



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΘΕΩΡΙΑ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

3D GIS

και αναπαράσταση αναγλύφου

Γιατί 3D;

Ο κόσμος δεν είναι διδιαστατος ούτε στατικός. Επομένως χρειαζόμαστε δυνατότητα αναπαράστασης των 3 διαστάσεων αλλά και του χρόνου.

Προς το παρόν θα ασχοληθούμε με τις 3 διαστάσεις και πιο συγκεκριμένα με την αναπαράσταση του γήινου τοπογραφικού αναγλύφου.

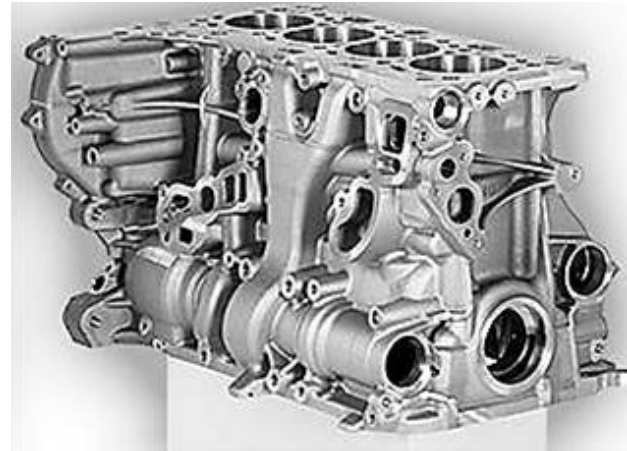
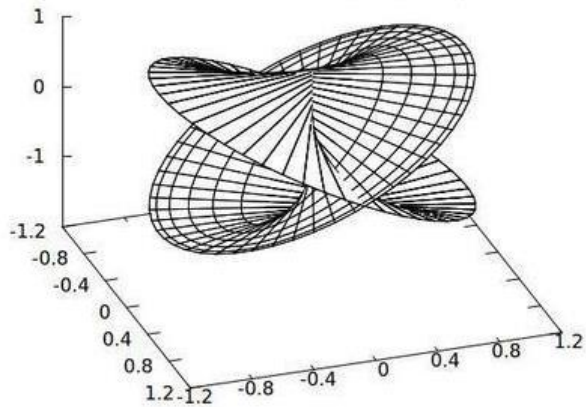


3D στα GIS

- Η πλέον συνήθης/γνωστή/παραδοσιακή αναπαράσταση του αναγλύφου είναι μέσω των **ισοϋψών καμπυλών**, ή δικτύου γραμμών γνωστό ως wireframe.
- Τα περισσότερα συστήματα GIS, μέχρι πρότινος δεν μπορούσαν να αντιμετωπίσουν γεωμετρικά ισότιμα την 3η διάσταση, αλλά μόνο ως **περιγραφική πληροφορία** (attribute information) κάθε 2D αντικειμένου. Έτσι για παράδειγμα μια ισοϋψής ήταν μια 2D γραμμή που περιείχε στις περιγραφικές της ιδιότητες το υψόμετρό της.
- Λόγω του πολύ μικρού λόγου των υψομέτρων (z) ως προς την έκταση (X-Y), η τρίτη διάσταση του τοπογραφικού αναγλύφου δεν είναι εύκολα αντιληπτή και για αυτό στις αναπαραστάσεις συνήθως την απεικονίζουμε με άλλη **αυξημένη κλίμακα** (x2, x3) (Add vertical exaggeration for visual effect)

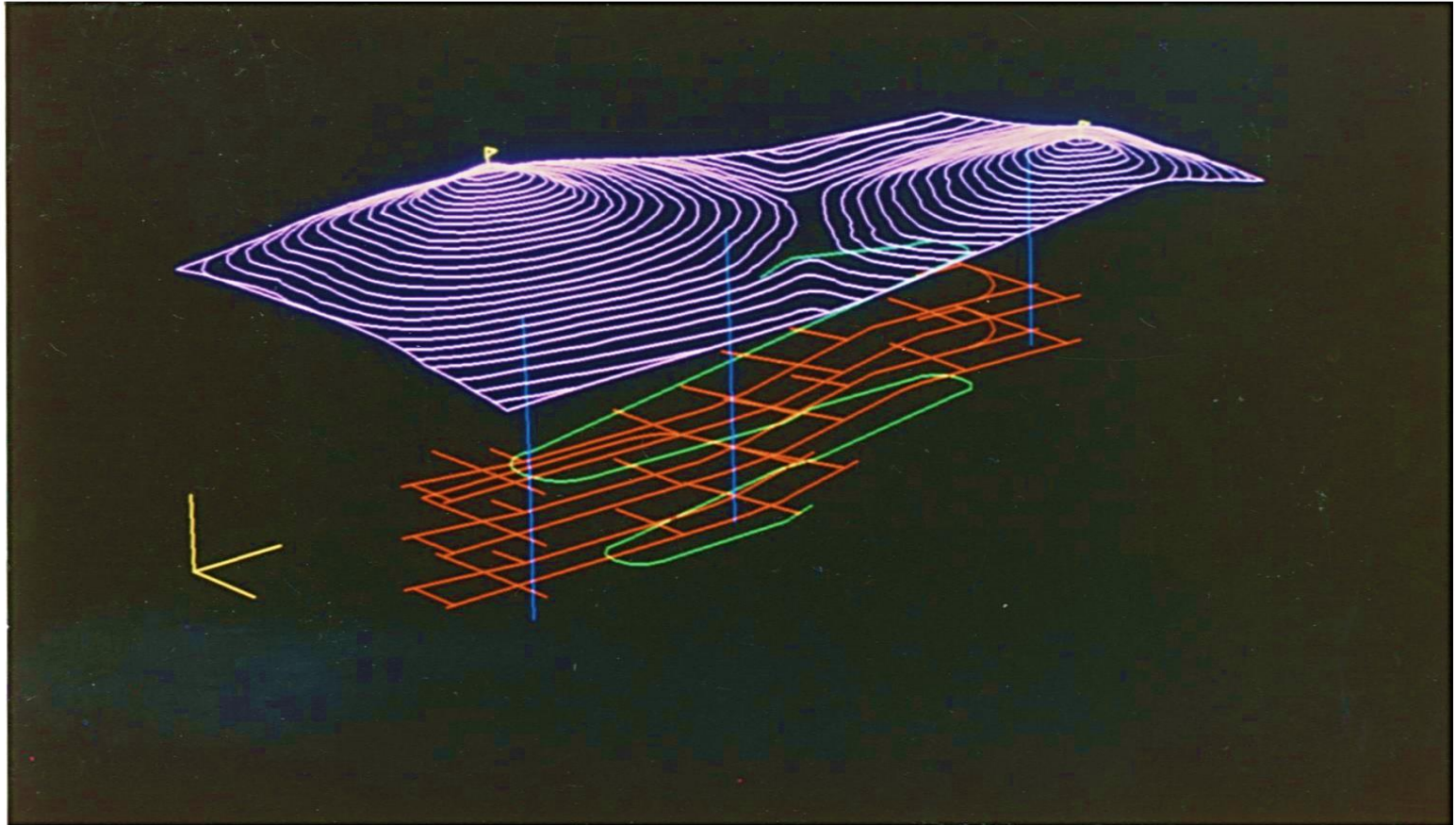
Διαπιστώσεις

Η επιφάνεια του τοπογραφικού αναγλύφου δεν είναι πολύπλοκη 3D οντότητα, όπως:



Συνεχές φαινόμενο (continuous field - Functional surfaces)

Επιφάνεια 2.5D: μόνο ένα υψόμετρο (ή τιμή Z) για κάθε ζεύγος X, Y



Υψομετρικά μοντέλα στα GIS

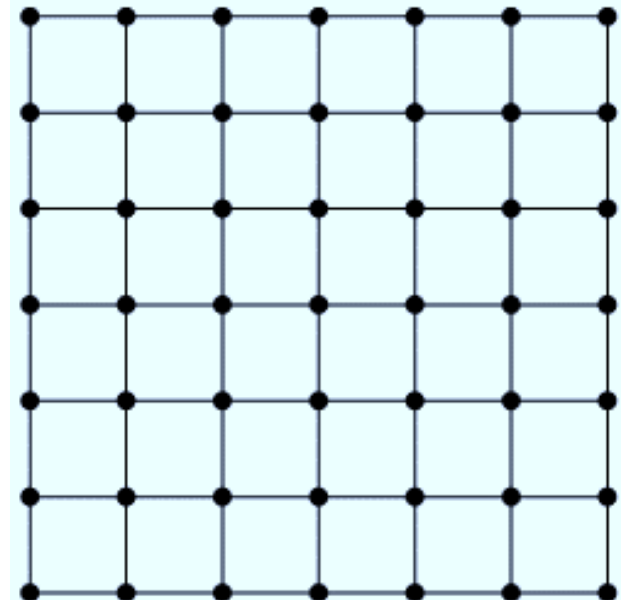
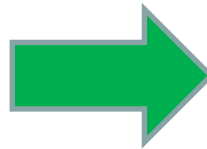
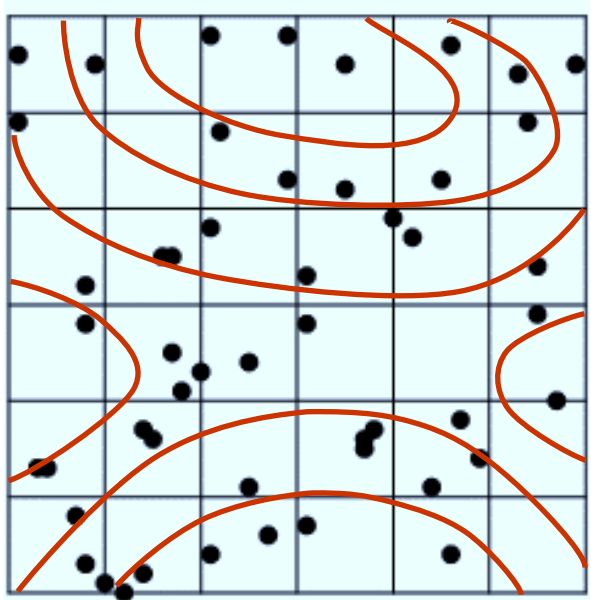
- Digital Terrain Models (DTM)
- Digital Elevation Models (DEM),
- Digital Surface Models (DSM),
- Triangulated Irregular Networks (TIN)
- Contour surfaces

Αποτελούν μια συλλογή στοιχείων που περιγράφουν την επιφάνεια χρησιμοποιώντας διακριτά σημεία. Παράδειγμα μιας διακριτής επιφάνειας αποτελεί το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model).

Παρεμβολή (interpolation)

η διαδικασία εκτίμησης άγνωστων τιμών σε σημεία από γνωστές τιμές σε γειτονικά σημεία

ισότιμες καμπύλες (όπως ισοϋψείς)



Βασική Υπόθεση για τη χωρική παρεμβολή (Spatial Interpolation)

Waldo R. Tobler (UCSB)



First Law of Geography (νόμος Tobler):

"everything is related to everything else, but near things are more related than distant things "

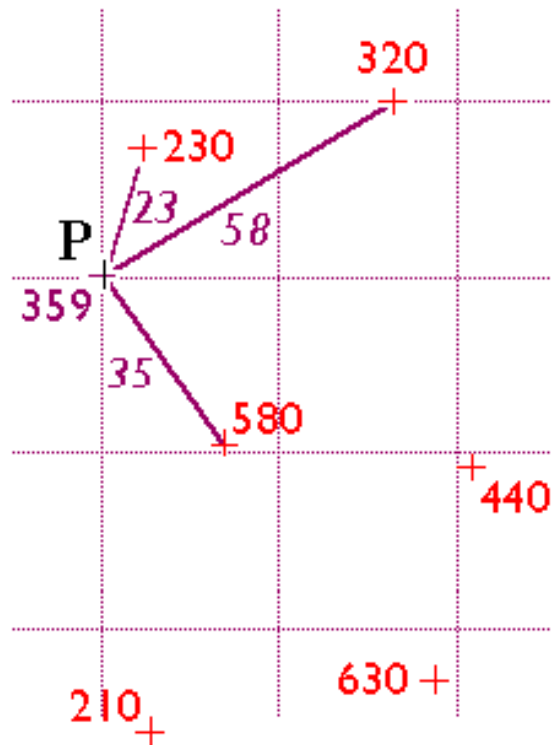
με άλλα λόγια,

τα εγγύτερα μοιάζουν περισσότερο από τα πιο απομακρυσμένα.

Χωρική Παρεμβολή (Spatial Interpolation)

η διαδικασία εκτίμησης άγνωστων τιμών σε σημεία από γνωστές τιμές σε γειτονικά σημεία

Σταθμισμένος Μ.Ο. με βάρη τον αντίστροφο της απόστασης (inverse distance weighted interpolation procedure).

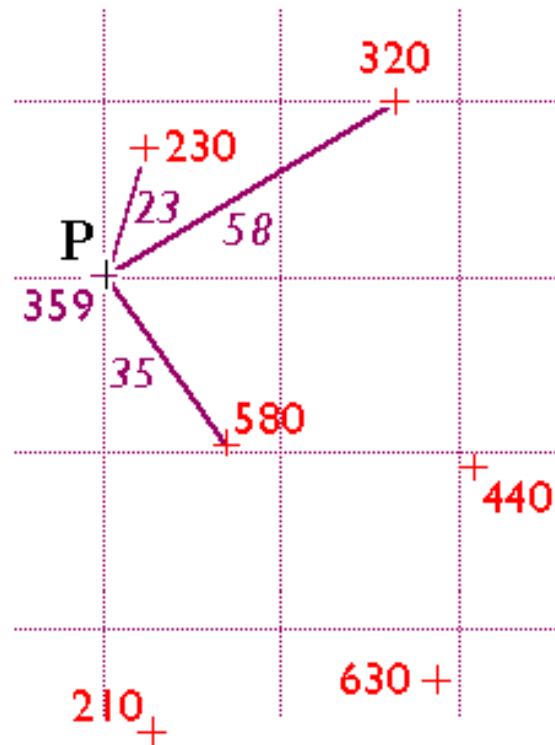


$$Z_P = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{d_i} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i} \right)}$$
$$= \frac{\frac{230}{23} + \frac{320}{58} + \frac{580}{35}}{\frac{1}{23} + \frac{1}{58} + \frac{1}{35}}$$

Χωρική Παρεμβολή (Spatial Interpolation)

η διαδικασία εκτίμησης άγνωστων τιμών σε σημεία από γνωστές τιμές σε γειτονικά σημεία

Σταθμισμένος Μ.Ο. με βάρη **το τετράγωνο του** αντιστρόφου της απόστασης (inverse **square** distance weighted interpolation procedure).

