogte varieert weer eens met de hoek van de laadboom: $G = L \sin \phi + E - F$; waarin E en F uit de schets duidelijk zijn.

- *Graafdiepte J* - is een maximum-diepte beneden het werkniveau, die de machine kan bereiken. (Deze diepte mag dus van de bankhoogte verschillen). Zij is een functie van de kabellengte, en daarom van de breedte en de diameter van de hijstroommel en de kabeldiameter, de laadboomlengte en de stortheogte.

- *Plaatsing P* - is de afstand tussen de rotatie-as van de machine en de rand van de afgrond. Zij is samengesteld uit de voetstuk-straal en de afstand (nodig voor de hellingstabiliteit) van de voetstukomtrek naar de rand van de afgrond. Dikwijls wordt de plaatsing gelijk genomen aan 3/4 van de voetstukdiameter en als percentage uitgedrukt, namelijk $P = 75\%$. De minimale mogelijke percentage-waarde is $P = 50\%$ met het voetstuk tegen de afgrondrand.

- *Reikwijdte R* - ("reach factor") is de horizontale afstand tussen de rand van de afgrond en het stortpunt. Tezamen met de stortheogte is zij maatgevend voor het op de storthopen stapelbare volume aan uitkomend materiaal: $R = B - P$ (met P in meter; niet als percentage).

De reikwijdte is dus altijd kleiner dan de werkstraal. Zij is ook de belangrijkste parameter waarmee gewerkt wordt bij het ontwerpen van de groeve-geometrie.

- *Ledig lopen* ("deadheading"). Het ledig lopen is de verplaatsing van een sleepschop na afloop van het ontgraven van een strook. De sleepschop verplaatst zich hierbij langs de groevelengte, op een voorbereid werkvlak, naar het andere einde van de strook om het ontgraven van de nieuwe strook aan te vangen.

3.4. Cyclustijd

Onder de cyclustijd wordt verstaan de tijd waarin een complete graaf-stort-cyclus wordt volbracht:

In deze tijd komen de volgende handelingen aan bod:

- vieren van de schop tot op de bodem.

- vullen van de schop: dat geschiedt normaal over een afstand van om en nabij 4 keer de

schoplenkte.

- **ophijsen** van de schop en tevens:
- **zwenken** met de laadboom, naar de stortplaats.
- **lossen** van de schop.
- **terugzwenken** met de laadboom, en tevens:
- **vieren** van de schop.

Deze handelingen tezamen worden tegenwoordig typisch in ongeveer 60 seconden door sleepschoppen verricht. Hierbij moeten echter de volgende aantekeningen worden gemaakt:

- De vullingstijd en de vullingsgraad van de schop zijn afhankelijk van de dichtheid en/of de brok grootte van het materiaal. Daarom wordt de deklaag tegenwoordig vaak geschoten, ook indien dit niet strikt noodzakelijk zou zijn.
 - De vullingstijd is verder afhankelijk van de handelswijze welke met de schop gevolgd wordt (gewone graving of kapgraving).
 - De zwenktijd is afhankelijk van de zwenkhoek.
 - Ophijsen van de schop en zwenken naar de hopen geschieden gelijktijdig.
- Bij zwenken over een kleine hoek is de hijssnelheid maatgevend; bij de normale zwenkhoek van ongeveer 90° is de zwenksnelheid maatgevend.

De cyclustijd van een sleepschop (en tevens ook van een graafschop) is dus geen constante.

Noot

De voor een sleepschop geldende cyclustijd wordt in de literatuur vaak aangegeven voor een zwenkhoek van 90°.

3.5. Kantelmoment

De grootte van sleepschoppen wordt uitgedrukt in laadboomlengte en schopinhoud. Deze factoren, alsmede het gewicht van de laadboom, de schop en de bekabeling, combineren zich tot een krachtenmoment, het kantelmoment ("front-end moment") geheten.

Het tegenmoment moet aanzienlijk groter zijn dan het kantelmoment, om kantelen van de machine te voorkomen. Het constructiegewicht van de machine wordt daarom verder vergroot door het aanbrengen van ballast in en aan de achterzijde van de bovenbouw, om een tegengewicht te vormen.

Hierbij zijn verder van belang:

- de laadboomhoek, dus de hoek tussen de laadboom en het horizontale vlak, is variabel (30° - 38°) aanvankelijk bij het aankopen; daarna is het vaak moeilijker te veranderen.
- de toelaatbare grootte van de schop is afhankelijk van het te verzetten materiaal. Factoren als de dichtheid van het materiaal en de vullingsgraad van de schop spelen mee.
- de schop kan makkelijk verwisseld worden, ook voor onderhoudswerk aan de schop.

De laadboom kan met segmenten verkort of verlengd worden maar dit is een groot werk dat het ontwerp van de machine beïnvloedt en het wordt dus niet te vaak gedaan.

3.6. Energiehuishouding

Het bereiken van de onder 3.4. vermelde cyclustijd vereist een enorm geïnstalleerd vermogen om de optredende versnellingen van de daarbij betrokken onderdelen te

bewerkstelligen. Tevens treden hierbij enorme momenten, in of tussen deze onderdelen op. Verdere verkorting van de cyclustijd is dus vaak èn uit het oogpunt van benodigd vermogen èn uit een constructueel oogpunt, alleen tegen hoge kosten te bereiken.

Enkele voorbeelden zullen dit duidelijk maken:

- Bij een gelijk totaalgewicht van de machine, zou een vermogensverhoging van zo'n 50% noodzakelijk zijn om de cyclustijd te halveren. De daarbij noodzakelijk grotere versnellingen en vertragingen vereisen een zwaardere laadboom, grotere bovenbouw, meer ballast, derhalve ook een groter voetstuk.
- Kortere vultijd vereist een grotere kracht, dus een zwaardere schop en kabels.
- Om de zwenktijd (typisch 55% van de cyclustijd) te halveren zou men het rotatievermogen moeten verachtvoudigen. ("Vermogen" = arbeidvermogen in kilowatt) Verdere vergroting aan de massa's van graafmechanisme en bovenbouw zal nog grotere vermogens vereisen, enzovoort.

Uit het bovenstaande is tevens het grootste nadeel van de sleepschop te concluderen, namelijk dat het overgrote deel van het verbruikte vermogen tweemaal per cyclus vernietigd had moeten worden bij de afremming van de zwenkbeweging van bovenbouw en graafmechanisme. Remming door energierterugvoering in het krachtnet wordt dus algemeen toegepast bij grote sleepschoppen.

Het spits-energieverbruik van deze machine is echter zeer hoog; bovendien zeer onregelmatig, wat grote fluctuaties in de netspanning ten gevolge heeft.

Desalniettemin zijn de directe kosten (per m³ grondverzet) bij gooiwerk betrekkelijk gering en daarom wordt de sleepschop vaak toegepast in grote delen der wereld.

