

①9



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

①1 CH 694 450 A5

⑤1 Int. Cl.⁷: A 61 B 005/22
A 63 B 024/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

①2 PATENTSCHRIFT A5

②1 Gesuchsnummer: 01543/99

②2 Anmeldungsdatum: 24.08.1999

②4 Patent erteilt: 31.01.2005

④5 Patentschrift veröffentlicht: 31.01.2005

⑦3 Inhaber:
Kistler Holding AG, Eulachstrasse 22, Postfach
8408 Winterthur (CH)

⑦2 Erfinder:
Christian Calame, Amselweg 7
8400 Winterthur (CH)

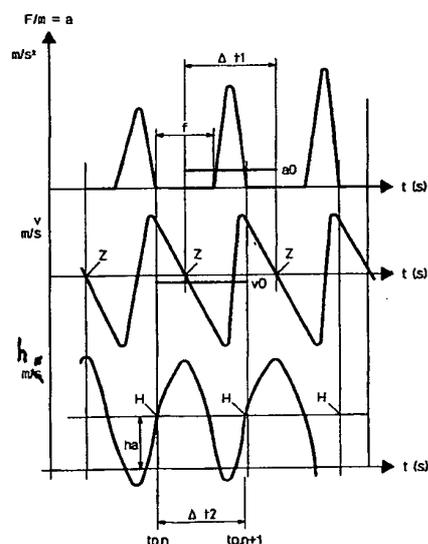
⑤4 Verfahren zur Ermittlung der Sprunghöhen bei Mehrfachsprüngen.

⑤7 Bei der Auswertung der Sprunghöhen (h) von Mehrfachsprüngen, die Aussagen über den Leistungsstand bzw. -fortschritt eines Probanden erlauben, führen die zweimaligen Integrationen der gemessenen Vertikalkräfte (F) zu unbrauchbaren Ergebnissen, da sich kleine Fehler bei den Berechnungen der Einzelsprünge summieren. Diese Fehler entstehen durch geringe Mess- und Integrationsfehler.

Vergleichbare Werte für die Sprunghöhen (h) der Einzelsprünge in einer Serie von Mehrfachsprüngen lassen sich jedoch erreichen, wenn für jeden Einzelsprung definierte Anfangsbedingungen für die erste und für die zweite Integration vorgegeben werden.

Die Anfangsbedingung für die erste Integration besteht darin, dass nach jedem Einzelsprung die Geschwindigkeit (v) in der Mitte des Flugzeitintervalls (f) gleich Null gesetzt wird.

Bei jeder zweiten Integration geht man als Anfangsbedingung für die Sprunghöhe (h) von einer konstanten Anfangshöhe (h_a) aus, die eine charakteristische Grösse des Probanden ist.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäss Oberbegriff von Anspruch 1.

In der Rehabilitationsmedizin und für den Trainingsaufbau eines Sportlers haben Sprungkraftmessungen für die Leistungsdiagnostik eine erhebliche Bedeutung, um den Trainingszustand der Beine bezüglich Schnellkraft, Koordination und Ausdauer zu messen. Gemessen werden dabei sowohl Einzelsprünge als auch Mehrfachsprünge, bei denen eine Anzahl Sprünge unmittelbar aufeinander folgen.

Die Messung der vertikalen Sprungkraft der Beine, aus der dann eine Reihe von Parametern, wie beispielsweise die Sprunghöhe und die Sprungleistung, ermittelt werden können, werden mit Messplattformen, z.B. nach dem US Patent 5 913 242, durchgeführt. In den Füssen einer solchen Messplattform sind dabei Kraftmess-Sensoren eingebaut, welche die Sprungkraft kontinuierlich messen, wobei schon innerhalb einer Sekunde eine Vielzahl – beispielsweise mehrere Hundert – von Messwerten an eine Auswerte-Einrichtung, z.B. einen Computer, weitergeleitet werden. Von dieser werden die Messergebnisse beispielsweise in Form von Kurven des Kraftverlaufes aufgezeichnet.

