

'n Verbeterde laaitempo vir 'n vryhangende mynhysbak

G. W. Hasse* en P. S. Heyns**

ABSTRACT

Freely suspended skips cause high rope stresses when loaded with ore. In order to lower the fatigue experienced by the rope an improved loading curve is presented which will reduce fatigue on the rope substantially. The validity of the equation on which the improved loading curve is based is proved experimentally and the criteria for low residual oscillations are investigated.

Simbolelys

k	styfheid
g	gravitasieversnelling
v	botsingsnelheid
y	verplasing
\dot{m}	ertsvloeiempo
M_1	hysbakmassa
M_p	lasmassa
T_1	natuurlike periode van die ongelaaide stelsel
T_2	natuurlike periode van die volgelaaide stelsel
t_1	draaipunt op die laaitempokromme
t_2	draaipunt op die laaitempokromme
t_{einde}	einde van inlaaityd
s	afstand waardeur erts vryval

Inleiding

Ekonomies ontginbare gouderts kom in Suid-Afrika tot so diep as 5 000 m ondergronds voor en juis om hierdie rede beskik ons land oor baie diep mynskagte [1]. Huidige vertikale skagdieptes word egter beperk op 'n diepte van tipies 2 500 m weens die gewig van hystoue op hierdie diepte en die hoë veiligheidsfaktor wat op die toue geplaas word om vermoeidheidsfalings te verhoed. Daar moet dus van baie duur multivlak skagte gebruik gemaak word indien mynbedrywighede dieper as 2 500 m strek [1].

'n Omvattende ondersoek word tans deur die belangegroep in die Suid-Afrikaanse mynbedryf geloods om die lewensvatbaarheid van 'n enkele vertikale skag met 'n diepte van nagenoeg 5 000 m te ondersoek. Om hierdie doel te bereik sou dit onder andere nodig wees om vermoeidheid van hystoue te verminder.

In die bedryf word die hystou hoofsaaklik vermoei gedurende die inlaai van erts in die hysbak, oneweredighede in die leibane tydens hysoperasies en die beheer van die hysertoestel [2]. Nadat erts in die hysbak gelaai is, word ossillasies van groot amplitude deur die hysbak en hystou ondervind. Hierdie residuele amplitudes kan 'n beduidende bydrae tot die vermoeidheid op hystoue lewer, veral as die ossillasies sou voortduur tydens die daaropvolgende hysoperasie.

Vorige navorsers het aangetoon dat 'n minimum residuele amplitude verkry word indien die laaityd – vir 'n konstante laaitempo – gelyk is aan die gemiddelde natuurlike periode van die gelaaide en ongelaaide stelsel [3].

* Finalejaar student in meganiese ingenieurswese

** Professor in meganiese ingenieurswese (Lid)
Universiteit van Pretoria

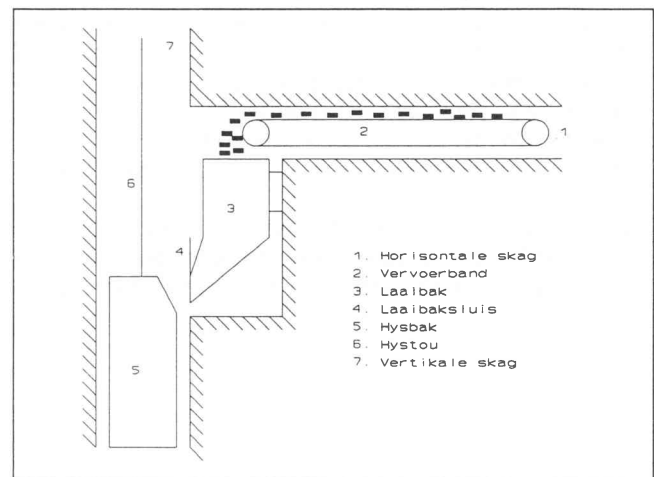
In hierdie werk word aangetoon dat die residuele amplitude nog verder verklein kan word indien 'n nie-konstante laaitempo gebruik word. Die integriteit van die voorgestelde bewegingsvergelyking word eksperimenteel en numeries getoets en die onderliggende meganisme wat tot geen residuele amplitude sal lei, word ingelig.