3.7. Gebruik van de sleepschop

De sleepschop is de meest gebruikte machine voor het verwijderen van het dekkerrein bij strookdagbouw mijnen.

De redenen hiervoor zijn:

- ze kan gronden zowel als gesteenten (na schieten) verzetten.
- ze kan het materiaal langs een korte weg naar de definitieve opslagplaats, in de voorgaande gleuf, verzetten.
- geen ander materieel (met bijbehorend personeel) is voor deze verplaatsing vereist. ("Materieel" = machines).

Deze voordelen worden optimaal benut als zo het gehele volume van de te verwijderen deklaag in de gleuf (op de storthoop) geplaatst kan worden. Men duidt dit aan met gewoon gooiwerk ("simple casting").

De mogelijkheid daartoe wordt bepaald door:

- de geometrie van de gleufdoorsnede
- de reikwijdte van de sleepschop
- de werkwijze, en tevens de daarbij ingenomen positie, van de sleepschop.

Als het gewoon gooien van het totale pakket niet mogelijk is, kan de sleepschop steeds gebruikt worden door een optimaal percentage te verzetten door gewoon gooien, en het restant aan volume (dus het surplus) te verzetten, hetzij ook met herhantering (sleepschop), hetzij door ander materieel. Dus is het economisch wel gewenst, ofschoon voor het gebruik van de sleepschop niet noodzakelijk, dat gewoon gooiwerk plaatsvindt.

3.8. Gewoon gooiwerk

3.8.1. Geometrie van de gleuf-doorsnede

Deze doorsnede wordt gedimensioneerd door:

W = de breedte van de mijnstrook

H = de diepte van het dekterrein (= de verticale hoogte van de grote wand)

Θ = de natuurlijke helling van de storthoop

β = de helling van de grote wand.

- De breedte (W) neemt men liefst zo groot mogelijk, vanwege de volgende economische en technische voordelen:

- meer werkruimte, resulterende in hogere doelmatigheid van mijnwerktuigen
- vergrote veiligheid tegen eventuele afschuivingen
- minder voorlopersneden en minder ledig lopen - dus hogere produktiviteit van de sleepschop.
- minder draineringsvoorzieningen en activiteiten als het verplaatsen van pompen.

Dit streven wordt echter in grote mate afgeremd door de beperkte reikwijdte van de sleepschop.

In de praktijk veel aangehouden minima zijn:

$$W_{\min} = 30 \text{ m}$$

òf

$$W_{\min} = 1,5 \times H.$$

- De diepte (H) is een geologisch gegeven.

- De helling van de grote wand (β)

De toelaatbare helling β is in de eerste plaats een functie van de geotechnische eigenschappen van de grote wand (cohesie, potentiële afschuifvlakken enz.)

Verder wordt ze nadelig beïnvloed door:

- . toename van de hoogte van de grote wand
- . toename in tijdsduur van blootstelling
- . eventuele beschadigingen t.g.v. schieten, inkalvingen of aanwezigheid van water, die allen kunnen leiden tot de noodzaak om P te vergroten en dus de beschikbare R verminderen.

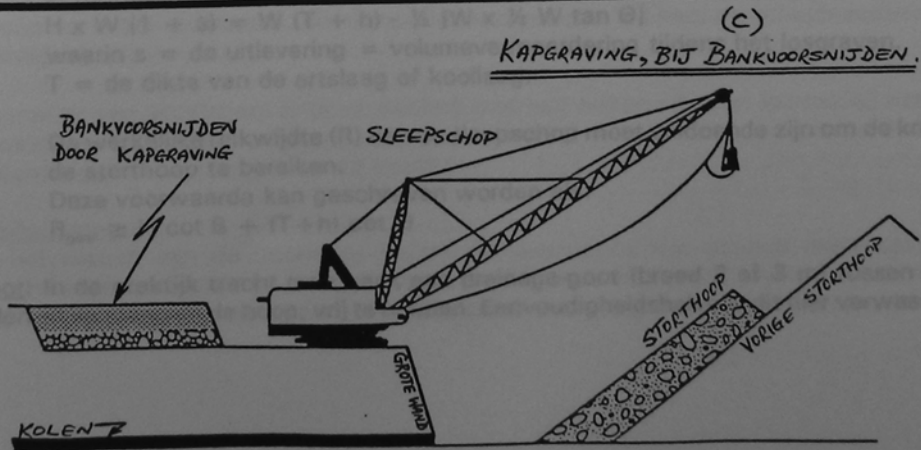
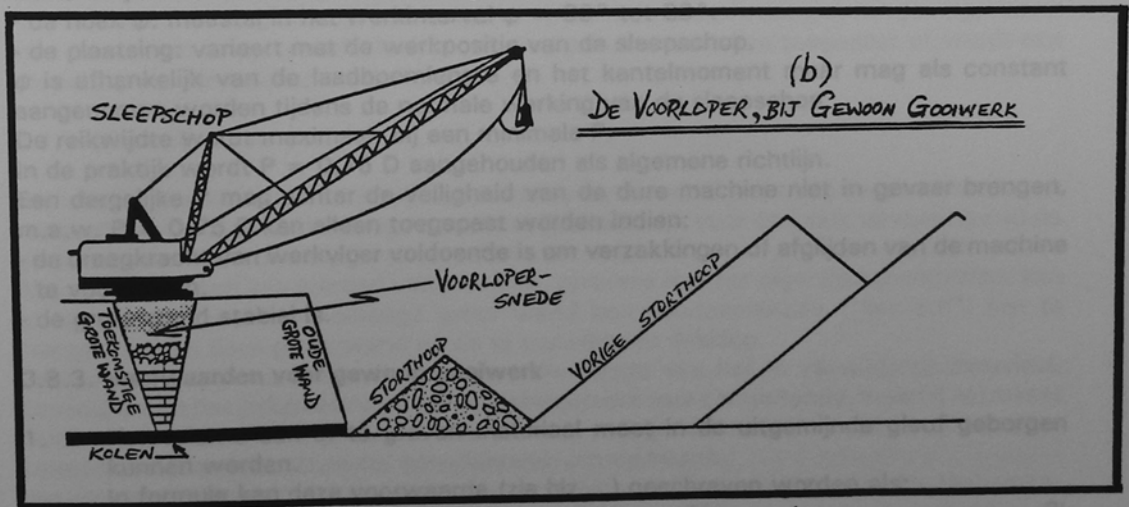
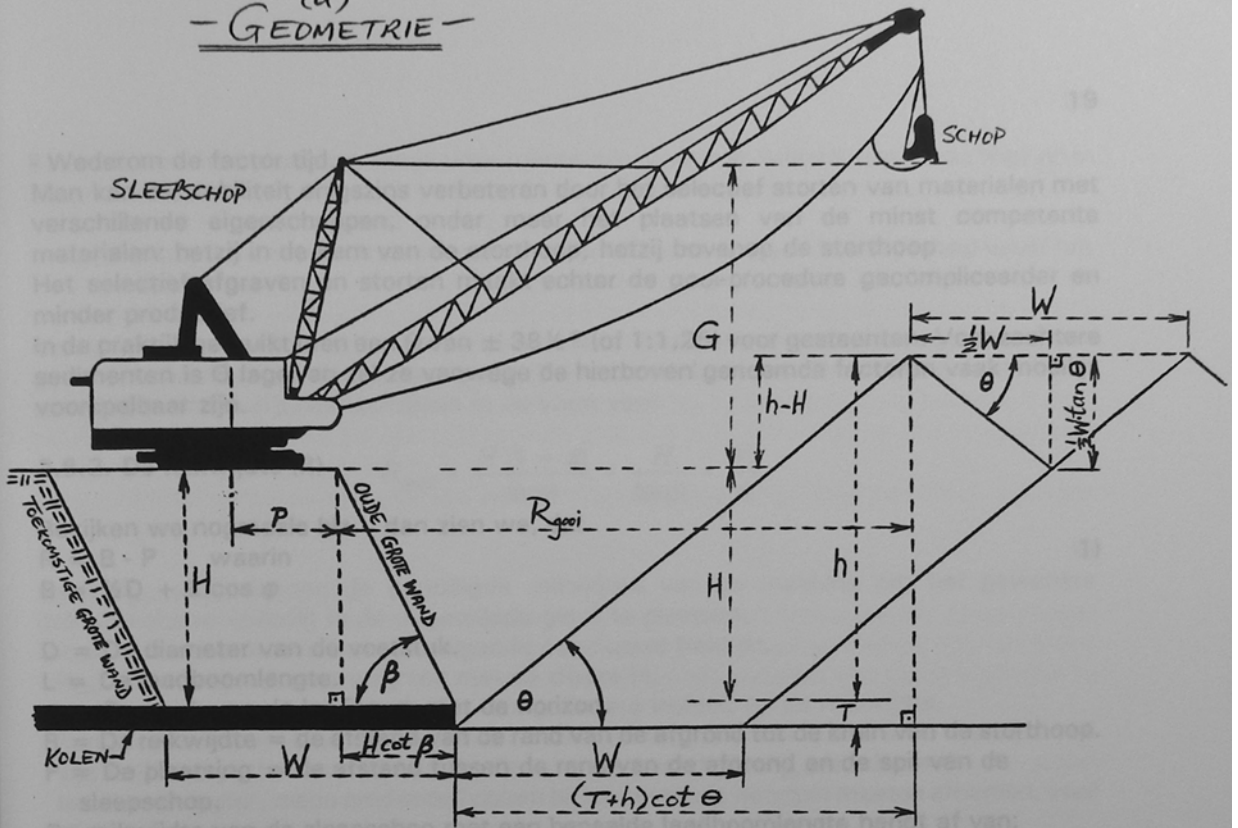
In competent materiaal wordt een β tussen 72° - 63° (helling \approx 3:1 tot 2:1) in de praktijk toegepast, maar zij vermindert snel (1:1 of lager) in minder geconsolideerd materiaal.