Aus dem Kurvenverlauf einer Messkurve können dann durch zweimalige Integration die Sprunghöhen eines Sprunges errechnet werden, wobei das Zeitintervall des Sprunges mit Vorteil vom Stillstand vor dem bis zum erneuten Stillstand nach dem Sprung definiert wird. Für die Bestimmung der Sprunghöhe eines Einzelsprunges liefert dieses Vorgehen gute Ergebnisse. Es versagt jedoch bei Mehrfachsprüngen, da die kritischen Werte der Anfangsbedingungen für die Beschleunigung bei der ersten Integration und für die Geschwindigkeit bei der zweiten Integration von den Endbedingungen des jeweils vorhergehenden Sprunges abhängen. Kleine Mess- und Integrationsfehler summieren sich bei Mehrfachsprüngen so ungünstig, dass die Sprunghöhen nicht mehr einwandfrei und eindeutig errechnet werden können und besonders bei längeren Sprungserien zu völlig unbrauchbaren Resultaten führen.

Aufgabe der Erfindung ist es, diesen Nachteil bei der Bestimmung der Sprunghöhen von Mehrfachsprüngen zu beseitigen. Gelöst wird diese Aufgabe mit den Merkmalen im Kennzeichen von Anspruch 1. Mit der Erfindung werden dabei für beide Integrationen jedes einzelnen Sprunges einer Mehrfachsprung-Serie definierte Anfangsbedingungen für die Beschleunigung und für die Geschwindigkeit festgelegt; durch diese Anfangsbedingungen werden die kleinen Integrationsfehler jeweils rückgängig gemacht.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Präzisierungen des neuen Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen niedergelegt, in denen die Besonderheiten des ersten und des letzten Sprunges einer Mehrfachsprung-Serie berücksichtigt werden.

Die zur Ermittlung des Stillstandes eines Probanden vor dem ersten und nach dem letzten Sprung einer Serie gewählten Zeitabschnitte können beispielsweise 200 ms betragen. In diesen Zeitabschnitten müssen als «vorgegebene Schwankungsbreiten»

der Messwerte ebenfalls beispielsweise die folgenden Bedingungen erfüllt sein.

a) Innerhalb des gewählten Zeitabschnittes muss das durchschnittliche Messsignal grösser als das 0,5-fache Körpergewicht sein, und

b) die Standardabweichung des Signals darf in dem gewählten Zeitabschnitt einen Wert von 5% des Körpergewichtes nicht überschreiten.

Bedingung a) stellt sicher, dass der Proband tatsächlich auf der Messplattform steht, und Bedingung b) gewährleistet, dass der Proband relativ ruhig steht. Selbstverständlich können auch andere Werte und Kriterien für das Stehen auf der Plattform und die «Ruhestellung» ausgewählt werden.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert.

Fig. 1 zeigt rein schematisch einen Ausschnitt aus dem Kraftverlauf eines Mehrfachsprunges und die daraus abgeleiteten Integrationen für die Geschwindigkeit und für die Sprunghöhe nach dem neuen Verfahren;

Fig. 2 gibt die Kurven für die gemessene Kraft und die daraus abgeleitete Geschwindigkeit sowie die Sprunghöhe eines Einzelsprunges wieder, woraus die Anfangshöhe h_a bestimmt werden kann.

Fig. 3 ist die Aufzeichnung und Auswertung des als Ausführungsbeispiel nachstehend beschriebenen Ausführungsbeispiels;

Fig. 4 stellt ein Beispiel für die anthropometrische Zuordnung der Anfangshöhe h_a zur Körpergrösse G des Springenden dar.

Im nachfolgenden Ausführungsbeispiel werden die Sprunghöhen einer Mehrfachsprung-Serie von 18 Sprüngen bestimmt, die ein gesunder junger Mann ausgeführt hat. Seine Körpergrösse beträgt 1,72 m, woraus nach der Tabelle von Fig. 4 eine Anfangshöhe $h_a = 0,12$ m resultiert.

Die Kraftverlaufskurven werden mit einer Messplattform nach dem erwähnten US-Patent aufgenommen, wobei die Messwerte der Kraftsensoren einer Datenverarbeitung zugeführt werden, in der die Messwerte mithilfe von bekannten Verarbeitungsprozessen bearbeitet, aufbereitet und in Form der Kurven der Fig. 3 ausgegeben werden. Das obere Diagramm der Fig. 3 gibt die Kraftverläufe in Newton (N) während den einzelnen Sprüngen der Serie wieder, wobei jeweils der Zeitpunkt t_0 des Absprunges jedes einzelnen Sprunges in den Nullpunkt der horizontalen Zeitachse verschoben worden ist, sodass sich die Kurven der Einzelsprünge überlagern. Das mittlere Diagramm zeigt die aus den Kraftkurven nach dem erfindungsgemässen Verfahren berechneten Kurven für die Geschwindigkeit v in Metern/Sekunde (m/s). Im unteren Diagramm der Fig. 3 sind die Sprunghöhen h in Metern (m) der einzelnen Sprünge aufgezeichnet. Die Kurven zeigen für die einzelnen Sprünge der Serie eng beieinander liegende Sprunghöhen, die alle in einem schmalen Zeitintervall liegen.

