

ARISTOTELES UNIVERSITÄT THESSALONIKI  
FAKULTÄT GEOTECHNISCHE WISSENSCHAFT  
ABTEILUNG FÜR FORSTWISSENSCHAFT UND NATÜRLICHE UMWELT  
INSTITUT: FORSTLICHES BAUINGENIEURWESEN UND VERMESSUNGSKUNDE  
THESSALONIKI - GRIECHENLAND

o. Prof. Dipl. Fw. und Dipl. Bauing. Dr. GEORG CHAR. STERGIADIS

13

## XXVII. INTERNATIONALES SYMPOSIUM

### MECHANISIERUNG DER WALDARBEIT

vom 30.8.1993 bis 3 oder 4.9.1993

THESSALONIKI - GRIECHENLAND



## PROGRAMM

DAS XXVII INTERNATIONALE SYMPOSIUM WIRD ORGANISIERT IN  
ZUSAMMENARBEIT MIT: DEM FORSTDienst, DER GEOTECHNISCHEN KAMMER  
GRIECHENLANDS, DER NATIONALEN ANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE  
FORSCHUNG

THESSALONIKI, 1993

# **BODEN- UND FAHRBAHRVERFORMUNGEN VON FORSTWEGEN UNTER DEN EINWIRKUNGEN DER BELASTUNGEN VON MECHANISIERUNGSMITTELN**

Lektor Dr. Panagiotis Eskioglou,  
Institut für Bauingenieurwesen  
und Vermessungskunde  
Aristoteles Universität Thessaloniki  
Griechenland

## **I. EINFÜHRUNG**

Die Mechanisierungsentwicklung der Waldnutzungsarbeiten erfordert ein Forstwegenetz, das, unter anderen, einerseits die Einführung von geeigneten Holzrückemitteln und andererseits den einwandfreien Transport von Produkten ganzjährig vom Wald bis zu den Verbrauchszentren mit Kraftlastwagen erleichtert.

In den produktiven Wäldern erfordert die große produzierte Holzmenge einen jährlichen Zyklus des Holztransportes und demzufolge den Bau von befahrbaren Waldwegen.

Aus der gesamten Länge der Waldwege unserer Heimat, nur 3500 weisen eine Fahrbahndecke auf, von denen 165 km asphaltiert sind und die übrigen 3335 km sandkiesbedeckt oder kiesbedeckt sind.

Im Institut für Forstliches Bauingenieurwesen und Vermessungskunde unserer Abteilung wurden letztlich Forschungen durchgeführt, unter der Leitung vom Prof. Dr. Stergiadis, um die wirtschaftliche und tragfähige Fahrbahndecke zu berechnen, die für den jährlichen Transport von Holzmengen erforderlich ist, und andererseits die Einwirkung der schweren Transportfahrzeuge und aller Mechanisierungsmittel der Forstnutzung auf die Verformung der vorgeschlagenen Fahrbahn zu studieren, aufgrund der sich entwickelnden Spannungen und ihrer Verteilung in einem System von drei aufeinanderfolgenden Schichten.

Ein solches System, das aus einer oberflächigen Schicht, die Grundbasis, die Unterbasis und der Untergrund besteht (Abb. 1), wird heute als ein befriedigender Kompromiß zwischen der gefährlichen Übereinfachung der zwei Schichten und der schwierigen Lösung der mehrfachen Schichten gehalten.

Dieses System basiert auf der Annahme, daß die Materialien plastisch, homogen und isotrop sind, die aber in der Praxis nicht bestätigt wird, aber

experimentell ist bewiesen, daß sich die Materialien aus den dynamischen Belastungsverhältnissen der Fahrbahndecke fast wie elastische Körper benehmen.

Das statische Modell der 3 Schichten kann vollständig bestimmt werden, wenn außer der Schichtdicke  $h_i$  auch die Konstanten  $E$  (Elastizitätsmaß) und  $\mu$  (Poisson - Verhältnis) bekannt sind, die das Material jeder Schicht kennzeichnen.

## 2. FORSCHUNGSMETHODE

Die Forschung für die Analyse der Spannungen und Verformungen, die in den Forstwegen wegen der Einwirkung der Last der Mechanisierungsmittel auftreten, stützte sich auf den Gleichungen von Boussinesq und den Diagrammen und Tabellen von Jones und Peattie, die mit der Hilfe von EDV-Anlagen erstellt wurden und Lösungen für die Berechnung der Spannungen geben.

