

31. INTERNATIONALES SYMPOSIUM
«MECHANISIERUNG DER WALDARBEIT»

26

Formec'97



Mendel-Universität für Land- und Forstwirtschaft

BRNO

TSCHECHISCHE REPUBLIK

1997

DER EINSATZ VON FLUGASCHE IM FORSTWEGEBAU ALS MITTEL ZUM SCHUTZ DER FORSTÖKOSYSTEME

Ass. Prof. Eskioglou Panagiotis

Zusammenfassung

Die problematischen tonigen Böden sind wegen ihrer niedrigen Tragfähigkeit weder in Aufträgen noch als Unterbaumaterialien von Fahrbahn verwendbar.

Es wurde die Durchführung einer Forschung beschlossen, während der die obenerwähnten Böden mit verschiedenen Mengen von Flugasche des industriellen Nebenproduktes, das als die Verbrennung von verstäubter Kohle herkommt, stabilisiert wurden.

Aus der Forschung ergab sich, daß die Stabilisierung mit Asche die natürlichen und mechanischen Kennzeichen der Böden, wie Plastizität, Druckfestigkeit und Kornverteilung verbessert. So wird die Zugänglichkeit des Waldwegenetzes verbessert, und, in Verbindung mit dem Ersparnis von inerten Materialien einerseits und der Ausnutzung von gefährlichen industriellen Nebenprodukten andererseits ist die Bedeutung eines solchen Eingriffes zum Schutz der forstlichen Ökosysteme und der natürlichen Umwelt genereller offenbar.

Schlüsselwörter: Flugasche, Benkelmann - Träger

I. Einleitung und problemstellung

Die Intensivierung der Forstwissenschaft jedes Landes beabsichtigt die Erhöhung der erzeugten Produkte, die von einer eindrucksvollen Erhöhung der Verkehrsbelastung innerhalb des Waldes begleitet wird.

Die neu aber auftretenden Verhältnisse erfordern den Aufbau Tragschicht der Forstwege mit gleichzeitigem Treffen von Maßnahmen zum Schutz der Umwelt, was in diesem Falle mit dem Ersparnis von inerten Materialien und der Verwendung von Materialien mit mässigen oder armen mechanischen Kennzeichen, nach ihrer technischen Verbesserung zu erreichen ist.

Eine der Methoden, durch die die obenerwähnten Ziele erreicht werden können, ist die Stabilisierung der natürlichen Böden aber auch der inerten Materialien mit Zuschlagsstoffen, die die Scherfestigkeit der Böden gegen die Lastwagenlasten und die Wetterverhältnisse erhöhen und die mechanischen und geotechnischen Eigenschaften aufbessern, um sie mit den entsprechenden geltenden Vorschriften gleichzusetzen. Diese Tätigkeit bekommt ein grösseres Interesse, besonders wenn der Zuschlagsstoff die Flugasche ist, ein industrielles Nebenprodukt, das in großen Mengen in unserer Heimat erzeugt wird, einerseits weil auf dieser Weise ihr Volumen in der Natur vermindert wird, und andererseits, weil sie als Baustoff verwendet werden kann mit Eigenschaften, die die Baubeschaffenheit verbessern.

Hauptziel dieser Arbeit ist zu erforschen, ob und in wie weit die forstlichen Ökosysteme, im Bereich des Forstwegbaus, geschützt werden können, wenn der unsinnige Einsatz von inerten Materialien von stabilisierten Ascheschichten ersetzt wird.

2. Überblick über die literatur

Der Bau von tragfähigen stabilisierten Schichten mit Kalk, Zement und anderen Materialien, im Gegensatz zur Asche, begann vor vielen Jahren und aus der bis heute gewonnenen Erfahrung ergab sich folgendes:

Leichte Konstruktion, Verminderung des Staubes, Verbesserung der Materialien, die von sich selbst verwendet werden können, Verbesserung der Tragfähigkeit und Undurchlässigkeit von stabilisierten Böden, Austrocknung naßer Böden, Verminderung der Planumdichte, Ersparung inerter Materialien und Energie und Verminderung der Baukosten.

