

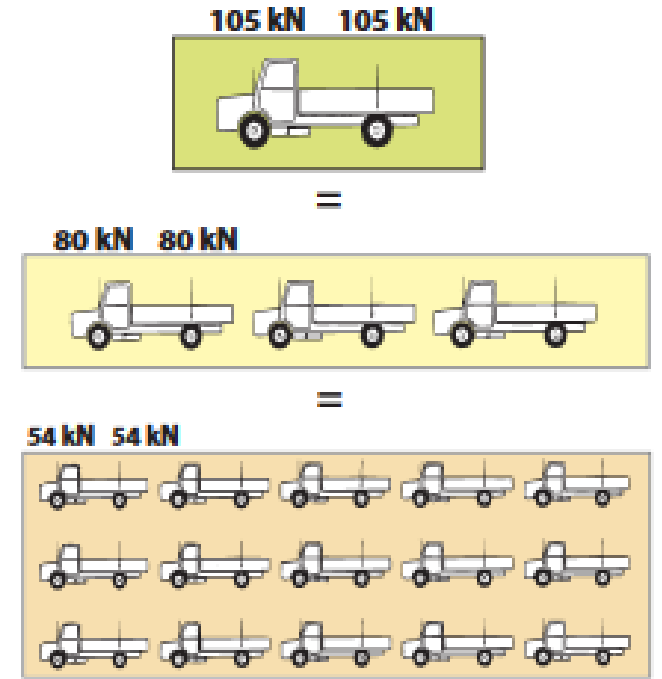
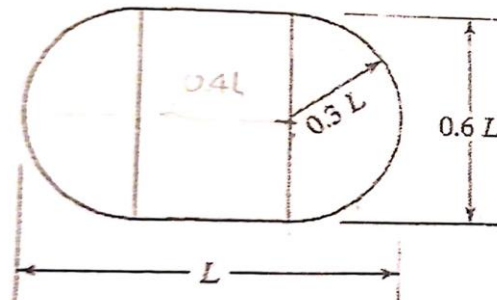
# Κατασκευή οδών

---

Διάλεξη 03 : Στατική ανάλυση εύκαμπτων οδοστρωμάτων I

# Προηγούμενο μάθημα

- Κατηγορίες οχημάτων : δίκυκλα, ΙΧ, **λεωφορεία, φορτηγά, ...**
- Διάταξη τροχών και αξόνων
- Μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος και κατανομή βάρους/άξονα
- Υπέρβαση αξονικού φορτίου και σταθμοί ζύγισης
- Επιφάνεια επαφής ελαστικού - οδοστρώματος



*Three groups of heavy vehicles with equal damaging effect.*

# Ισοδύναμο φορτίο άξονα EALF

---

Βασικό φορτίο υπολογισμών : **18 kip** ( $18 \cdot 10^3$  lb ή 80 kN ή 8 tn) σε **μονό άξονα**.

Στο φορτίο αυτό αντιστοιχεί συγκεκριμένη βλάβη στο οδόστρωμα λόγω **κόπωσης**.

Διαφορετικά φορτία και αριθμό αξόνων τα ανάγουμε στο βασικό φορτίο με χρήση συντελεστών ισοδυναμίας της βλάβης.

**EALF** : equivalent axle load factor

1 EALF = βλάβη από **μία** διέλευση μονο-αξονικού φορτίου 18 kip.

$$\mathbf{EALF} = \frac{\mathbf{n_{t18}}}{\mathbf{n_{tx}}} \quad \text{η οι διελεύσεις κάθε κατηγορίας φορτίου σε χρόνο t}$$

Οι τιμές EALF είναι διαφορετικές για **εύκαμπτα και δύσκαμπτα** οδοστρώματα.

# Ισοδύναμο μονο-αξονικό φορτίο ESAL

---

Η συνολική βλάβη του οδοστρώματος εξαρτάται από τη μοναδιαία βλάβη κάθε κατηγορίας οχημάτων ΚΑΙ από τον συνολικό αριθμό των διελεύσεων της κάθε κατηγορίας **καθόλη την περίοδο σχεδιασμού ή μελέτης.**

**ESAL** : equivalent single-axle load

$$\mathbf{ESAL} = \sum_{i=1}^m \mathbf{EALF}_i * \mathbf{n}_i$$

$i=1,2,\dots,m$  οι διαφορετικές κατηγορίες αξονικών φορτίων

$n_i$  : ο αριθμός των διελεύσεων της κατηγορίας  $i$

# Σύνδεση με κυκλοφοριακά δεδομένα

---

$$\mathbf{ESAL} = \sum_{i=1}^m \mathbf{EALF}_i * \mathbf{n}_i$$

$i=1,2,\dots,m$  οι διαφορετικές κατηγορίες αξονικών φορτίων

$n_i$  : ο αριθμός των διελεύσεων της κατηγορίας  $i$

Πρέπει να λάβουμε υπόψιν:

- Κατανομή οχημάτων ανά κατεύθυνση (D)
- Κατανομή οχημάτων ανά λωρίδα (L)
- Συντελεστή αύξησης κυκλοφορίας (G) για την περίοδο σχεδιασμού (Y)

# Σύνδεση με κυκλοφοριακά δεδομένα

---

$$ESAL = \sum_{i=1}^m EALF_i * \mathbf{n}_i$$

$i=1,2,\dots,m$  οι διαφορετικές κατηγορίες αξονικών φορτίων

$n_i$  : ο αριθμός των διελεύσεων της κατηγορίας  $i$

$$\mathbf{n}_i = (\mathbf{n}_0)_i * (365) * (\mathbf{D}) * (\mathbf{L}) * (\mathbf{G}) * (\mathbf{Y})$$

$(n_0)_i$  = αρχικός αριθμός επαναλήψεων ανά ημέρα για την ομάδα φορτίων  $i$

$D$  : 0.5 αν δεν έχουμε άλλα στοιχεία/ενδείξεις

$L$  : 1 εάν 1 λωρ/κατ, 0.66-0.94 εάν 2 λωρ/κατ, 0.49-0.82 για άνω των 3 λωρ/κατ (λωρίδα σχεδιασμού η εξωτερική)

$G*Y$  :  $\frac{(1+r)^Y - 1}{r}$ ,  $r$  : ετήσιος αριθμός αύξησης και  $Y$  : αριθμός ετών περιόδου σχεδιασμού

# Σύνδεση με κυκλοφοριακά δεδομένα

---

$$ESAL = \sum_{i=1}^m EALF_i * n_i \quad n_i = (\mathbf{n}_0)_i * (D) * (L) * (365) * (G) * (Y)$$

$i=1,2,\dots,m$  οι διαφορετικές κατηγορίες αξονικών φορτίων

$n_i$  : ο αριθμός των διελεύσεων της κατηγορίας  $i$

$$(\mathbf{n}_0)_i = (\mathbf{p}_i * \mathbf{EALF}_i) * (\mathbf{ADT})_0 * (\mathbf{T}) * (\mathbf{A})$$

$p_i$  = ποσοστό (%) ολικών επαναλήψεων για την ομάδα φορτίων  $i$

ADT : average daily traffic

T : ποσοστό φορτηγών στην ADT (%)

A : μέσος αριθμός αξόνων ανά φορτηγό

# Σύνδεση με κυκλοφοριακά δεδομένα

---

Συνδυάζοντας τις προηγούμενες σχέσεις παίρνουμε:

$$\begin{aligned} \mathbf{ESAL} &= \sum_{i=1}^m \mathbf{EALF}_i * \mathbf{n}_i \\ &= \sum_{i=1}^m (\mathbf{p}_i * \mathbf{EALF}_i) * (\mathbf{ADT})_0 * (\mathbf{T}) * (\mathbf{A}) * (\mathbf{G}) * (\mathbf{D}) * (\mathbf{L}) * (\mathbf{365}) * (\mathbf{Y}) \end{aligned}$$



# Σύνδεση με κυκλοφοριακά δεδομένα

---

$T_f$  : συντελεστής φορτηγών = αριθμός διελεύσεων μονο-αξονικού φορτίου 18 kip / φορτηγό

$$T_f = \sum_{i=1}^m (p_i * EALF_i) * (A)$$

Επομένως

$$ESAL = (T_f) * (ADT)_0 * (T) * (D) * (L) * (365) * [(Y) * (G)]$$

# Άσκηση 5

---

Ένας αγροτικός δρόμος δύο λωρίδων κυκλοφορίας έχει μέση ημερήσια κυκλοφορία το πρώτο έτος λειτουργίας 5000 οχημάτων με ποσοστό φορτηγών  $T=30\%$  και ετήσιο ρυθμό αύξησης  $r=3\%$ . Εάν η κατανομή των φορτηγών και των συντελεστών φορτηγών μπορούν να ληφθούν από τους σχετικούς πίνακες FHWA, να υπολογιστεί ο ESAL για περίοδο σχεδιασμού 25 ετών.