Heute gibt es EDV/Programme (CHEV-Si, BISAR), wodurch es möglich ist, die sich entwickelnden Spannungen und Verformungen in verschiedenen Punkten des Planums für Systeme mehrfachen Schichten zu berechnen.

In der Abb. 1, wo ein repräsentatives Planum mit drei Schichten dargestellt wird, sind auch die darauf sich entwickelnden Spannungen ersichtlich, die folgende sind:

$\sigma_{z1}$  = senkrechte Spannung in der Trennungsfläche 1.

$\sigma_{z2}$  = senkrechte Spannung in der Trennungsfläche 2.

$\sigma_{r1}$  = horizontale Spannung im Grunde der Fläche 1.

$\sigma_{r2}$  = horizontale Spannung im Grunde der Fläche 2.

$\sigma_{r3}$  = horizontale Spannung im Scheitel der Fläche 3.

Zur Berechnung der Spannungen ist die Parametermessung erforderlich

$$K_1 = \frac{E_1}{E_2} \quad (1) \qquad K_2 = \frac{E_2}{E_3} \quad (2) \qquad A_1 = \frac{a}{h_2} \quad (3)$$

$$\text{und } H_1 = \frac{h_1}{h_2} \quad (4)$$

wobei sind:

$E_1, E_2, E_3$  = das Elastizitätsmaß der Schichten 1, 2 und 3 in psi

$h_1, h_2$  = die Schichtdichten 1 und 2 des Planums in in

$a$  = der Radius der Berührungsfläche der Fahrzeugreifen in in

In der Abb. 2 sind Nomogramme dargestellt, wobei für konkrete Werte  $K_1$  und  $K_2$  und verschiedene Werte der Parameter  $A_1$  und  $H_1$  die Werte der Spannungskoeffizienten  $zz_1$  und  $zz_2$  berechnet.

Die Werte der senkrechten Spannungen  $\sigma_{z_1}$  und  $\sigma_{z_2}$  werden aus den Gleichungen angegeben

$$\sigma_{z_1} = p(zz_1) \quad (5) \quad \text{und} \quad \sigma_{z_2} = p(zz_2) \quad (6)$$

wobei ist:

$p$  = der Druck der Fahrzeugreifen in lb

Die Werte der horizontalen Spannungen  $\sigma_{z_1}$  und  $\sigma_{z_2}$  werden aus den Gleichungen angegeben:

$$\sigma_{r_1} = \sigma_{z_1} - p(zz_1 - RR_1) \quad (7)$$

$$\sigma_{r_2} = \sigma_{z_2} - p(zz_2 - RR_2) \quad (8)$$

$$\sigma_{r_3} = \sigma_{z_3} - p(zz_2 - RR_3) \quad (9)$$

wobei sind:

$\sigma_{z_1}, \sigma_{z_2}$  = die senkrechten berechneten Spannungen mit den Gleichungen 5 und 6

$p$  = der Druck der Fahrzeugreifen

und  $(zz - RR)$  = die in der Tabelle 1 angegebenen Koeffizienten für verschiedene Parameterkombinationen  $K_1, K_2, H_1, A_1$ .

Der Verformungswert der Schicht 1, der aus der Einwirkung jedes Fahrzeugreifens mit Last  $P$  (Achsenlast  $2P$ ) und Berührungsfläche mit Radius  $2a$ , wird aus der Gleichung (Yoder) angegeben:

$$E_{r_1} = \frac{1}{2E_1} (\sigma_{r_1} - \sigma_{z_1})$$

#### IV. ERGEBNISSE

In der Tabelle 3 sind die verkehrenden Fahrzeugemodelle, der Druck und der Berührungsradius  $a$  der Reifen, der Parameter  $A$ , die sich entwickelnden Spannungen und schließlich die auftretenden  $E_r$  in  $10^{-4}$  in/in vom Rad jedes einzelnen Fahrzeuges.

Aus der Tabelle 3 wird festgestellt, daß die Lastwagen die Fahrbahndecke und den Untergrund mehr als alle andere Mittel und konkreter bis 6mal mehr als der Agrarschlepper und 2,5 mal mehr als Unimog verformen. Der Schlepper Franklin und der Anhänger verursachen gleiche Schäden mit dem Schlepper Timberjack.

