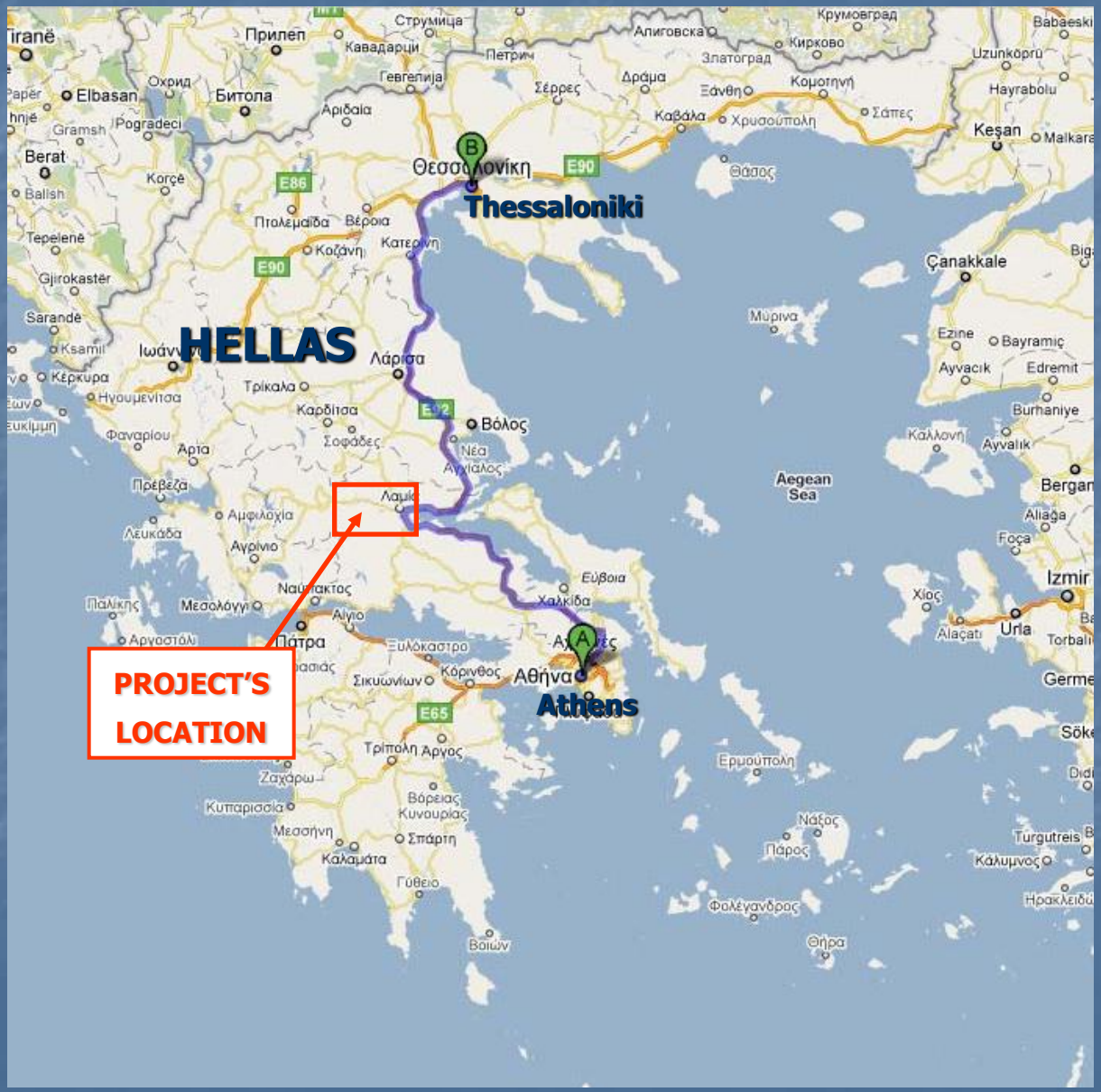
4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications
EPS 2011 Norway

FIRST TIME APPLICATION OF EXPANDED POLYSTYRENE IN HIGHWAY PROJECTS IN GREECE

Georgios Papacharalampous, Civil Engineer MSc
Elias Sotiropoulos, Civil Engineer MSCE

Sotiropoulos & Associates SA, Greece

PROJECT DESCRIPTION – HISTORICAL AND GEOLOGICAL BACKGROUND



central Greece

south of Maliakos Gulf

and the city of Lamia

Athens-Thessaloniki

E75 major highway

length: 1km

H_{max} embankment : 8.5m

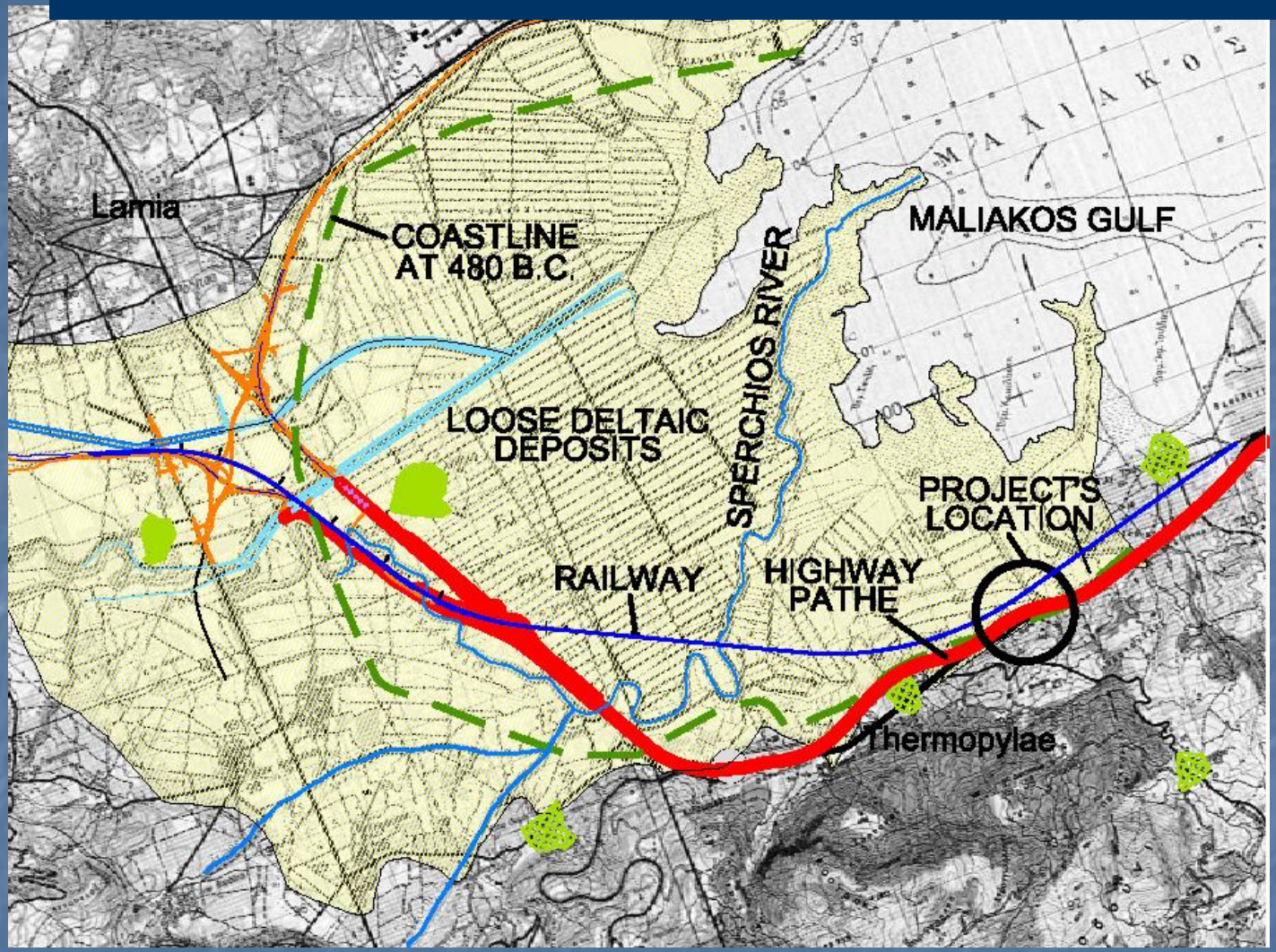
period: summer 2008

PROJECT DESCRIPTION – HISTORICAL AND GEOLOGICAL BACKGROUND

adjacent to historical site of the battle of Thermopylae (480 B.C.)
Leonidas, king of Sparta + 300 warriors hindered Persian invasion to Europe

battle 480 B.C. : narrow passage between the sea and the mountains

PROJECT DESCRIPTION – HISTORICAL AND GEOLOGICAL BACKGROUND



recent marine and deltaic deposits

- plain and swampy area
- GL ≈+1.0m
- GWL = 0 (surface)
- very poor ground properties