Percent trucks

Truck class	Rural systems						Urban systems					
	Interstate	Other Principal	Minor Arterial	Collectors		Range	Interstate	Other Freeways	Other Principal	Minor Arterial	Collectors	Range
				Major	Minor							
<b>Single-unit trucks</b>												
2-axle, 4-tire	45	60	71	73	80	45-80	52	86	67	84	86	52-86
2-axle, 6-tire	8	10	11	10	10	8-11	12	12	15	9	11	9-15
3-axle or more	1	3	4	4	2	2-4	2	4	3	2	<1	<1-4
All single units	53	73	86	87	92	53-92	66	93	85	95	97	66-97
<b>Multiple-unit trucks</b>												
4-axle or less	5	3	3	2	2	2-5	5	6	3	2	1	1-5
5-axle <sup>b</sup>	41	23	11	10	6	4-41	28	13	12	3	2	2-28
6-axle or more <sup>b</sup>	1	1	<1	1	<1	<1-1	1	<1	<1	<1	<1	<1-1
All multiple units	47	27	14	13	8	4-47	34	16	15	5	3	3-34
All trucks	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	

\* Compiled from data supplied by the Highway Statistics Division, U.S. Federal Highway Administration.

<sup>b</sup> Including full-trailer combinations in some states.

Source: AASHTO (1995).

Truck factors

Vehicle type	Rural systems						Urban systems					
	Interstate	Other Principal	Minor Arterial	Collectors		Range	Interstate	Other Freeways	Other Principal	Minor Arterial	Collectors	Range
				Major	Minor							
<b>Single-unit trucks</b>												
2-axle, 4-tire	0.003	0.003	0.003	0.017	0.003	0.003-0.017	0.002	0.015	0.002	0.006	—	0.006-0.015
2-axle, 6-tire	0.21	0.25	0.28	0.41	0.19	0.19-0.41	0.17	0.23	0.24	0.23	0.13	0.13-0.24
3-axle or more	0.61	0.86	1.06	1.26	0.45	0.45-1.26	0.61	0.74	1.02	0.76	0.72	0.61-1.02
All single units	0.66	0.68	0.68	0.12	0.03	0.03-0.12	0.65	0.66	0.69	0.64	0.16	0.04-0.16
<b>Tractor combinations</b>												
4-axle or less	0.62	0.92	0.62	0.37	0.91	0.37-0.91	0.98	0.48	0.71	0.46	0.40	0.40-0.98
5-axle <sup>b</sup>	1.09	1.25	1.05	1.67	1.11	1.05-1.67	1.07	1.17	0.97	0.77	0.63	0.63-1.17
6-axle or more <sup>b</sup>	1.23	1.54	1.04	2.21	1.35	1.04-2.21	1.05	1.19	0.96	0.64	—	0.64-1.19
All multiple units	1.04	1.21	0.97	1.52	1.08	0.97-1.52	1.05	0.96	0.91	0.67	0.53	0.53-1.05
All trucks	0.52	0.38	0.21	0.30	0.12	0.12-0.52	0.39	0.23	0.21	0.07	0.24	0.07-0.39

\* Compiled from data supplied by the Highway Statistics Division, U.S. Federal Highway Administration.

<sup>b</sup> Including full-trailer combinations in some states.

Source: AASHTO (1995).

# Άσκηση 6

---

Να υπολογιστεί το σύνολο των ισοδύναμων αξονικών φορτίων σε οδό που έχει τα ακόλουθα κυκλοφοριακά δεδομένα:

- Κατανομή ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας σε δύο λωρίδες 50%-50%
- Μέση ημερήσια κυκλοφορία 500 οχήματα
- Εκατοστιαίο ποσοστό φορτηγών 25%
- Ετήσια αύξηση κυκλοφορίας 5,5%
- Ισοδύναμα αξονικά φορτία των 18kip/100 φορτηγά ίσα με 61,98
- Περίοδος μελέτης 10 έτη

# Άσκηση 7

---

Η μέση ημερήσια κυκλοφορία αξονικών φορτίων 28, 32, 36 kip (απλοί άξονες) σε αυτοκινητόδρομο είναι 120, 100, 50 οχήματα αντίστοιχα. Ποια είναι τα ισοδύναμα αξονικά φορτία των 18 kip για εύκαμπτο ( $p_t=2.5$ ;  $SN=4$ ) και δύσκαμπτο οδόστρωμα ( $p_t=2.5$  ;  $D=10$  in);

Φορτίο άξονα (kips)	Άλληλ άξονες, $P_t = 2.5$					
	SN					
	1	2	3	4	5	6
2	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
4	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,002
6	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
8	0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03
10	0,08	0,10	0,12	0,10	0,09	0,08
12	0,17	0,20	0,23	0,21	0,19	0,18
14	0,33	0,36	0,40	0,39	0,36	0,34
16	0,59	0,61	0,65	0,65	0,62	0,61
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	2,61	1,57	1,49	1,47	1,51	1,55
22	2,48	2,38	2,17	2,09	2,18	2,30
24	3,69	3,49	3,09	2,89	3,03	3,27
26	5,33	4,99	4,31	3,91	4,09	4,48
28	7,49	6,98	5,90	5,21	5,39	5,98
30	10,31	9,55	7,94	6,83	6,97	7,79
32	13,90	12,82	10,52	8,85	8,88	9,95
34	18,41	16,94	13,74	11,34	11,18	12,51
36	24,02	22,04	17,73	14,38	13,93	15,50
38	30,90	28,30	22,61	18,06	17,20	18,98
40	39,26	35,89	27,51	22,50	21,08	23,04

Φορτίο άξονα (kips)	Δίδυμοι άξονες, $P_t = 2.5$					
	SN					
	1	2	3	4	5	6
10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
12	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
14	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02
16	0,04	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04
18	0,07	0,10	0,11	0,09	0,08	0,07
20	0,11	0,14	0,16	0,14	0,12	0,11
22	0,16	0,20	0,23	0,21	0,18	0,17
24	0,23	0,27	0,31	0,29	0,26	0,24
26	0,33	0,37	0,42	0,40	0,36	0,34
28	0,45	0,49	0,55	0,53	0,50	0,47
30	0,61	0,65	0,70	0,70	0,66	0,63
32	0,81	0,84	0,89	0,89	0,86	0,83
34	1,06	1,08	1,11	1,11	1,09	1,08
36	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38
38	1,75	1,73	1,69	1,68	1,70	1,73
40	2,21	2,16	2,06	2,03	2,08	2,14
42	2,76	2,67	2,49	2,43	2,51	2,61
44	3,41	3,27	2,99	2,88	3,00	3,16
46	4,18	3,98	3,58	3,40	3,55	3,79
48	5,08	4,80	4,25	3,98	4,17	4,49

Πίνακας 3.4 b. Τιμές EALF για εύκαμπτα οδοστρώματα με SN=1-6 και  $p_t=2.5$  κατά AASHTO (1993)