Opset onder in mynskag

Onder in 'n mynskag word erts normaalweg deur middel van 'n vervoerband in 'n laaibak gestort. Verwys na fig 1.

Die leë hysbak word na onder in die skag laat sak en tot onderkant die laaibaktuit tot stilstand gebring. Die laaibaksluis word oopgetrek en die erts word dan vinnig vanuit die laaibak na die hysbak onder invloed van gravitasiekrag gelaai.

Hierna word die volgelaaide hysbak na die oppervlak gehys, leeggemaak en weer laat sak vir 'n volgende lading.



Figuur 1 – Opset onder in 'n mynskag

Bewegingsvergelyking, aannames en numeriese oplossing

In sy werk verwys Hamilton [3] na 'n vergelyking wat deur Greenway afgelei is en wat die veranderende hysbakmassa en die momentumoordrag wat plaasvind, soos volg beskryf:

$$\begin{aligned} & \left[M_1 + \int_0^{t_{\text{einde}}} \dot{m}(t) dt \right] \ddot{y} + \dot{m}(t) \dot{y} + ky \\ & = \dot{m}(t)v(t) + \left[M_1 + \int_0^{t_{\text{einde}}} \dot{m}(t) dt \right] g \end{aligned} \quad (1)$$

Hierdie nie-lineêre tweede orde differensiaalvergelyking kan soos volg ontleed word:

$$\begin{aligned} \left[M_1 + \int_0^{t_{\text{einde}}} \dot{m}(t) dt \right] \ddot{y} & \text{Traagheidskrag} \\ \dot{m}(t) \dot{y} & \text{Dempingskrag} \\ ky & \text{Veerkrags} \\ \dot{m}(t) v(t) & \text{Impulskrag} \\ \left[M_1 + \int_0^{t_{\text{einde}}} \dot{m}(t) dt \right] g & \text{Gravitasiekrags} \end{aligned}$$

In die afleiding van die vergelyking word die volgende aannames gemaak:

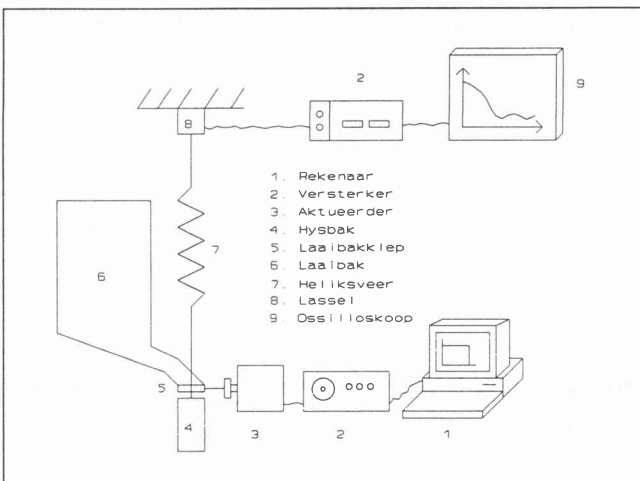
- (a) Die hystou word benader as 'n massalose lineêre veer met 'n derde van die toumassa wat by die hysbakmas- sa getel word [4].
- (b) Die botsingsnelheid v word as konstant aanvaar on- geag die klein variasies in toevoerhoogte tydens die laaiproses.
- (c) Damping as gevolg van die leirollers, die omringende lugkolom en die tou se inherente damping word verwaarloos.
- (d) Die botsing van die erts met die hysbak word as 'n onelastiese botsing beskou.

Die bewegingsvergelyking is numeries opgelos met behulp van 'n vierde orde Runge-Kutta-Fehlberg integra- sioetone.

Eksperimentele opstelling

Voordat die bewegingsvergelyking gebruik is om nume- riese simulaties uit te voer vir 'n optimale laaitempo, is die integriteit van die vergelyking fisies getoets. Vir die doel is 'n eksperimentele opstelling in die laboratorium gebou om die meganisme van impuls en momentumdrag soos dit in 'n mynskag voorkom, na te boots en presiese afskaling van die werklike groothede was hiervoor nie nodig nie [5]. Verwys na fig. 2.

In hierdie opstelling word die laaibak gevul met klein ysterballetjies wat deur die laaibakklep uitgelaat word na die eksperimentele hysbak. Die hysbak wat gekoppel is aan 'n heliksveer oefen dan 'n krag uit op die lassel.