7.5m highway embankment / underpass of local road and culverts
8.5m approach embankment for Thermopylae I/C branch overpass
replacement 1m / stone columns D=80cm, L=11-15m, s=3m

PROJECT DESCRIPTION –HISTORICAL AND GEOLOGICAL BACKGROUND

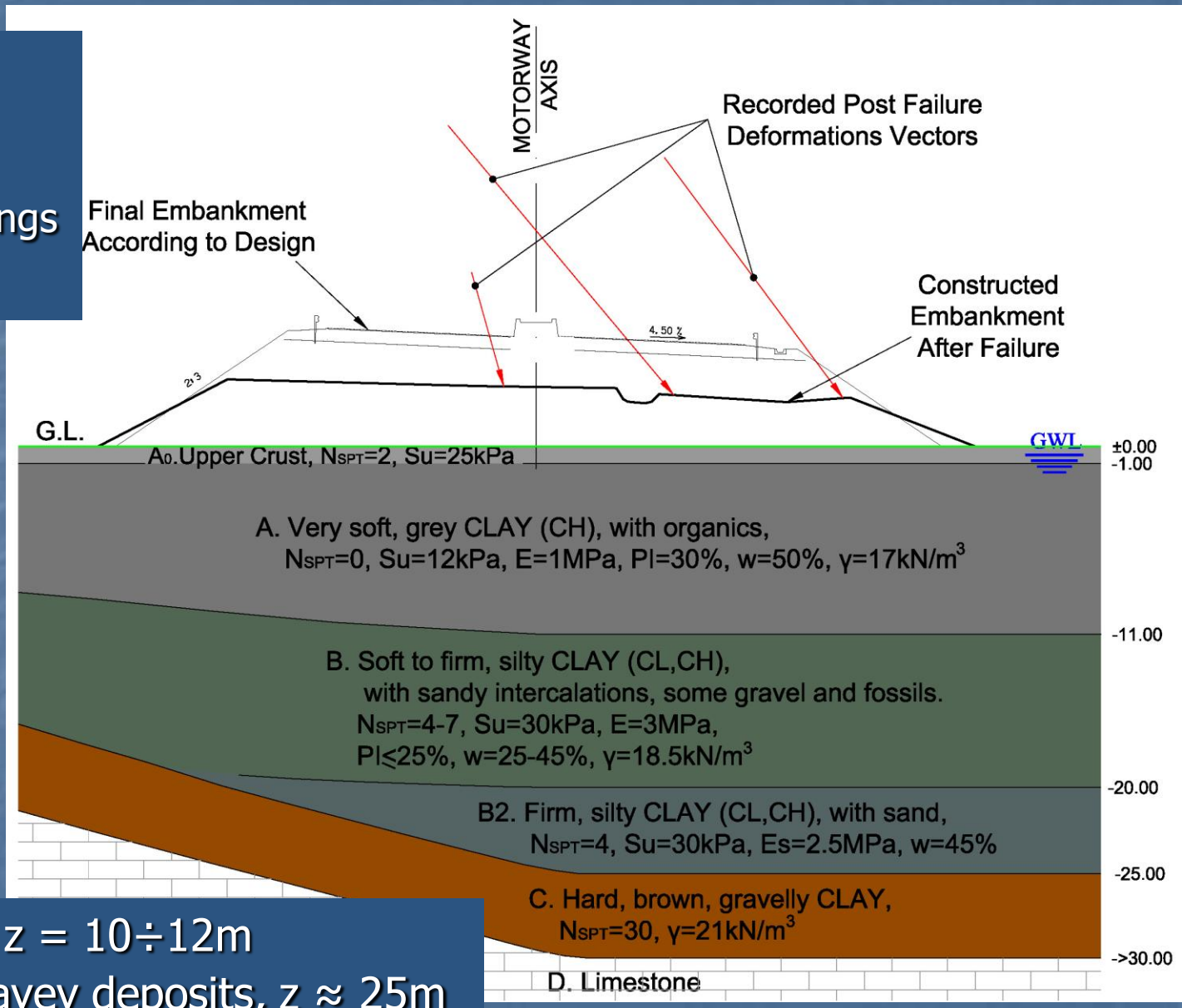
height of 4 ÷ 4,5m → global failure l = 200m

continuous ≥ 2m wide rupture // alignment, ≈ 10 ÷ 14m from edge

outer part subsided ≈ 1m

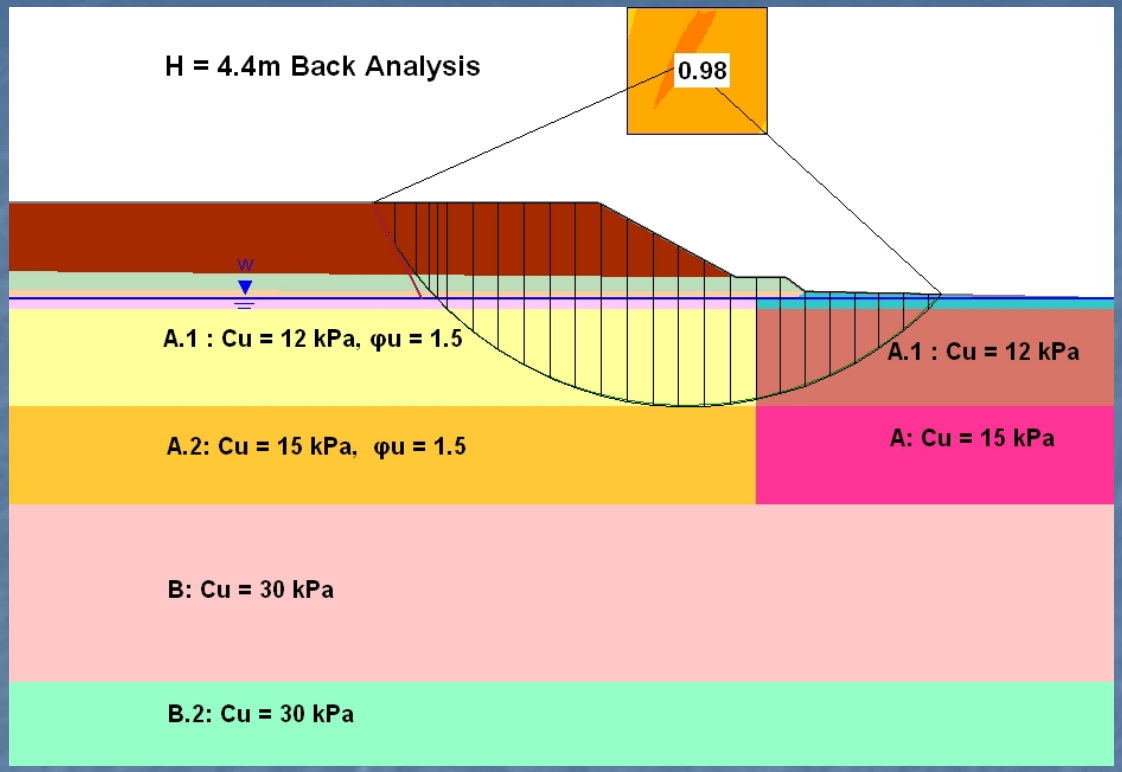
GROUND CONDITIONS AND FAILURE ANALYSIS

Investigation:
- boreholes
- trial pits
- deformation recordings
- back analysis →



very soft Clay (CH), z = 10÷12m
compressible, NC clayey deposits, z ≈ 25m

GROUND CONDITIONS AND FAILURE ANALYSIS



deep seated, undrained failure of very soft clay (A), depth 5-10m

soil resistance overestimated, back analysis -> Su = 12kPa

stone columns negligible contribution, limited side support
reduced diameter (D=0.5÷0.6m), inferior quality with depth (φ=32°)
SC at failure: highly mixed with clay, distinct rupture at depth ~3÷5m