Φορτίο άξονα (kips)	Άλληλ άξονες, $P_t = 4.0$					
	Πάχος πλάκας (in)					
	6	7	8	9	10	11
2	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
6	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
8	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
12	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17
14	0,38	0,36	0,35	0,34	0,34	0,34
16	0,63	0,62	0,61	0,60	0,60	0,60
18	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,51	1,52	1,55	1,57	1,58	1,58
22	2,21	2,20	2,28	2,34	2,38	2,40
24	3,16	3,10	3,23	3,36	3,45	3,50
26	4,41	4,26	4,42	4,67	4,85	4,95
28	6,05	5,76	5,92	6,29	6,61	6,81
30	8,16	7,67	7,79	8,28	8,79	9,14
32	10,81	10,06	10,10	10,70	11,43	11,99
34	14,12	13,04	12,94	13,62	14,59	15,43
36	18,20	16,69	16,41	17,12	18,33	19,52
38	23,15	21,14	20,51	21,31	22,74	24,31
40	29,11	26,49	25,65	26,29	27,91	29,90

Φορτίο άξονα (kips)	Δίδυμοι άξονες, $P_t = 2.5$					
	Πάχος πλάκας (in)					
	6	7	8	9	10	11
10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
14	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
16	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
18	0,16	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13
20	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20
22	0,34	0,32	0,31	0,31	0,30	0,30
24	0,48	0,46	0,45	0,44	0,44	0,44
26	0,64	0,64	0,63	0,62	0,62	0,62
28	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
30	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14
32	1,43	1,44	1,47	1,49	1,50	1,51
34	1,82	1,82	1,87	1,92	1,95	1,96
36	2,29	2,27	2,35	2,43	2,48	2,51
38	2,85	2,80	2,941	3,04	3,12	3,16
40	3,52	3,42	3,55	3,74	3,87	3,94
42	4,32	4,16	4,30	4,55	4,74	4,86
44	5,26	5,01	5,16	5,48	5,75	5,92
46	6,36	6,01	6,14	6,53	6,90	7,14
48	7,64	7,16	7,27	7,73	8,21	8,55

Πίνακας 3.6 b. Τιμές EALF για δύσκαμπτα οδοστρώματα με D=6-11 in και  $p_t=2.5$  κατά AASHTO (1993)

# Δομή μαθήματος

---

## Θεωρία (1/2)

1. Εισαγωγή στα οδοστρώματα
2. Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας εδάφους
3. Φορτία οχημάτων
4. Στατική ελαστική ανάλυση εύκαμπτων οδοστρωμάτων
5. Σχεδιασμός εύκαμπτων οδοστρωμάτων
6. Στατική ελαστική ανάλυση δύσκαμπτων οδοστρωμάτων

# Δομή μαθήματος

---

## Θεωρία (2/2)

7. Σχέδιασμος δύσκαμπτων οδοστρωμάτων
8. Ασφαλτικά υλικά
9. Αδρανή υλικά
10. Σύνθεση ασφαλτικού σκυροδέματος
11. Κατασκευή στρώσεων
12. Φθορές οδοστρωμάτων

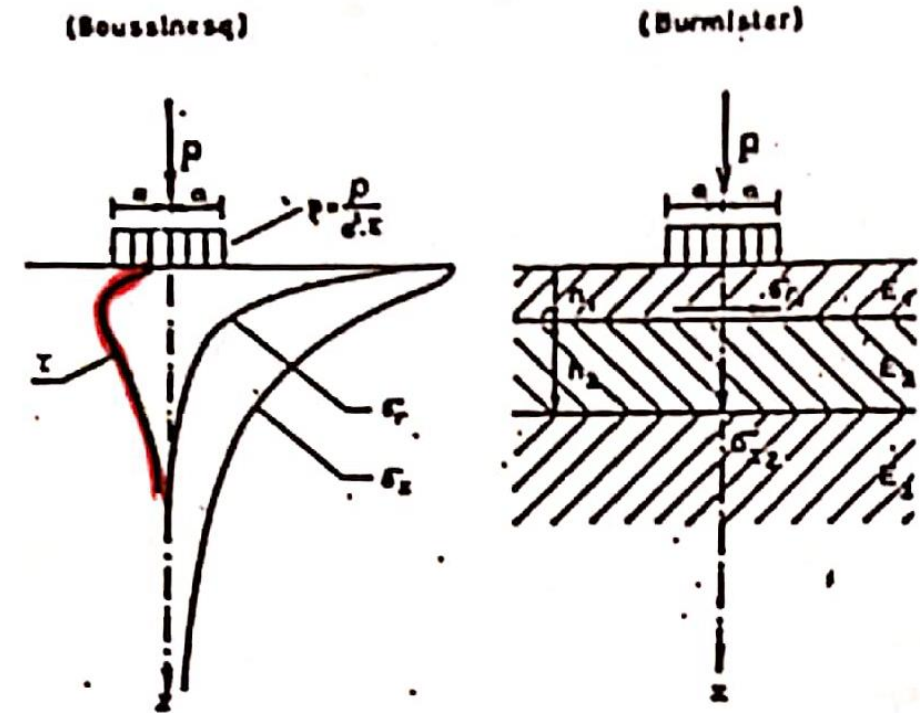


# Στατική ανάλυση εύκαμπτων οδοστρωμάτων

**Στόχος :** προσδιορισμός ελαστικής απόκρισης εύκαμπτων οδοστρωμάτων σε φορτία οχημάτων.

## Βασικές θεωρίες υπολογισμού:

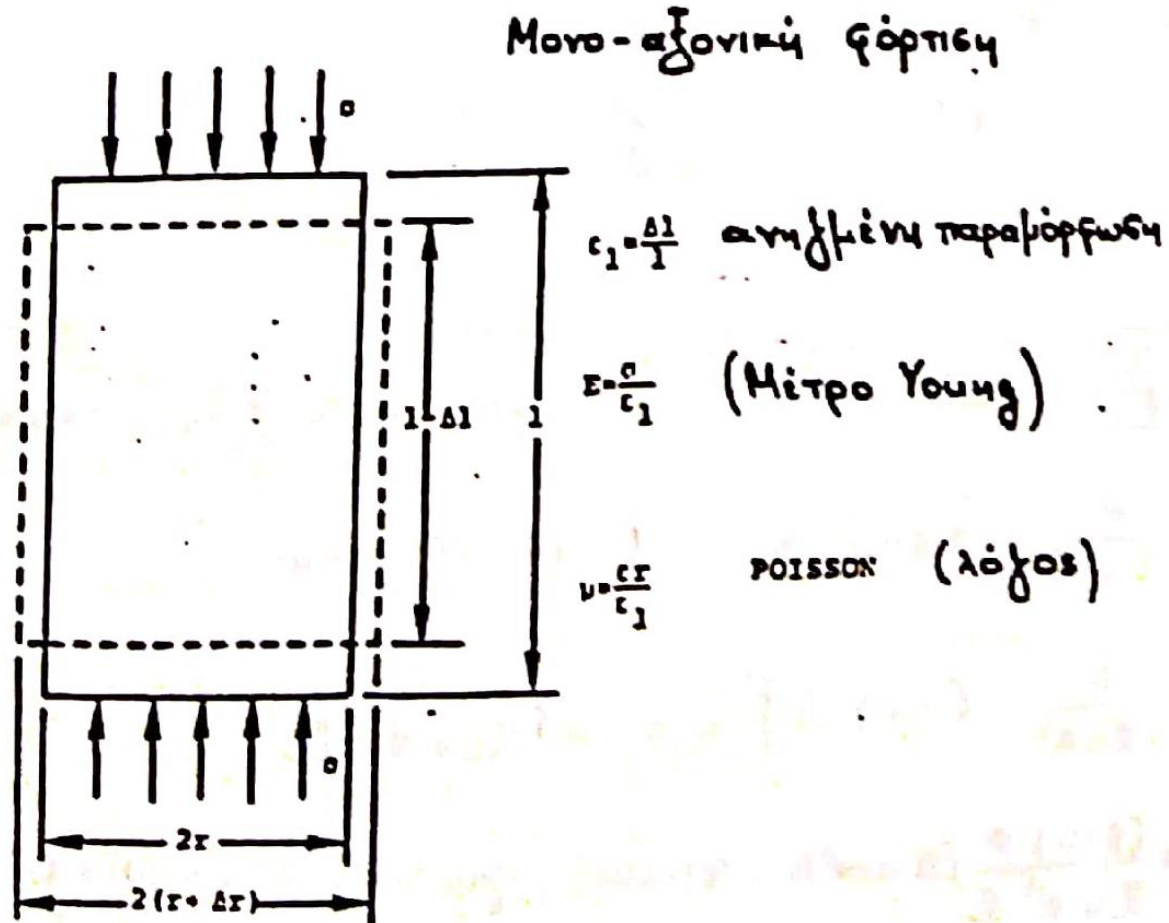
- Boussinesq: ελαστικός, ομογενής και ισότροπος ημίχωρος
- Burmister: πολλαπλές επάλληλες ελαστικές στρώσεις εδραζόμενες επί ελαστικού ημίχωρου