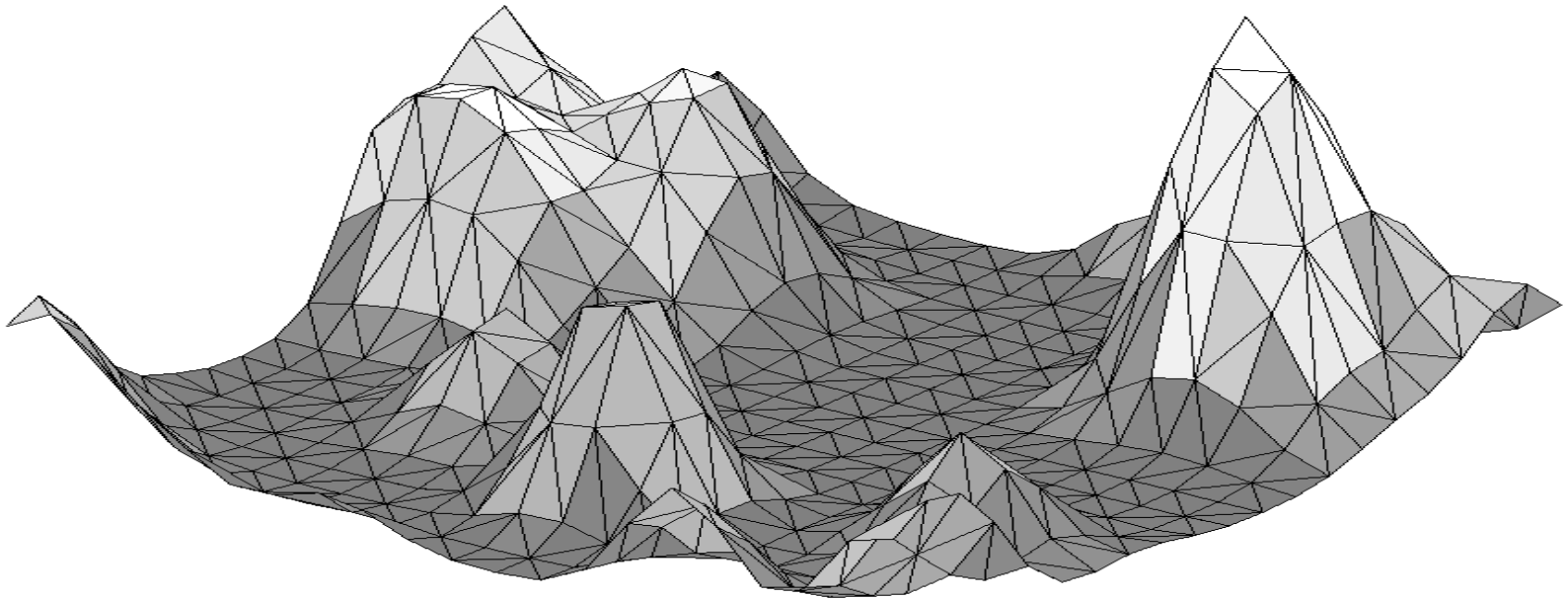


$$Z_P = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{z_i}{d_i^2} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^2} \right)}$$
$$= \frac{\frac{230}{23^2} + \frac{320}{58^2} + \frac{580}{35^2}}{\frac{1}{23^2} + \frac{1}{58^2} + \frac{1}{35^2}}$$

TIN - Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων - I

- Ειδική περίπτωση διανυσματικής τοπολογικής δομής
 - Δημιουργείται βάσει συνόλου σημείων που χαρακτηρίζονται από
 - ένα ζεύγος συντεταγμένων (x, y) στο επίπεδο και
 - μια τιμή z στην κάθετη διάσταση.
 - Χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση επιφανειών 2,5 διαστάσεων.

Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων - II



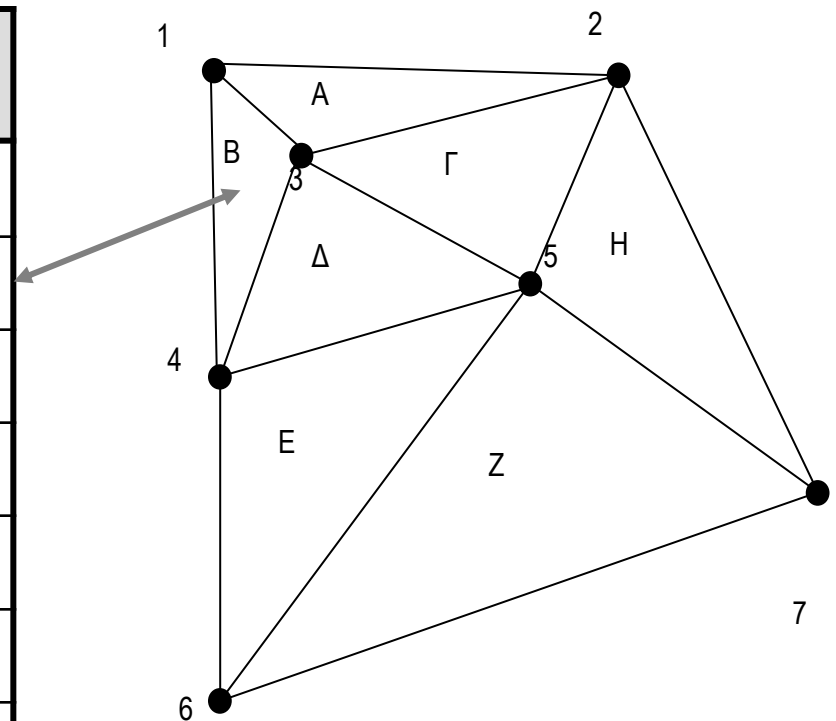
Παράδειγμα αναπαράστασης επιφάνειας με χρήση δικτύου ακανόνιστων τριγώνων

Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων - III

- Πως σχηματίζεται:
 - Τα σημεία ενώνονται μεταξύ τους με ευθύγραμμα τμήματα σχηματίζοντας μη επικαλυπτόμενα τρίγωνα.
 - Η δημιουργία των τριγώνων βασίζεται στον τριγωνισμό Delaunay.

Δίκτυο Ακανόνιστων Τριγώνων - IV

Τρίγωνο	Κορυφές	Γειτονικά τρίγωνα
A	1, 2, 3	B, Γ
B	1, 3, 4	A, Δ
Γ	2, 3, 5	A, Δ, Η
Δ	3, 4, 5	B, Γ, Ε
Ε	4, 5, 6	Δ, Ζ
Ζ	5, 6, 7	Ε, Η
Η	2, 5, 7	Γ, Ζ

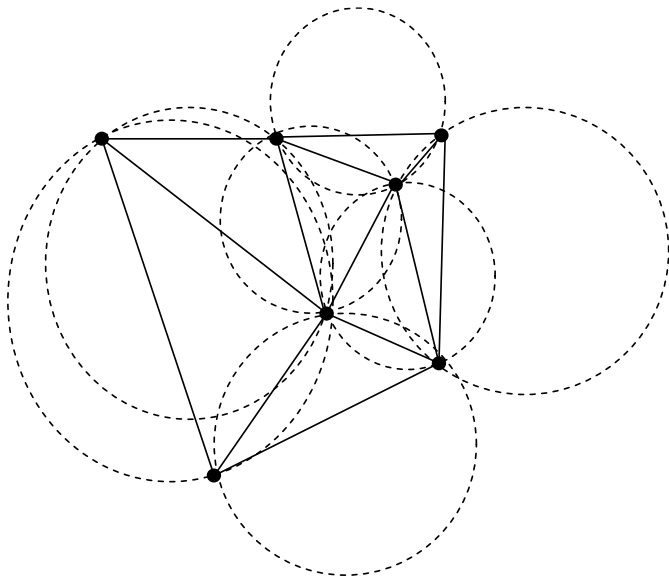


Παράδειγμα σχηματισμού δικτύου ακανόνιστων τριγώνων

Τριγωνισμός Delaunay

1. Δημιουργούνται κύκλοι που διέρχονται από τρία σημεία
2. Κάθε τριάδα αυτών των σημείων σχηματίζει ένα τρίγωνο.

Το σύνολο των τριγώνων: τριγωνισμός Delaunay.

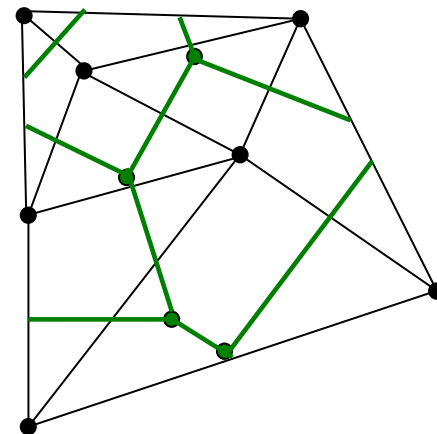
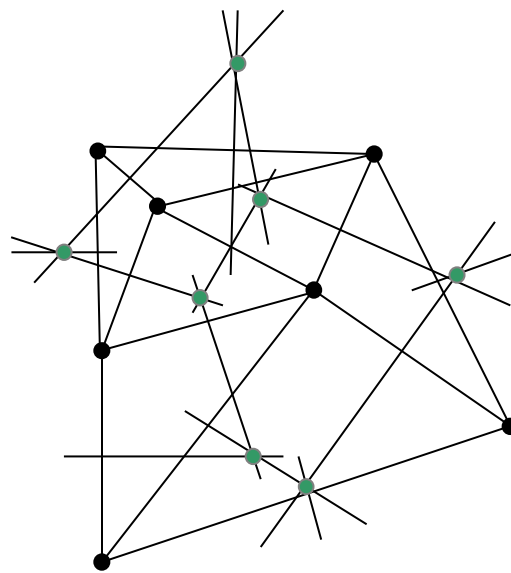
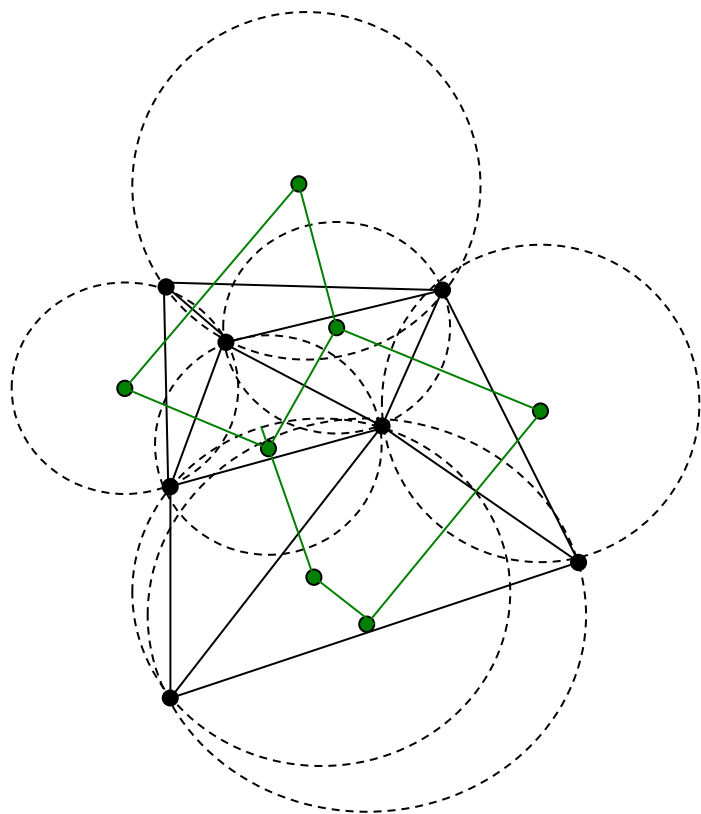


Ιδιότητες τριγωνισμού Delaunay:
(α) διαμορφώνονται όσο το δυνατόν πιο ισόπλευρα τρίγωνα,
(β) θεωρείται μοναδικός και
(γ) δίνει το ίδιο αποτέλεσμα ανεξάρτητα από το σημείο εκκίνησης δημιουργίας των τριγώνων.

Πολύγωνα Thiessen - I

- Τα πολύγωνα Thiessen
 - σχηματίζονται:
 - από την ένωση των κέντρων των ίδιων κύκλων του τριγωνισμού Delaunay ή
 - βάσει του τριγωνισμού Delaunay, με την χάραξη των μεσοκαθέτων των τριγώνων σταματώντας στα σημεία τομής τους.
 - υποστηρίζουν σύνθετες γεωμετρικές λειτουργίες.