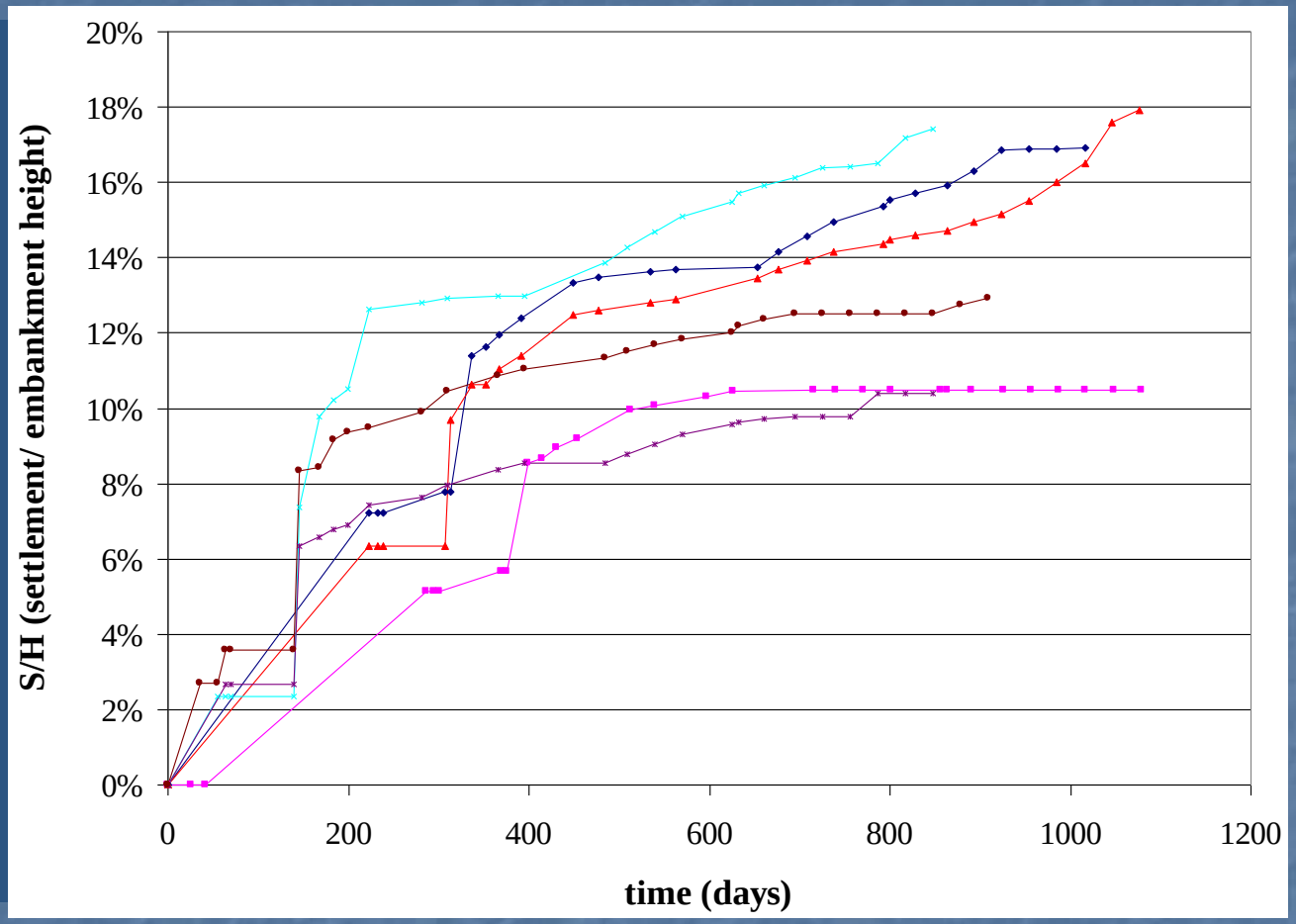
GROUND CONDITIONS AND FAILURE ANALYSIS

long term consolidation settlements (layers A,B, z=25m)

Evaluation:

- GI data
- pre-failure settlement recordings
- long term monitoring of neighboring railway project

↓



max settlement ≈ 1.5m / 20% H

Slow: 20÷25% during construction, U_{1yr} ≈ 50%, > 10 years → U ≈ 100%

SELECTION OF A SOLUTION SATISFYING THE PROJECT'S REQUIREMENTS

- Stability - safe foundation, 10m very soft clay (F.S. ≥ 1.20 short term)
- PC settlement ≤10cm (Greek guidelines for highways)
- Rapid completion, serious traffic problems, political and social impact

removing Underpass => highway embankment ≤4.5m / IC branch 8.5m

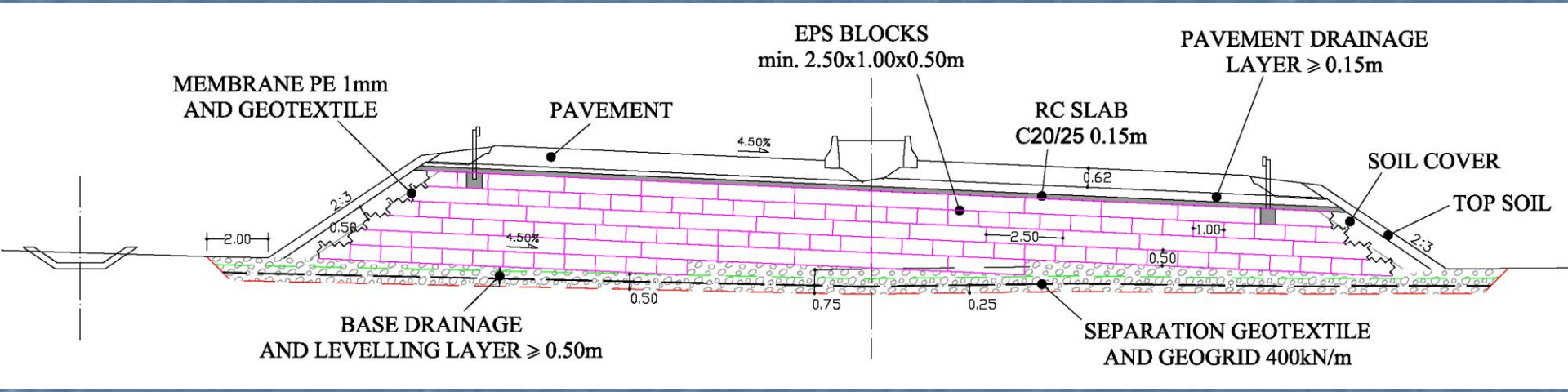
Comparison of alternative solutions (only for the highway section)

Solution	Constr. time	Cost (€)	Advantages	Limitations
Preloading, PVD, berms, stage construction.	9 months (incl.preload)	3.6 M	Cost, experience	Time, uncertainties, expropriation, installation
Stone columns l=20m, s=1,5m	> 1 year (incl.preload)	10.6 M	-	Cost, time, reliability of SC, maintenance
Deep mixing l=10m, PVD l=25m	> 9 months (incl.preload)	6.2 M	-	Cost, time, success depended on ground
EPS fill	2 months	5.8 M	Time, maintenance, unrelated to subsoil	Cost, lack of experience

much higher branch embankment - EPS solution the only realistic

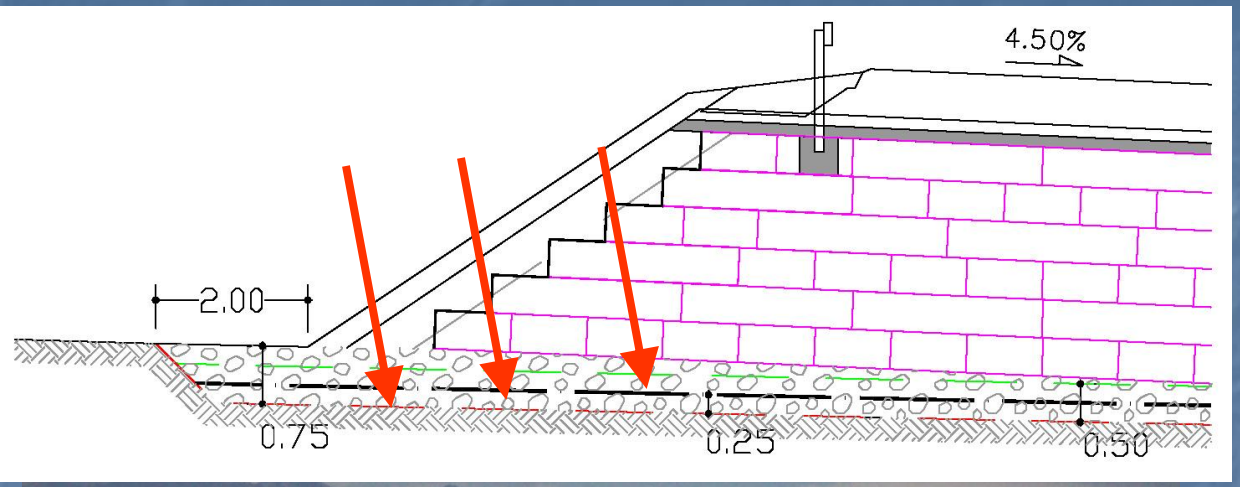
authorities overcome concern about strength, durability and sustainability to hazards like fire, water absorption, oil spill, attack by rats