# Θεωρία Boussinesq (1885)

---

# Υπενθύμιση



# Παραδοχές

---

## Ημίχωρος

Γραμμικά ελαστικός

Ομογενής

Ισότροπος

Οριζόντια επιφάνεια

Άπειρο βάθος

## Φορτίο

Δρα στην επιφάνεια

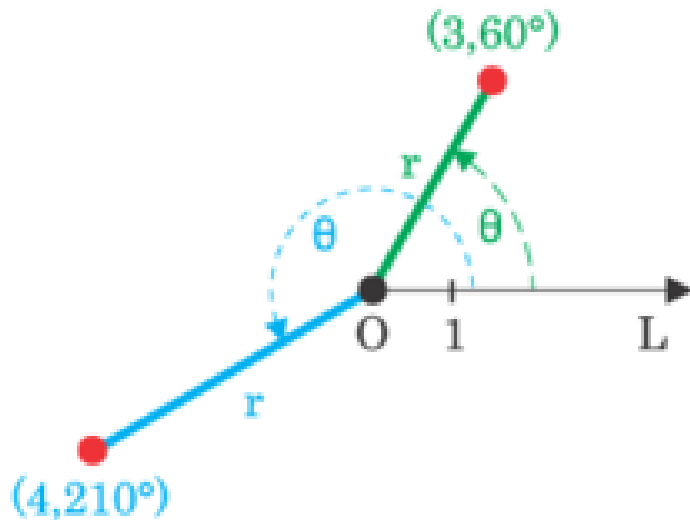
Συγκεντρωμένο  $P$

ή ομοιόμορφα κατανεμημένο σε

κυκλική επιφάνεια  $p=P/(\pi \cdot \alpha^2)$

$\alpha$ : ακτίνα κύκλου επαφής

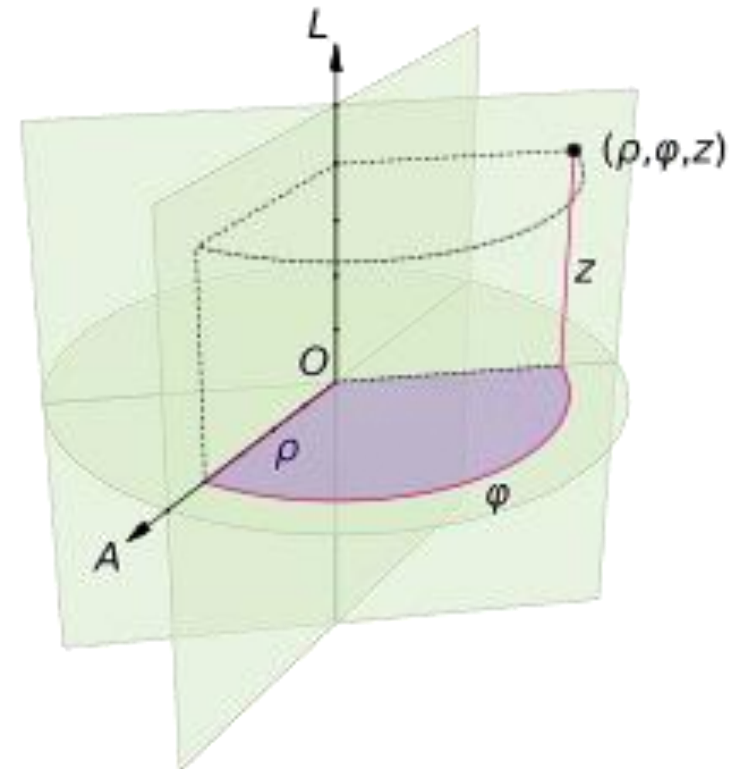
# Πολικό και κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων



Πολικές συντεταγμένες

L : πολικός άξονας

Σημείο : (ακτίνα, γωνία σε μοίρες)



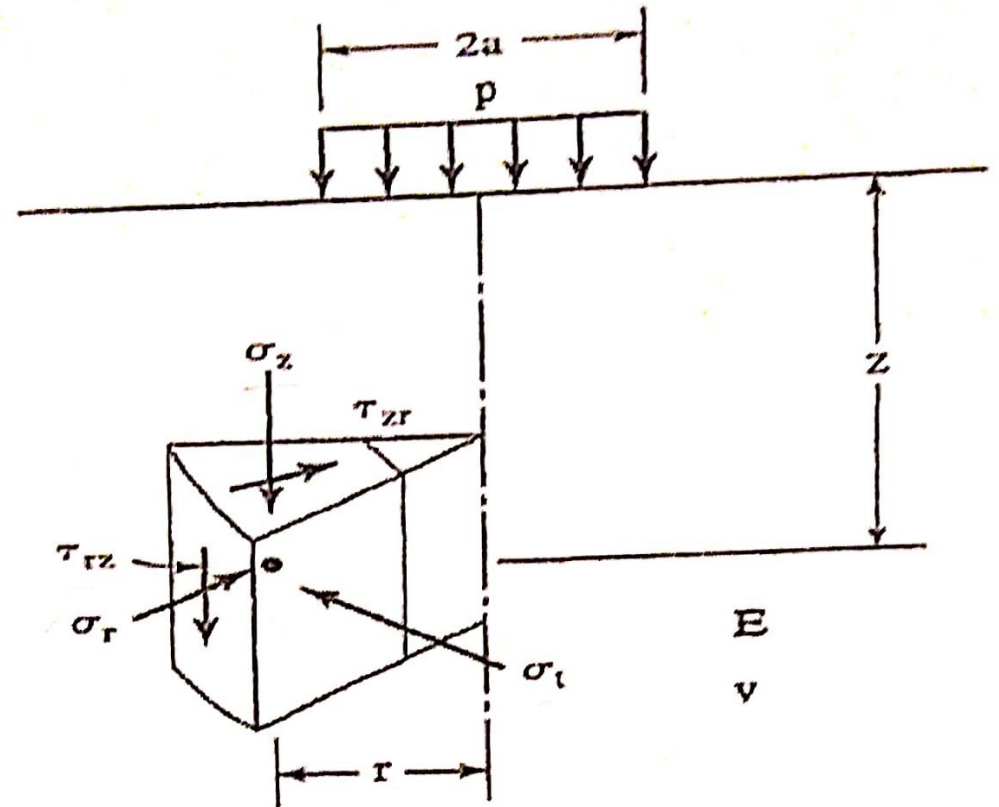
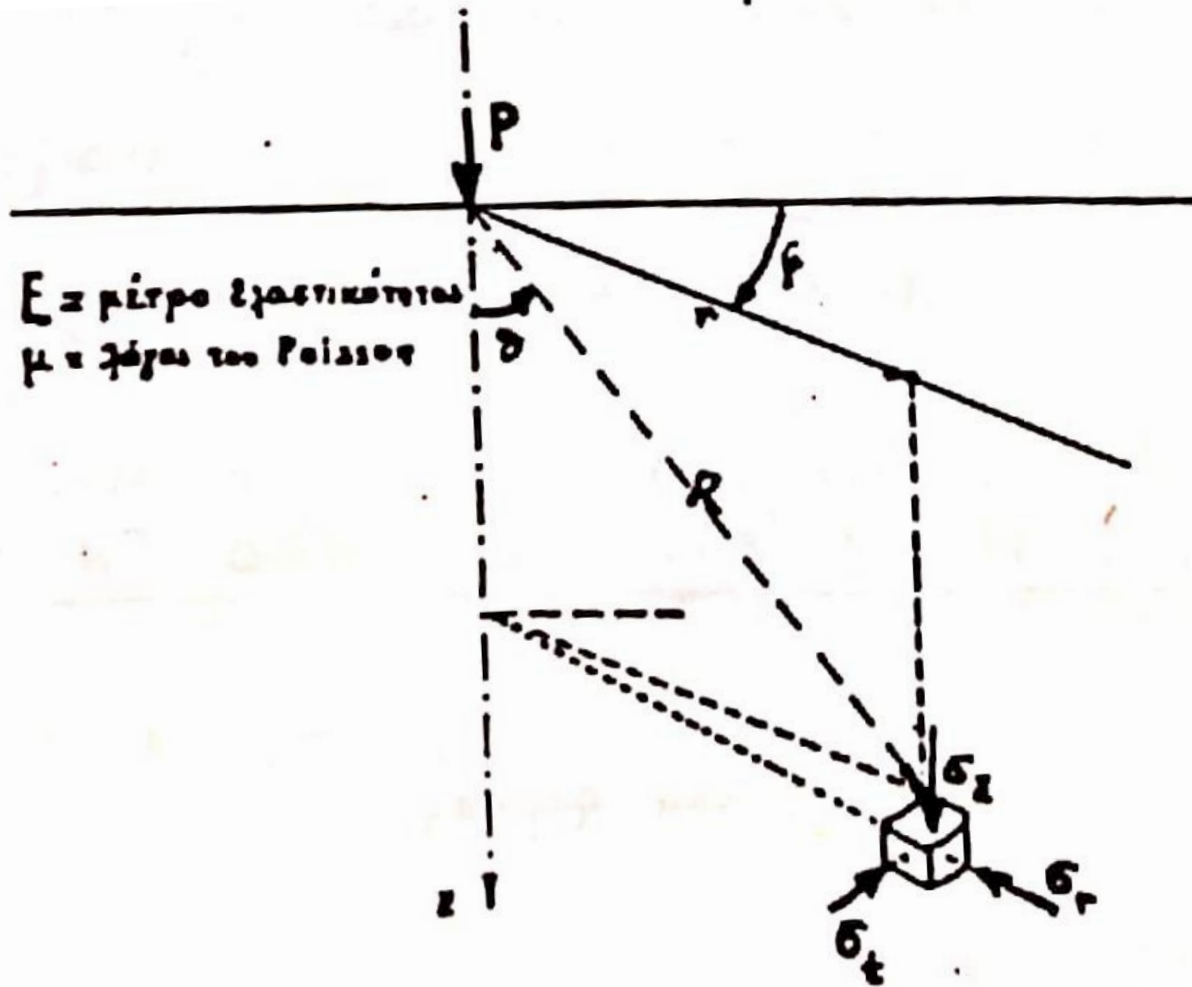
Κυλινδρικές συντεταγμένες

