



**UNIVERSITATEA DE ȘTIINȚE AGRONOMICE ȘI MEDICINĂ VETERINARĂ DIN
BUCUREȘTI**

Facultatea de Îmbunătățiri Funciare și Ingineria Mediului
Ciclul II — Master · Proiectarea Lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare

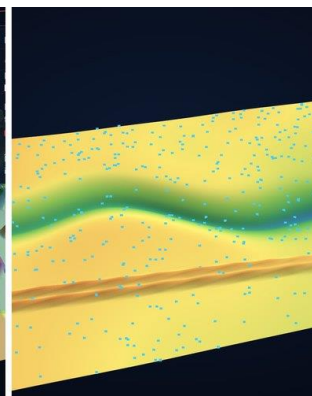
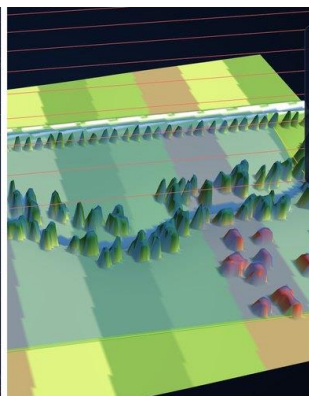
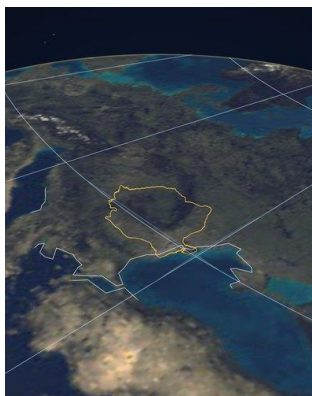


SUPORT DE CURS

Măsurători topografice și modelarea terenului

În lucrările de îmbunătățiri funciare

Proiecții cartografice și Stereo 70 · Stații totale · GNSS și ROMPOS · UAV: fotogrametrie și LiDAR ·
Modelul digital al terenului



Mihail-Alexandru Neculai

Anul universitar 2026–2027 · ediția a II-a, revizuită și ilustrată

Cuprins

Cum folosiți acest suport.....	4
Structura fiecărui capitol	4
Animațiile interactive	5
Ce este nou în această ediție.....	5
1. Proiecții cartografice și sisteme de referință	6
1.1 Forma Pământului și suprafețele de referință	6
1.2 Ce este o proiecție cartografică	8
1.3 Clasificarea proiecțiilor	8
1.4 Proiecția Stereo 70	11
1.5 Sistemul de coordonate plane X – Y.....	14
1.6 Sistemul altimetric Marea Neagră 1975.....	16
1.7 Transformarea coordonatelor GNSS în Stereo 70 și MN75	17
1.8 Alte tipuri de proiecții	18
1.9 Întrebări de autoevaluare	19
2. Măsurători realizate cu stațiile totale	20
2.1 Ce este o stație totală	20
2.2 Evoluția: de la teodolit la stația robotizată.....	21
2.3 Componentele și principiul de funcționare	24
2.4 Echipamentul de teren	25
2.5 Metoda polară — cum se obțin coordonatele	27
2.6 Avantajele măsurătorilor cu stația totală	28
2.7 Stația totală în lucrările de îmbunătățiri funciare	29
2.8 Întrebări de autoevaluare	31
3. Măsurători GNSS.....	32
3.1 Ce este GNSS.....	32
3.2 Sistemele de poziționare prin satelit	33
3.3 Principiul de funcționare: trilaterarea	35
3.4 Erorile și corecțiile: DGNSS și RTK.....	36
3.5 Rețeaua ROMPOS.....	37
3.6 Lucrul în teren cu receptorul RTK.....	38
3.7 Aplicații GNSS în lucrările de îmbunătățiri funciare	40
3.8 Stația totală sau GNSS?	41
3.9 Întrebări de autoevaluare	42
4. Tehnologii aeropurtate UAV: fotogrametrie și scanare 3D.....	43
4.1 Introducere în tehnologiile aeropurtate UAV	43
4.2 Tipuri de UAV	43
4.3 Cadrul legal.....	45
4.4 Principiile fotogrametriei.....	45
4.5 Pregătirea zborului.....	48
4.6 Zborul	49