Figuur 2 – Skematiese voorstelling van eksperimentele opstelling

'n Laaitempo is op die rekenaar gegenereer en deur 'n seinversterker na 'n elektro-dinamiese aktueerder ge- stuur wat die laaibakklep reguleer.

Namate die hysbak voller word rek die veer uit en word 'n krag op lassel uitgeoefen. 'n Seinversterker versterk die lasselsein wat op 'n ossilloskoop geregistreer word en hieruit kan die hysbakverplasing bereken word.

Eksperimentele en numeriese resultate

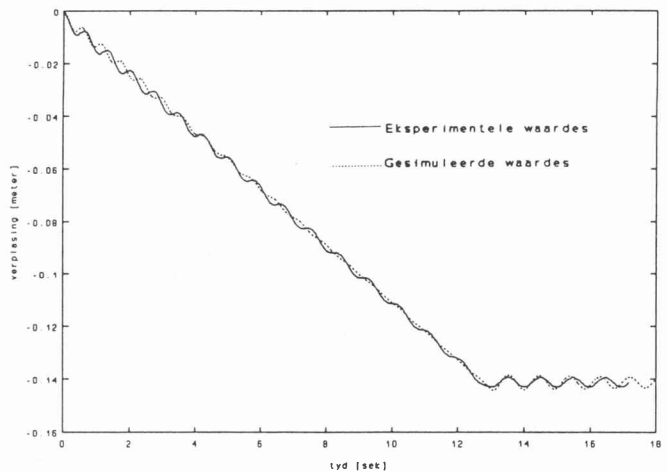
Die hysbakresponsiedata wat op die ossilloskoop opge- neem is, kan gesuperponeer word op 'n numeriese oplos- sing van die bewegingsvergelyking. Eksperimentele groothede (tabel 1) word gebruik as waardes vir die ver- anderlikes in die bewegingsvergelyking. Tipiese resultate word getoon in fig. 3.

Indien die bewegingsvergelyking aangepas sou word om dempingseffekte in ag te neem, kan 'n beter ooreen- koms tussen eksperimentele en numeriese data verwag word. Nietemin kan gesien word dat die eksperimentele

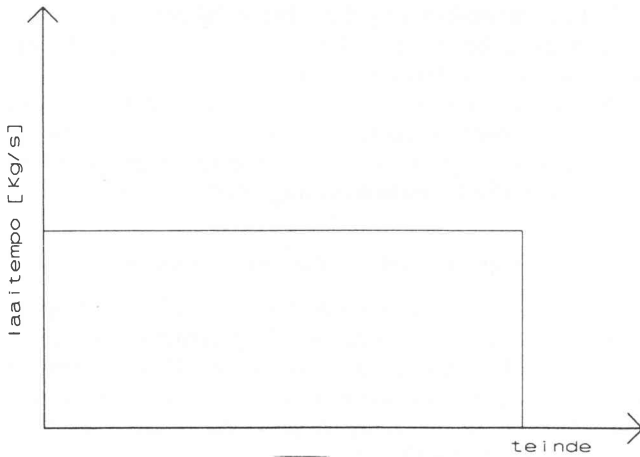
Tabel 1: Groothede vir numeriese simulaties

Parameter	Eksperimentele data	Mynskagdata
M_1	1,214 kg	27 300 kg
\dot{m}	0,1846 kg/s	6 000 kg/s
k	166 N/m	96 518 N/m
v	*	6 m/s
g	9,81 m/s	9,81 m/s ²
T_1	–	3,34 s
T_2	–	4,625 s
M_p	2,40 kg	25 000 kg
t_{einde}	13 s	3,95 s
t_1	–	0 s of 1,64 s
t_2	–	3,95 s