A : πολικός άξονας

L : διαμήκης άξονας

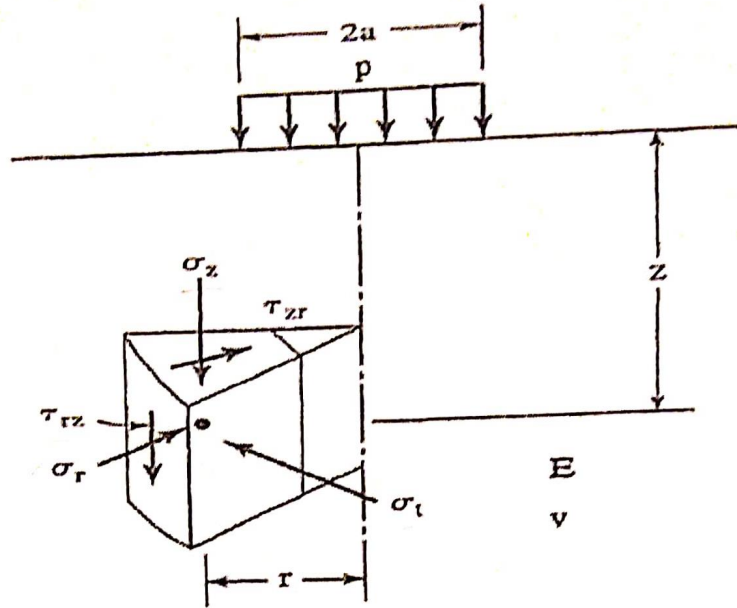
Σημείο : (ακτίνα, γωνία σε μοίρες, ύψος z)

# Υπολογισμός εντατικής κατάστασης σε κάθε σημείο



Πηγή: Κόλιας και Λοίζος, Σημειώσεις οδοστρωμάτων, ΕΜΠ 1999

# Υπολογισμός εντατικής κατάστασης σε κάθε σημείο



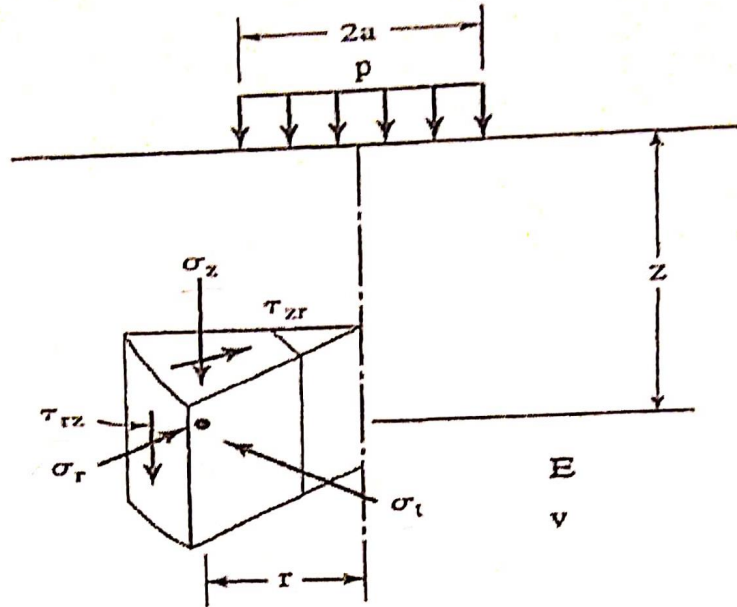
$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^3 \theta$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} \left( 3 \cos \theta \sin^2 \theta - \frac{1-2\nu}{1+\cos \theta} \right)$$

$$\sigma_t = \frac{(1-2\nu)P}{2\pi R^2} \left( -\cos \theta + \frac{1}{1+\cos \theta} \right)$$

$$\tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi R^2} \cos^2 \theta \sin \theta$$

# Υπολογισμός εντατικής κατάστασης σε κάθε σημείο



$$\epsilon_z = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R^2 E} (3\cos^3\theta - 2\nu \cos\theta)$$

$$\epsilon_r = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R^2 E} \left[ -3\cos^3\theta + (3-2\nu) \cos\theta - \frac{1-2\nu}{1+\cos\theta} \right]$$