De helling Θ van de storthoop.

De storthoophelling is van vele factoren afhankelijk:

- Allereerst van de aard van het dekterrein - de homogeniteit en geotechnische eigenschappen.
- De wijze van storten en het daarbij optredende cohesie-verlies.
- De loshoogte. De stabiliteit (en dus β) kan verminderen bij toename van de vrije hoogte ten tijde van het legen van de schop.
- Het waterabsorptievermogen van het los gestorte materiaal.
- De weersgesteldheid (regen) tijdens het storten.
- Het drainage-patroon.
- De aard van de stortvloer:
 - . waterdoorlatendheid
 - . wrijvingsweerstand
 - . helling

(a)
GEDOMETRIE



- Wederom de factor tijd.

Men kan de stabiliteit enigszins verbeteren door het selectief storten van materialen met verschillende eigenschappen, onder meer het plaatsen van de minst competente materialen: hetzij in de kern van de storthoop, hetzij bovenop de storthoop. Het selectief afgraven en storten maakt echter de gooi-procedure gecompliceerder en minder productief.

In de praktijk gebruikt men een Θ van $\pm 38 \frac{1}{2}^\circ$ (of 1:1,25) voor gesteenten. Voor zachtere sedimenten is Θ lager en zal ze vanwege de hierboven genoemde factoren vaak moeilijk voorspelbaar zijn.

3.8.2. De reikwijdte (R)

Bekijken we nogmaals blz. dan zien we, dat

$$R = B - P \quad \text{waarin}$$

$$B \approx \frac{1}{2}D + L \cdot \cos \phi$$

1)

D = De diameter van de voetstuk.

L = De laadboomlengte.

ϕ = De hoek van de laadboom met de horizon.

R = De reikwijdte = de afstand van de rand van de afgrond tot de kruin van de storthoop.

P = De plaatsing = de afstand tussen de rand van de afgrond en de spil van de sleepschoep.

De reikwijdte van de sleepschoep met een bepaalde laadboomlengte hangt af van:

- de hoek ϕ : meestal in het werkinterval $\phi = 30^\circ$ tot 38° .

- de plaatsing: varieert met de werkpositie van de sleepschoep.

ϕ is afhankelijk van de laadboomlengte en het kantelmoment maar mag als constant aangenomen worden tijdens de normale werking van de sleepschoep.

De reikwijdte wordt maximaal, bij een minimale P.

In de praktijk wordt $P = 0,75 D$ aangehouden als algemene richtlijn.

Een dergelijke P mag echter de veiligheid van de dure machine niet in gevaar brengen, m.a.w. $P = 0,75 D$ kan alleen toegepast worden indien:

- de draagkracht van werkvloer voldoende is om verzakkingen of afglijden van de machine te voorkomen.

- de grote wand stabiel is.

3.8.3. Voorwaarden voor gewoon gooiwerk

1. Het volume aan af te graven materiaal moet in de uitgemijnde gleuf geborgen kunnen worden.

In formule kan deze voorwaarde (zie blz.) geschreven worden als:

$$H \times W (1 + s) = W (T + h) - \frac{1}{2} [W \times \frac{1}{2} W \tan \Theta] \quad 2)$$

waarin s = de uitlevering = volumevermeerdering tijdens het losgraven.

T = de dikte van de ertslaag of koollaag.

2. De werkelijke reikwijdte (R) van de sleepschoep moet voldoende zijn om de kruin van de storthoop te bereiken.

Deze voorwaarde kan geschreven worden als:

$$R_{\text{gooi}} \geq H \cot \beta + (T + h) \cot \Theta \quad 3)$$

Noot: In de praktijk tracht men vaak een drainage-goot (breed 2 of 3 m) tussen erts of kolen en de teen van de hoop, vrij te houden. Eenvoudigheidshalve is dit hier verwaarloosd.