Πολύγωνα Thiessen - II



Σχηματισμός πολυγώνων
Thiessen

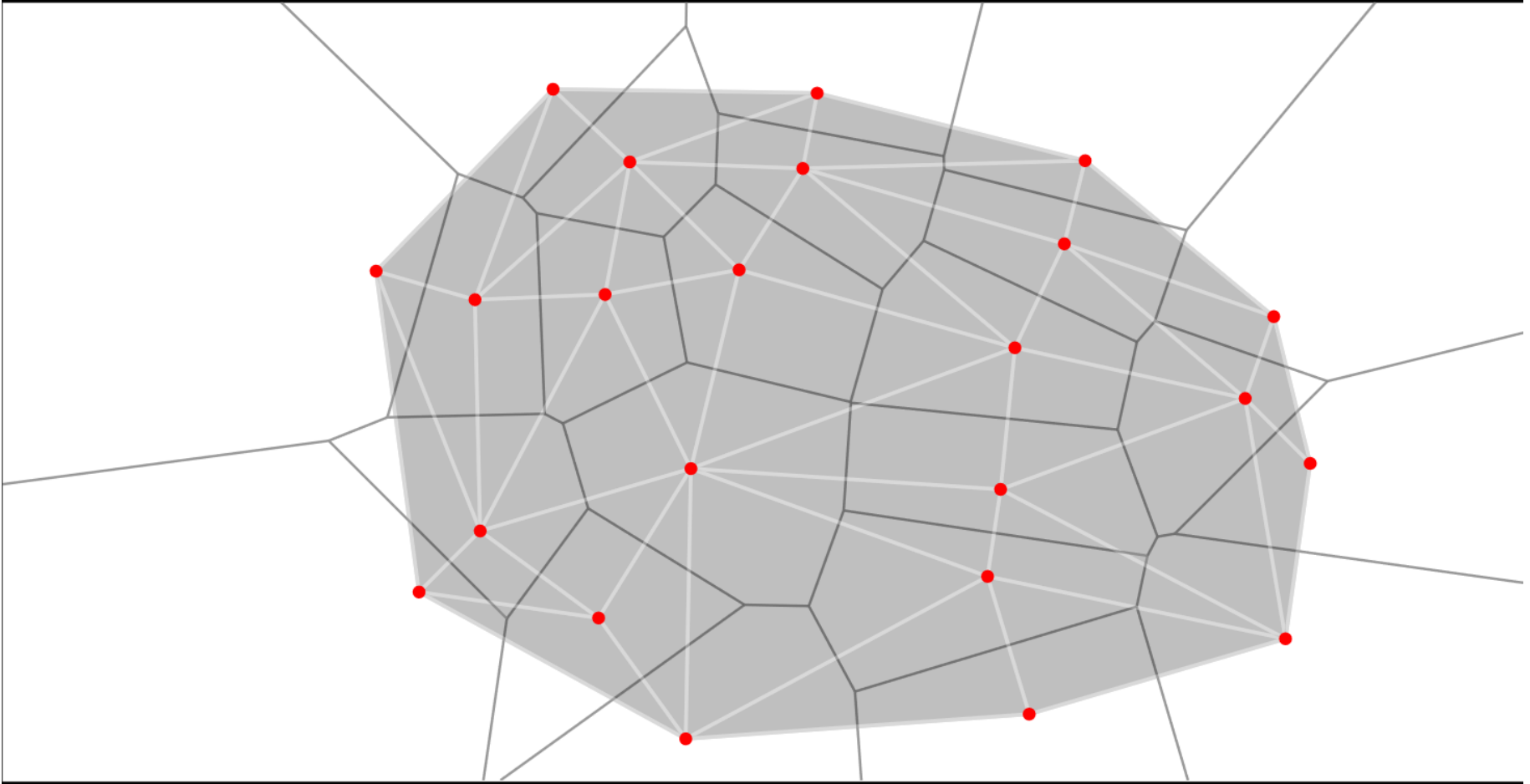


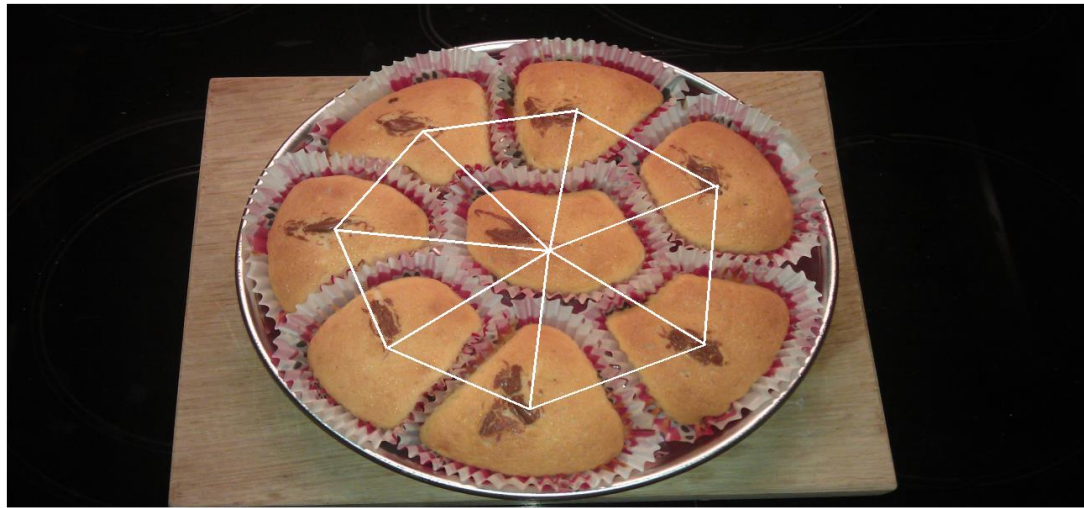
www.pi6.fernuni-hagen.de/GeomLab/VoroUpdate/

Output-sensitive update-operations on geometric data structures

Export graphics Redraw Recompute New Diagram Add Point

Delaunay Voronoi NNG Circumcircles Points





DEMOS

<http://www.pi6.fernuni-hagen.de/GeomLab/GWTVoroKOrder/>

<http://www.pi6.fernuni-hagen.de/GeomLab/GWTVoroAdd/>

<http://www.eecs.tufts.edu/~vporok01/c163/>

<http://www.pi6.fernuni-hagen.de/GeomLab/VoroUpdate/>

<http://alexbeutel.com/webgl/voronoi.html>

<https://observablehq.com/@d3/hover-voronoi>

Ανάλυση αναγλύφου (terrain analysis)



[Terrain Analysis:
Extraction of topographic
information: Derivative
information](#)
© GITTA 2006 (Creative
Commons)

ΠΑΡΑΓΩΓΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ

ΤΥΠΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Slope

Number

Slope at a point

Gradient

Number

Gradient between two points

Aspect

Number

Orientation of the slope

Curvature

Number

Curvature in a certain direction (for example plan and profile curvature)

Intervisibility

Yes/no

specifies whether the viewer can see a certain point

Viewshed

Polygon

Area which is visible from one or more points

Hillshade

Image

Shaded relief under a given illumination angle

Stream networks

Line

Lines of water runoff in the terrain

Catchment

Polygon

Area where other areas drain in

Profile

Line

Change in elevation of a surface along a line

Volume

Number

Calculation of volume change between two surfaces

Perspective image

Image

Perspective relief representation

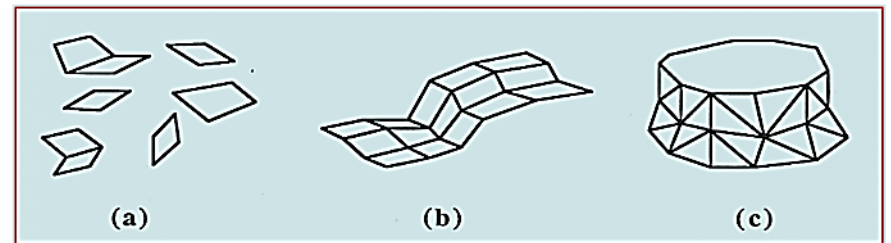
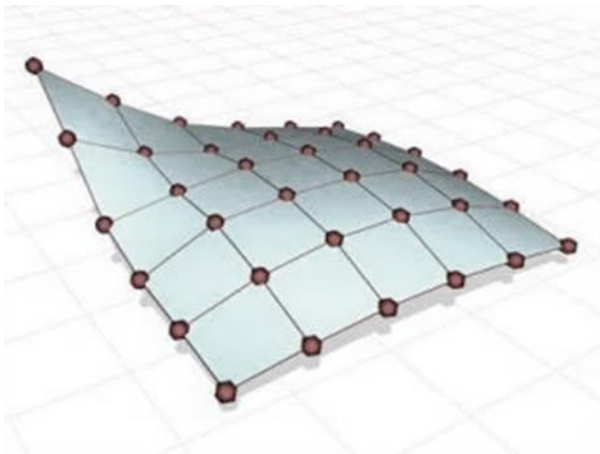
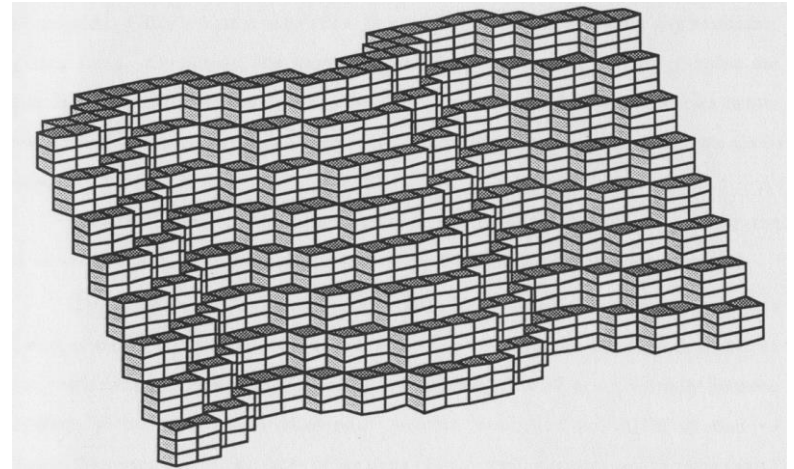
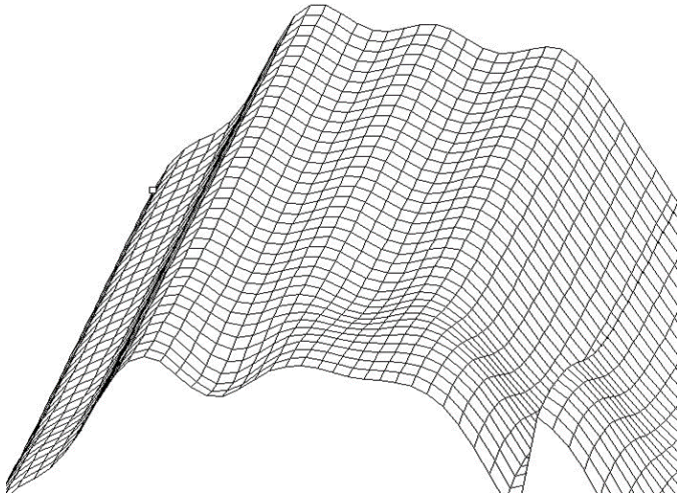
Line of greatest
slope

Line

Path along the steepest slope

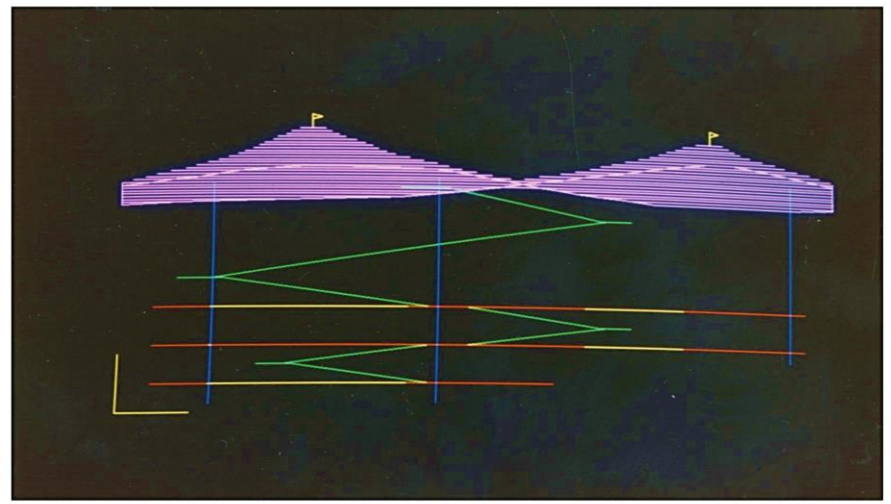
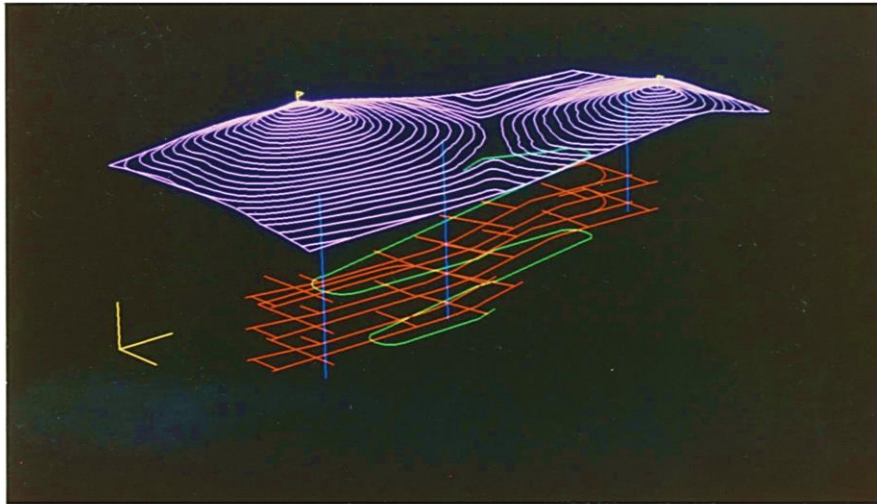
2. Προχωρημένες 3D αναπαραστάσεις

Γεωπιφάνειες



3D applications – Geology & Mining

A linear/wireframe representation of surface 2.5D topography and underground mine excavations (tunnels, shafts, ramps, bore-holes) using 3D space curves



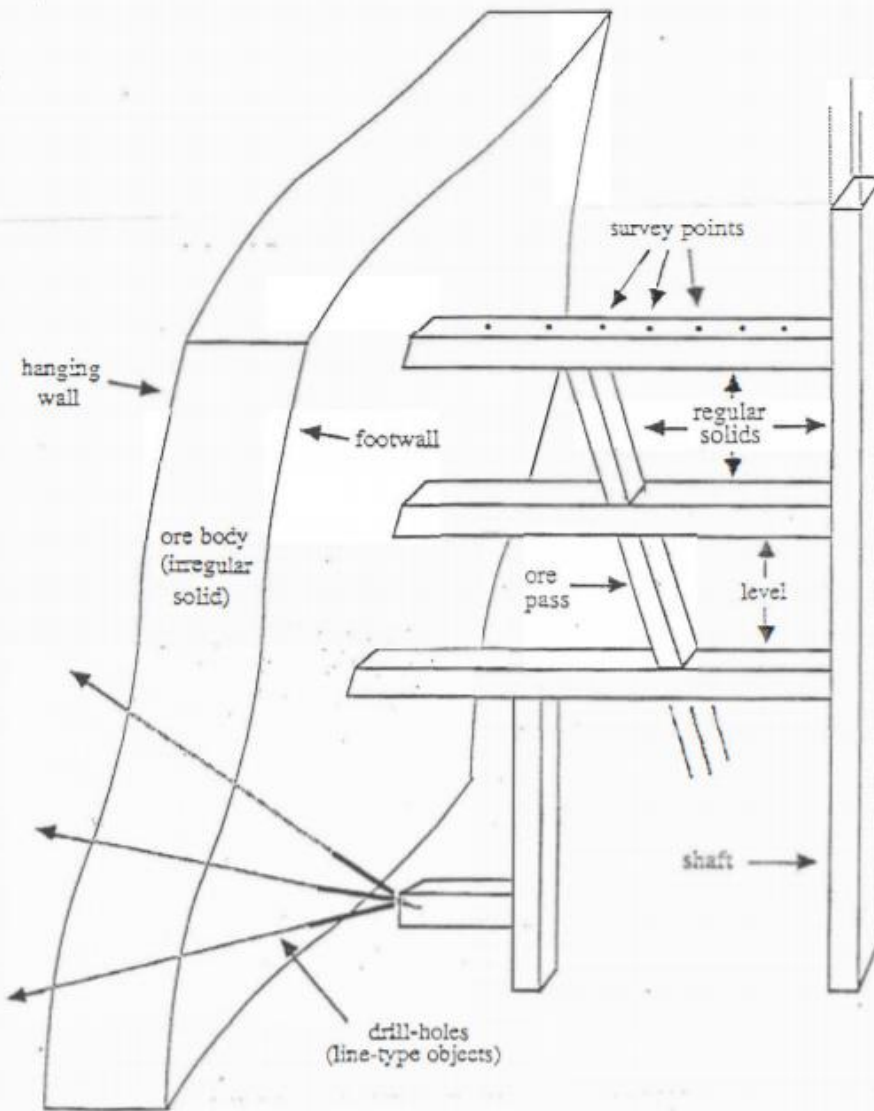


Figure 1.1 : Mining object types in a sample layout of an underground mine.