Zur Erläuterung des neuen Verfahrens und für die Darstellung der verschiedenen benutzten Parameter dient Fig. 1. Sie zeigt, ebenfalls in drei untereinander

angeordneten Diagrammen, in schematischer Darstellung einen Ausschnitt von zeitlich aufeinander folgenden einzelnen Sprüngen der Serie. Im oberen Diagramm sind in Abhängigkeit von der Zeit t die aus den gemessenen Vertikalkräften errechneten Beschleunigungen a in Metern/Sekunde² (m/s^2) aufgezichnet, darunter die nach der ersten Integration erhaltenen Geschwindigkeiten v in m/s sowie die mithilfe der zweiten Integration bestimmten Sprunghöhen h in m .

Durch einen Vergleich der beiden schematischen Kurven der Fig. 1 für a und v erkennt man, dass in der Mitte je der Flugphase f die Geschwindigkeit v wie gemäss der Erfindung erforderlich, gleich Null gesetzt wird (Punkt Z im Geschwindigkeitsdiagramm). Für die erste Integration ergibt sich daher bei jedem einzelnen Sprung ein Zeitintervall Δt_1 von Flugphasenmitte zu Flugphasenmitte. Eine Mittelwertbildung über alle Beschleunigungen während des gleichen Zeitintervalls Δt_1 liefert für jeden einzelnen Sprung die Anfangsbedingung a_0 für die erste Integration; in das obere Diagramm der Fig. 1 ist ein Wert für a_0 als Beispiel eingetragen.

Für die zweite Integration, mit der – ausgehend von der durch die erste Integration erhaltenen Kurve für die Geschwindigkeit v – die Sprunghöhe h jedes einzelnen Sprunges berechnet wird, wird bei jedem einzelnen Sprung ein Zeitintervall Δt_2 festgelegt, das vom Absprung $t_{0,n}$ bis zum darauffolgenden Absprung $t_{0,n+1}$ reicht, was aus einem Vergleich der beiden äusseren Diagramme der Fig. 1 ersichtlich ist.

Erfindungsgemäss wird bei diesem Integrations-schritt für jeden Einzelsprung von einem Punkt H (Fig. 1) ausgegangen, der um die Anfangshöhe h_a verschoben über der Nulllinie für die Sprunghöhe h liegt. Die Anfangsbedingung v_0 für die Integration der Geschwindigkeitskurve wird – in gleicher Weise wie die Beschleunigung a_0 – durch eine Mittelwertbildung über alle Geschwindigkeiten des jeweiligen Einzelsprunges bestimmt. Für einen Einzelsprung ist eine Anfangsbedingung v_0 in das mittlere Diagramm der Fig. 1 als Beispiel eingetragen.

Die einfachste Bestimmung für die Anfangshöhe h_a besteht, wie bereits erwähnt, darin, diese als anthropometrische Konstante einer Tabelle, wie sie z.B. in Fig. 4 gezeigt ist, zu entnehmen. Eine solche Konstante für h_a liegt der Auswertung der Mehrfachsprung-Serie nach Fig. 3 zu Grunde.

Eine genauere und individuell auf den Springenden abgestimmte Ermittlung des Wertes für h_a ergibt sich aus einer Auswertung eines Einzelsprunges, was in Fig. 2 gezeigt ist. In den drei vertikal untereinander angeordneten Diagrammen sind für einen Einzelsprung die gemessene Vertikalkraft in Newton und daraus abgeleitet die Geschwindigkeit v in m/s sowie die Sprunghöhe h in m dargestellt. Die gesuchte Anfangshöhe h_a ergibt sich dann aus dem untersten Diagramm als die Sprunghöhe h zur Zeit $t=0$, d.h. zur Zeit des Absprunges. Mit dieser experimentellen, individuellen Bestimmung von h_a kann man nicht nur Unterschieden dieses Wertes zwischen verschiedenen Probanden nahezu gleicher Körpergrösse Rechnung tragen, sondern auch – bei jeweils einem Einzelsprung vor und/oder nach jeder

Serie von Mehrfachsprüngen – unterschiedliche «Befindlichkeiten» eines einzelnen Springers zu verschiedenen Zeiten berücksichtigen. Selbstverständlich können auch mehrere Einzelsprünge für eine gemittelte Berechnung von h_a verwendet werden.