Mit der Untersuchung des Einflusses der Parameter und der verschiedenen Konstanten auf die Größe der sich entwickelnden Spannungen und auftretenden Verformungen wurde folgendes festgestellt:

- Die Umwandlung der Verformung jeder Schicht ist der Qualität der Schichtmaterialien umgekehrt proportional - die mit dem Elastizitätswert  $E$  ausgedrückt wird und der Größe proportional ( $\sigma_1 - \sigma_2$ ) ist.

- Die auf dem Untergrund und Fahrbahndecke sich entwickelnden Spannungen sind dem Parameterwert  $A$  ( $a/h_2$ ) proportional und konkreter:

Durch Erhöhung des Wertes  $A$  um 100% bemerkt man eine Erhöhung der senkrechten Spannung um 110%, die entweder durch Erhöhung des Berührungsradius  $a$  des Reifens oder durch Verminderung der Stärke  $h_2$  der Basis erreicht wird.

- Erhöhung des Radius  $a$  und demzufolge des Parameters  $A$  wird bei der Überbelastung der Lastwagen beobachtet.

Wird ein dreiachsiger Lastwagen von 10 tn um 2 tn (Erhöhung 20%) überbelastet, wird die Last  $P$  des Rades vom 5 tn 6 tn und aus der

Gleichung  $a = \sqrt{\frac{P}{n \cdot p}}$  ergibt sich  $a = 6.48$  in gegenüber dem Anfangswert

$a = 6$  (Erhöhung 8%). Dann erhöht sich der Parameter  $A$  um 7,5% und erhält einen Wert  $A = 0.43$ . Mit diesen neuen Werten wird die senkrechte Spannung  $\sigma_1$  in 86.6 psi (Erhöhung um 8.2%) berechnet.

- Verminderung des Radius  $a$  und des Parameters  $A$  wird mit der Erhöhung des Reifendruckes  $p$ .

Im Falle desselben Lastwagens mit Achsenlast 10 tn, wenn der Reifendruck von 100lb auf 120 lb erhöht wird (Erhöhung um 20%), wird der Wert des Berührungsradius  $a$  von  $a = 6$  in auf  $a = 5.45$  in (Verminderung

9.2%) vermindert und der Wert des Parameters wird auch um 9.2% vermindert.

Demzufolge beobachtet man eine minimale Verminderung der sich entwickelnden senkrechten Spannung um 1.5%.

Im Falle aber, daß die Erhöhung des Reifendruckes 50% überstiegt, wird eine gleichzeitige Erhöhung der senkrechten Spannungen, besonders in den Oberschichten der Fahrbahndecke beobachtet, während in einer Tiefe von 90 cm (36 in) die Spannungen gleich für alle Druckwerte sind. Deswegen verwendet man in den Oberschichten der Fahrbaumaterialien bester Qualität.

In einem dreischichtigen System wird die Grösse der senkrechten Spannung mehr von der Gesamlast  $P$  des Fahrzeuges als vom Reifendruck beeinflußt.

- Die Veränderung des Parameters  $H$  ist der Veränderung der Stärke  $h_1$  der oberflächigen Schicht entsprechend. Wird diese Dichte verdoppelt, wird auch der Parameter  $H$  verdoppelt und die senkrechte Spannung um 50% vermindert.
- Die Verwendung von Materialien bester Qualität in der Oberfläche bedeutet eine Erhöhung des Wertes  $K_1$  und aus den Peattie-Nomogrammen wird festgestellt, daß sich eine Erhöhung der Wertes  $E_1$  um 50% und eine Verminderung der senkrechten Spannung um 50% ergibt.
- Mit der Veränderung des Parameters  $K_2$  treten keine wesentlichen Veränderungen in den Spannungs- und Verformungswerten auf, weil kein großer Unterschied im Elastizitätsmaß  $E_2$  und  $E_3$  der Unterbasis und des Untergrundes beobachtet wird.

#### V. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Mechanisierungsmittel der Weidarbeiten verursachen große Schäden in der Fahrbahndecke und dem Untergrund der Forstwege.

Den größten Schaden verursachen die dreiachsigen Lastwagen und die minimalen die Schlepper (6 mal kleiner).

Unimog verursacht 2,5mal kleinere Schäden im Vergleich mit dem dreiachsigen, während die Schlepper Timberjack und Franklin 5 und 3,5mal entsprechend kleinere Schäden verursachen.