3D complexity in mining geoscientific applications

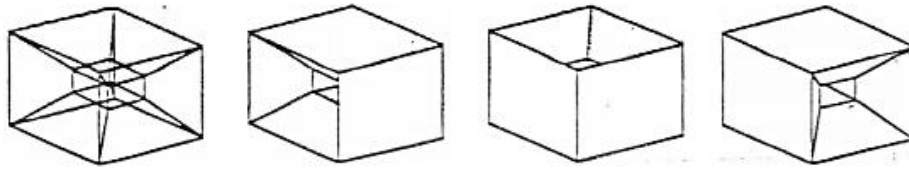


Figure 2.1 Wireframe ambiguity: Several objects can be represented by the same wireframe, [from Requicha & Voelker, 1982].

3D modelling

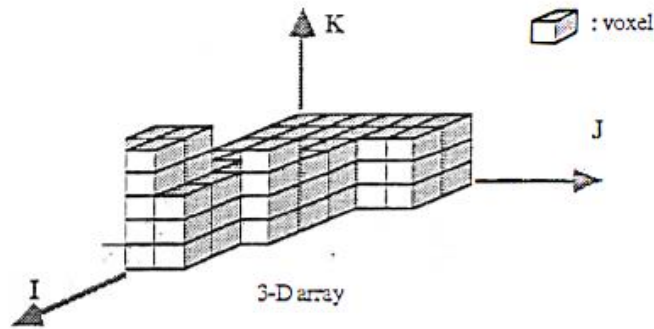


Figure 2.2 Spatial Occupancy Enumeration of a solid object.

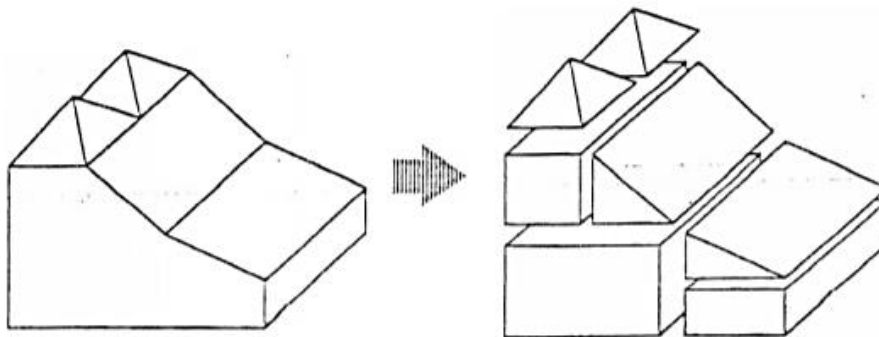
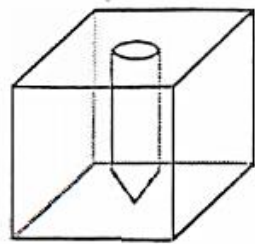
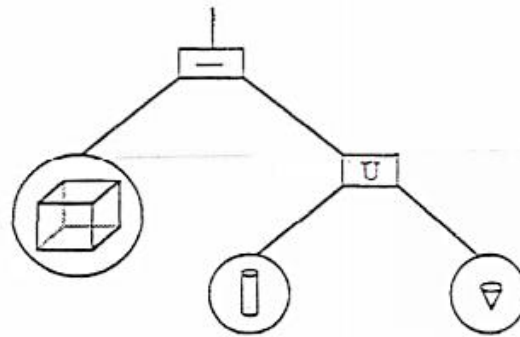


Figure 2.3 Cell decomposition of a solid object.

3D modelling



object



CSG tree

Figure 2.4 : Representation of a solid object by a CSG tree, [from Hillyard, 1982].

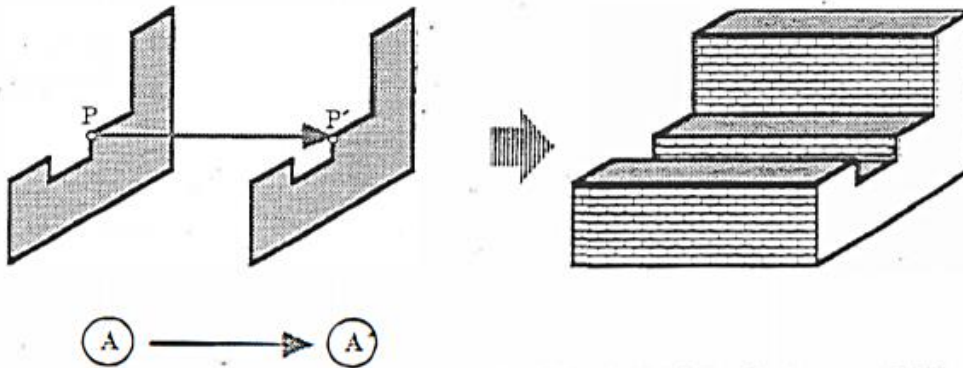


Figure 2.5 : Volume swept by a 2-D shape along a straight line.

3D modelling

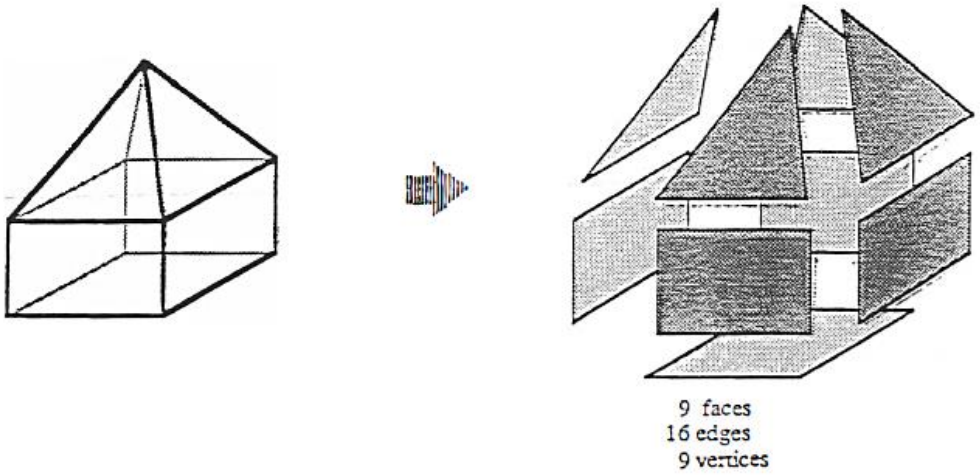


Figure 2.6: A boundary representation of a solid object.

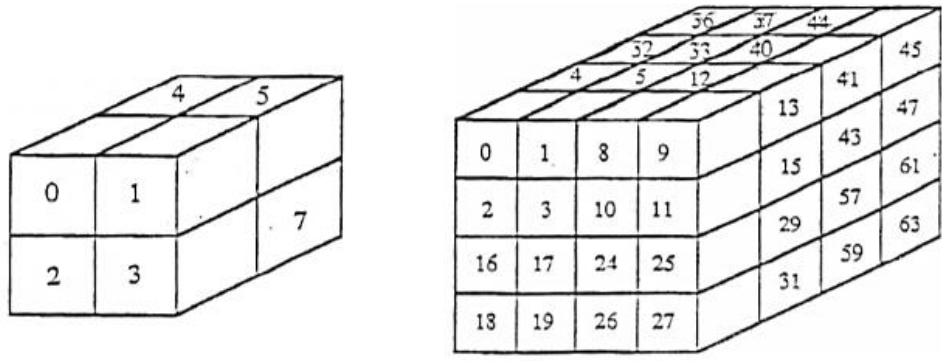


Figure 2.7 Three-dimensional ordering of octants of one subdivision level.

3D modelling

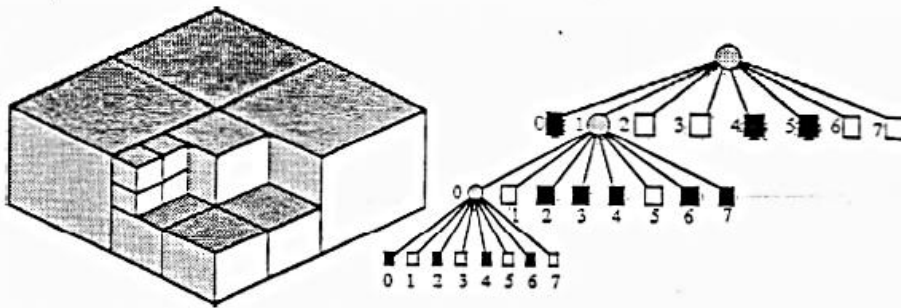


Figure 2.8 : Octree encoding of a solid object.

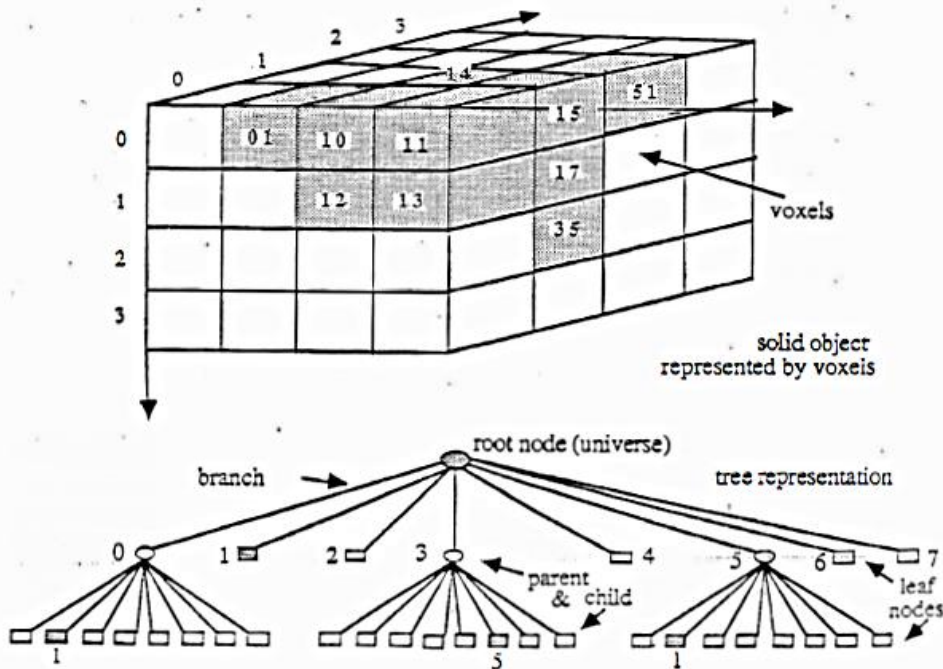
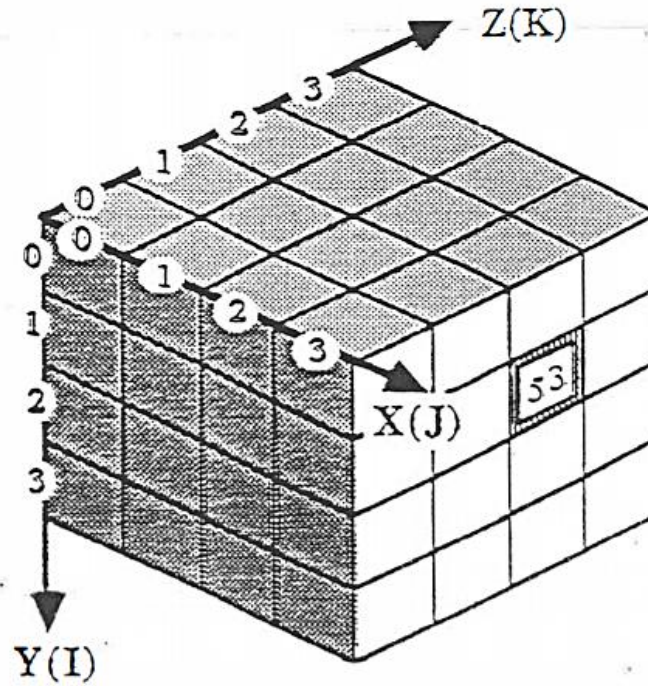
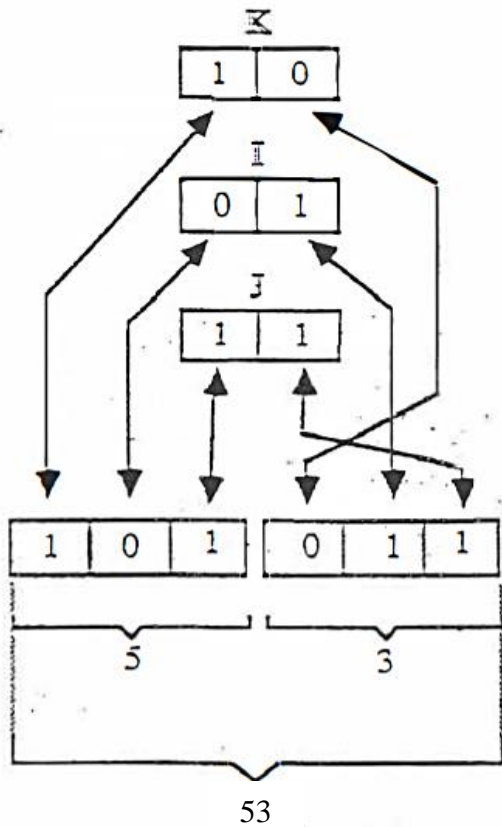


Figure 2.9 : Linear octree encoding of a solid object, [from Gargantini, 1982b].