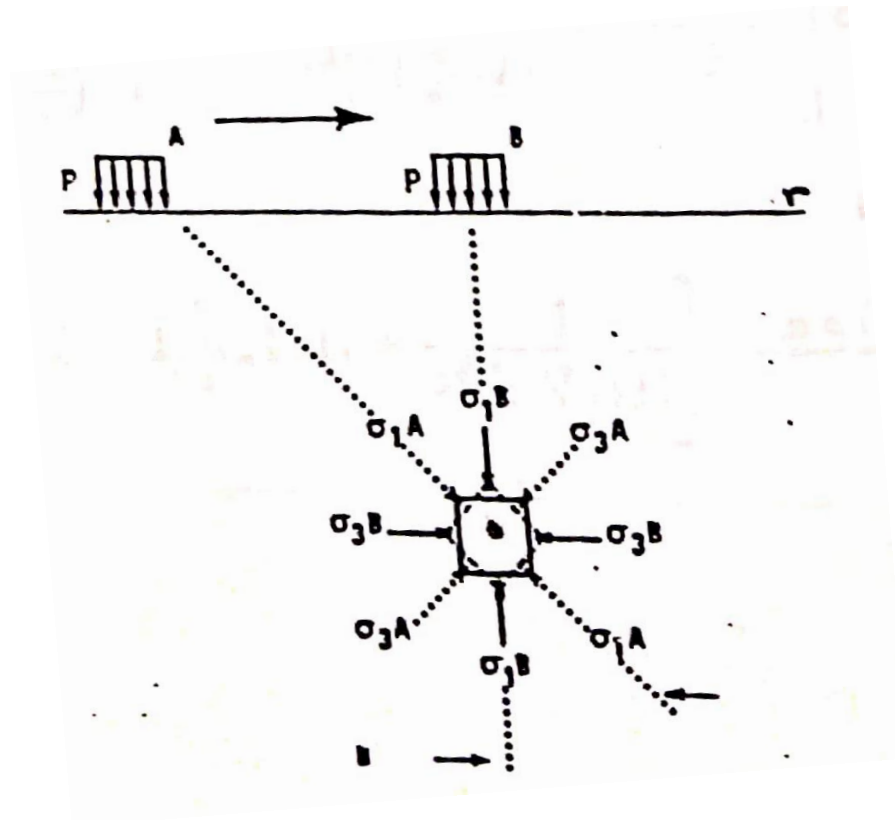
$$\epsilon_t = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R^2 E} \left( -\cos\theta + \frac{1-2\nu}{1+\cos\theta} \right)$$

$$u_z = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R E} [2(1-\nu) + \cos^2\theta]$$

$$u_r = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R E} \left[ \cos\theta \sin\theta - \frac{(1-2\nu)\sin\theta}{1+\cos\theta} \right]$$



# Χαρακτηριστική θέση Β



$\theta=0, r=0$

Κατακόρυφος άξονας

Οι ορθές τάσεις

μετατρέπονται σε κύριες.

Κρίσιμη θέση.

# Κατακόρυφο φορτίο $P$ – τάσεις στον κατακόρυφο άξονα

---

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2}$$

$$\sigma_r = \sigma_t = -\frac{(1-2\nu)P}{4\pi z^2}$$

$$\tau_{rz} = 0$$

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\nu)(3-2\nu)P}{2\pi z^2 E}$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_t = -\frac{(1+\nu)(1+2\nu)P}{4\pi z^2 E}$$

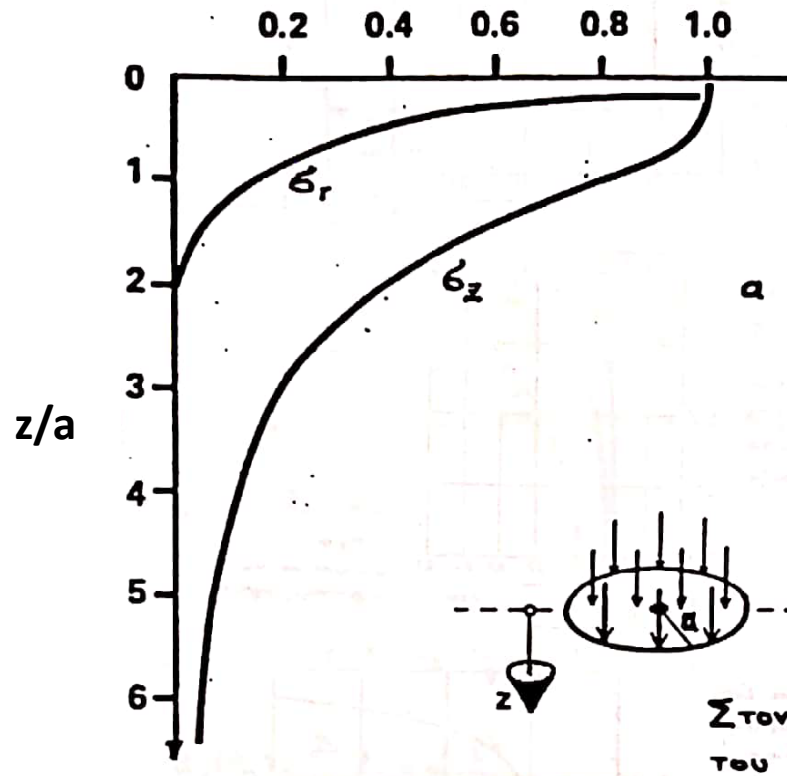
$$u_z = \frac{(1+\nu)(3-2\nu)P}{2\pi z E}$$

$$u_r = 0$$

Στην επιφάνεια του ελαστικού ημίχωρου ( $R=r, \theta=90^\circ$ ) η κατακόρυφη μετατόπιση λαμβάνει τη μορφή:

$$u_z = \frac{(1-\nu^2)P}{\pi r E}$$

# Ομοιόμορφο φορτίο $p$ – τάσεις στον κατακόρυφο άξονα



$$\sigma_z = p [1 - (1 + (\alpha/z)^2)^{-1.5}]$$

$$\sigma_r = \sigma_t = p \left[ \frac{1+2\nu}{2} - (1+\nu)(1+(\alpha/z)^2)^{-0.5} + 0.5(1+(\alpha/z)^2)^{-1.5} \right]$$

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\nu)p}{E} \left[ (z/a)(1+(z/a)^2)^{-1.5} - (1-2\nu)((z/a)(1+(z/a)^2)^{-0.5} - 1) \right]$$

$$\varepsilon_r = \varepsilon_t = -\frac{(1+\nu)p}{2E} \left[ (z/a)(1+(z/a)^2)^{-1.5} + (1-2\nu)((z/a)(1+(z/a)^2)^{-0.5} - 1) \right]$$

$$u_z = \frac{(1+\nu)p\alpha}{E} \left[ (1+(z/a)^2)^{-0.5} + (1-2\nu)((1+(z/a)^2)^{+0.5} - (z/a)) \right]$$

Πηγή: Κόλιας και Λοΐζος, Σημειώσεις οδοστρωμάτων, ΕΜΠ 1999

# Σύγκριση σημειακού – κυκλικού φορτίου

$$\sigma_{ερ}(x=y=0) = \frac{3P}{2\pi z^2} = q \frac{3}{2} \left(\frac{a}{z}\right)^2$$

$\frac{a}{z}$	$\frac{a}{z}$	$\sigma_z / q (r=0)$		Διαφορά (%) $\frac{\sigma_{2P} - \sigma_{2K}}{\sigma_{2K}} \cdot 100$	Διαστασιολογία $\sigma_{2K} \geq \sigma_{2P}$
		Σημειακό φορτίο $\frac{3}{2} \left(\frac{a}{z}\right)^2$	Κυκλικό φορτίο $\frac{(z/a)^3}{(1+(z/a)^4)^{3/2}}$		
1	1	1,5	0,65	πολύ μεγάλη	Οδονομία: Μελέτη με κυκλικό φορτίο
2	1/2	0,375	0,284	32	
3	1/3	0,167	0,146	14	
4	1/4	0,094	0,087	8	Ανεκτή διαφορά
5	1/5	0,060	0,057	5	
∴	∴	∴	∴	< 5	Μικρά λάσες

Κριτήριο επιλογής φόρτισης είναι ο λόγος  $\frac{z}{a}$

Πηγή: Κόλιας και Λοίζος, Σημειώσεις οδοστρωμάτων, ΕΜΠ 1999

# Άσκηση 1

---

Αν η ακτίνα επαφής τροχού είναι  $a=15$  cm πόσο πρέπει να είναι το πάχος της στρώσης για να περιοριστεί η κατακόρυφη τάση στην επιφάνεια έδρασης στο (i)  $1/10$  , (ii)  $1/20$  της πίεσης του τροχού  $p$ ;

## Άσκηση 2

---

Θεωρείται κατακόρυφο κατανεμημένο φορτίο  $\rho$  που δρα σε κυκλική επιφάνεια ακτίνας  $a=0,20\text{m}$  του ελαστικού ημίχωρου.