3. Boven het stortpunt moet vrije ruimte zijn voor het ledigen van de schop, of in formule:
 $(h - H) < \text{storthoogte } G$ (zie blz.) 4)
 Aan deze voorwaarde wordt gemakkelijk voldaan wanneer de sleepschop vanaf het maaiveld werkt.

Daarmede worden dus de 1e en 2e voorwaarde maatgevend voor de mogelijkheid van gooiwerk. Door eliminatie van de factor $(T + h)$ uit de formules 2) en 3) kunnen we hun onderlinge afhankelijkheid schrijven in de vorm van:

$$R_{\text{gooi}} = \frac{H(1 + s)}{\tan\theta} + \frac{H}{\tan\beta} + \frac{W}{4}$$

5)

waar R_{gooi} gelijk is aan de benodigde reikwijdte van de machine om het gewenste deklaagvolume volledig in de uitgemijnde gleuf te plaatsen.

Uit deze formule kunnen we de volgende conclusies trekken.

- . R_{gooi} neemt vrijwel evenredig toe met de diepte H .
- . Variatie in de breedte W heeft een iets geringere invloed op de reikwijdte.
- . $\tan\theta$ en $\tan\beta$ (m.a.w. de toelaatbare hellingen van de grote wand & de hopen) zijn kritische parameters bij het bepalen van de benodigde R_{gooi} (en dus de laadboomlengte), mede omdat de hoeken bij toenemende hoogten moeten afnemen, voor stabiliteit.

Neemt men ze te hoog dan zijn inkalvingen en produktie-onderbrekingen het gevolg; neemt men ze te klein zal gooiwerk slechts onvolledig kunnen worden toegepast of wordt een onnodig grote sleepschop aangeschaft.

3.8.4. Werkwijzen en -posities

Uit het voorgaande zal het duidelijk geworden zijn, dat afbakenen van de gleufbreedte en het profileren van de toekomstige wand noodzakelijk zijn voor de juiste uitvoering van de gooi methode voor opeenvolgende sneden.

Aan deze vereisten kan worden voldaan door, alvorens met het eigenlijke grondverzet aan te vangen, langs de toekomstige grote wand een voorlopersnede ("key cut") aan te brengen tussen deze grote wand en de te verwijderen deklaag.

Deze snede wordt aangebracht over de volle diepte van het te verwijderen materiaal. Zonodig wordt het uitkomende materiaal geselecteerd naar competentie, waarbij het meest competente materiaal langs de storthooprاند wordt gedeponerd, om een solide teen te vormen voor de dichtstbijzijnde benedenrand van de hopen.

Het volume voorloper-materiaal neemt toe naarmate de diepte en schopgrootte toenemen. (Normaliter moet de breedte van de voorloper meer dan 1,5 keer de schopbreedte zijn, op de snedebodem.)

Het maken van voorlopers is te vergelijken met het maken van een inbraak bij het boren en springen; het moet nauwkeurig geschieden en kost extra tijd. De machine wordt daartoe geplaatst op het verlengde van de voorloper.

Overig materiaal

Na het maken van de voorloper verzet de sleepschop het overige materiaal vanuit verschillende werkposities tot op de oude grote wand. Het aantal werkposities en de uit elke werkpositie te verzetten afvalvolumen worden tegenwoordig met de computer

berekend om de gemiddelde zwenkhoek te minimaliseren, om het beschikbare storthoopp-volume volledig te benutten en om eventuele selectieve opbouw van de hopen te regelen.

Graafbloklengte

Het afstropen van een gleuf geschiedt door het regelmatig afwisselen van de bovengenoemde werkposities, waartussen de machine verplaatst moet worden. De lengte aan voorlopersnede dat per keer wordt gemaakt kan men de graafbloklengte noemen. Men zal er naar streven om deze bloklengte te optimaliseren om het aantal verplaatsingen te beperken. Bij een te grote bloklengte wordt echter de cyclustijd nadelig beïnvloed door het vooruitstekende volume aan overig materiaal, dat het vieren van de schop tijdens de terugzwenkbeweging belemmert.

De graafbloklengte is een functie van de laadboomlengte; in de praktijk maximaal ongeveer gelijk aan deze lengte.

Kapgraving ("chop-down")

Onder kapgraving dient men te verstaan het afgraven van een materiaal dat op een hoger niveau dan het werkvlak van de sleepschop zit. Het heeft vele nadelen en zal daarom alleen worden toegepast als de machine de vereiste positie om beneden zijn eigen werkvlak te kunnen graven, niet kan innemen.

Als nadelen dienen te worden vermeld:

- Men laat de schop vertikaal "vallen" om in het materiaal in te graven. Dat veroorzaakt veel schokken die het leven van de schop verkorten.
- De bediener heeft minder zicht op deze werkzaamheden.
- De cyclus wordt daardoor en door de grotere zwenkhoek nadelig beïnvloed.
- De schop graaft zich moeilijker in het materiaal, waardoor de slijtage aan haar tanden toeneemt en de vullingsgraad afneemt.

3.8.5. Werkniveau's

Tot dusverre is bij de bespreking (met uitzondering van kapgraving) aangenomen dat de sleepschop vanaf het maaiveld werkt. De machine kan echter ook de goomethode toepassen staande op lagere niveau's. Naar haar werkniveau onderscheiden we de volgende mogelijkheden:

A. Maaiveld als werkniveau

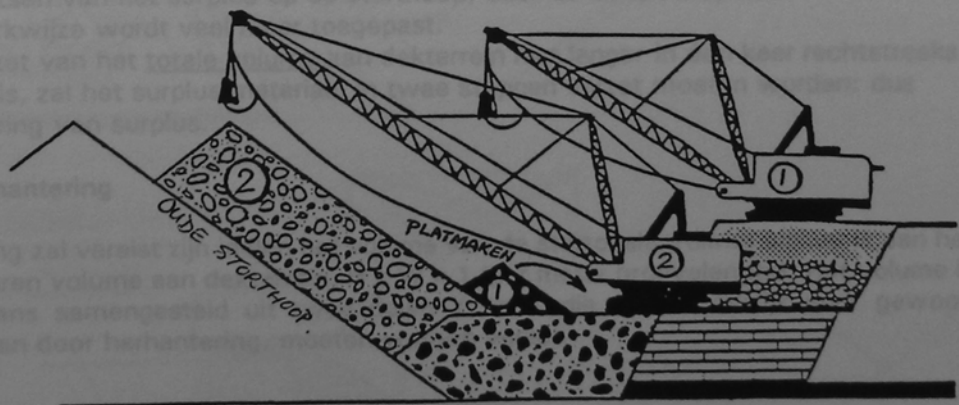
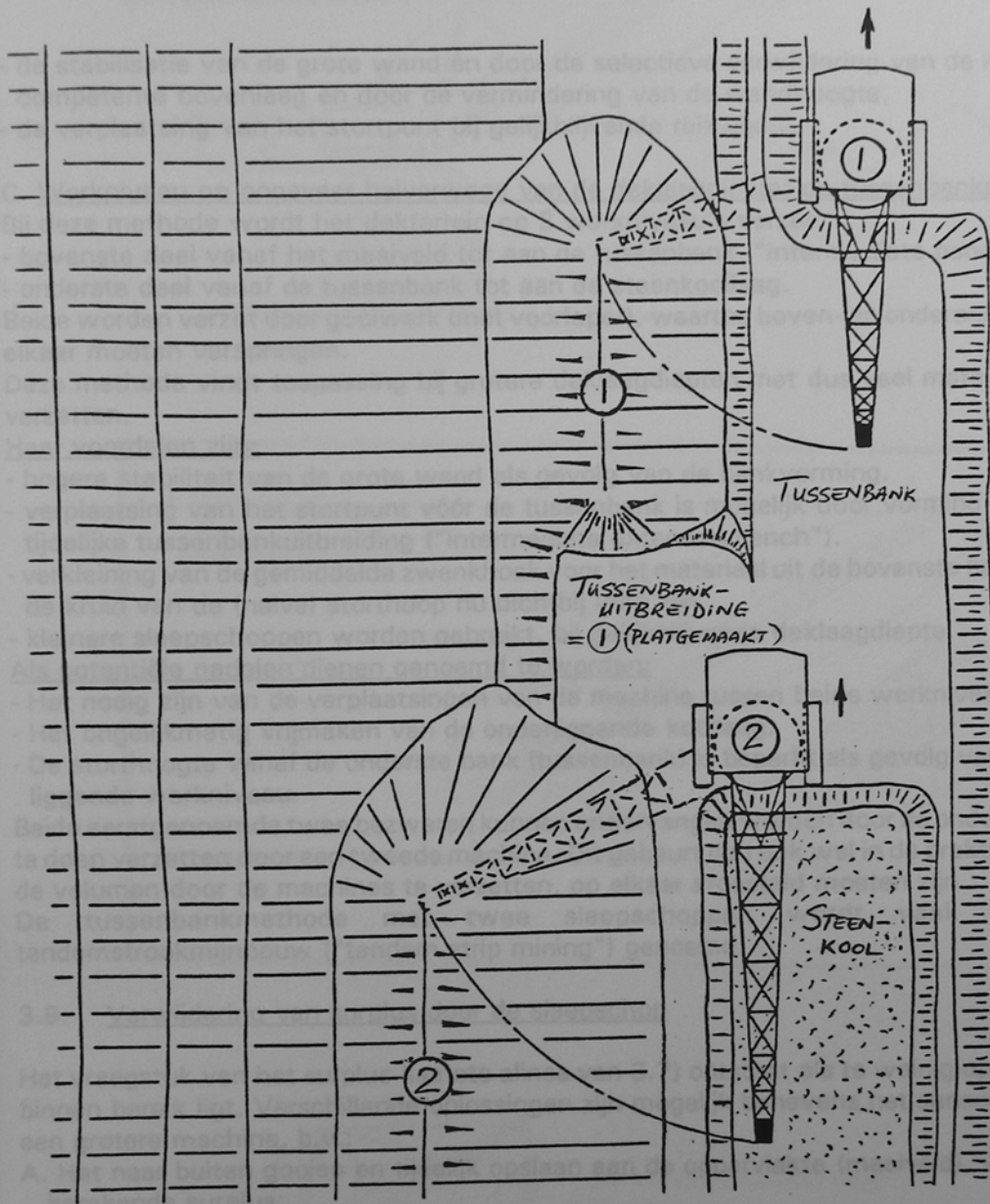
Dit is de ideale positie. De machine is gemakkelijk bereikbaar en verplaatsbaar. De werkwijze is met behulp van een voorlopersnede.

B. Werkniveau gelegen enkele meters beneden het maaiveld. De werkwijze is afwijkend van A en wordt aangeduid als bankvoorsnijden ("advance benching"). Naast het verwijderen van het onder het werkniveau gelegen pakket worden tevens het werkniveau voor de volgende snede bereid, door de verwijdering van het boven het werkniveau gelegen materiaal. Deze voorbereiding geschiedt met een kapgraving-werkwijze en behoeft dus een langere cyclustijd. Daarom is deze werkwijze beperkt tot:

- het verwijderen van eventueel zachte bovengronden met onvoldoende draagkracht voor de sleepschop, of gronden die niet geschoten hoeven te worden. De uitkomende gronden worden laag tegen de hoophelling gestort om vervolgens overdekt te worden met een competentere materiaal uit de gleuf zelf. (zie blz.)
- het egaliseren van het maaiveld indien nodig om een vlakwerkniveau te verkrijgen voor de sleepschop.

Additionele voordelen ter gedeeltelijke compensatie van de langere cyclustijd zijn:

TANDEM-STROOKMIJNBOW: PLATTEGROND EN DOORSNEDE.
 (OOK DE TUSSENBANKMETHODE GENAAMD)



- de stabilisatie van de grote wand èn door de selectieve verwijdering van de minder competente bovenlaag èn door de vermindering van de wandhoogte.
- de verplaatsing van het stortpunt bij gelijkblijvende reikwijdte.

C. Werkniveau op ongeveer halverwege van de deklaagdiepte: de tussenbankmethode.

Bij deze methode wordt het dekterrein op 2 werkniveau's verzet:

- bovenste deel vanaf het maaiveld tot aan de tussenbank ("intermediate bench");
- onderste deel vanaf de tussenbank tot aan de steenkoollaag.

Beide worden verzet door gooiwerk (met voorloper), waartoe boven- en ondersneden t.o.v. elkaar moeten verspringen.

Deze methode vindt toepassing bij grotere deklaagdiepten met dus veel materiaal om te verzetten.

Haar voordelen zijn:

- hogere stabiliteit van de grote wand als gevolg van de bankvorming.
- verplaatsing van het stortpunt vóór de tussenbank is mogelijk door vorming van een tijdelijke tussenbankuitbreiding ("intermediate extended bench").
- verkleining van de gemiddelde zwenkhoek voor het materiaal uit de bovenste bank, omdat de kruin van de (halve) storthoop nu dichtbij mag zijn.
- kleinere sleepschoppen worden gebruikt, bij gelijkblijvende deklaagdiepte.

Als potentiële nadelen dienen genoemd te worden:

- Het nodig zijn van de verplaatsingen van de machine tussen beide werkniveau's.
- Het ongelijkmatig vrijmaken van de onderliggende koollaag.
- De storthoogte vanaf de onderste bank (tussenbank) is beperkt als gevolg van het lager liggende werkniveau.