Locational Octree Keys

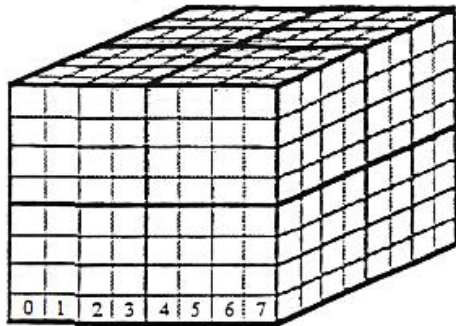
J	I	K	Locational Key
0	0	0	000
0	1	0	002
0	1	6	442
0	3	4	422
1	0	7	445
1	1	0	003
1	1	1	007
3	4	0	211
4	4	4	700
7	0	0	111
7	7	7	777

$$\begin{aligned}
 J &= 3_{10} = 11_2 \\
 I &= 1_{10} = 01_2 \\
 K &= 2_{10} = 10_2
 \end{aligned}$$



Voxel key addresses

Figure 2.10 : Interlacing of bits for computing the locational and Morton key addresses of a given voxel.



Number of subdivisions	$NS = 3$
Number of resolution voxels	$NV = 512$
Universe size (length)	$L = 8$
Resolution voxel size	$R = 1$

- : 1st subdivision
- : 2nd subdivision
- : 3rd subdivision

Figure 4.10 : Subdivision of the universe to a given resolution.

Subdivision schemes and number of voxels

		universe size				
R \ L		256	512	1024	2028	4096
voxel resolution	1	16,777,216	134 million	1074 million	8590 million	68.7 billion
	2	2,097,152	16,777,216	134 million	1074 million	8590 million
	4	262,144	2,097,152	16,777,216	134 million	1074 million
	8	32,768	262,144	2,097,152	16,777,216	134 million
	16	4,096	32,768	262,144	2,097,152	16,777,216
	32	512	4,096	32,768	262,144	2,097,152
	64	64	512	4,096	32,768	262,144
	128	8	64	512	4,096	32,768
	256	1	8	64	512	4,096

Figure 4.11 : Number of resulting resolution voxels for different subdivision schemes.

Octree generation from point and sectional data

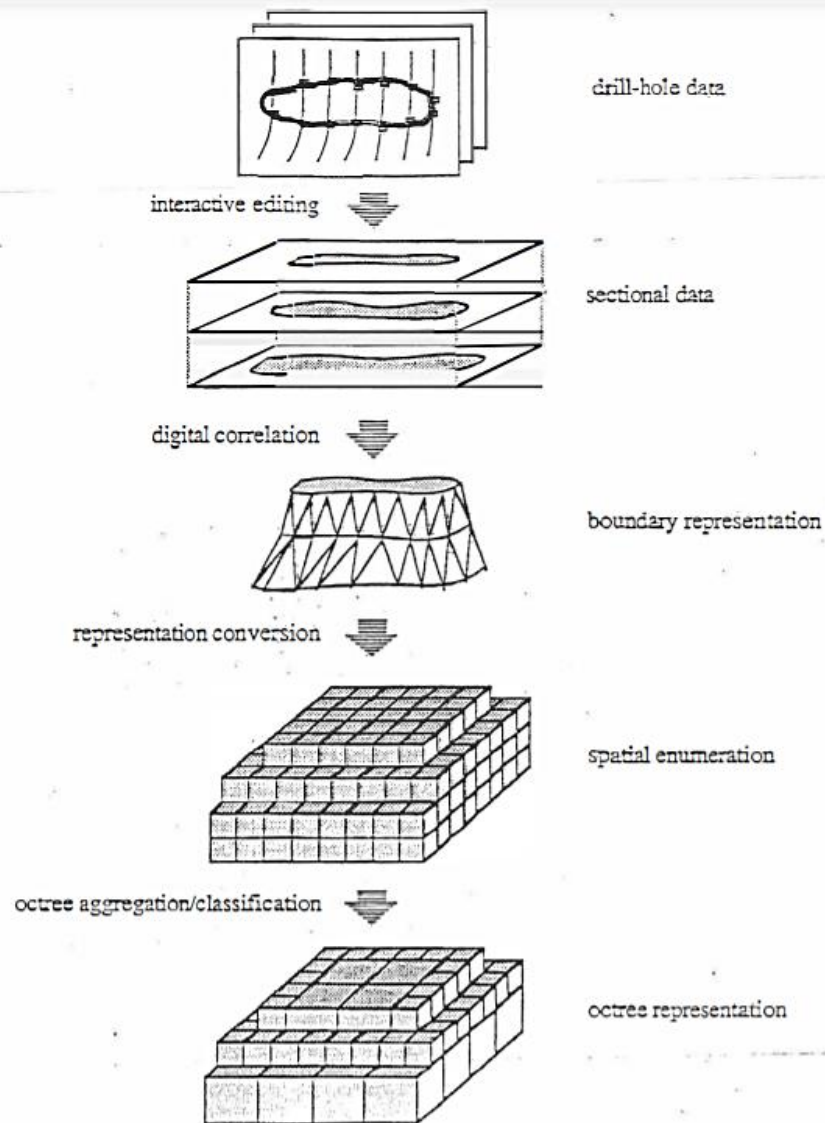
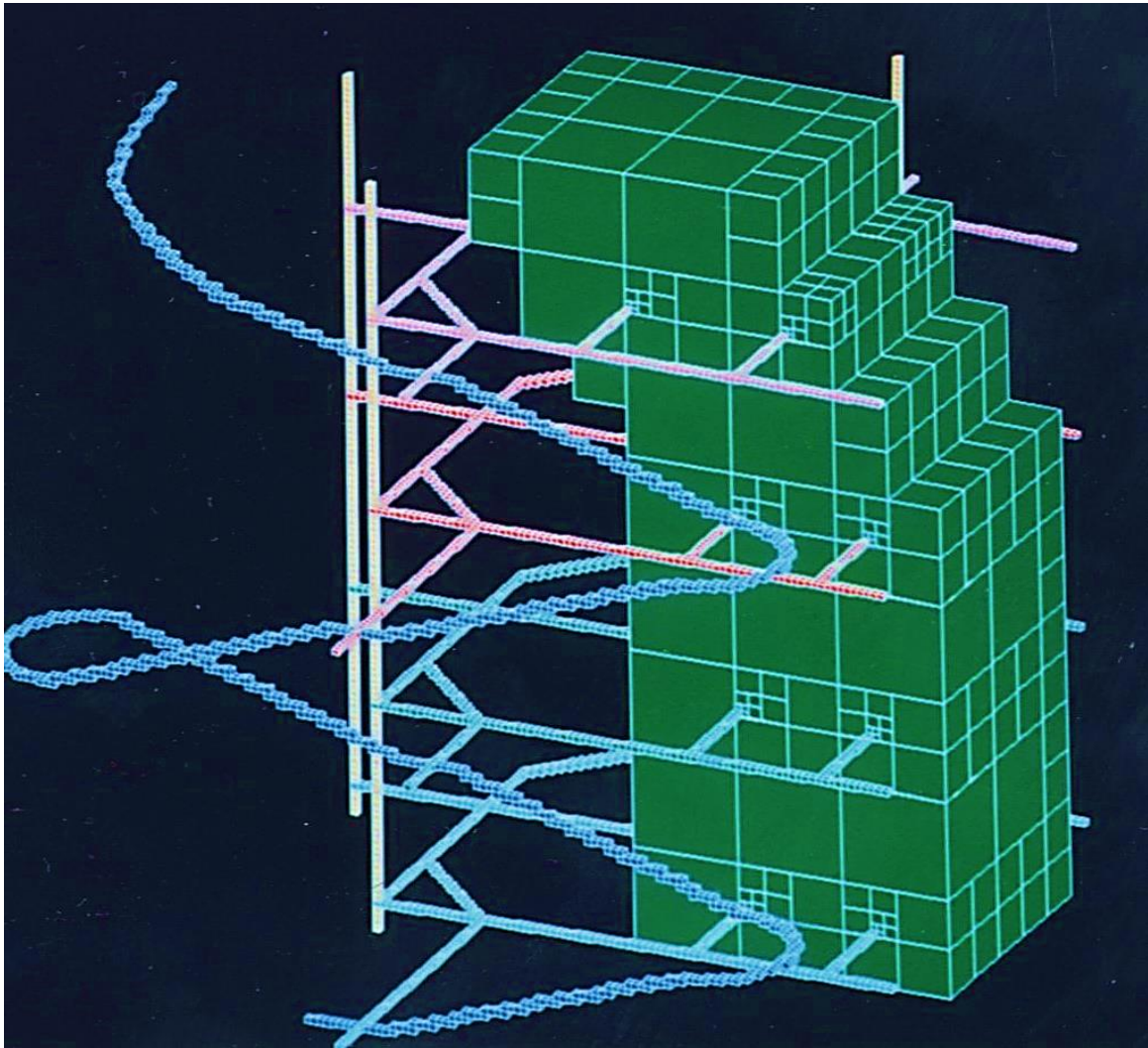


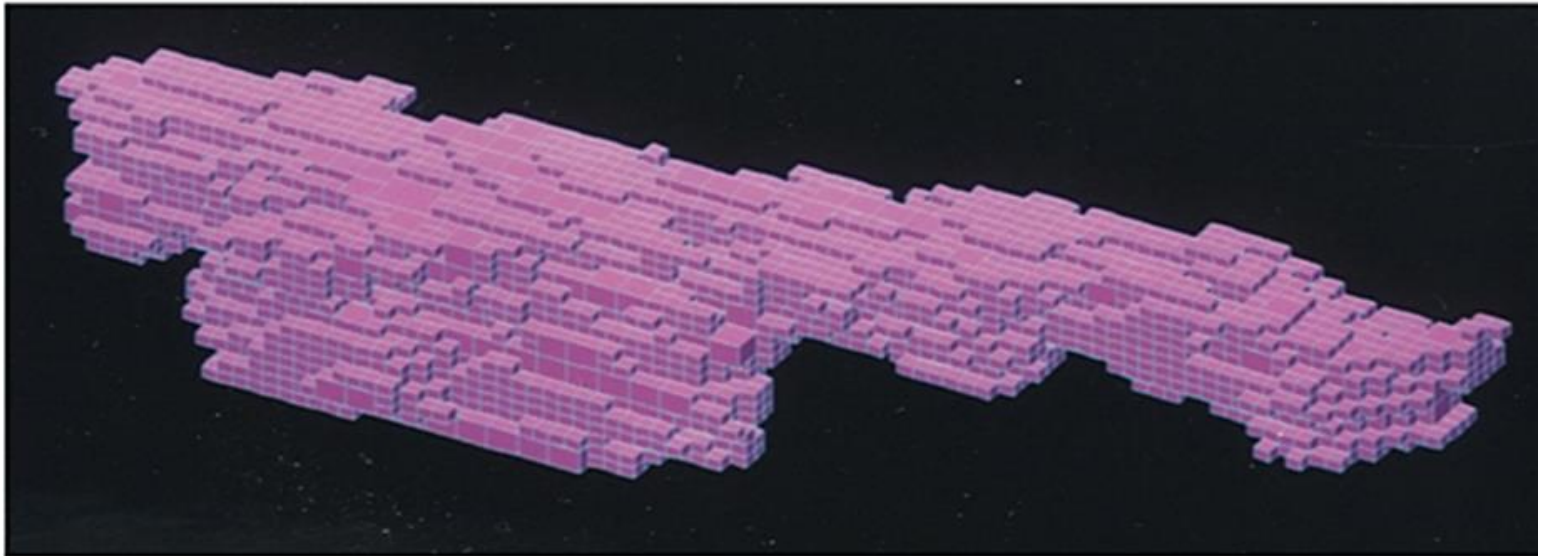
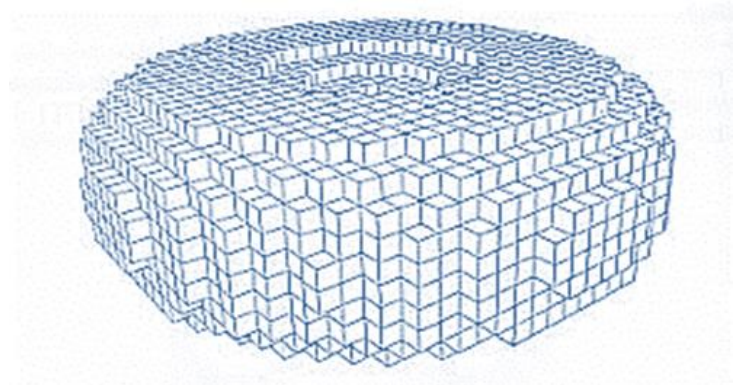
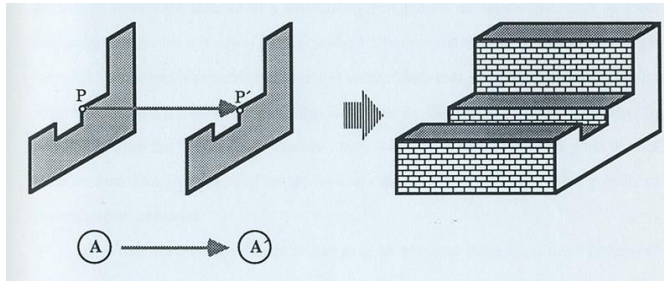
Figure 4.37 : Stepwise geometric modeling of irregular geo-solids — from sectional to octree representations.