Die Flugasche, ein relativ neues Material, ist ein dünn verteiltes Rest, ein Produkt der Verbrennung verstäubter Kohle jeder Klasse, und wird vom Hochofen elektrostatisch versammelt.

In den letzten Jahren wurden in unserer Heimat und aber auch international große Aschenmengen verschiedener Herkunft im Wegebau, bei der Erdarbeitenphase, bei der Stabilisierung - Verbesserung von Böden zum Bau von Aufträgen und besonders bei der Erzeugung neuer Baumaterialien verwendet.

In den Jahren 1977 und 1978 experimentierte Stergiadis zum erstmalig mit Flugasche, aus dem Braunkohlebergwerk bei Ptolemaida, die er zum Bau von Forstwegen (Unterbauschichten) im Lehrwald Pertouli einsetzen ließ. Diese Bemühung untersuchte die mechanischen Eigenschaften und die Experimentfläche wurde dem Verkehr übergeben, ohne daraus Folgerungen zu ziehen.

Andere Forscher (Kollias, Marsellos, Tsonis, Christoulas 1983 und 1986) in einer Forschung über die Stabilisierung von nicht forstlichen Böden mit Asche aus Megalopolis und Ptolemaida zeigten, daß die Flugasche sowohl als Zusatz beim Unterbau und Oberbau von Wegen, als auch für Aufträge in verdichteten Böden verwendet werden kann.

Die selben bewiesen auch, daß sich mit der Stabilisierung die optimale Feuchtigkeit und die Druckfestigkeit der Bodenstichproben verbesserte, während sich ihre maximale trockene Dichte und der Plastizitätsindex vermindert werden.

Im Jahre 1988 zeigten Lynn und Simons in einer Forschung über die Bodenstabilisierung mit Kalk und Asche, daß sich die Tragfähigkeit der stabilisierten Bodenstichproben erhöht wird, wenn auch das Gemisch des Stabilisators und die Erhaltungzeit der Bodenproben vergrössert werden.

Eskioglou, Hirt und Bourlet (1995) haben in den Laboratorien von ETH- Zürich die Möglichkeit zur Verstärkung vorhandener Fahrbahne mit stabilisierten Schichten untersucht. Aus dieser Forschung ergab sich, daß, wenn ein mit Flugasche stabilisierter kiessandiger Boden besser und tragfähiger wird, während sich seine mittlere Verformung unter der Einwirkung der Verkehrslast um 35% vermindert, im Verhältnis zu der gerade auf dem Naturboden berechneten Verformung.

Man berechnete die Erhöhung seiner Tragfähigkeit um 40%, da sein Gleichwertigkeitskoeffizient von $a_i = 0,1$ auf $a_i = 0,14$ vergrössert wird und die Verformung von $d_m = 528,10^{-2}$ mm für eigentliche Kiessande zu $d_m = 350,10^{-2}$ mm für stabilisierte Schicht.

Eskioglou und Efthymiou (1996) in einer Forschung der Varianten der Bodenstabilisierung für einen wirtschaftlich ertragfähigen Verkehr der Erntefahrzeuge bewiesen, daß die Stabilisierung mit einer Beimischung von Asche und Kalk eine befriedigende Lösung ist. Sie haben auch gezeigt- wie auch Kollias, Marsellos und Christoulas-, daß tonige Böden besser mit Asche aus Ptolemaida stabilisiert werden, weil

sie mehr CaO (36%) aufweisen. Im Gegenteil wird die Asche aus Megalopolis für die Stabilisierung nicht verwendet, weil sie arm an Kalzium und deswegen nicht wirtschaftlich konkurrenzfähig mit anderen Methoden ist.

3. Methode und forschungsmaterialien

Für die Forschung wurde das Gebiet des Lehrwaldes Pertouli bevorzugt. Hier ist der geologische Untergrund besonders Flysch und die Böden instabil mit niedriger Tragfähigkeit sind. Nach Ausgrabung aus den anfänglichen Entnahmeplätzen (zufällige Probeentnahme) wurden 60 Bodenstichproben entnommen. Für jede Stichprobe wurde Kornverteilung des Bodenmaterials durchgeführt und die Atterberggrenzen berechnet, um sie in Bodengruppen anzuordnen.