LIGHTWEIGHT FILL DESIGN



eliminate restrictions imposed by a heavy earth embankment, steep one way cross slope of the road surface (≈5%) into account

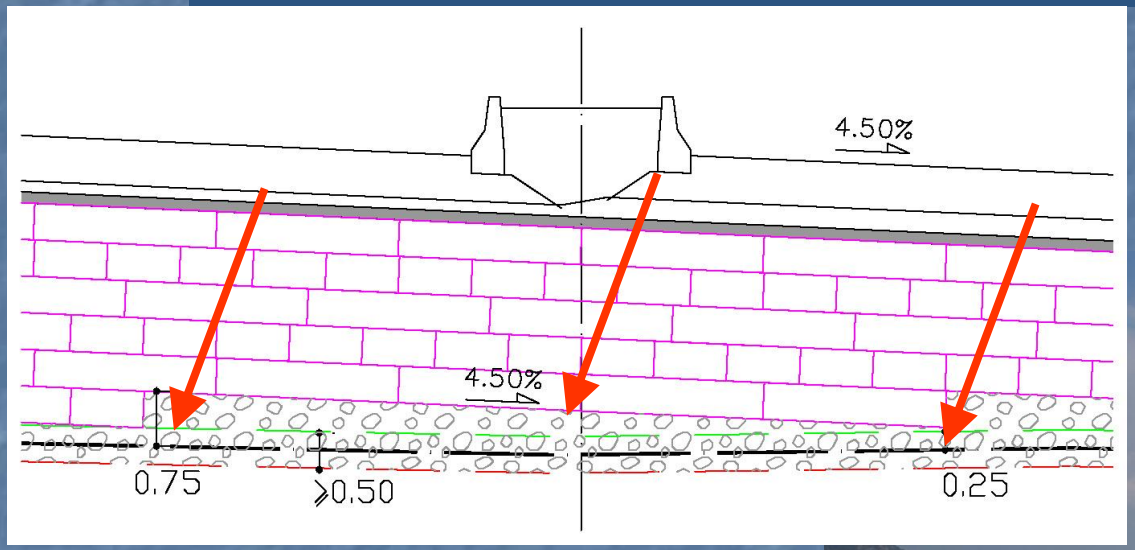
LIGHTWEIGHT FILL DESIGN



- ✓ Complete removal of existing fill and top soil to depth 0.75m
- ✓ Restriction of base layers to ≥50cm:
  a) 25cm selected material working platform,
  b) separation geotextile and tensile reinforcement geogrid

LIGHTWEIGHT FILL DESIGN

c) drainage-foundation and leveling granular layer
varying thickness : 25cm - 75cm
slightly inclined roof oriented parallel to road surface



LIGHTWEIGHT FILL DESIGN

- ✓ Lightweight fill on top of the inclined leveling surface:
  EPS 100 blocks
  $B_{min}xL_{min}$ = 1.0x2.0m, layers ≥50cm, stepped side slope

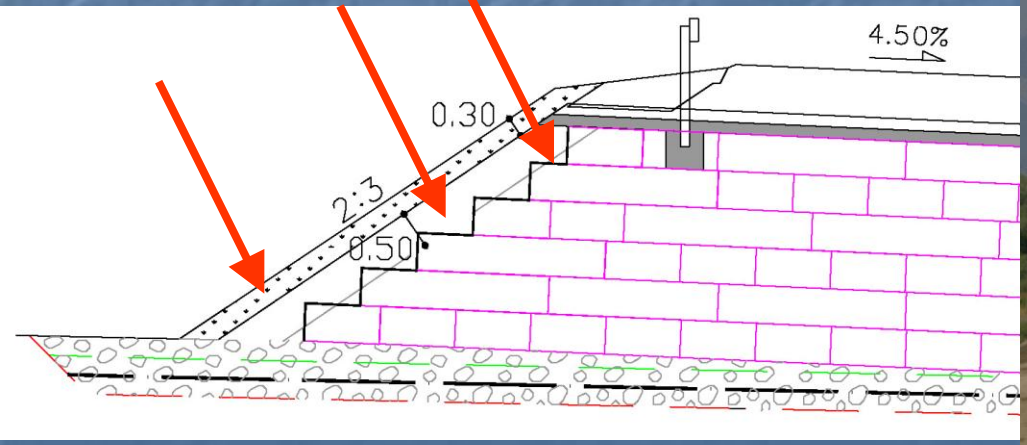
LIGHTWEIGHT FILL DESIGN

- ✓ Consecutive layers at right angles to each other to avoid continuous vertical joints, upper row aligned transversal to the axis direction.
- ✓ Steel fasteners prevent blocks from moving out of position during the construction process.

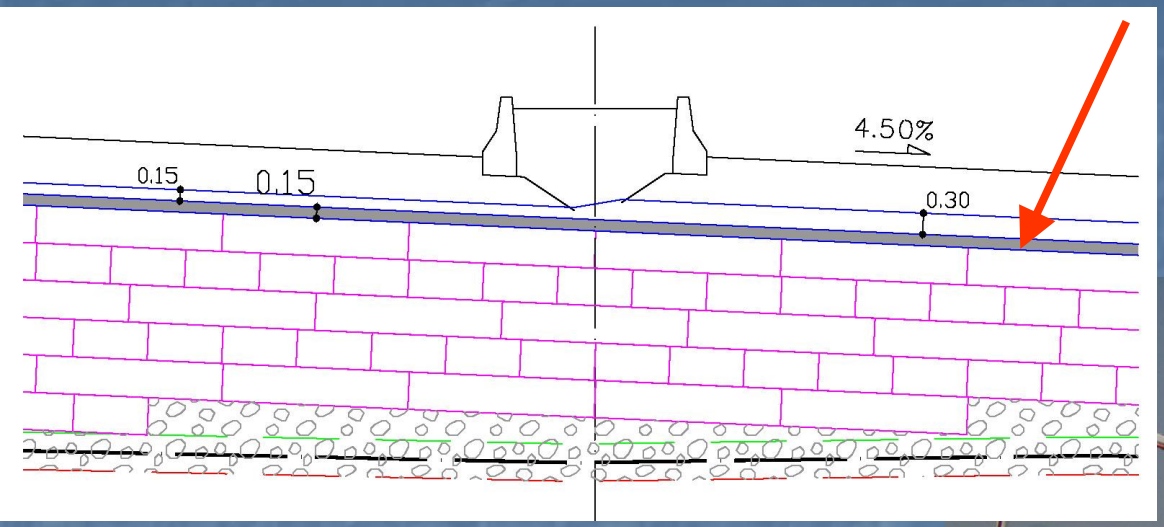
LIGHTWEIGHT FILL DESIGN

✓ Side slopes:

- 1mm PE membrane
- geotextile cloth
- ≈0.5m lightly compacted fine granular soil
- slope 2:3 (v:h)
- 0.3m top soil.