4.7 Prelucrarea datelor, pas cu pas.....	50
4.8 Scanarea 3D cu LiDAR	59
4.9 Aplicații și avantaje în îmbunătățiri funciare.....	62
4.10 Întrebări de autoevaluare	63
5. Modelul digital al terenului și aplicații software.....	65
5.1 Modelul digital al terenului (MDT)	65
5.2 Norul de puncte	67
5.3 Curbele de nivel	68
5.4 Profilele longitudinale și transversale.....	70
5.5 Calculul volumelor de terasamente	73
5.6 Software-ul de proiectare	75
5.7 Aplicații ale MDT-urilor în îmbunătățiri funciare	76
5.8 Întrebări de autoevaluare	77
Anexa 1 · Formular	79
Anexa 2 · Glosar	80
Anexa 3 · Bibliografie și resurse	82
Proiecții cartografice și sisteme de referință.....	82
Stații totale și GNSS.....	82
UAV, fotogrametrie și LiDAR	82
Modelul digital al terenului și software.....	82
Răspunsuri la întrebările de autoevaluare.....	83
Capitolul 1 · Proiecții cartografice	83
Capitolul 2 · Stații totale	83
Capitolul 3 · Măsurători GNSS	84
Capitolul 4 · Tehnologii aeropurtate UAV.....	84
Capitolul 5 · Modelul digital al terenului	85

Cum folosiți acest suport

Suportul acoperă partea de **măsurători topografice și modelare a terenului** din cursul de master **Proiectarea Lucrărilor de Îmbunătățiri Funciare**: de la sistemele de referință în care se exprimă coordonatele, la instrumentele cu care se măsoară (stația totală, receptorul GNSS, drona) și la modelul digital al terenului, din care rezultă proiectul unui canal de irigații sau de desecare (Figura 0.1).

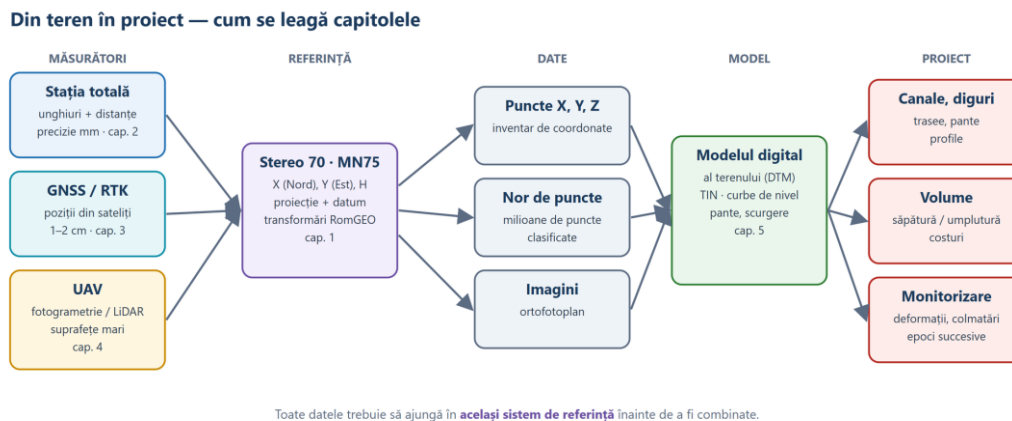


Figura 0.1. Din teren în proiect: cum se leagă cele cinci capitole.

Fiecare capitol corespunde unei prezentări de curs. Prezentările sunt și în format **HTML interactiv**, cu animații, în folderele de lângă acest document (Tabelul 0.1).

Tabelul 0.1. Capitolele suportului și prezentările corespunzătoare

Capitolul	Tema	Prezentarea	Folderul cu animații
1	Proiecții cartografice și sisteme de referință	Cursul 1	CURS_1_PROIECTII_CARTOGRAFICE
2	Măsurători realizate cu stațiile totale	Cursul 2, partea I	CURS_2_STATII_TOTALE_GNSS
3	Măsurători GNSS	Cursul 2, partea a II-a	CURS_2_STATII_TOTALE_GNSS
4	Tehnologii aeroperțate UAV: fotogrametrie și scanare 3D	Cursul 4	CURS_4_UAV_SCANARE_3D
5	Modelul digital al terenului și aplicații software	Cursul 3	CURS_3_MODELE_DIGITALE_CAD

Structura fiecărui capitol

- **obiectivele** — ce trebuie să știți și să puteți face la final;
- **cuvintele-cheie** — termenii explicați în capitol și în glosar;
- textul cursului, cu **figuri** extrase din animații și **tabele** de sinteză;
- **exemple rezolvate** — calcule complete, cu valori reale, pe care le puteți refăce pas cu pas;
- **„Pe scurt”** — rezumatul capitolului, bun pentru recapitulare;
- **întrebări de autoevaluare** — răspunsurile sunt la sfârșitul suportului.