Besonderheiten weisen der erste und der letzte Einzelsprung einer Serie auf, da ihr Zeitintervall nicht in einer Flugzeitmitte bzw. bei einem Absprung $t_{0,n}$ beginnt oder endet, sondern vom Zeitpunkt t_b eines Stillstandes ausgeht bzw. in einen solchen t_e endet. Beginn bzw. Ende eines Stillstandes kann man beispielsweise in der beschriebenen Weise durch vorgegebene Schwankungsbreiten der Messwerte während vorgewählter Zeiten festlegen. Die gleichen Kriterien gelten selbstverständlich auch für eine Definition eines Stillstandes bei einem Einzelsprung nach Fig. 2.

Im Gegensatz zu den Integrationen eines «mittleren» Sprunges einer Serie, kann das unterschiedliche Zeitintervall $\Delta t_{2,1}$ beim ersten Einzelsprung für die zweite Integration, d.h. für die Berechnung der Sprunghöhe h , dadurch berücksichtigt werden, dass zum einen nicht von der Anfangshöhe h_a , sondern von einem Wert Null für die Sprunghöhe h ausgegangen wird, und dass zum anderen der Quotient aus der Anfangshöhe h_a und dem Zeitintervall ($\Delta t_{2,1}$) des ersten Sprunges – d.h. von t_b bis zum ersten Absprung $t_{0,1}$ – bei der Bestimmung der Anfangsbedingung v_0 für die Geschwindigkeit vom gebildeten Geschwindigkeitsmittelwert $v(t)$ des ersten Sprunges subtrahiert wird.

Die Besonderheit beim letzten Sprung beeinflusst lediglich die Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit v_0 für die zweite Integration. Für den letzten Sprung kann daher zum Mittelwert $v(t)$ der Quotient aus der Anfangshöhe h_a und dem Zeitintervall $\Delta t_{2,e}$ des letzten Sprunges, d.h. vom letzten Absprung $t_{0,e}$ bis zum Stillstand t_e , hinzuaddiert werden.

Mit dem neuen Verfahren einer Auswertung von gemessenen Vertikalkräften bei Mehrfachsprüngen erhält man vergleichbare Werte für die Sprunghöhen der Einzelsprünge, woraus sich Leistungsfortschritte nach Verletzungen und bei Rehabilitation sowie im Trainingsaufbau einzelner Probanden oder Sprungkraftunterschiede zwischen verschiedenen Individuen beurteilen lassen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung der Sprunghöhen (h) bei einer Serie von unmittelbar aufeinander folgenden Sprüngen, so genannten Mehrfachsprüngen, durch zweimalige Integration nach der Zeit der aus gemessenen Vertikalkräften (F) ermittelten Beschleunigungen (a) dadurch gekennzeichnet, dass der Kraftverlauf jedes einzelnen Sprunges mit folgenden Randbedingungen zweimal integriert wird:
 - a) nach jeder ersten Integration wird die Geschwindigkeit (v) in der Mitte des Flugzeitintervalls (f) zwischen zwei Einzelsprüngen gleich Null gesetzt, und
 - b) bei jeder zweiten Integration wird für das zu berechnende Geschwindigkeitsintegral von einer konstanten Anfangshöhe (h_a) zum Zeitpunkt des Absprunges (t_0) ausgegangen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet

zeichnet, dass bei je der ersten Integration als Anfangsbedingung für die Beschleunigung (a_0) bei jedem Einzelsprung der Mittelwert der Beschleunigungen $[a(t)]$ des jeweiligen Sprunges gewählt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass bei jeder zweiten Integration als Anfangsbedingung für die Geschwindigkeit (v_0) der Mittelwert der Geschwindigkeiten $[v(t)]$ des jeweiligen Sprunges gewählt wird. 5

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei der zweiten Integration des ersten Sprunges einer Serie die Anfangshöhe (h_a) unberücksichtigt bleibt und bei der Anfangsbedingung (v_0) für die Geschwindigkeit ihr Quotient mit dem Zeitintervall bis zum ersten Absprung ($t_{0,1}$) vom Mittelwert $[v(t)]$ abgezogen wird. 10 15

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass bei der zweiten Integration des letzten Sprunges einer Serie die Anfangshöhe (h_a) bei der Anfangsbedingung (v_0) für die Geschwindigkeit als Quotient mit dem Zeitintervall des letzten Sprunges zum Mittelwert $[v(t)]$ hinzuaddiert wird. 20