Aus den Faktoren, die die sich entwickelnde Spannung gestalten, die maßgebendste Rolle spielt die Achsenlast  $P$  des Fahrzeuges und folgen die Qualität der Schichtmaterialien, die Stärke  $h_1$  der oberflächigen Schicht und der Reifendruck (Erhöhung des Parameters  $A$  um 100% erhöht die

senkrechte Spannung um 110%, Erhöhung des Parameters H um 100% vermindert die senkrechte Spannung um 100%, während eine Erhöhung des Parameters K1 um 100% den Wert der senkrechten Spannung um 100% vermindert)

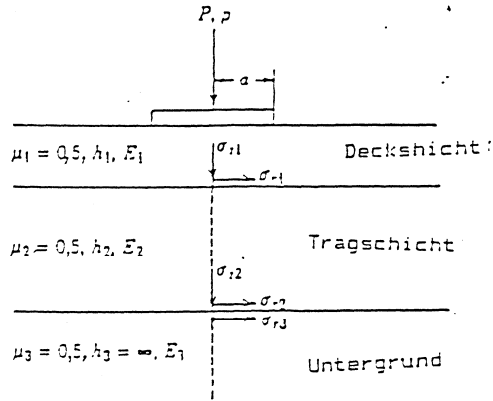


Abb. 1 Die hervorgerufenen Spannungen von der Einwirkung der last P auf eine Fahrbahn mit 3 schichten

$$K_1 = \frac{E_1}{E_2}$$

$$K_2 = \left( \frac{E_2}{E_3} \right)$$

$$H_1 = \frac{h_1}{h_2}$$

$$A_1 = \frac{a}{h_2}$$

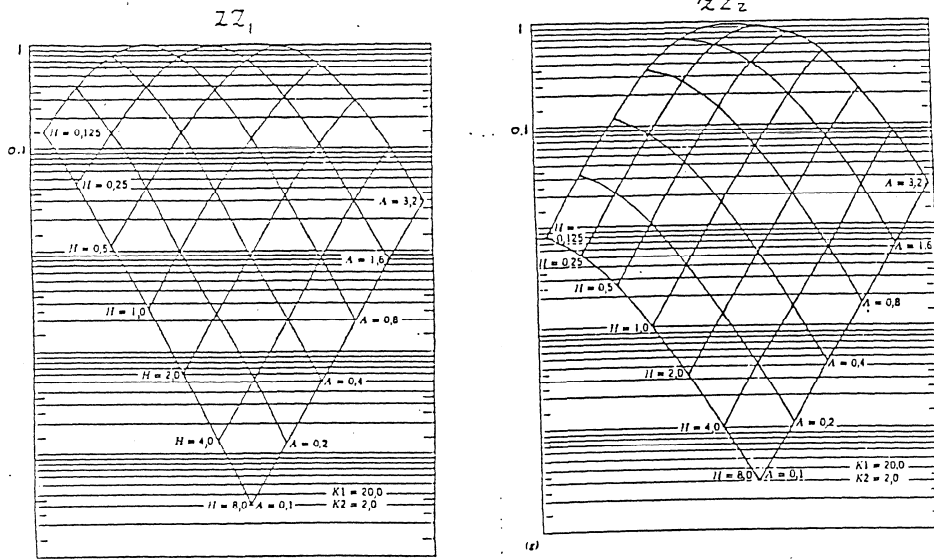
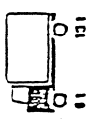
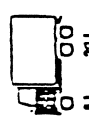
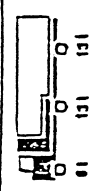

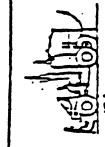





Abb. 2 Homogrammberechnung der Spannungskoeffizienten  $\alpha_{r1}$  und  $\alpha_{r2}$