Beide eerstgenoemde twee bezwaren kunnen ondervangen worden door de onderste snede te doen verzetten door een tweede machine. Dit gebeurt dan ook wel in de praktijk, waarbij de volumens door de machines te verzetten, op elkaar afgesteld moeten zijn.

De tussenbankmethode met twee sleepschoppen wordt vaak ook wel tandemstrookmijnbouw ("tandem strip mining") genoemd.

3.9. Verwijdering van surplus door de sleepschop

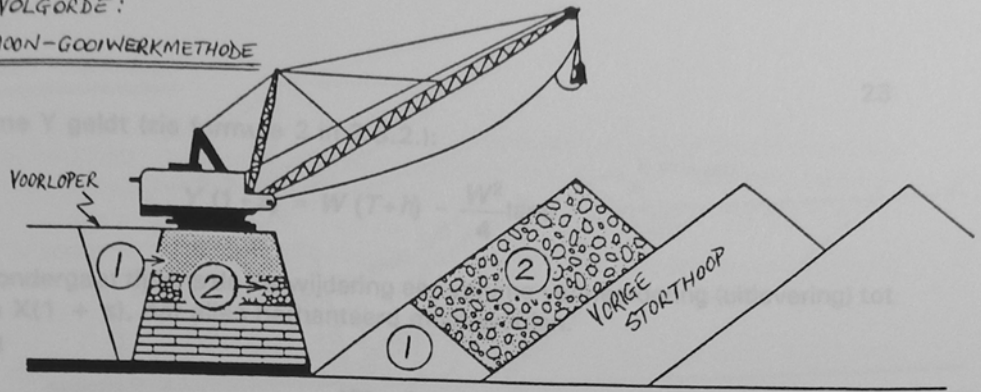
Het vraagstuk van het surplus (laatste alinea van 3.7) ontstaat als te weinig opslagruimte binnen bereik ligt. Verschillende oplossingen zijn mogelijk benevens het aanschaffen van een grotere machine, b.v.:

- A. Het naar buiten gooien en tijdelijk opslaan aan de oppervlakte (maaiveld), van het berekende surplus;
Dit opgeslagen materiaal kan vervolgens door middel van hulpwerktuigen afgevoerd worden.
- B. Het plaatsen van het surplus op de storthoop, door de sleepschop zelf.
Deze werkwijze wordt veel meer toegepast.
Daar verzet van het totale volume aan dekterrein niet langer in één keer rechtstreeks mogelijk is, zal het surplus-materiaal in twee stappen verzet moeten worden: dus herhantering van surplus.

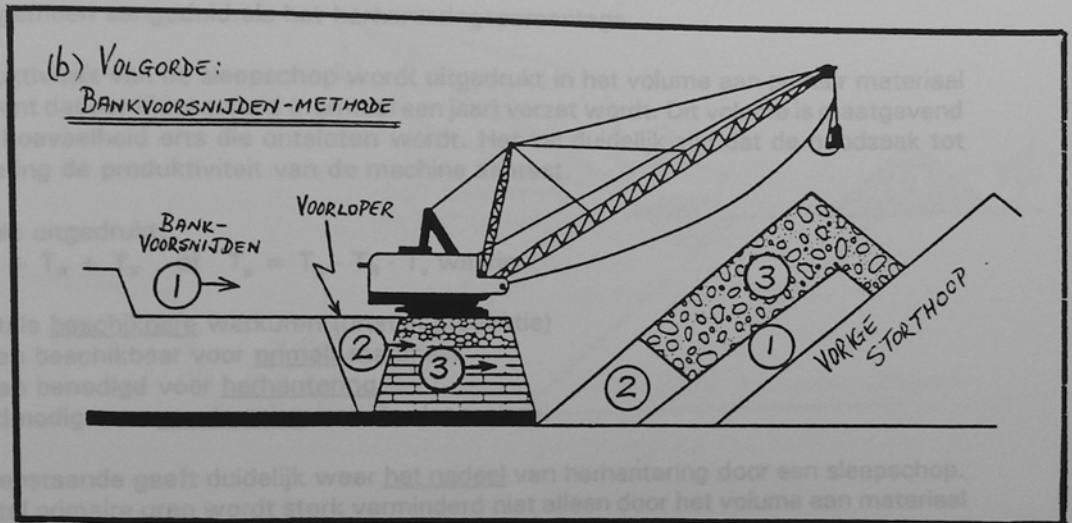
3.9.1. Herhantering

Herhantering zal vereist zijn indien het volume van de stortopslagruimte kleiner is dan het te verwijderen volume aan dekterrein, $H \times W \times 1$ (per meter groevelengte). Het volume $H \times W$ is thans samengesteld uit twee delen Y en X die respectievelijk door gewoon gooiwerk, en door herhantering, moeten worden verzet.

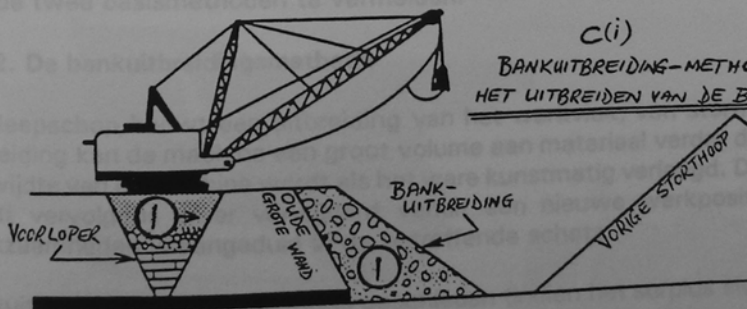
(a) VOLGORDE:
GENOON-GOOIWERKMETHODE



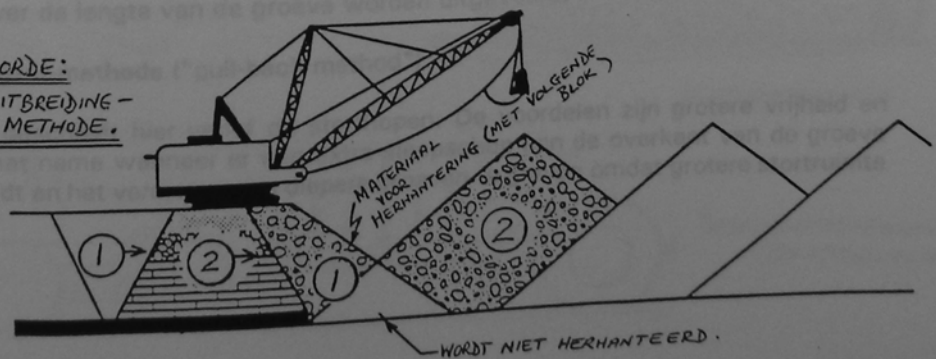
(b) VOLGORDE:
BANKVOORSNIJDEN-METHODE



(c(i))
BANKUITBREIDING-METHODE:
HET UITBREIDEN VAN DE BANK



(c(ii)) VOLGORDE:
BANKUITBREIDING-METHODE.