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Anfangshöhe (h_a) mithilfe der Auswertung eines Einzelsprunges ermittelt wird. 25

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Anfangshöhe (h_a) als anthropometrische Grösse in Abhängigkeit von der Körpergrösse (G) des Springenden bestimmt wird. 30

8. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Anfangszeitpunkt (t_b) des Zeitintervalls des ersten Sprunges einer Serie festgelegt wird, wenn die Messwerte innerhalb eines vorgeählten Zeitabschnittes in einer vorgegebenen Schwankungsbreite liegen. 35

9. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Endzeitpunkt (t_e) des Zeitintervalls des letzten Sprunges einer Serie festgelegt wird, wenn die Messwerte innerhalb eines vorgeählten Zeitabschnittes in einer vorgegebenen Schwankungsbreite liegen. 40

45

50

55

60

65

4

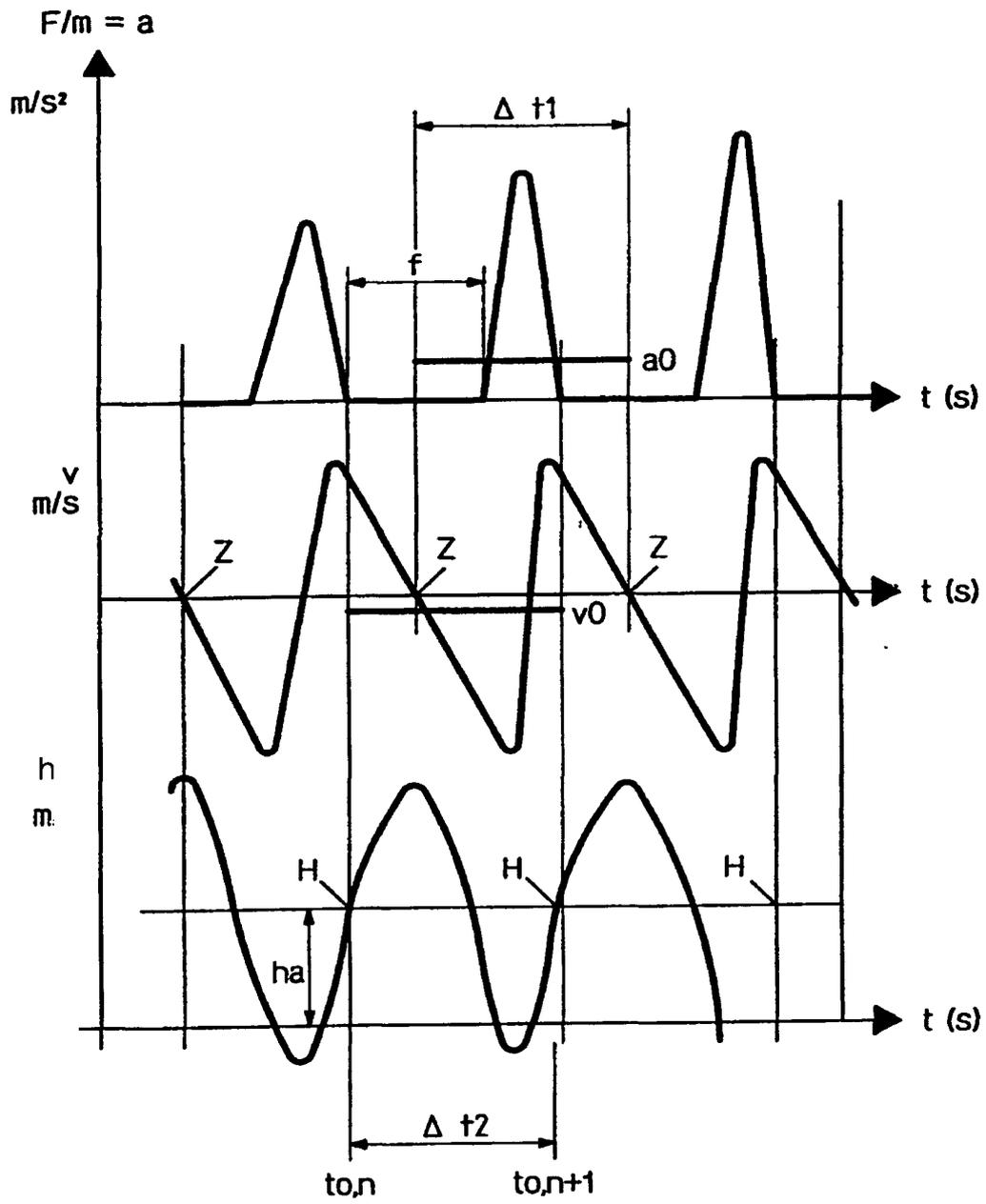


Fig.1

CH 694 450 A5

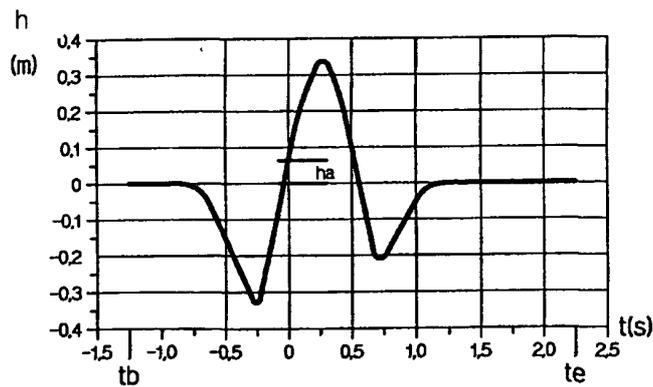
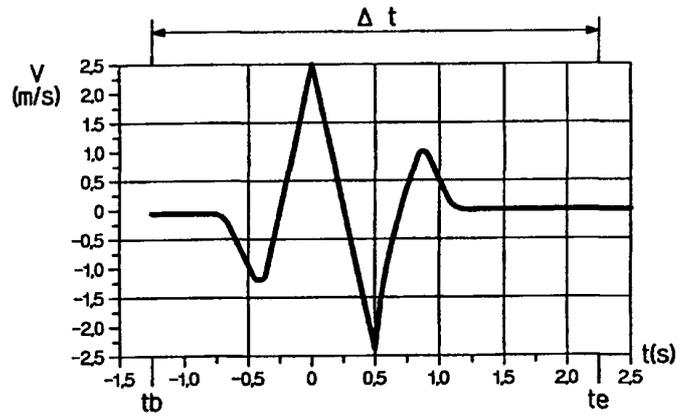
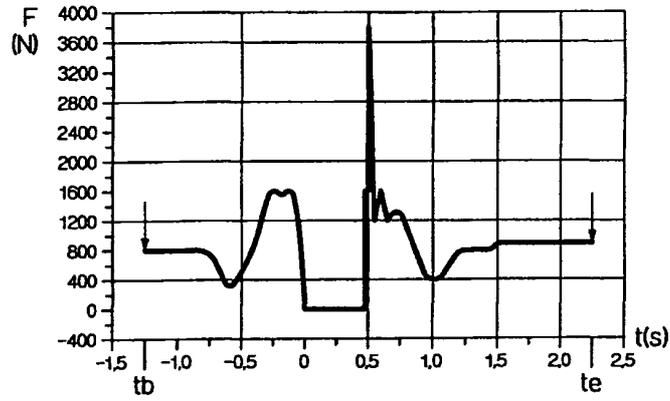


Fig.2

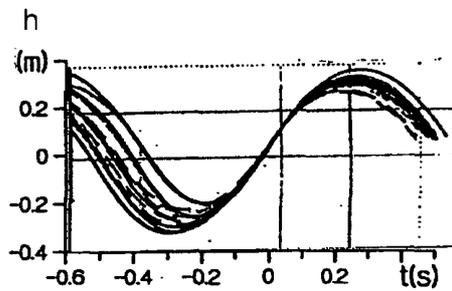
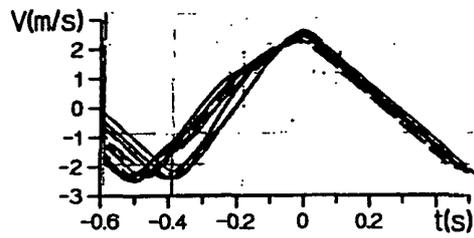
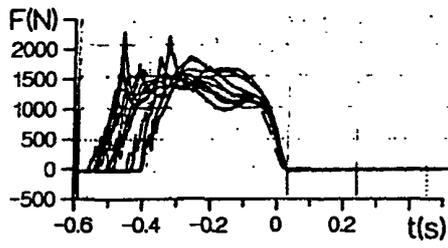


Fig.3

G	ha
< 1.60m	0.09m
1.60 ... < 1.70m	0.10m
1.70 ... < 1.80m	0.12m
> 1.80m	0.14m

Fig.4