Die Atterberggrenzen des Naturbodens wiesen folgende Werte auf:

Fließgrenzen $LL = 61$, Ausrollgrenze $PL = 20$ und Plastizitätsindex: $PI = 41$, die das Bodenmaterial in der Gruppe CH einordnen. Solche Böden, sehr plastisch, werden als ungeeignet für Auftragsmaterial gehalten.

In der Folge wurden die Stichproben nach der modifizierten Methode AASHTO T-180 verdichtet und für jede Bodenstichprobe die optimale Feuchtigkeit $W\%$ und die entsprechende trockene Dichte Y_d bestimmt.

Der Naturboden hatte folgende Werte:

Optimale Feuchtigkeit $W = 20,5\%$ und maximale trockene Feuchtigkeit $Y_d = 1600 \text{ kg/m}^3$.

Nach den obenerwähnten Messungen beschloß man, die Möglichkeit zur Stabilisierung der Bodenstichproben mit Asche (Produkt aus der Verbrennung von Steinkohle) aus der dampfelektrischen Station der Elektrizitätswerke bei Ptolemaida wegen der obenangeführten zu erforschen.

Die Bodenstichproben (zylindrisch) mit Abmessungen $50 \times 100 \text{ mm}$ wurden statisch nach der Methode 1924/1975, Probe 10 verdichtet. In der Folge wurden mit Feuchtigkeit gleich mit der optimalen ($W\%$) mit verschiedenen Stabilisatorsanteilen (5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 45% und 55%), die Veränderungen ihrer Plastizität berechnet und in der Folge in der Probe der unbehindereten Scherfestigkeit unterzogen, nach Erhaltung der Stichproben für 7 und 28 Tage.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Veränderung der Fließgrenze und der Ausrollgrenze in Verbindung mit dem Anteil der Flugasche, werden im Diagramm 1 dargestellt. Der Unterschied der Ordinaten der Krümmungen LL und PL stellen die Veränderung des Plastizitätsindex PI dar und zeigt den plastischen Bodenzustand.

Im Diagramm 2 wird der Einfluß des Aschenanteils auf die optimale Feuchtigkeit und die maximale trockene Dichte der stabilisierten Stichproben dargestellt.

Im Diagramm 3 werden die Veränderungskrümmungen der Tragfähigkeit der Bodenstichproben in Verbindung wieder zu dem Anteil der Flugasche, die bei der Zubereitung der Stichprobe unbehinderter Druckkraft eingesetzt wurden.

Jeder Tragfähigkeitswert ist der mittlere Wert von 3 Druckstichproben. Die erste Krümmung gibt Tragfähigkeitswerte für Stichproben, die für 7 Tage und die andere für einen Zeitraum von 28 Tagen erhalten wurde.

5. Schlussfolgerungen - diskussion

Aus den obenerwähnten Ergebnissen der durchgeführten Forschung ergab sich folgendes:

- Die untersuchten Böden werden als geeignet weder für Aufträge noch für Begründungsmaterial gehalten, wegen ihrer Plastizität.
- Die Einnischung aber der Flugasche mit dem feinkornigen Bodenmaterial verbesserte seine mechanischen Eigenschaften, die mit den Atterberggrenzen ausgedrückt werden. Sie verursachte eine Verminderung der Ausrollgrenze und des Plastizitätsindex um 1/3 ihres anfänglichen Wertes (vom IP = 41 zu IP = 11), was die Erhaltung der Bodenstabilität mit der Erhöhung der enthaltenen Feuchtigkeit zur Folge hat.
- Die Aschezugabe erhöhte die optimale Feuchtigkeit bei den Verdichtungsproben, was auf seine große spezifische Fläche zurückzuführen ist, und verminderte die maximale trockene Dichte, weil ihre Körner ein kleines spezifisches Gewicht aufweisen. Diese Tatsache findet Anwendung in Böden mit großer Feuchtigkeit, was deren Verdichtung nur nach Verdampfung einer Menge des enthaltenen Wassers möglich ist.
- Die Erhöhung der besten Temperatur trägt auch zur Erhöhung der Tragfähigkeit des stabilisierten Bodens bei.
- Auffallend, nicht aber befriedigend, war die Erhöhung der Druckfestigkeit der stabilisierten Stichproben. Man beobachtet, daß die Tragfähigkeit sich mit dem Anteil der Asche und dem Zeitraum der Erhaltung der Stichproben, indem sie den Wert von $2,2 \text{ kg/cm}^2$ (Erhöhung 135%) nach einer Erhaltung von 7 Tagen und den Wert von $3,2 \text{ kg/cm}^2$ (Erhöhung 220%) nach 28 Tagen Erhaltung und einen Anteil von Asche 45% erreicht.