LIGHTWEIGHT FILL DESIGN

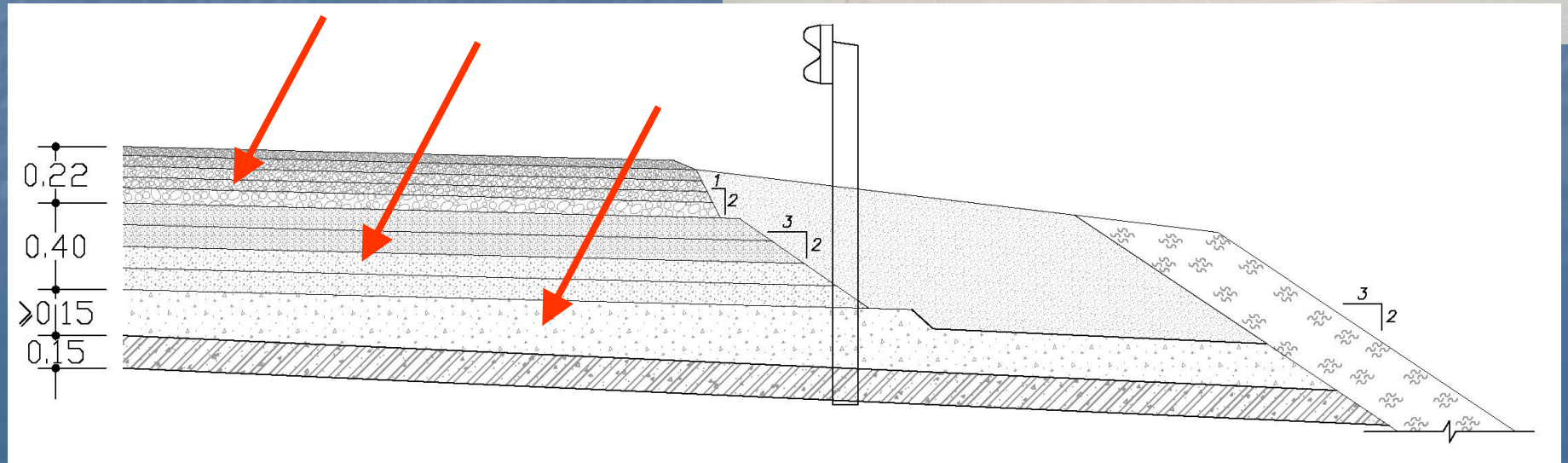


- ✓ 15cm lightly reinforced concrete slab C20/25 on top of EPS fill → protection of fill crown against solvents pavement's proper foundation and drainage

LIGHTWEIGHT FILL DESIGN

✓ Pavement as determined by the original design:

- 22cm asphalt layers
- 40cm granular base layer,
- >15cm foundation and drainage layer on top of inclined slab



MATERIAL REQUIREMENTS

Standards:

ASTM D578-95, "Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation" / Norwegian Road Research Laboratory, "Expanded Polystyrene used in road embankments", Code of Practice →

European Standard EN 14933, " Thermal insulation and Light Weight fill products for Civil Engineering applications - Factory made products of Expanded Polystyrene (EPS)"

EPS 100 RF

Description	Test method	Symbol - unit	Requirement	Tolerance	Control frequency
Dimensions	EN 822-3	LxWxT (m)	≥2.0x 1.0x0.5	0,5%	every 50 blocks
Squareness	EN 824	(x,y,z)	3mm/ 500mm length		
Evenness	EN 825	(d/L)	10mm/ 3m or 5mm / consecutive blocks		Cross section every 10m
Unit Density	EN 1602	ρ (kg/m^3)	20		every 1000m3
Compressive strength	EN 826	σ_{c10} (kPa)	≥ 100	10%	
		σ_{c2} (kPa)	≥ 50		
Bending strength	EN12089	σ_b (kPa)	≥ 150		

W_{dv} ≤5%, Flame-retardant Euroclass B (EN13501-1)

DIMENSIONING AND ANALYSIS

External Stability

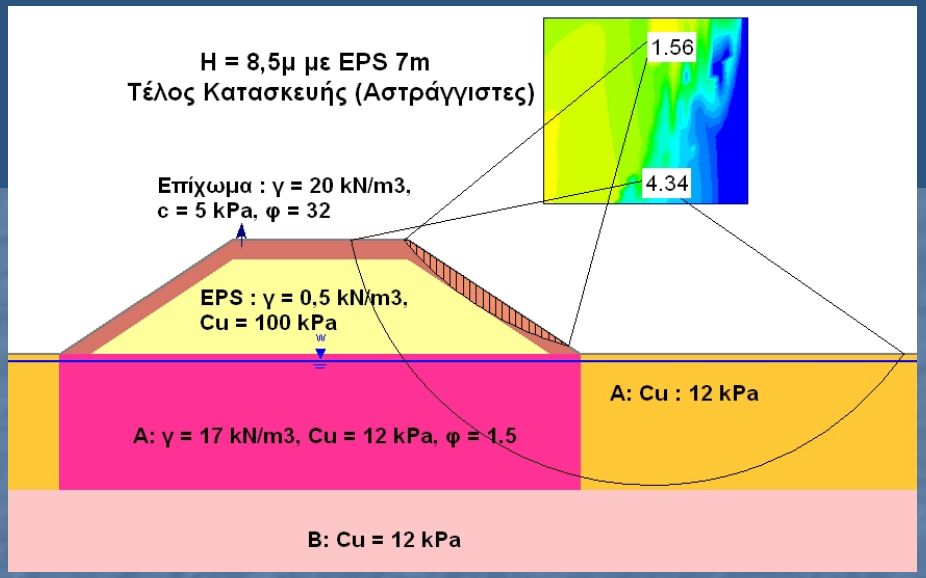
Cases: Undrained, long term effective stress analysis ,earthquake loading

Method – Standards: Bishop's slices, Greek Seismic Code

Software: SLIDE

Considerations:

Su_{EPS}=100kPa, γ_{EPS} = 0.5 kN/m^3



F.S.=4.3 compared to 0.73 earth embankment

(H_{MAX} = 8.5m /critical undrained – deep seated)

DIMENSIONING AND ANALYSIS

Soil Settlements

Cases: Total, long term consolidation, post construction

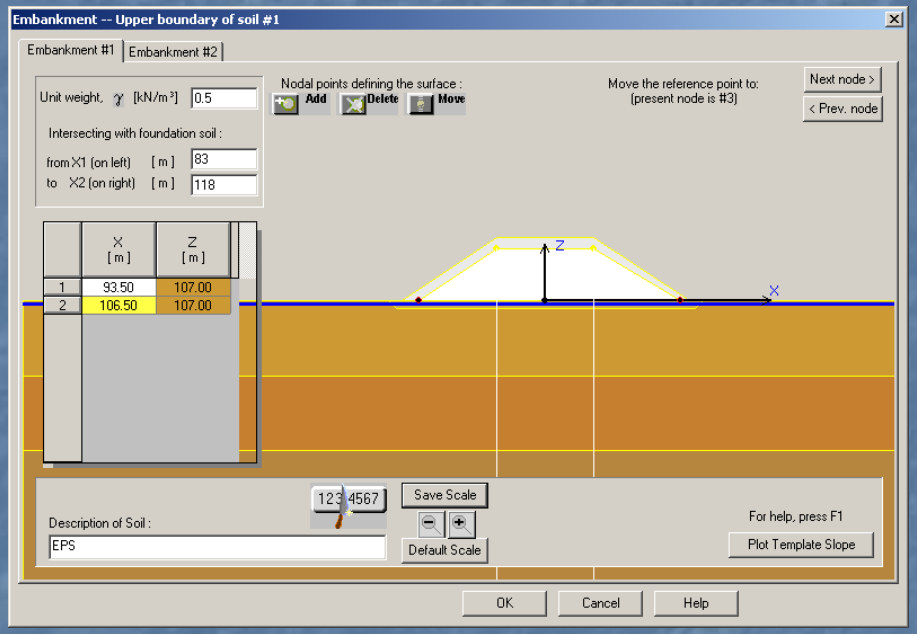
Method - Analysis: 2D Plane strain, Consolidation theory

Software: FOSSA

Considerations:

preloading by h=1÷1.5m earthfill

$\gamma_{earthfill}$ = 20 kN/m^3, γ_{EPS} = 0.5 kN/m^3



s_{pc} = 5cm compared to 1.5m earth embankment (H_{MAX} = 8.5m)

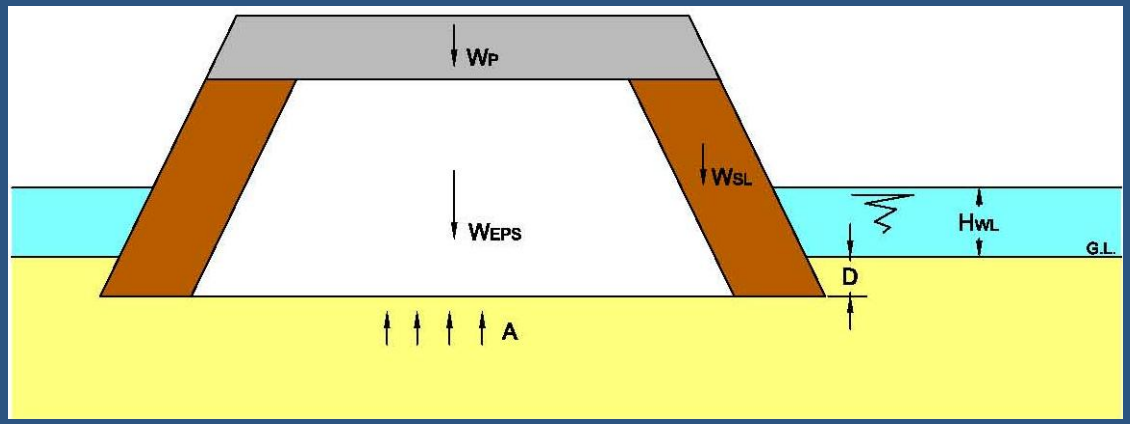
DIMENSIONING AND ANALYSIS

Buoyancy - uplift

Method – Standards: NRRL Code of Practice , Transportation Research Board NA, "Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments" , NCHRP65, 2004