3D applications – Geology & Mining

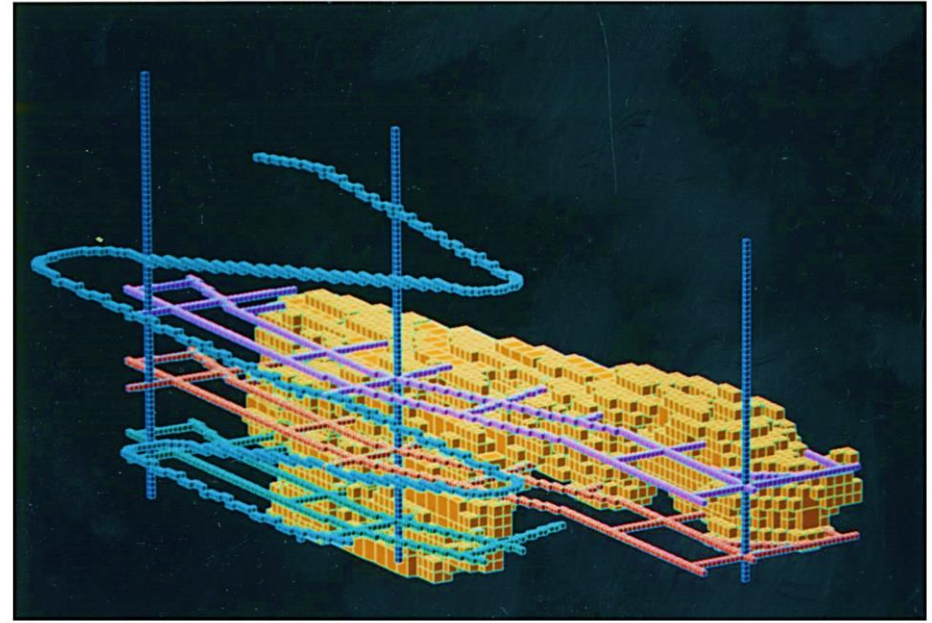


A solid representation of mine excavations (tunnels, shafts, ramps, boreholes) using octrees

Στερεά γεωαντικείμενα

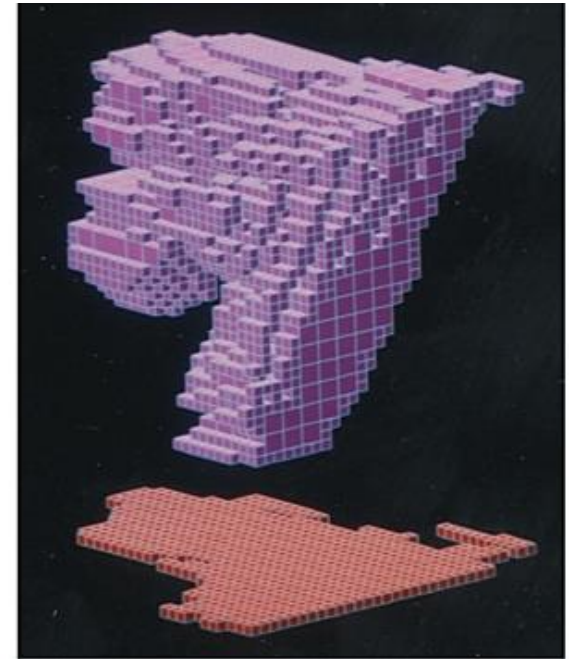
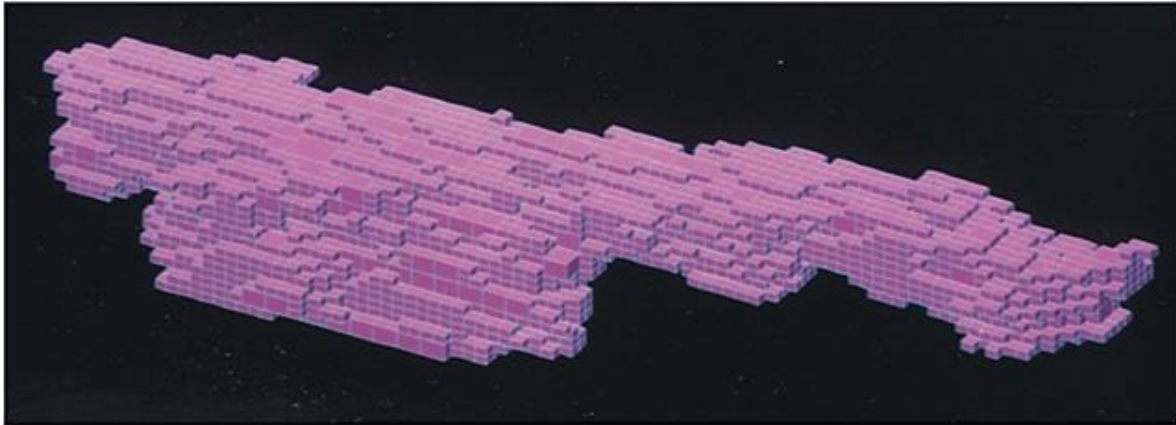


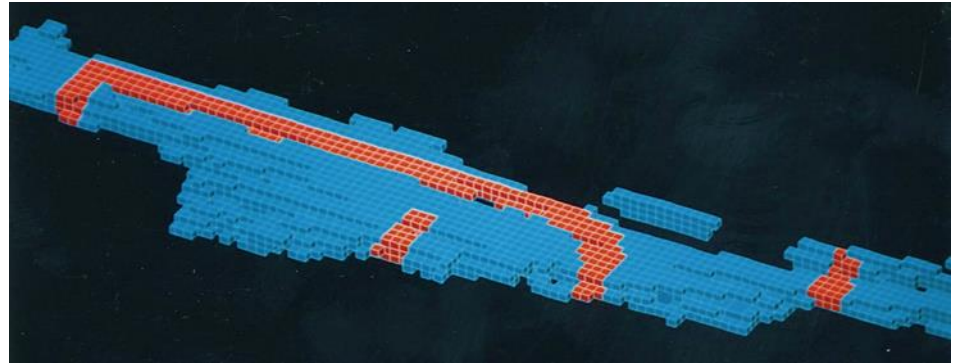
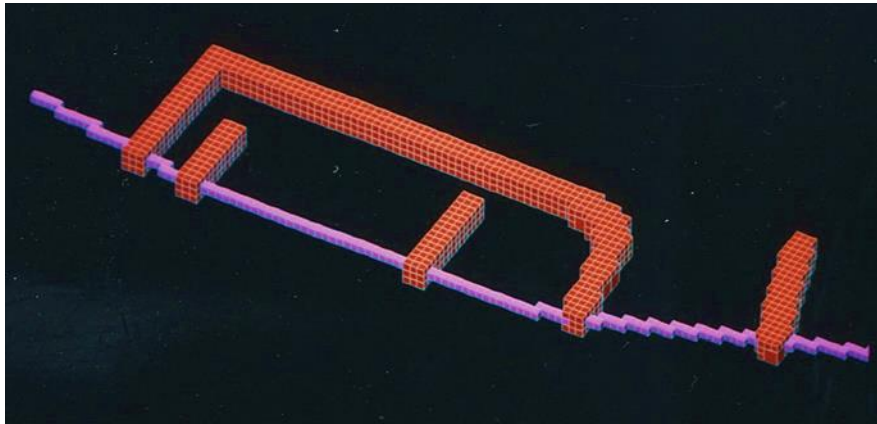
Αναπαράσταση ακανόνιστων γεωστερεών με octrees



Αναπαράσταση ακανόνιστων γεωστερεών με octrees

Τομές και προβολές





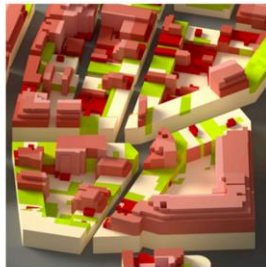
Boolean πράξεις σε αναπαραστάσεις στερεών

3D Εφαρμογές

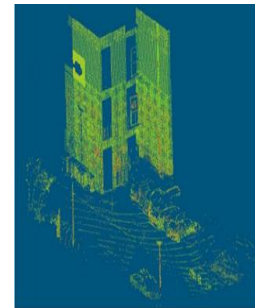
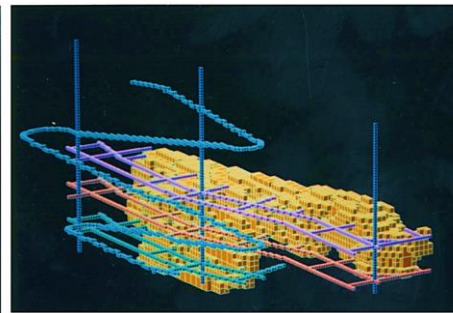
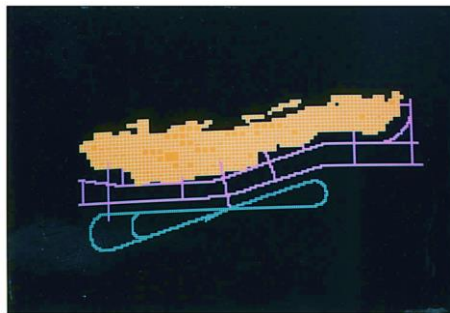
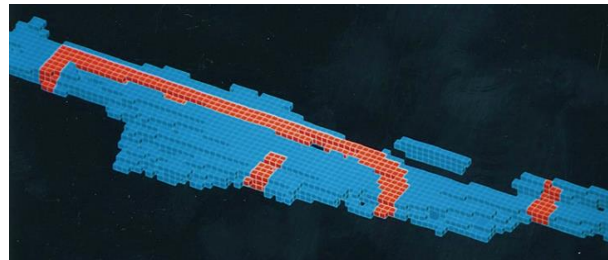
- Γεωεπιστημονικές εφαρμογές (γεωλογία, μεταλλειολογία, ωκεανογραφία), παρακολούθηση περιβάλλοντος, υδρολογία, δίκτυα υποδομών, 3D κτηματολόγιο, αστικός σχεδιασμός, αρχαιολογία, βιντεοπαιχνίδια, εκπαίδευση, κλπ.



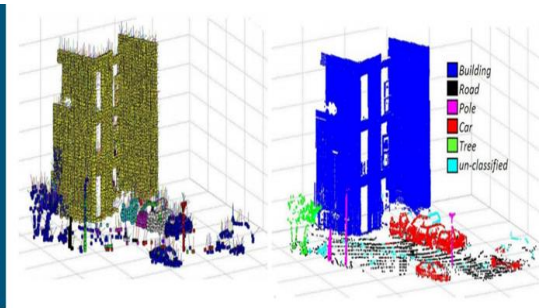
(a)



(b)



(a)

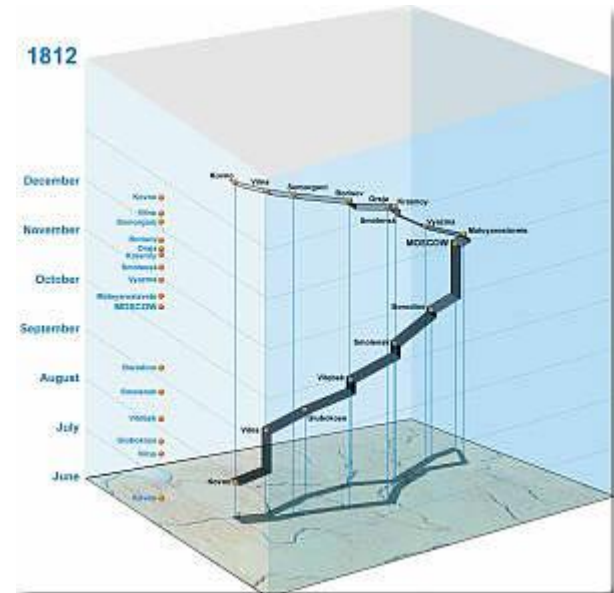
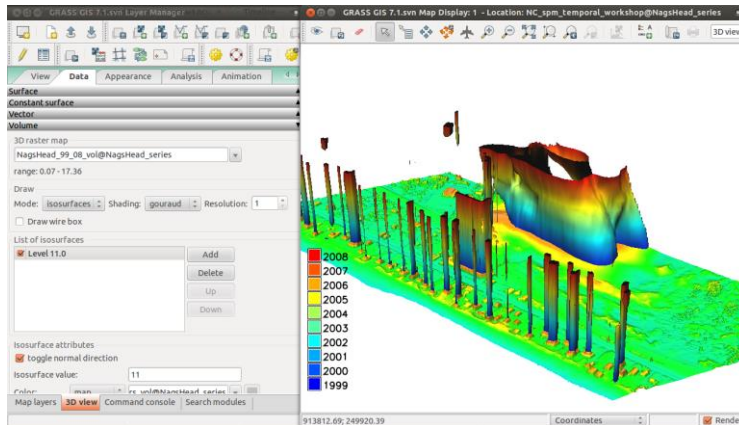


(b)

(c)



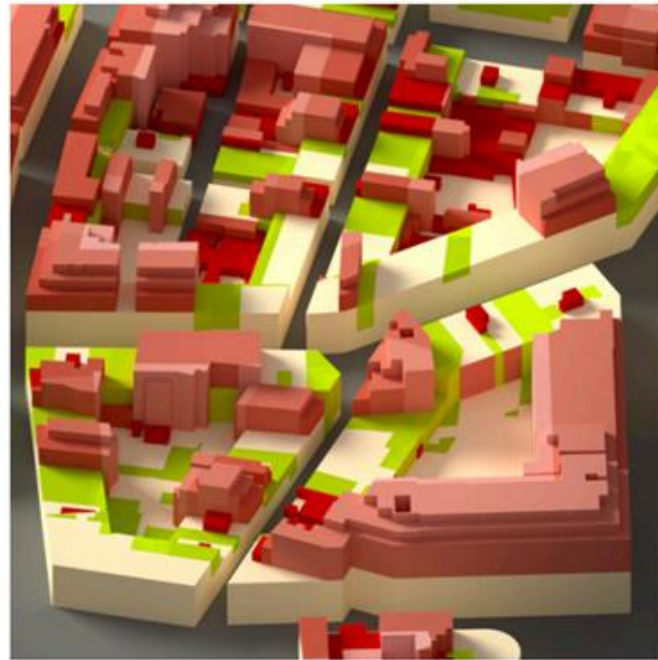
Χρόνος και αλλαγές στη γεωγραφική πληροφορία



3D applications - urban morphology



(a)



(b)

(a) Aerial axonometric view and (b) 3D representation of the Sant Andreu District of Barcelona - *license* [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3D applications - urban morphology



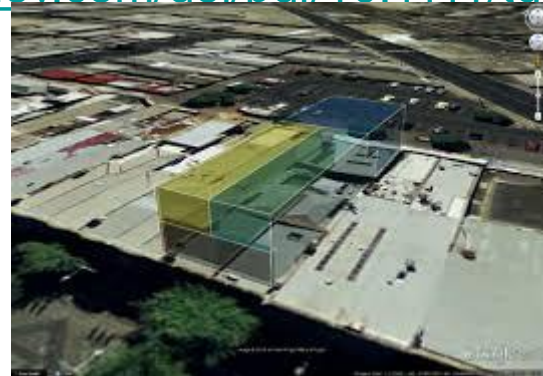
Volumetric analysis of built-up area of the Sant Andreu District of Barcelona - *license* [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3D applications - 3D cadastre

Construction of 3D Volumetric Objects for a 3D Cadastral System,
Shen Ying, Renzhong Guo, Lin Li, Peter Van Oosterom and Jantien
Stoter