Schließlich wird aus den obenangeführten festgestellt, daß der Einsatz von eigentlicher Flugasche zur Stabilisierung besonders der tonigen Böden, ein erfolgreicher Eingriff ist, mit dem zunächst ihre Tragfähigkeit erhöht wird ohne aber den von PTP akzeptablen Wert (17 kg/cm^2) zu erreichen, welcher nur mit Zementstabilisierung erreicht werden kann.

Bemerkenswert ist die Verminderung der Plastizität, durch die die Kornverteilung und die mechanischen Kennzeichen der Bodenmaterialien verbessert werden. In diesem Falle ist die Asche ein Baumaterial, das bei der Verbesserung der Zugänglichkeit des Forstwegenetzes mit niedrigen Kosten verwendet werden kann. In Verbindung mit dem Ersparnis von inerten Materialien einerseits und der Ausnutzung von gefährlichen industriellen Nebenprodukten andererseits wird die Bedeutung eines solchen Eingriffes zum Schutz der forstlichen Ökosysteme und der natürlichen Umwelt genereller deutlicher.

T A B E L L E

Tabelle 1. Einwirkung des Aschenanteils auf die Atterberg-Grenzen

Aschenanteil %	Fließgrenze L_L	Plastizitätsgrenze P_L	Plastizitätsindex I_p
0	61	20	41
5	58	22	36
15	53	25	28
25	47	27	20
35	45	29	16
45	41	30	11

Tabelle 2. Einwirkung des Aschenanteils auf die optimale Feuchtigkeit W% und maximale

Aschenanteil %	Dichte kg/m^3	optimale Feuchtigkeit W%
0	1600	20,5
5	1550	20,8
15	1500	21
25	1420	24
35	1400	27,5
45	1400	28

Tabelle 3. Veränderung der Druckfestigkeit der mit Asche stabilisierten Böden

Aschenanteil %	Festigkeit nach 7tägiger Stabilisierung kg/cm^2	Festigkeit nach 28tägiger Stabilisierung kg/cm^2
0	0,8	1,6
5	1,4	2,2
15	1,6	2,5
25	1,8	3
35	2,1	3,1
45	2,2	3,2

Literatur

1. Eskioglou P., Hirt R., Burlet Ed.: 1996. Investigation of pavement performance using the Benkelmann beam method. Wiss. Jahrbuch der Abteilung für Forstwissenschaft und Natürliche Umwelt, Band 27/25, (wird veröffentlicht).
2. Eskioglou P. and Efthymiou: 1996. Alternative stabilization methods of forest roads for an efficient and gentle mechanization in forestry. ECE&FAO&ILO, Seminar 1996. Sinaia - Rumänien.
3. S. Christoulas, S. Kollias, N. Marsellos: 1983. The use of fly-ash in road construction in Greece. Intervention in the 17th World Road Congress, Sydney.

4. Linn, M.D. and Symons M.G.: 1988. Lime-fly ash stabilization of fine grained soils. Australian Road Research 18 (3), pp 153/161.
5. Í. Éarsellos, P. Ósonis, S. Christoulas: 1983. Einsatzforschung von Braunkohleasche aus Megalopolis beim Wegebau. 2tägiges Meeting, Ptolemaida.
6. Í. Éarsellos, S. Christoulas , S. Kollias: 1986. Einsatz der Flugasche beim Wegebau. Bulletin des Ministeriums für Öffentliche Werke, 1986, Athen.