Να προσδιοριστεί το βάθος  $z$  στο οποίο η κατακόρυφη τάση  $\sigma_z$  θα είναι ίση με το (i)  $1/4$  και (ii)  $1/20$  της πίεσης  $\rho$ .

# Άσκηση 3

---

Θεωρείται κατακόρυφο κατανεμημένο φορτίο  $\rho$  που δρα σε κυκλική επιφάνεια ακτίνας  $\alpha=0,15$  m του ελαστικού ημίχωρου.

Να προσδιοριστεί το βάθος  $z$  στο οποίο η κατακόρυφη μετατόπιση  $u_z$  θα είναι ίση με το  $\frac{1}{2}$  της τιμής της στην επιφάνεια του ημίχωρου.

Δίδεται ο λόγος Poisson ίσος με 0,5.

## Άσκηση 4

---

Να προσδιοριστεί ο λόγος της κατακόρυφης μετατόπισης  $u_z^c$  για συγκεντρωμένο φορτίο  $P$  στην επιφάνεια ελαστικού ημίχωρου προς την αντίστοιχη μετατόπιση  $u_z^d$  για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο  $\rho=P/\pi a^2$  που δρα σε κυκλική επιφάνεια ακτίνας  $a$ .

Δίδονται:  $\nu=0,25$  ;  $z=1$  m ;  $a=0,20735$  m

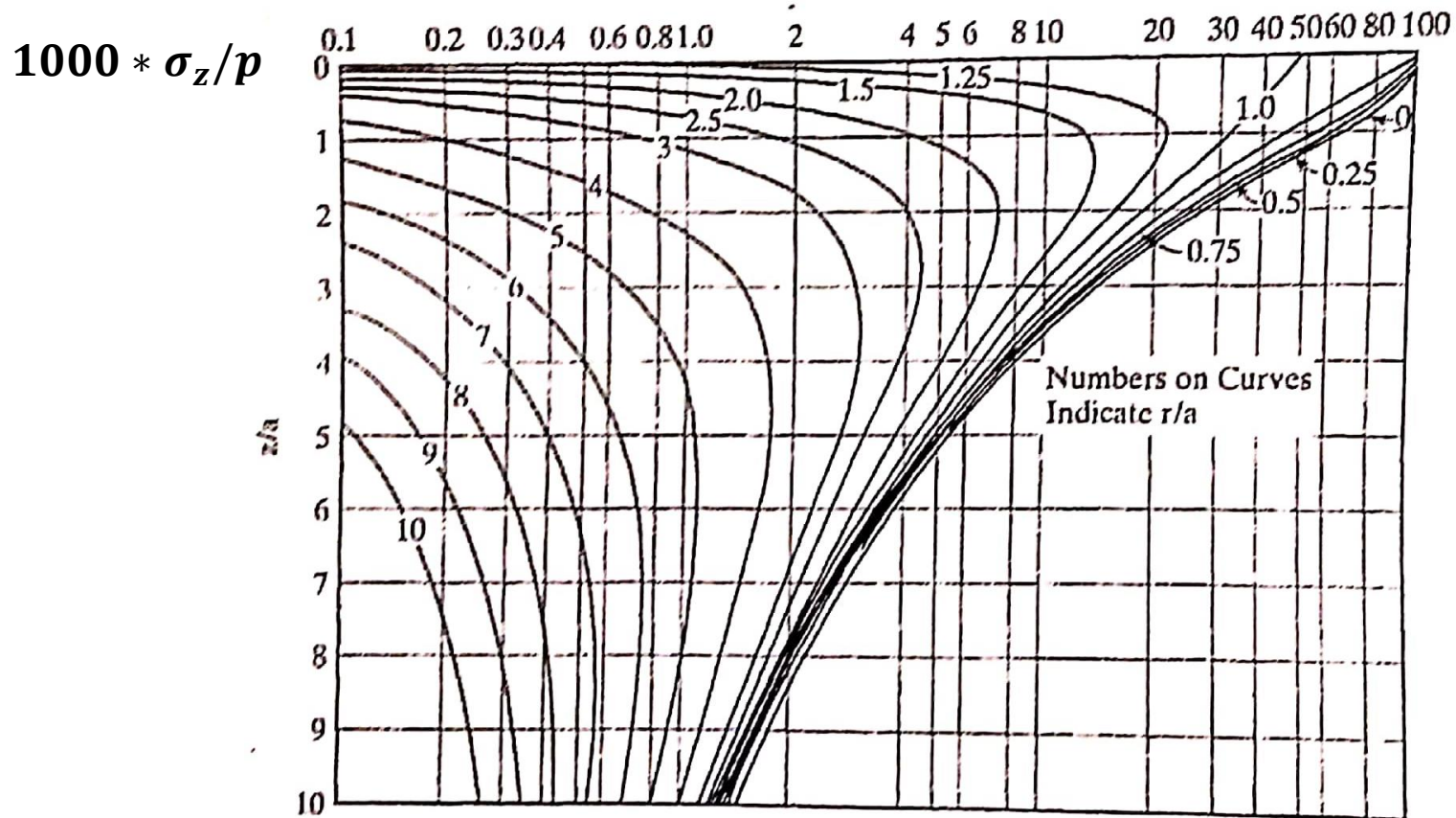


# Άσκηση 5

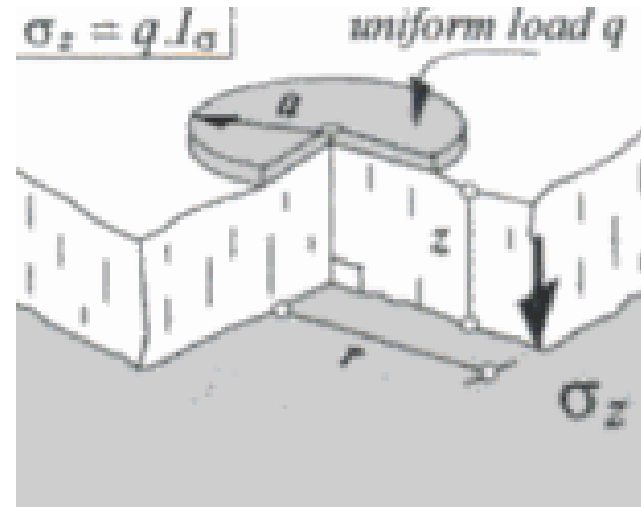
---

Ζητείται να υπολογιστεί ακριβώς κάτω από τον τροχό η τάση και η κατακόρυφη μετατόπιση σε βάθος  $z=0.60$  m εντός του εδάφους όταν το φορτίο του τροχού είναι  $P=60\text{kN}$  , η πίεση ελαστικού  $p=0,50$  MPa, το μέτρο ελαστικότητας  $E=1000$  MPa, ο λόγος του Poisson  $\nu=0,3$  και η επιφάνεια επαφής είναι κυκλική.