Cases: Global stability: F.S. = {Wp + Wsl + Weps }/ A > 1.3

Local slope uplift : F.S. = (γ Hsl)/ [γw x (D+HWL)] > 1.2



Considerations:

γ_{EPS} = 0.2kN/m^3

HWL = maximum probable water level above GL = 1.0m

D = maximum depth of EPS below GL = 0.25m

(protection side ditches, drainage layers, construction in summer)

- Uplift during construction and transition due to an unbalanced water pressure not considered as potential risks
- Uplift due to wind forces omitted, due to lack of consistent methodology and reporting of relevant problems

DIMENSIONING AND ANALYSIS

Stresses and deformations in EPS

Cases:

a. Permanent loads on top of EPS (pavement and concrete slab) p = 20-25kPa =>

- $p < 30\%\ \sigma_{c10}$ = 30kPa (Frydenlund, Aaboe, 2001)
- $\varepsilon_i < 1\%$ immediate strain (NCHRP65, 2004)

} tolerable creep deformations

b. Elastic, immediate deformation (during construction)

$s_{EPS} = p x H_{EPS} / E_{EPS}$, E_{EPS} = 5 MPa (TRB) => $s_{EPS} \leq 20x8/5000 = 1 \div 3cm$
negligible compared to subsoil settlement

c. Deformations under repetitive traffic loads (q) on top of EPS

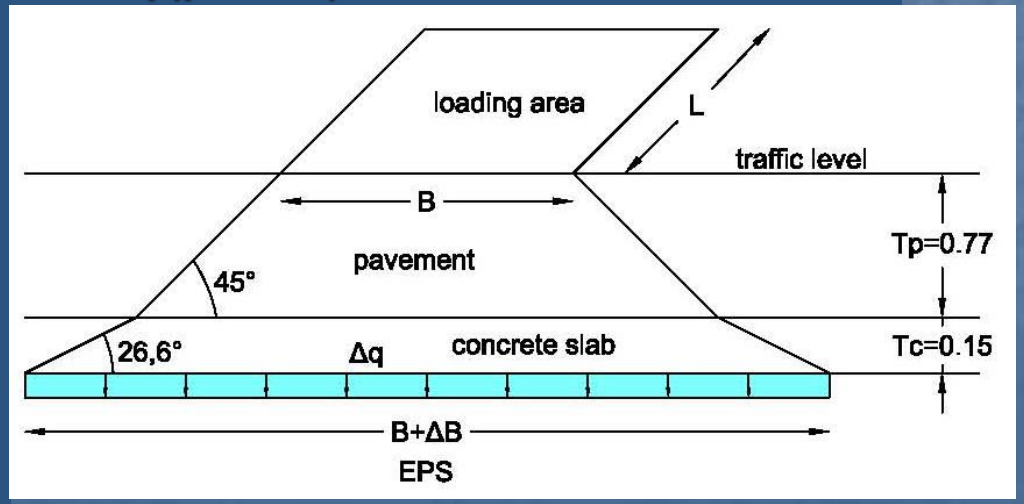
load distribution:

- pavement Ip = 1 , Tp,min =0,77m
- concrete slab Ic = 2 , Tc = 0,15cm

=>

$q \leq 15.5kPa << 0.35\ \sigma_{c10}$

$q+p \approx 35$ kPa $< \sigma_e = 50$ kPa = minimum elastic limit stress (NCHRP)



DIMENSIONING AND ANALYSIS

Internal stability

Sliding between two consecutive EPS layers at top (min friction, max seismic action)

Method – Standards: NCHRP 65, Greek Seismic Code

Cases:

static (due to inclined layers): $F.S.s = Wp \times \tan(\delta)/Wt \geq 2{,}0$

wind force: $F.S.w = Wp \times b \times \tan(\delta)/(P \times h + Wt \times b) \geq 1{,}2$

seismic: $F.S.e = [Wp - Ehsin(\alpha) - Evcos(\alpha)]\ b \times \tan(\delta) / (Wt + Ehcos(\alpha) + Evcos(\alpha)) \geq 1.0$

Considerations:

$\delta = 30^o$, α = inclination (cross slope) of layers = 3.15^o

Pavement Design

- Conservative approach / first application of EPS fill
- Original pavement scheme for the earth embankment, CBR=3, disregarding concrete slab

} no further check required

CONSTRUCTION DATA

- ✓ Application length: 1030m
- ✓ EPS volume: 65,000m^3
- ✓ Construction time: 2.5 months (06-08/2008)
- ✓ Inaugurated – opened to traffic: 18/09/08
- ✓ Production rate: 1000m^3/day (including protection measures and quality control)

CONSTRUCTION DATA

- ✓ Owner : Greek State, Ministry of Public Works, Highway PATHE
- ✓ Contractor : ATTIKAT S.A.
- ✓ Design : Sotiropoulos & Associates SA
- ✓ Technical experts: K.Flaate, T.E. Frydenlund and A. Sagbakken, f. Norwegian Public Roads Administration

rapid and successful application → impressed the relevant authorities and the press

"National Road by ... geofoam!"

Swampy ground directed engineers to new technologies

"Floating Highway"

"Norwegian Consultants"

"Solution from the Netherlands"

ο νέος αυτοκινητόδρομος Αθηνών - Θεσσαλονίκης στο ύψος των Θερμοπυλών σε μήκος περίπου ενός χιλι

ΡΕΠΟΡΤΑΖ: Γιώργος Παλαμιώτης

Οι μηχανικοί και οι κατασκευαστές σήκωσαν ψηλά τα χέρια όταν οι συμβατικές μέθοδοι για τα επιχώματα δεν μπορούσαν να αποδώσουν μέσα σε βαλτώδη περιοχή. Έτσι αναζήτησαν λύσεις σε περισσότερο ελαφρά υλικά και ήδη άρχισε να κατασκευάζεται το πρώτο τμήμα δρόμου στην Ελλάδα που δεν έχει ως υπόστρωμα χώματα και πέτρες αλλά 60.000 κυβικά φελιζόλ, ακριβώς δίπλα από τον βράχο των Θερμοπυλών όπου ο Ξέρξης έδενε τα πλοία του.

«Πρόκειται για μια τεχνολογία που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στο εξωτερικό όταν πρόκειται να κατασκευάσουν δρόμους σε βαλτώδεις περιοχές», υπογράμμισε ο εργοταξιάρχης κ. Νίκος Αγγελόπουλος ενημερώνοντας τους συναδέλφους του μηχανικούς στο ΤΕΕ Ανατολικής Στερεάς. Όπως εξήγησε «πρόκειται για μια ιδιαίτερα ασφαλή μέθοδο αφού λαμβάνονται όλα τα μέτρα που είναι αναγκαία».

Η συγκεκριμένη μέθοδος άρχισε να εφαρμόζεται στο τμήμα που βρίσκεται στις Θερμοπύλες. Αρχικά είχε γίνει όλη η προεργασία αλλά όταν τα επιχώματα έφτασαν τα 3 μέτρα παρατηρήθηκε ότι υπήρχαν σημαντικά προβλήματα. Τότε λοιπόν οι υ-

60.000 ΚΥΒΙΚΑ ΜΕΤΡΑ!
Ο όγκος υλικού που χρειάζεται για το έργο ξεπερνά τις δυνατότητες της εθνικής παραγωγής

Τα στάδια κατασκευής

1 **Σε επαφή με το έδαφος στη βαλτώδη περιοχή των Θερμοπυλών στρώνονται ειδικά συνθετικά υλικά:** γεωύφασμα και γεωπλέγμα που εμποδίζουν την υγρασία του εδάφους να διαπεράσει ό,τι θα στρωθεί πάνω σ' αυτά

2 **Τοποθετείται το ειδικής σύνθεσης φελιζόλ.** Ανάλογα με τις ανάγκες στήριξης μπορεί να τοποθετηθούν έως και 3 στρώματα με αυτό το υλικό και σε ορισμένα σημεία ακόμη και 5 (το ύψος του φελιζόλ θα φθάνει περίπου τα 3 μέτρα)