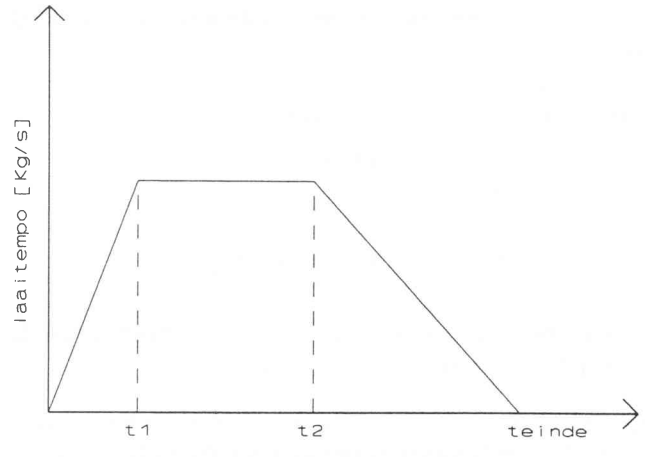
* Die vergelyking $v^2 = 2gs(t)$ is gebruik met $s(0) = 0,175$ m waarna $s(t)$ bereken is uit $y(t)$ tydens die numeriese oplossing van die bewegingsvergelyking.



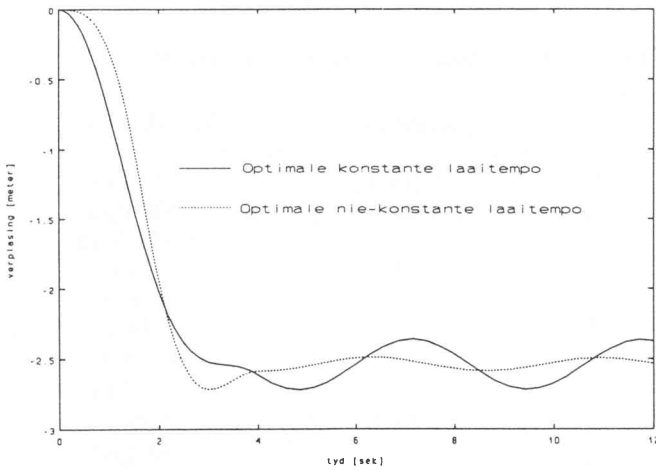
Figuur 3 – Eksperimentele en numeriese resultate vir 'n konstante laaitempo



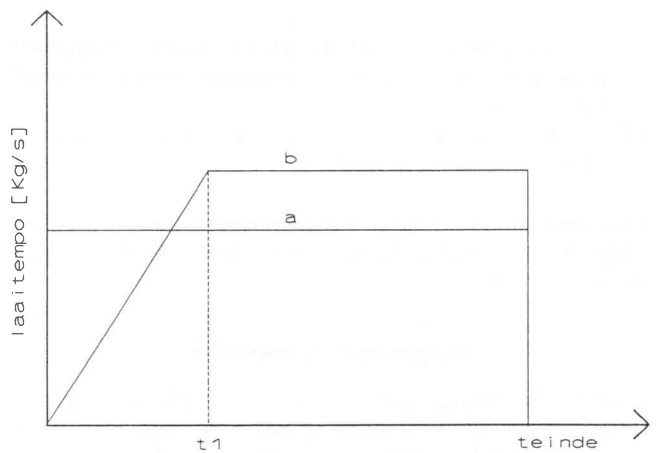
Figuur 4 - Konstante laaitempo



Figuur 5 - Nie-konstante laaitempo



Figuur 6 - Hysbakgedrag vir konstante en nie-konstante laaitempos



a Optimum konstante laaitempo
b Optimum nie-konstante laaitempo

Figuur 7 - Verbeterde laaitempo

hysbak se gedrag bevredigend beskryf word deur die bestaande bewegingsvergelyking en daarom is die vergelyking aanvaar vir verdere numeriese simulaties.

Verbeterde laaitempo

Hamilton [3] aanvaar in sy werk 'n konstante laaitempo (verwys fig. 4) met 'n optimale laaityd wat gegee word deur:

$$t_{einde} = \frac{M_1 T_1 + M_p T_2}{M_1 + M_p} \tag{2}$$

Die vraag ontstaan nou egter of deur die gebruikmaking van 'n nie-konstante laaitempo gedurende dieselfde laaityd, daar nie nog verdere verbetering in residuele amplitude moontlik is nie. Praktiese oorwegings beperk die vryheid waarmee sulke laaitempokrommes saamgestel kan word.