Transactions in GIS, 2015, 19(5): 758–779

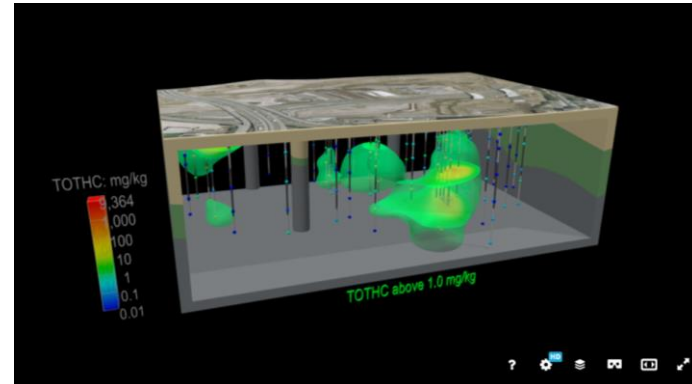
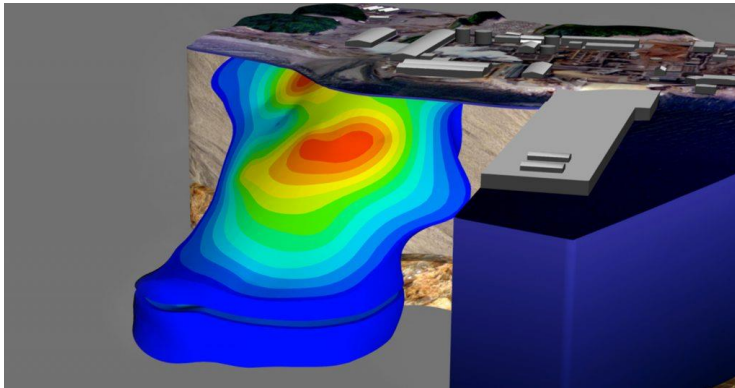
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/tgis.12129>



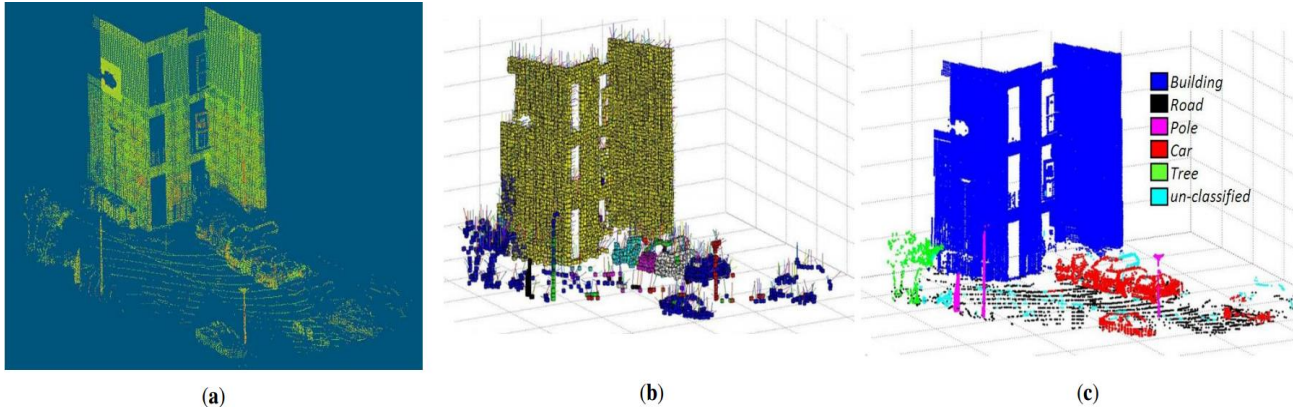
3D applications - Environmental Site Assessment

The Use of 3D Modelling for Environmental Site Assessment

<https://www.remmag.com/2017/3d-modelling-for-environmental-site-assessment/>



3D applications - point clouds



- 3D point clouds are going through Voxelisation and segmentation into objects. [By Aijazi et al. \(2013\)](#). Available via license [CC BY 3.0](#)
- PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation <http://stanford.edu/~rqi/pointnet/>

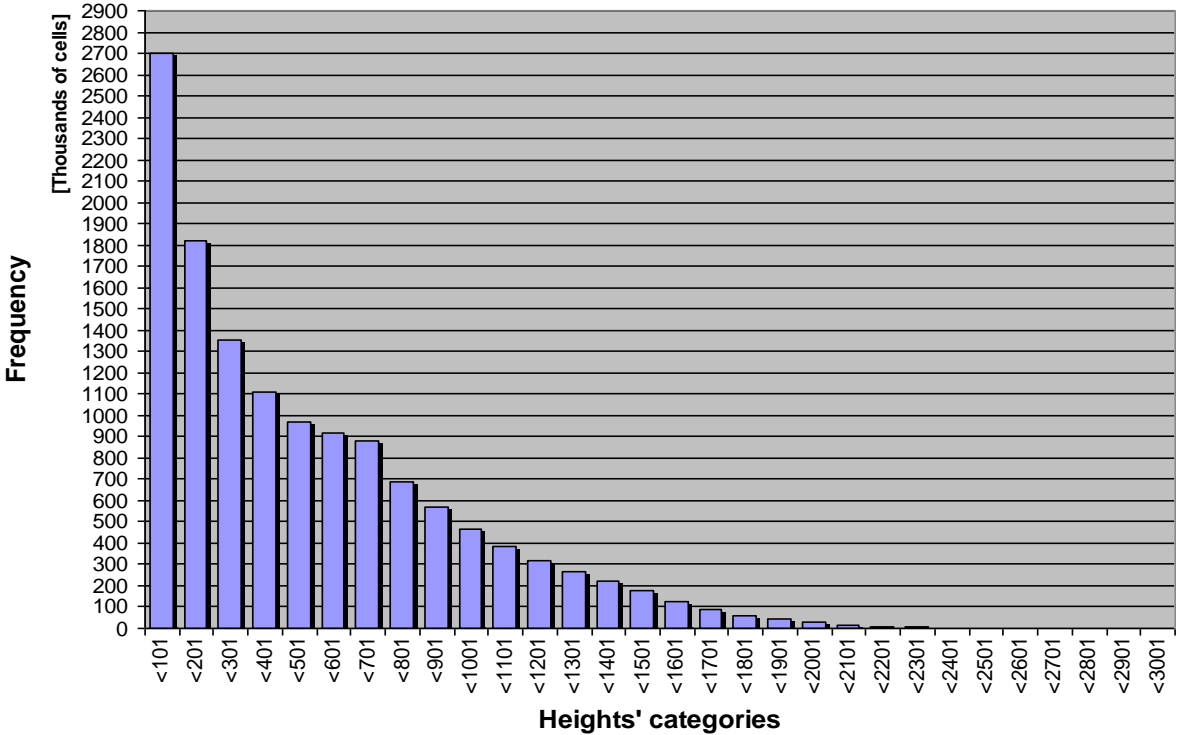
Ταξινόμηση των ΟΤΑ από την ΕΛΣΤΑΤ με βάση το ανάγλυφο, σε Ο-Η-Π



- Από την ανάλυση αποκαλύπτεται ότι μεγάλο μέρος του αναγλύφου, παρά τις όποιες εντυπώσεις, έχει χαμηλό υψόμετρο και ήπια κλίση δηλαδή πεδινό χαρακτήρα.
- Για παράδειγμα το 34% της έκτασης της Χώρας έχει υψόμετρο κάτω των 200 m από το οποίο το 20% είναι κάτω των 100 m.
- Άνω των 800 m υψόμετρο έχει το 21% της έκτασης της Χώρας.
- Επίσης φαίνεται ότι 21% της Χώρας έχει κλίση έως 3%, ενώ το 33% έχει κλίση έως 7%.
- Άνω του 60% κλίση παρουσιάζει μόνο το 2.8% της Χώρας.

ΥΨΟΜΕΤΡΑ	ΟΛΙΚΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ	ΜΕΡΙΚΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ	ΜΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ
<101	2697639	2697639	2697639
<201	4515820	1818181	1818181
<301	5869150	1353330	1353330
<401	6975613	1106463	1106463
<501	7941097	965484	965484
<601	8856433	915336	915336
<701	9733487	877054	
<801	10419898	686411	1563465
<901	10990664	570766	
<1001	11454701	464037	
<1101	11838372	383671	
<1201	12158987	320615	
<1301	12423460	264473	
<1401	12643884	220424	
<1501	12818394	174510	
<1601	12947505	129111	
<1701	13033822	86317	
<1801	13092491	58669	
<1901	13133196	40705	
<2001	13161182	27986	
<2101	13179061	17879	
<2201	13189508	10447	
<2301	13195866	6358	
<2401	13199519	3653	
<2501	13200894	1375	
<2601	13201744	850	
<2701	13202096	352	
<2801	13202210	114	
<2901	13202238	28	
<3001	13202238	0	2782340

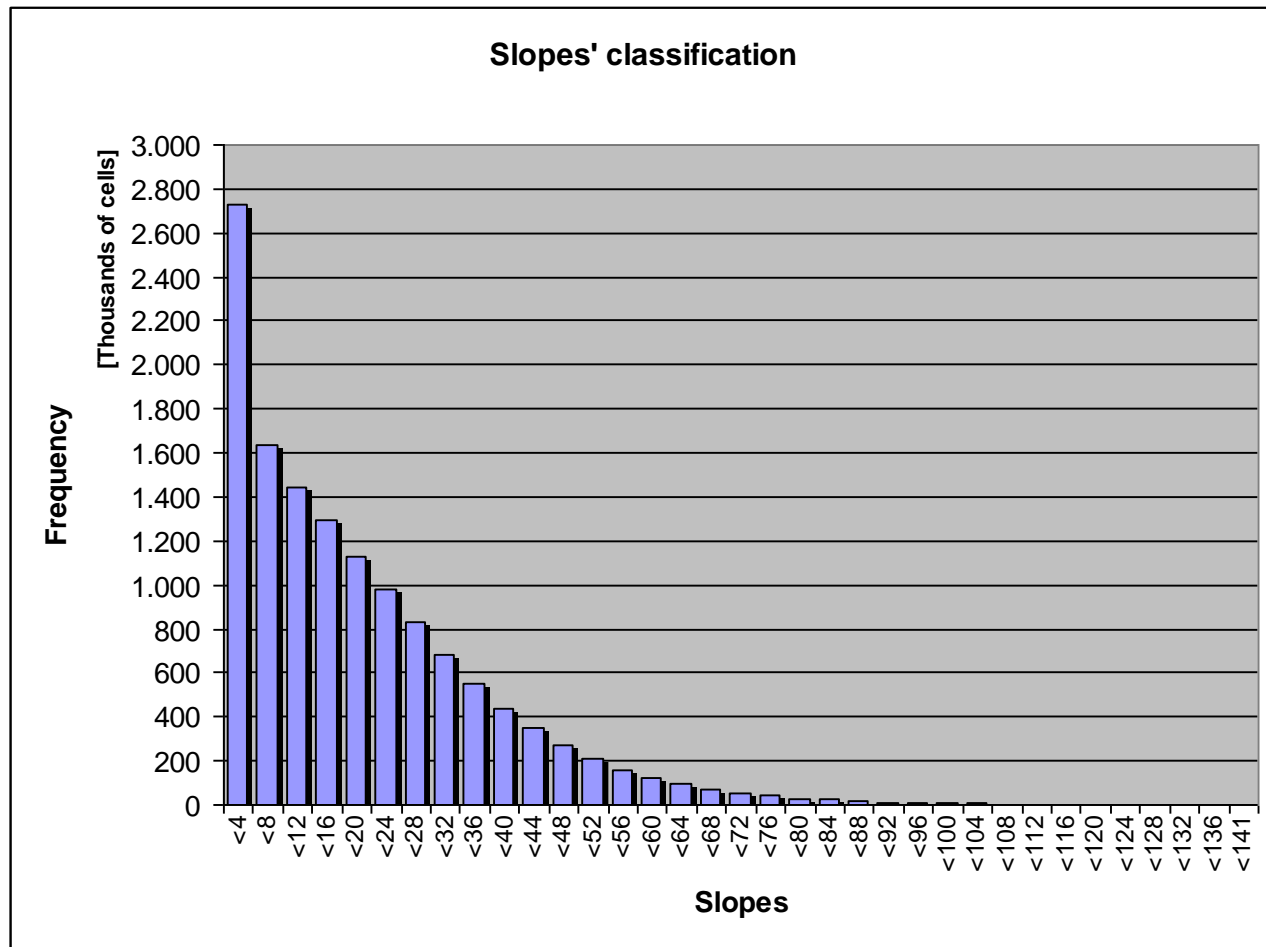
Heights classification



Κατανομή ψηφίδων (σε χιλιάδες) για όλη τη Χώρα ανά κατηγορία υψομέτρου (Height).