3 **Όλο το φελιζόλ καλύπτεται στη συνέχεια με ειδική μονωτική μεμβράνη**, πάνω από την οποία μπαίνει οπλισμένο σκυρόδεμα και ακολουθεί η κλασική διαδικασία για το στρώσιμο του δρόμου

Οι επιστρώσεις

1 Γεωύφασμα
2 Γεωπλέγμα
3 Στρώματα φελιζόλ
4 Μονωτική μεμβράνη
5 Οπλισμένο σκυρόδεμα
6 Ασφαλτοτάπητας
Βαλτώδες έδαφος
Διαστάσεις των τμημάτων
0,63 μ. 1 μ. 5 μ.
Λαμία Στυλίδα Ράχες Τμήμα έργων 198ο χλμ. Καμένα Βούρλα ΘΕΡΜΟΠΥΛΕΣ

ΤΑ ΝΕΑ

διαμορφώνουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του δρόμου και στη συνέχεια τοποθετούν γεωύφασμα και γεωπλέγμα (ειδικά συνθετικά υλικά που προστατεύουν το φελιζόλ από την επαφή με το έδαφος και την υγρασία). Αμέσως μετά τοποθετούν το φελιζόλ, που είναι ειδικής κατασκευής και με ειδική σύνδεση. Κάθε τμή-

μα του έχει μήκος 5 μέτρα, πλάτος ένα μέτρο και ύψους 63 εκατοστά.

«Όλα τα εργοστάσια παραγωγής τέτοιων υλικών στη χώρα μας πήραν τις προδιαγραφές και προσανατόλισαν την παραγωγή τους...», υπογραμμίζει στα «ΝΕΑ» ο χημικός μηχανικός και υπεύθυνος του έργου κ. Βασίλης Τσιλίρης. Όπως σημειώνει «χρειάζονται περισσότερα από 60.000 κυβικά μέτρα τέτοιου υλικού και μάλιστα σε αρκετά σύντομο χρόνο. Ξεπερνά δηλαδή αυτή η παραγωγή και τις δυνατότητες των βιομηχανικών εγκαταστάσεων στη χώρα μας».

Ήδη άρχισαν να γίνονται οι πρώτες παραδόσεις και κατά τμήματα η τοποθέτηση των φελιζόλ. «Μετά την ολοκλήρωση της τοποθέτησης όλο αυτό το υλικό καλύπτεται με μια μεμβράνη και πάνω από αυτό θα τοποθετηθεί οπλισμένο σκυρόδεμα πριν αρχίσουν τα έργα οδοστρωσίας», υπογραμμίζει κ. Τσιλίρης δίνοντας μεγάλη έμφαση στην ασφάλεια του έργου. Όπως εξηγεί τόσο η ειδική σύνθεση του συγκεκριμένου υλικού όσο και η μεθοδο-

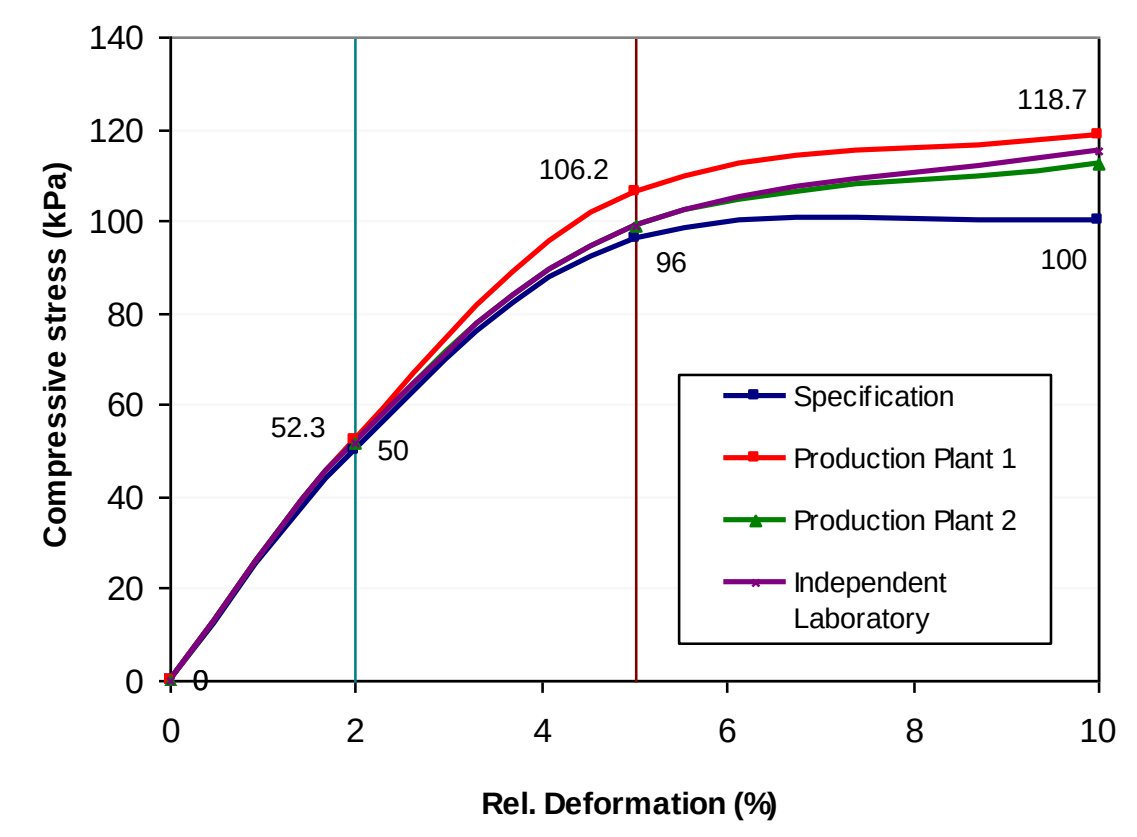
νται στο εργοτάξιο και οι σύμβουλοί μας οι Νορβηγοί για να δουν τον τρόπο εφαρμογής και να μας δώσουν πιθανές κατευθύνσεις», υπογραμμίζει κ. Βασίλης Τσιλίρης. Και προσθέτει ότι η συγκεκριμένη μέθοδος κατασκευής συμβάλλει και στην ταχύτερη παράδοση ενός δρόμου. «Θα μπορούσε για παράδειγμα μέσα σε σύντομο χρόνο και χωρίς μεγάλη αναστάτωση να φανεί ωφέλιμη αυτή τεχνολογία στη διαπλάτυνση ενός δρόμου που τον θέλουμε πολύ γρήγορα και κάτω από δύσκολες συνθήκες ή ακόμα και στις περιπτώσεις εκείνες που έχουμε κάποιες καταπτώσεις», υποστηρίζει ο κ. Τσιλίρης και σημειώνει ότι «έπειτα από αυτό το τμήμα και με βάση αυτή την εμπειρία έχουν υποβληθεί σχέδια για να κατασκευαστεί με αυτό τον τρόπο ένα ακόμη δύσκολο τμήμα λίγο πριν από την είσοδο της Λαμίας». Μάλιστα στο συγκεκριμένο τμήμα σε ορισμένα σημεία με τη μέθοδο αυτή θα καλυφθεί επίχωμα που φτάνει ακόμη και τα 5 μέτρα.

CONSTRUCTION REQUIREMENTS & REFINEMENT ACTIONS

- ✓ block dimensions adapted to production availability and construction acceleration (L =3÷5m, B= 1.0÷1.35m, H= 0.6÷1.0m) thicker blocks at the upper layer
- ✓ application design noted block types at every layer
- ✓ minimum of 2 layers (except edge sections)
- ✓ rearrangement to avoid transverse joints, adjustments to block lengths, shorter blocks to the inner side
- ✓ blocks adjusted at junctions or adjacent to structures by an electric wire cutting
- ✓ random gaps adjacent to structures filled by polyurethane foam - sealing membrane fixed on EPS
- ✓ observed curvature → longitudinal wooden beams beneath the bottom block at the factory

QUALITY CONTROL AND MONITORING

Production plant (automatic and manual) / independent laboratory



EN14933: compressive strength control at 3 strain levels: 2 %, 5 % and 10 %

50mm cubic samples, 3 measurements for each test result, specimens from inner and the outer areas

full compliance of the design requirements:

$\sigma_{c10} \approx$ 112 to 121kPa >100kPa, σ_{c2}>50kPa, $\sigma_{c5} \approx 0{,}9\sigma_{c10} \approx$ 100kPa, linear behavior up to 4% strain, ρ = 20.3÷21.2 kg/m3, σ_b =200÷250 >>150kPa