Casetele colorate din text au roluri fixe (Tabelul 0.2):

Tabelul 0.2. Casetele din text

	Caseta	Ce conține
	Obiectivele capitolului	ce veți ști și veți putea face după capitol
	De reținut	ideile esențiale, de învățat ca atare
	Atenție	greșeli frecvente și confuzii de evitat
	Exemplu rezolvat	un calcul complet, cu date numerice
	Din practică	cum se procedează efectiv în teren și la birou
	Pe scurt	rezumatul capitolului

Animațiile interactive

Sub multe figuri apare o legătură de forma ► **Animație interactivă**. Ea deschide animația din care provine figura — globul care se proiectează, constelațiile GNSS, zborul dronei, profilul canalului —, unde se poate opri, derula și modifica parametrii.

- animațiile sunt online, la ailandsurv-coder.github.io/plif/: pe calculator, tabletă sau telefon, fără cont și fără instalare; tot acolo sunt prezentările complete și acest PDF;
- în prezentare: ← → sau glisare pe ecran = alt slide, **F** = ecran complet, **N** = notele de curs, **Spațiu** = pauză.

Ce este nou în această ediție

- textul a fost revizuit și corectat: centrul proiecției Stereo 70 (46° N, 25° E, nu Dealul Piscului), elipsoidul (Krasovski 1940, nu WGS 84), notația coordonatelor (X = Nord, Y = Est), etapele sistemului BeiDou;
- datele despre constelațiile GNSS au fost actualizate pentru 2026, iar sistemele regionale QZSS și NavIC au fost adăugate;
- aplicația oficială de transformare RomGEO, rețeaua ROMPOS și lucrul cu controlerul RTK sunt prezentate pe larg;
- capitolul despre UAV urmărește acum tot fluxul fotogrametric: pregătirea zborului, zborul și cei opt pași de prelucrare;
- suportul este acum ilustrat și orientat spre exercițiu: 75 de figuri, 22 de tabele, 14 exemple rezolvate, 54 de întrebări de autoevaluare cu răspunsuri, un formular și un glosar.

Cum învățați eficient din acest suport

1. Citiți obiectivele și rezumatul „Pe scurt” înainte de capitol. **2.** Parcurgeți textul împreună cu animația indicată sub figuri. **3.** Refaceți singuri exemplele rezolvate, cu calculatorul. **4.** Răspundeți la întrebările de autoevaluare și abia apoi verificați răspunsurile.

CAPITOLUL 1

1. Proiecții cartografice și sisteme de referință

Correspunde Cursului 1 — „Proiecții cartografice. Proiecția Stereo 70 și sistemul altimetric Marea Neagră 1975”.

Orice măsurătoare topografică ajunge, în final, pe un plan sau pe o hartă. Pământul însă este curb, iar o suprafață curbă nu poate fi întinsă în plan fără deformări. Capitolul explică ce suprafețe de referință se folosesc pentru forma Pământului, cum se transpune suprafața curbă în plan prin proiecții cartografice, de ce România folosește proiecția **Stereo 70** și cum se măsoară altitudinile în sistemul **Marea Neagră 1975**.

© După acest capitol veți putea

- să deosebiți suprafața topografică, geoidul și elipsoidul și să folosiți relația $h = H + N$;
- să clasificați proiecțiile cartografice după deformări și după suprafața de proiecție;
- să explicați cum se realizează proiecția Stereo 70 și să estimați deformarea unei distanțe;
- să lucrați corect cu coordonatele X (Nord) și Y (Est): distanțe, orientări, suprafețe;
- să explicați originea altitudinilor din sistemul Marea Neagră 1975 și transformarea coordonatelor GNSS în Stereo 70.

Cuvinte-cheie: geoid · elipsoid · proiecție conformă · Stereo 70 · factor de scară · X – Nord, Y – Est · Marea Neagră 1975 · RomGEO

1.1 Forma Pământului și suprafețele de referință

Pentru a măsura și a reprezenta terenul se folosesc trei suprafețe diferite, fiecare cu rolul ei (Figura 1.1):

- **Suprafața topografică** — terenul așa cum îl vedem și îl măsurăm: neregulată, imposibil de descris printr-o formulă.
- **Geoidul** — suprafața echipotențială a câmpului gravitațional care aproximează nivelul mediu al mărilor, prelungit pe sub continente. Firul cu plumb este perpendicular pe geoid; de aceea **altitudinile** se raportează la el.
- **Elipsoidul de referință** — o suprafață matematică netedă (un elipsoid de rotație), apropiată de geoid. Pe elipsoid se fac **calculele geodezice** și tot de pe elipsoid pornesc **proiecțiile cartografice**.