Vir hierdie werk is daar egter aanvaar dat 'n kromme soos getoon in fig. 5 fisies realiseerbaar is, met t_1 en t_2 wat vry gevarieer mag word terwyl die laaitempo verstel word om steeds dieselfde massa te laai as in die geval van die

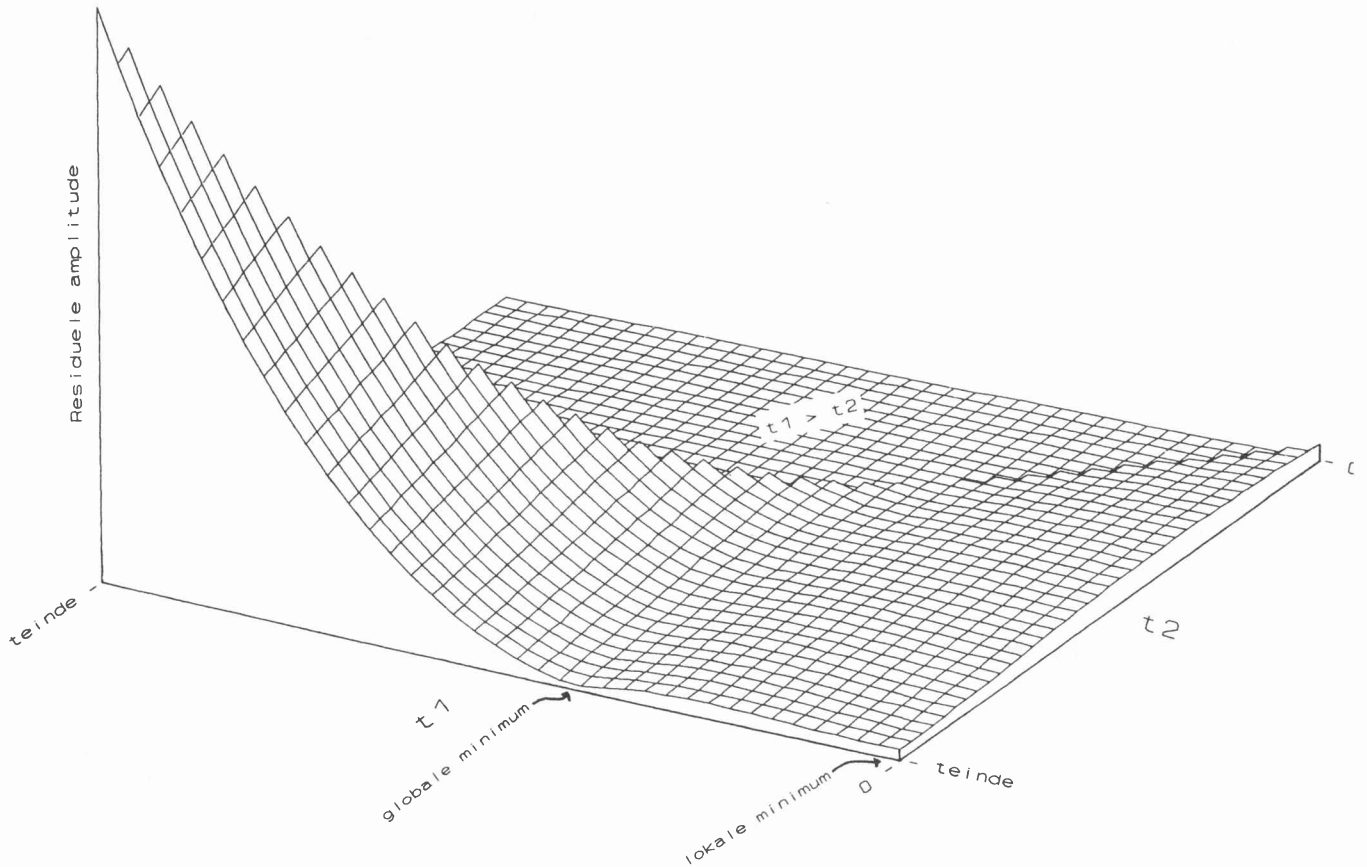
konstante laaitempo. Die groottes van parameters wat gebruik is om die numeriese simulaties uit te voer is tipies van 'n moderne skag [3] en word getoon in tabel 1. Verwys na die mynskagdata.