Wie sieht auf die Waldstraßen bewegen

|   | Mechanisierungs-<br>fahrzeuge | Achsenverteilung  | Bruttogewicht<br>TN | Reifendimensionen<br>IN | Reifendruck<br>PSI |
|---|-------------------------------|---|---------------------|-------------------------|--------------------|
| 1 | zweiachsig                    |    | 19t                 | 12 R 20<br>7,5 R 16     | 100                |
| 2 | dreiachsig                    |    | 26t                 | 12 R 20                 | 100                |
| 3 | dreiachsig                    |    | 32t                 | 12 R 20                 | 100                |
| 4 | Lastwagen<br>mit 1 Achse      |    | 38t                 | 12 R 20                 | 100                |
| 5 | TIMBERJACK HF 92              |    | 12t                 | 23.1 R 26               | 25                 |
| 6 | FRANKLIN 170/XL               |   | 12t                 | 14 R 26                 | 30                 |
| 7 | UNITIG                        |  | 12t                 | 12,5 R 20<br>7,5 R 16   | 40<br>30           |
| 8 | Schlepper                     |  | 4t                  | 14,9 R 24<br>18,4 R 38  | 30<br>20           |





Tab. 3 Spannungen und Verformungen die von der Einwirkung der Fahrzeugenlasten Mechanisierungsfahrzeuge aufzutreten auf eine typischen Fahrbahn

| Mechanisierungs-<br>fahrzeuge | Berührungsradius<br>$\alpha$ (in) | Reifen<br>druck<br>p (lb) | $\frac{A}{h^2}$ | oz,<br>psi | or,<br>psi  | Er,<br>$\frac{10^{-4}}{in/in}$ |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|------------|-------------|--------------------------------|
| dreiaxsig<br>Lastwagen        | 6                                 | 100                       | 0,4             | 80         | 436         | 7,7                            |
| Timberjack<br>HP 92           | 11,5                              | 25                        | 0,8             | 25         | 60          | 1,5                            |
| Fraklin<br>170/XL             | 7                                 | 30                        | 0,5             | 27         | -108        | 2                              |
| Unimog                        | 6,2                               | 40                        | 0,4             | 28         | 176         | 3                              |
| Schlepper                     | 7<br>9,2                          | 30<br>20                  | 0,5<br>0,6      | 27<br>20   | -108<br>-50 | 2<br>1,3                       |
| Anhänger                      | 4                                 | 30                        | 0,2             | 12         | 102         | 2                              |

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εσκίογλου, Π. Χ. 1988. Η αρνητική επίδραση της υπερφόρτωσης των οχημάτων μεταφοράς ξυλείας στους δασικούς δρόμους. Δ' Δασολογικό Συνέδριο. Λάρισα.
2. Εσκίογλου, Π. Χ. 1991. Οικονομικά και ανθεκτικά οδοστρώματα στα ορεινά δάση της Ελλάδας. Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη.
3. Jones, A. 1962. Tables of Stresses in 3 - layer Elastic systems. Highway Research Board Bulletin 342.
4. Κοφίτσας, Ι. 1983. Στοιχεία οδοστρωμάτων. Αθήνα.
5. Μουρατίδης, Αν. 1992. Η επίδραση των φορτίων των οχημάτων στη συμπεριφορά των οδοστρωμάτων. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτοσκυροδέματος και Ευκάμπτων Οδοστρωμάτων. Θεσσαλονίκη.
6. Νικολαΐδης, Αθ. 1989. Θεωρητική και πειραματική μελέτη οδοστρωμάτων. Θεσσαλονίκη.
7. Peattie, K. R. 1992. Stress and Strain factors for 3 - layer elastic systems. Highway Research Board Bulletin. 342.
8. Στεργιάδης, Γ. Χ. 1980. Δασική Οδοποιΐα Ι. Θεσσαλονίκη.
9. Στεργιάδης, Γ. Χ. 1985. Εδαφομηχανικές συνθήκες και προβλήματα κατασκευής στους δασικούς δρόμους. Επιστ. Επετηρίδα Δασολογίας. Τόμος ΚΗ σελ. 71-137. Θεσσαλονίκη.
10. Στεργιάδης, Γ. Χ. 1988. Δασική Οδοποιΐα ΙΙ. Κατασκευή Δασικών δρόμων. Θεσσαλονίκη.
11. Στεργιάδης, Γ. Χ., Εσκίογλου Π. Χ. Τα εύκαμπτα οδοστρώματα στη δασική οδοποιΐα και ο οικονομικός υπολογισμός των διαστάσεων των στρώσεών τους. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ασφαλτοσκυροδέματος και Ευκάμπτων Οδοστρωμάτων σελ. 97-118. Θεσσαλονίκη.
12. Yoder, E. J., Witcrak, M. W. 1965. Principles of pavement design. N. York.