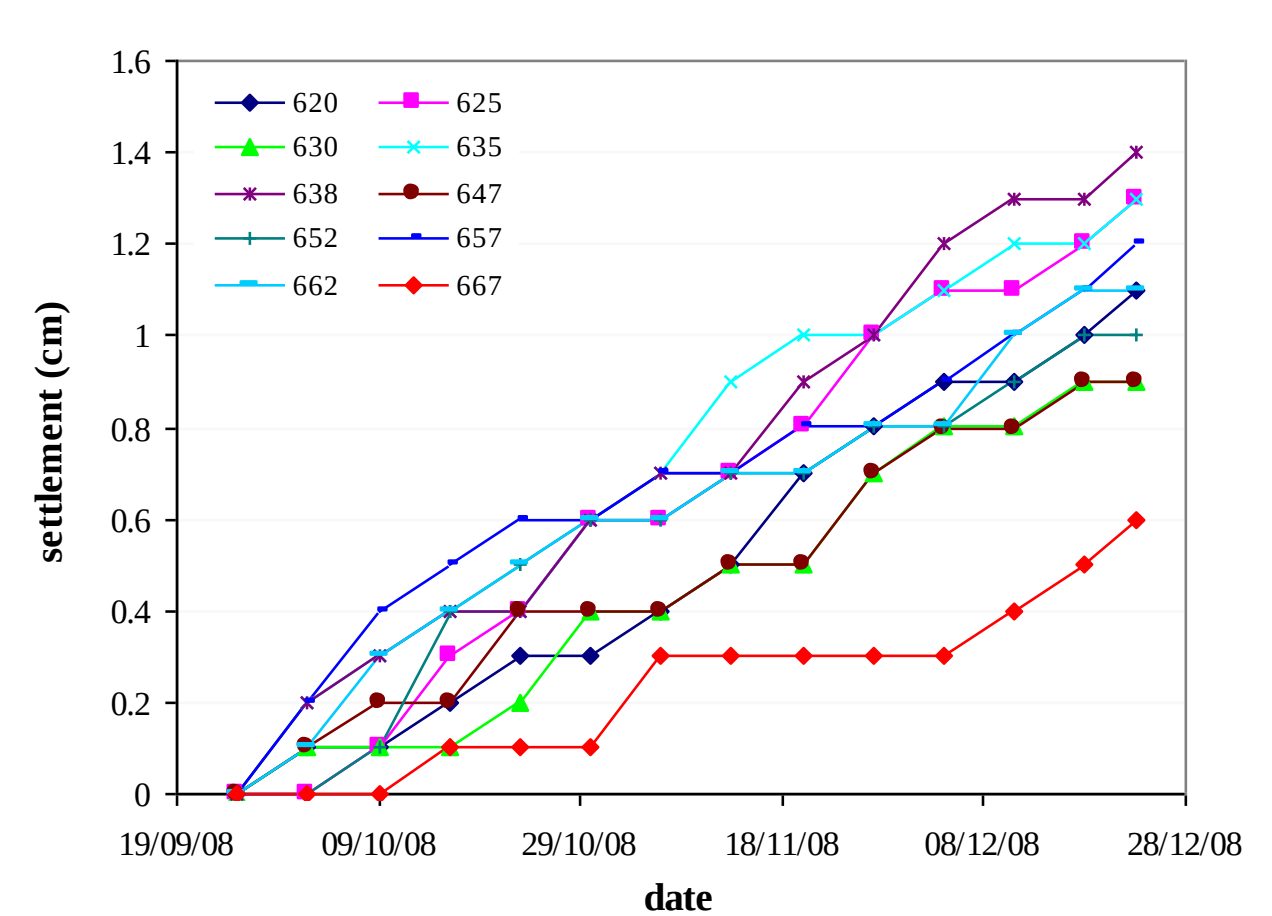
QUALITY CONTROL AND MONITORING

11 benchmarks on top of EPS, every 100÷150m

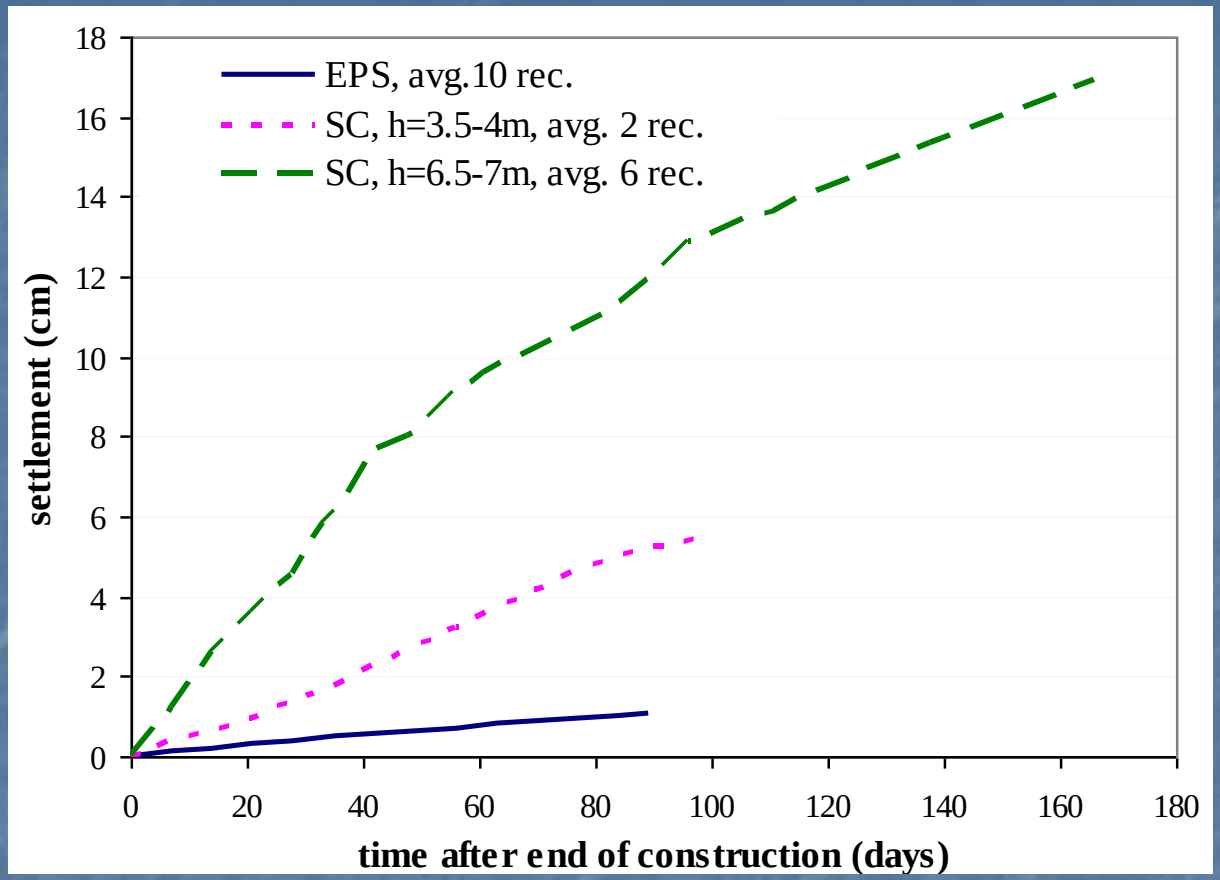
Measurements at weekly basis

Post construction Settlements: uniform, ≈ 1cm << design prediction

(stiffer soil behavior at small strains)



QUALITY CONTROL AND MONITORING



EPS 3 months PC settlements much lower than neighboring sections:

- earth fill 4m and 7m
- stone columns
- better ground conditions

↓

EPS solution's superiority in terms of time and maintenance.

3 years after completion very satisfactory performance, best among highway sections in the valley area - no settlements or other problems

CONCLUSIONS

- ✓ The first application of lightweight fill by expanded polystyrene in Greece was realized in an extended area with very poor ground conditions, in order to face important foundation problems, to overcome observed failures and to comply with project's time schedule.
- ✓ Construction of embankments up to 8.5m by the use of a substantial EPS amount proved very successful in terms of safety, construction time and overall post construction performance after 3 years.
- ✓ The effectiveness of this first application, despite initial controversy and hesitations about the solution and the use of EPS in highway projects in general, honored a positive reputation to the project and the material. EPS became quite attractive to designers, contractors and many authorities for future application in road embankments and even more in bridge abutments.

Tusen Takk !

Thank you for your attention!

Ευχαριστώ πολύ!