# Ομοιόμορφο φορτίο $p$ – τάσεις στον κατακόρυφο άξονα

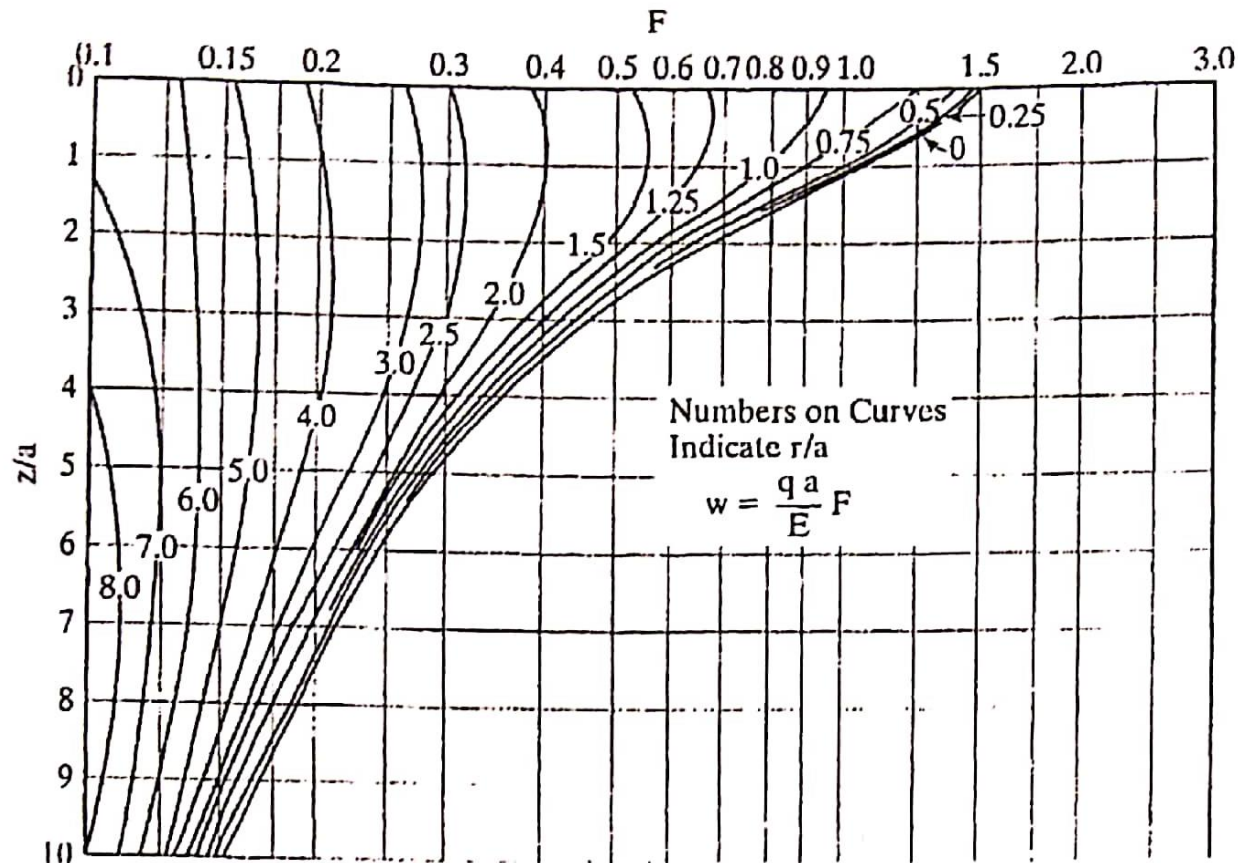


Νομογραφήματα για  $\nu=0,5$



χήμα 4.2. Κατακόρυφη τάση συναρτήσεσι του βάθους σε ελαστικό ημίχωρο ύπο διανεμημένο επί κυκλικής επιφάνειας φορτίο (από Foster και Ahlvin, 1954).

# Ομοιόμορφο φορτίο $ρ$ – τάσεις στον κατακόρυφο άξονα



Νομογραφήματα για  $\nu=0,5$

Σχήμα 4.3. Κατακόρυφη μετατόπιση συναρτήσει του βάθους σε ελαστικό ημίχωρο υπό διανεμημένο επί κυκλικής επιφάνειας φορτίο (από Foster και Ahlvin, 1954).

# Άσκηση 5

---

Ζητείται να υπολογιστεί ακριβώς κάτω από τον τροχό η τάση και η κατακόρυφη μετατόπιση σε βάθος  $z=0.60$  m εντός του εδάφους όταν το φορτίο του τροχού είναι  $P=60\text{kN}$ , η πίεση ελαστικού  $p=0,50$  MPa, το μέτρο ελαστικότητας  $E=1000$  MPa, ο λόγος του Poisson  $\nu=0,3$  και η επιφάνεια επαφής είναι κυκλική.

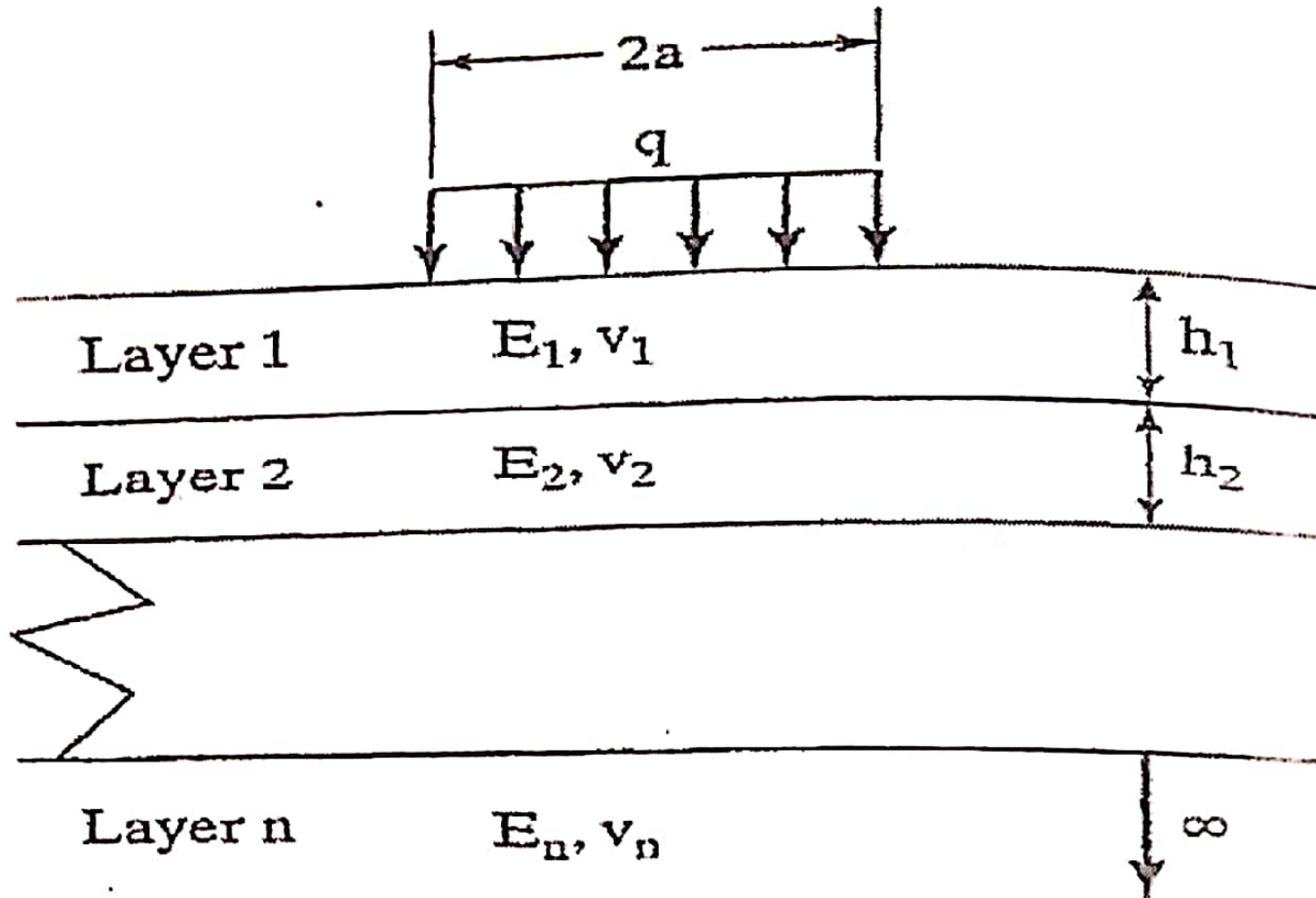
# Όμως

---

- Ο χώρος δεν είναι ενιαίος αλλά σύστημα στρώσεων
- Η διάταξη των στρώσεων είναι τέτοια ώστε η δυσκαμψία και η πυκνότητα να αυξάνεται προς τα πάνω
- Καλύτερη ποιότητα στην επιφανειακή στρώση

# Θεωρία Burmister (1943, 1945)

---



Ευχαριστώ

---