Voor het volume Y geldt (zie formule 2 in 3.8.2.):

$$Y(1+s) = W(T+h) - \frac{W^2}{4} \tan \theta$$

Het volume X ondergaat tijdens de verwijdering een volume-vermeerdering (uitlevering) tot een totaal van $X(1+s)$, dat alles herhanteerd moet worden.
De verhouding

$$\frac{X(1+s)}{H \times W} \times 100 \%$$

wordt algemeen aangeduid als het herhanteringspercentage.

De produktiviteit van de sleepschoep wordt uitgedrukt in het volume aan primair materiaal uit het front dat per tijdseenheid (normaal een jaar) verzet wordt. Dit volume is maatgevend voor de hoeveelheid erts die ontsloten wordt. Het zal duidelijk zijn dat de noodzaak tot herhantering de produktiviteit van de machine aantast.

In formule uitgedrukt:

$$T_B = T_p + T_R + T_v \quad \text{òf} \quad T_p = T_B - T_R - T_v \quad \text{waarin}$$

T_B = totale beschikbare werkuren (uren in produktie)

T_p = uren beschikbaar voor primair materiaal

T_R = uren benodigd voor herhantering

T_v = tijd nodig voor verplaatsing van de sleepschoep.

Het bovenstaande geeft duidelijk weer het nadeel van herhantering door een sleepschoep. Het aantal primaire uren wordt sterk verminderd niet alleen door het volume aan materiaal dat herhanteerd moet worden maar ook door de tijd die voor de extra verplaatsingen benodigd is.

Herhantering kan volgens verschillende schema's worden toegepast; hier wordt volstaan met de twee basismethoden te vermelden:

3.9.2. De bankuitbreidingsmethode

De sleepschoep bouwt een uitbreiding van het werkvlak, van stortmateriaal. Vanaf deze uitbreiding kan de machine een groot volume aan materiaal verder de hoop op storten. De reikwijdte van de machine wordt als het ware kunstmatig verlengd. De werkvlakuitbreiding wordt vervolgens weer verwijderd vanuit een nieuwe werkpositie. De volgorde van werkzaamheden is aangeduid in de betreffende schets.

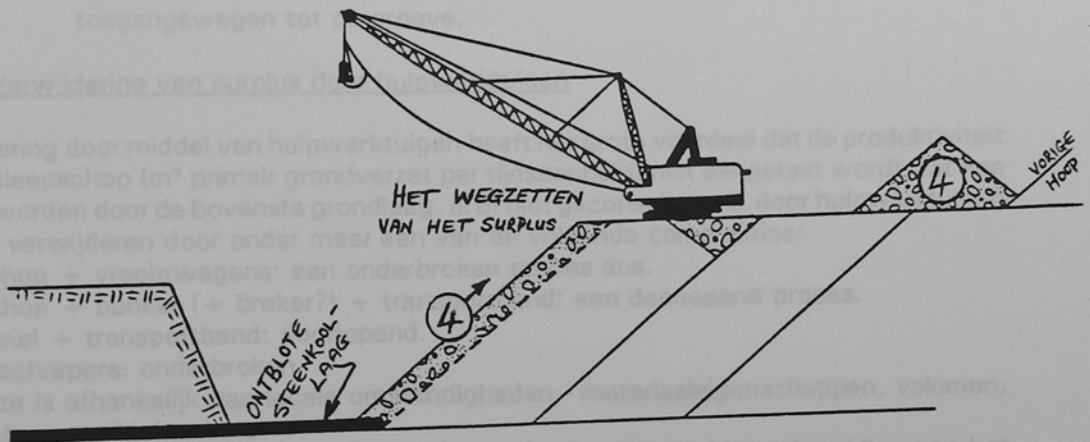
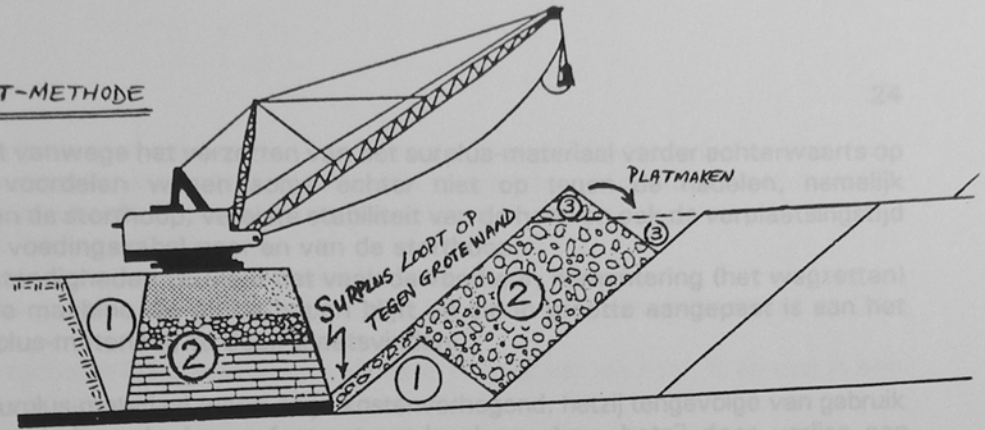
Bankuitbreiding kan òf incidenteel geschieden (indien het surplus slechts plaatselijk is), òf doorlopend over de lengte van de groeve worden uitgevoerd.

3.9.3. De wegzet-methode ("pull-back method")

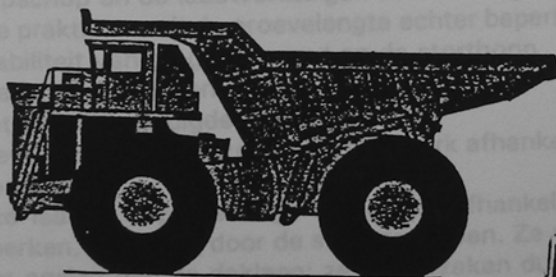
Herhantering geschiedt hier vanaf de storthopen. De voordelen zijn grotere vrijheid en soepelheid, met name wanneer er een extra sleepschoep aan de overkant van de groeve geplaatst wordt en het vermogen om diepere groeven te graven omdat grotere stortruimte

(a) VOLGORDE:

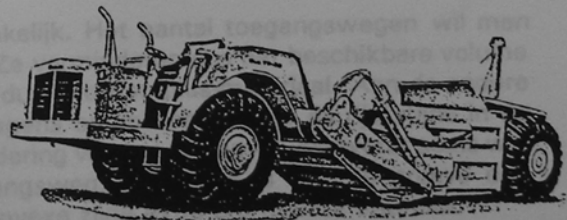
WEGZET-METHODE



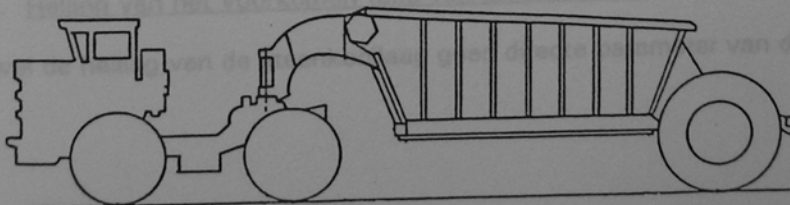
(b) TRANSPORTMIDDELEN



ACHTERLOSSER-VRACHTWAGEN



MOTORSCHAPER



BODEMLOSSER-VRACHTWAGEN
(KOLENVRACHTWAGEN)

bereikbaar wordt vanwege het verzetten van het surplus-materiaal verder achterwaarts op de hopen. De voordelen wegen soms echter niet op tegen de nadelen, namelijk voorbereiding van de storchoop, vereiste stabiliteit van de hoop en ook de verplaatsingstijd van machine en voedingskabel naar en van de storchoop.

Onder deze omstandigheden verdient het vaak de voorkeur, herhantering (het wegzetten) door een tweede machine die op de hopen blijft en die in grootte aangepast is aan het volume aan surplus-materiaal, te doen plaatsvinden.

- Noot 1: Surplus-materiaal werkt altijd kostenverhogend, hetzij tengevolge van gebruik van hulpwerktuigen of een tweede sleepschop, hetzij door verlies aan produktiviteit van de eerste sleepschop.
- Noot 2: Een mate van herhantering zal bijna altijd nodig zijn, ter plaatse van de toegangswegen tot de groeve.

3.10. Verwijdering van surplus door hulpwerktuigen

Verwijdering door middel van hulpwerktuigen heeft het grote voordeel dat de produktiviteit van de sleepschop (m^3 primair grondverzet per tijdseenheid) niet aangetast wordt. Dit kan bereikt worden door de bovenste grondlaag, al of niet geconsolideerd, door hulpwerktuigen te doen verwijderen door onder meer een van de volgende combinaties:

- laadschop + vrachtwagens: een onderbroken proces dus.
- laadschop + bunker (+ breker?) + transportband: een doorlopend proces.
- graafwiel + transportband: doorlopend.
- motorschrappers: onderbroken.

De keuze is afhankelijk van lokale omstandigheden - materiaaleigenschappen, volumen, beschikbare werktuigen etc.

Één van deze oplossingen dient gecombineerd te worden met de voorbereiding van het werkvlak van de sleepschop en dient dan tot het overbodig maken van kapgraving: Wij hebben dus te maken met bankvoorsnijding door hulpwerktuigen.

3.11. Lengte van de strookgroeve

De strookgroeve maakt men in principe zo lang mogelijk, om het werkritme van de sleepschop en de laadwerktuigen zo min mogelijk te onderbreken.

In de praktijk wordt de grovelengte echter beperkt door onder meer de volgende factoren:

- stabiliteit van de grote wand en de storchoop
- drainage-problemen
- het aantal benodigde toegangswegen
- wegcondities in de groeve (Zij zijn sterk afhankelijk van de geologische condities van het voorkomen).

Deze laatste 2 punten zijn van elkaar afhankelijk. Het aantal toegangswegen wil men beperken, omdat zij door de stortarea lopen. Ze verminderen dus het beschikbare volume voor opslag van de deklaag; ze veroorzaken dus extra surplus-materiaal. Aan de andere kant wil men ook de cyclustijd van vrachtwagens optimaliseren door de rijafstand in de groeve te verkleinen. Het bezwaar van vermindering van het opslagvolume wordt soms wel verminderd door ter plaatse van een toegangsweg, de lengte-as van de groeve een hoeverdraaiing te geven waardoor aan de convexe zijde extra stortruimte ontstaat.

3.12. Helling van het voorkomen (dus van de steenkool)

Hoewel de helling van de steenkoollaag geen directe parameter van de mijngeometrie is,

beïnvloedt zij toch de vormgeving van de groeve op verschillende wijzen. Een vaak toegepaste afbouwmethode is "helling-afwaarts", vanwege een kleiner aanvankelijk deklaagvolume. Deze heeft de volgende consequenties:

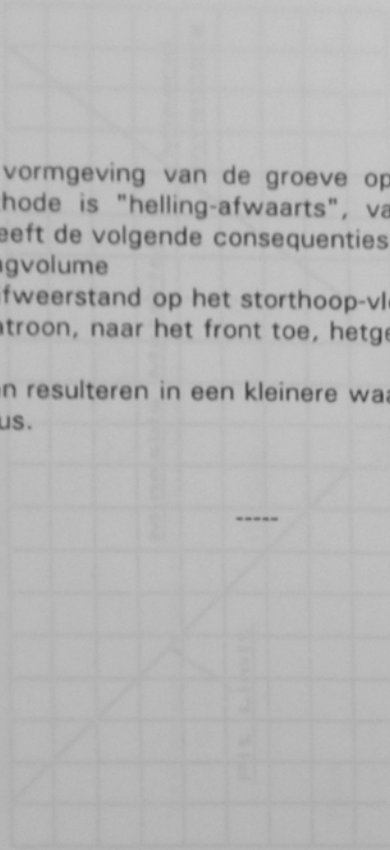
- een toenemend deklaagvolume
- een verkleinde afschuifweerstand op het storthoop-vloercontact
- een slecht drainage-patroon, naar het front toe, hetgeen de afschuifweerstand verder verlaagt.

De laatste twee factoren resulteren in een kleinere waarde van de hoek Θ en dus in een groter percentage surplus.

CHAPITRE

3.1 Introduction

The first two sections of this book are devoted to the study of the geometry of the excavation. The third section is devoted to the study of the drainage pattern of the excavation. The fourth section is devoted to the study of the stability of the excavation. The fifth section is devoted to the study of the cost of the excavation.



development of the excavation. The first section is devoted to the study of the geometry of the excavation. The second section is devoted to the study of the drainage pattern of the excavation. The third section is devoted to the study of the stability of the excavation. The fourth section is devoted to the study of the cost of the excavation.

- (1) Hand methods
- (2) Computer methods
- (3) Computer method hand methods

for developing the book. Within the first two sections are applied to design calculations for the design of the excavation. The third section is devoted to the study of the stability of the excavation. The fourth section is devoted to the study of the cost of the excavation.

TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT
FACULTEIT DER TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

PROFESSOR DR. H. J. H. VAN DER KUIJTER

"FUNDAMENTALS OF OPEN PIT MINE PLANNING AND DESIGN"

Author and instructor of the course
A. A. VAN ZONEN, BOTTLENECK