Διαστήματα υψομέτρων (κατηγορίες): ανά 100 μέτρα.
Μέγεθος ψηφίδας: 100 μέτρα.
Έκταση ψηφίδας: 10 στρέμματα

ΚΛΙΣΗ %	ΟΛΙΚΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ	ΜΕΡΙΚΟ ΑΘΡΟΙΣΜΑ	ΜΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ
<4	2732511	2732511	2732511
<8	4371702	1639191	1639191
<12	5816948	1445246	
<16	7108069	1291121	2736367
<20	8236445	1128376	
<24	9217648	981203	
<28	10045783	828135	
<32	10725827	680044	3617758
<36	11279644	553817	
<40	11719803	440159	
<44	12065688	345885	
<48	12336038	270350	
<52	12545536	209498	
<56	12706504	160968	
<60	12829147	122643	2103320
<64	12922793	93646	
<68	12994084	71291	
<72	13047688	53604	
<76	13088170	40482	
<80	13118108	29938	
<84	13140497	22389	
<88	13156898	16401	
<92	13168871	11973	
<96	13177654	8783	
<100	13184057	6403	
<104	13188773	4716	
<108	13192157	3384	
<112	13194719	2562	
<116	13196574	1855	
<120	13197925	1351	
<124	13198919	994	
<128	13199709	790	
<132	13200277	568	
<136	13200684	407	
<141	13201050	366	371903



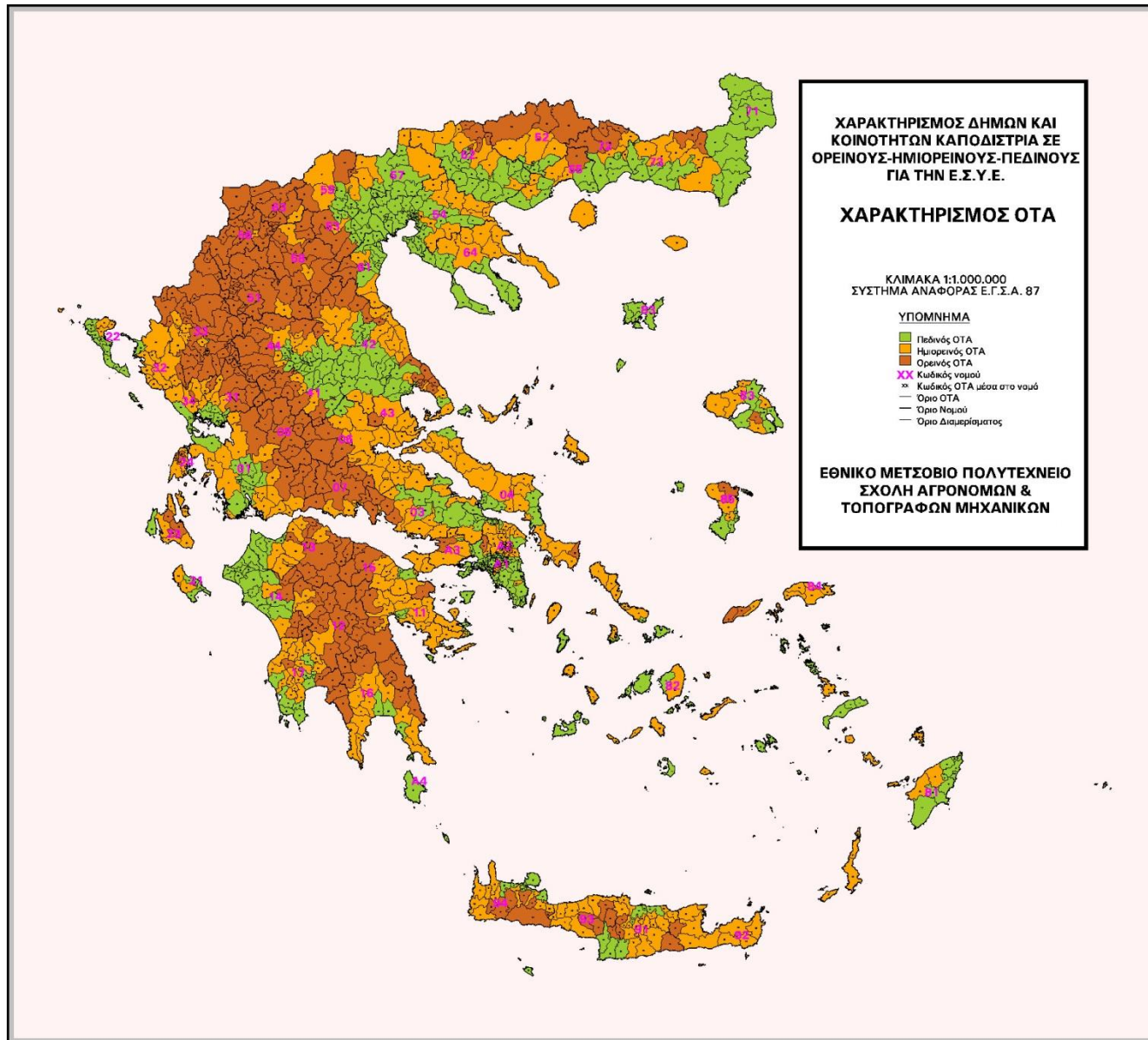
Κατανομή ψηφίδων (σε χιλιάδες) για όλη τη Χώρα ανά κατηγορία κλίσης (Slope).

Διαστήματα κλίσεων: ανά 4%.

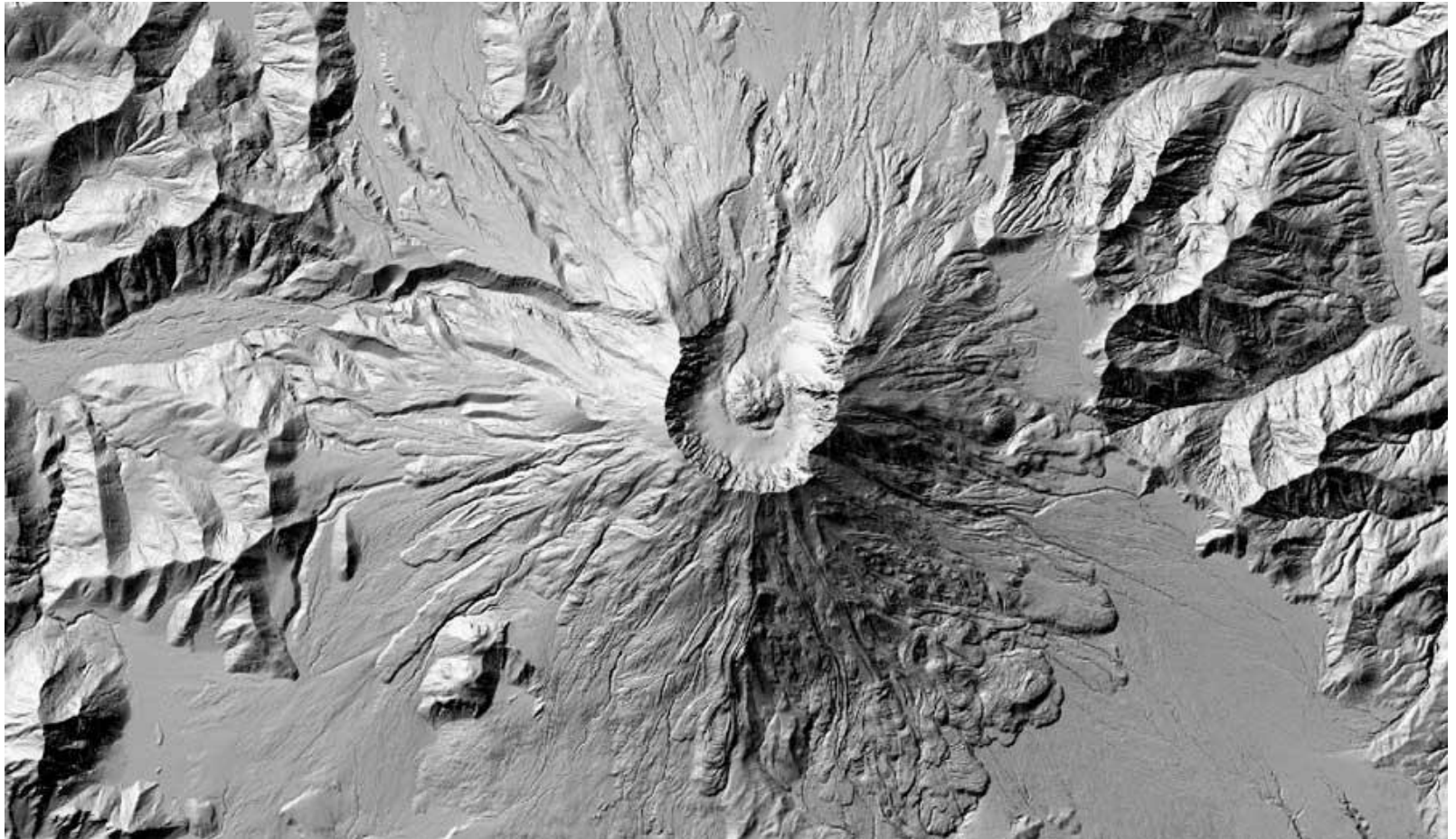
Μέγεθος ψηφίδας: 100 μέτρα.

Έκταση ψηφίδας: 10 στρέμματα

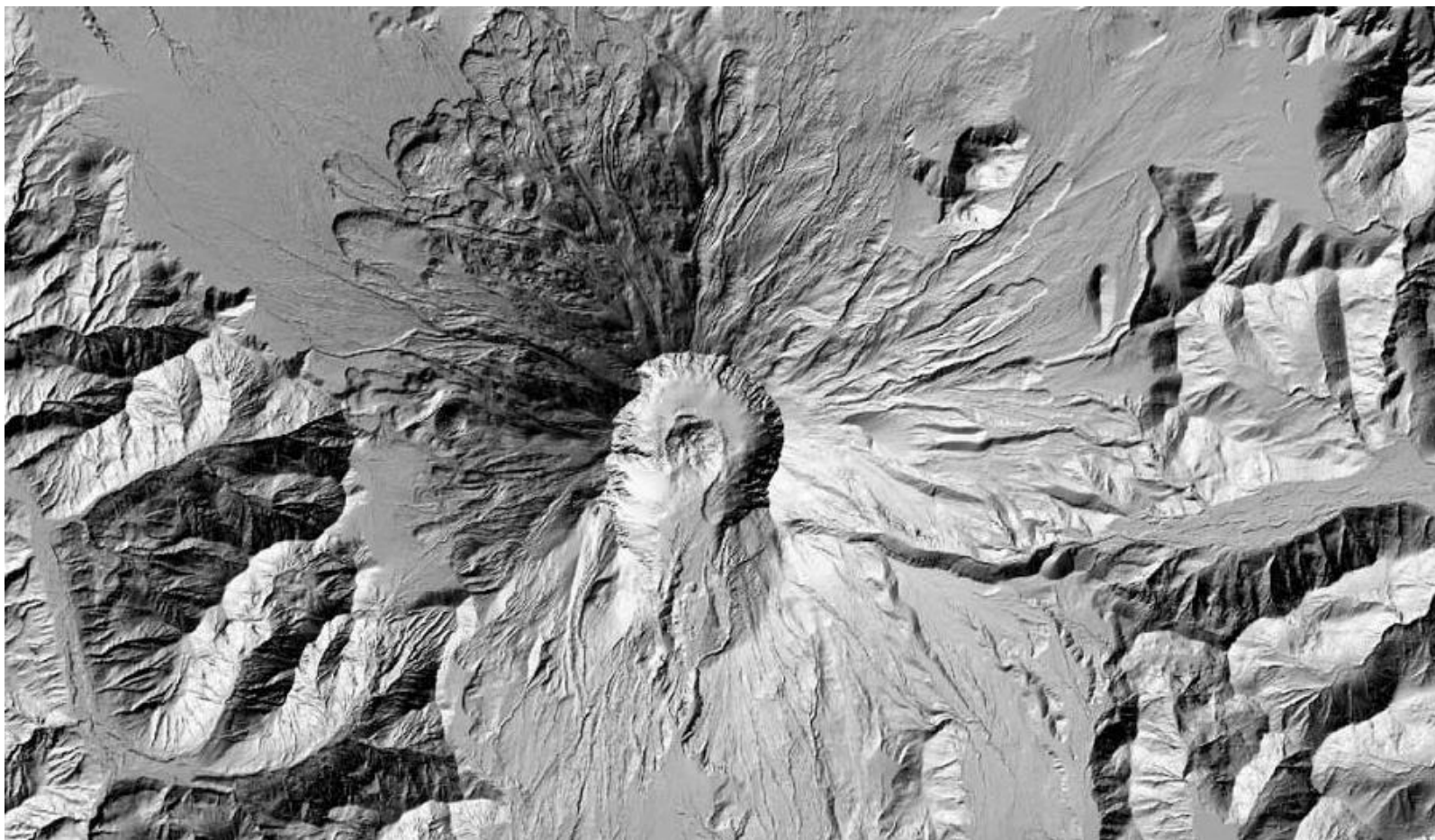
Χάρτης αναλυτικού χαρακτηρισμού αναγλύφου.



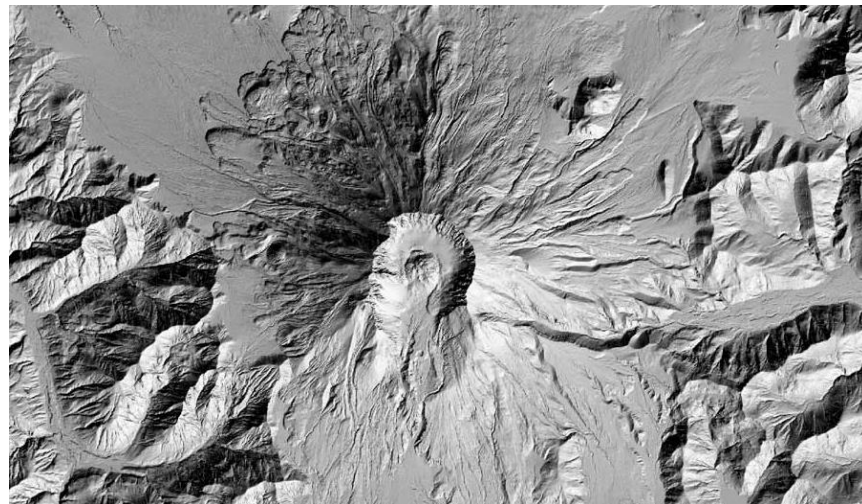
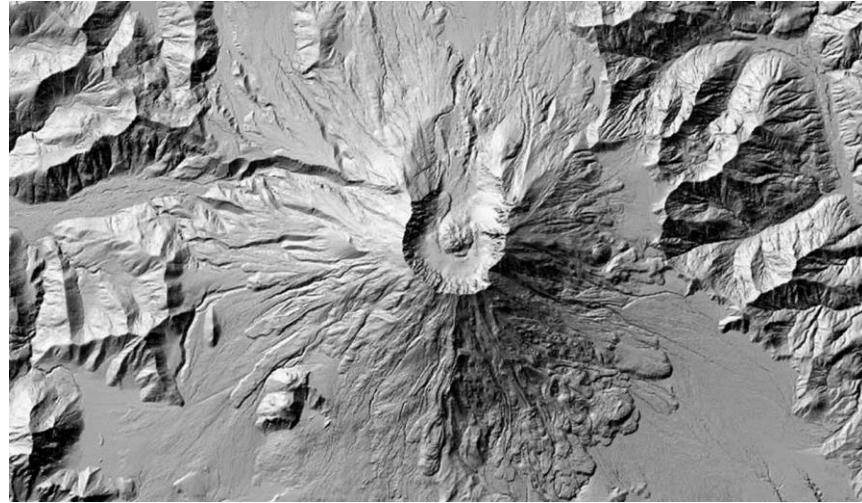
Οπτικοποίηση - Σκίαση αναγλύφου



Σκίαση αναγλύφου



Σκίαση αναγλύφου



Χρήσιμο υλικό (3D GIS)

- **GIS Lecture 10: 3D Analyst.** Outline. Load 3D Analyst Extension 3D Scene Triangulated Irregular Network (TIN) Drape Features to TIN Extruding 3D Features Navigating a 3D Scene 3D Effects Animations 3D Symbols Light of Sight Analysis ArcGlobe. Load 3D Analyst Extension. <https://www.slideserve.com/latoya/gis-lecture-10-3d-analyst>
- How to create a 3D Terrain with Google Maps and height maps in Photoshop - **3D Map Generator Terrain.** <https://www.youtube.com/watch?v=Bb0HnaYNUx4>