'n Numeriese optimeringsproses is gebruik om waardes van t_1 en t_2 sistematies te verstel sodat die residuele amplitude geminimeer word. Die resultaat (fig. 6) toon aan dat 'n vermindering van meer as 50% in die residuele amplitude teweeggebring is met 'n laaitempo soos afgebeeld in fig. 7.

Alhoewel die effek hiervan op die vermoeidheidslewe van die tou nog nie ge-evalueer is nie, glo die outeurs dat dit na alle waarskynlikheid tot 'n aansienlike verbeterde vermoeidheidslewe sal lei, veral in gevalle waar versnelling van die pasgelaaide hyser die kritieke deel van die siklus is.

Drie dimensionele voorstelling van die residuele amplitude

Dit is interessant om daarop te let dat fig. 5 gelyk sou wees aan fig. 4 indien $t_1 \rightarrow 0$ en $t_2 \rightarrow t_{einde}$. Indien die numeriese simulatie deurgevoer word vir alle kombinasies van t_1 en t_2 met 'n vaste tyd t_{einde} en met t_1 altyd kleiner as t_2 word 'n



Figuur 8 – Driedimensionele voorstelling vir die kleinste residuele amplitude

insiggewende drie-dimensionele voorstelling verkry. Verwys na fig. 8.

Hieruit kan afgelei word dat talle kombinasies van t_1 en t_2 klein residuele amplitudes tot gevolg sal hê. Dit is ook duidelik dat kombinasies waarin t_1 kleiner is as die globale minimum tot baie groot residuele amplitudes sal lei, met gevolglike vermoedheidsskade op die hystou. (fig. 8).

Voorts kan gesien word dat die lokale minimum die gunstigste konstante laaitempo voorstel en die globale minimum die gunstigste nie-konstante laaitempo.

Meganisme vir geen residuele amplitude

Vergelyking (1) geld vir $0 \leq t \leq t_{einde}$. Daarna reduceer die probleem na 'n eenvoudige vryvibrasieprobleem met

$$M_1 \ddot{y} + ky = 0 \tag{3}$$

vir $t > t_{einde}$.

Aangesien daar geen insetkrag in hierdie vergelyking voorkom nie is die enigste inset wat 'n residuele amplitude kan veroorsaak die beginwaardes by $t = t_{einde}$ wat verkry is vanaf die hysbakgedrag op daardie tydstop.

Indien die beginwaardes by $t = t_{einde}$ dus sodanig is dat $y = \frac{M_p g}{k}$ en $\dot{y} = 0$ sal daar geen inset wees vir vergelyking 3 en sal daar gevolglik ook geen residuele amplitude wees nie.

Verdere navorsing

Dit blyk dus moontlik te wees om 'n kromme te genereer sodanig dat die beginwaardes by t_{einde} geen residuele amplitude sal veroorsaak nie en waarvoor die einde van die inlaaityd t_{einde} nog kleiner gemaak kan word.

Gevolgtrekking

Die integriteit van die bestaande bewegingsvergelyking wat die dinamiese gedrag van 'n hysbak tydens 'n erts inlaaiproses beskryf, is eksperimenteel getoets met gunstige resultate.

Daar is aangetoon dat die residuele amplitude nadat die hysbak gelaai is verder verminder kan word vergeleke by die optimum wat voorheen vir konstante laaitempos bepaal is. Dit mag die las waaraan hystoue onderwerp word tydens en direk na die laai van mynhyssers, verminder en na verbeterde toulewe of verlaagde veiligheidsfaktore ly.

Verwysings

1. McKenzie, I. D. "Steel wire hoisting ropes for deep shafts", *International Deep Mining Conference: Technical Challenges in Deep Level Mining*, Johannesburg, SAIMM, 1990, p. 839.
2. Sykes, D. G. & Widlake, A. C., "Reducing rope factors of safety for winding in deep level shafts", *International Deep Mining Conference: Technical Challenges in Deep Level Mining*, Johannesburg, SAIMM, 1990, p 819.
3. Hamilton, R. S., "Dynamic response of freely suspended skips during ore loading", *Anglo American Corporation of S.A. Ltd*, February 1990.
4. Costello, G. A. & Phillips, J. W., "Stress analysis of wire hoist rope", *Bureau of Mines Report*, Washington DC, 1983.
5. Schuring, D. J., "Scale models in engineering", Pergamon Press, 1977.