Distanța dintre geoid și elipsoid se numește **ondulația geoidului** (N). În România ea este de aproximativ 30–45 m. Între înălțimea măsurată cu GNSS și altitudine există relația:

$$h = H + N$$

h — înălțimea elipsoidală (GNSS) · H — altitudinea (față de geoid / nivelul mării) · N — ondulația geoidului

În România altitudinile oficiale sunt **altitudini normale**, raportate la **cvasigeoid** — o suprafață foarte apropiată de geoid; ondulația se notează atunci cu ζ , iar relația devine $H = h - \zeta$.

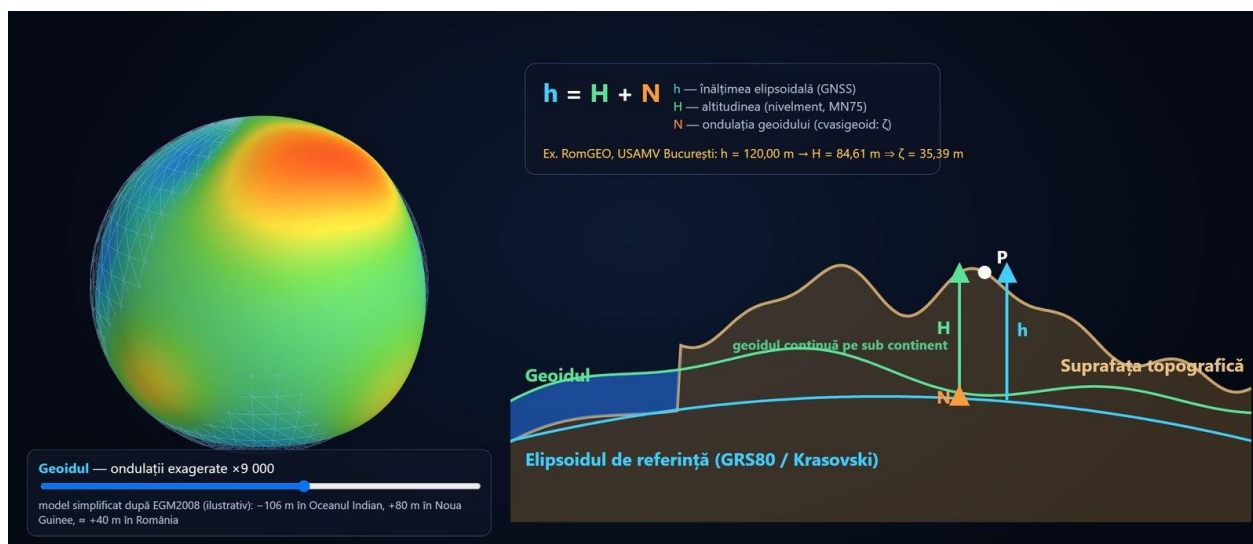


Figura 1.1. Suprafețele de referință: în stânga, geoidul cu undulațiile exagerate de câteva mii de ori; în dreapta, secțiune prin suprafața topografică, geoid și elipsoid, cu înălțimile h , H și N .

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Suprafete de referință](#)

Exemplu rezolvat

Un punct de pe platforma USAMV București, măsurat GNSS, are înălțimea elipsoidală $h = 120,000 \text{ m}$. Aplicația RomGEO întoarce pentru el altitudinea $H = 84,610 \text{ m}$ (Marea Neagră 1975). Ondulația cvasigeoidului în acel loc: $\zeta = h - H = 120,000 - 84,610 = 35,390 \text{ m}$.

⚠ Atenție

Receptorul GNSS măsoară h , nu altitudinea. O cotă GNSS introdusă direct într-un plan, fără modelul de cvasigeoid, este greșită cu 30–45 m în România.

Tabelul 1.1. Elipsoizii și sistemele de referință întâlnite în lucrările din România

Sistem	Elipsoid / datum	Coordonate	Unde se întâlnește
ETRS89	GRS80	B, L, h	măsurători GNSS, rețeaua ROMPOS, INSPIRE
WGS 84	WGS 84 (practic identic cu GRS80)	B, L, h	navigația GPS, aplicații de pe telefon
Stereo 70	Krasovski 1940 · datum Pulkovo 1942(58)	X, Y (plan)	planuri topografice și cadastrale, proiecte
Marea Neagră 1975	cvasigeoidul național	H (altitudine normală)	toate altitudinile din planuri
EVRS / EVRF2007	sistemul european de altitudini	H	proiecte europene, schimb de date

1.2 Ce este o proiecție cartografică

Proiecțiile cartografice reprezintă tehnica prin care suprafața curbă a Pământului, aproximată printr-un elipsoid, este transpusă într-o reprezentare plană — **planul** sau **harta** — pentru utilizare practică în ridicările topografice și în inginerie. Matematic, o proiecție este o **regulă** care asociază fiecărui punct de pe elipsoid (latitudine φ , longitudine λ) un punct în plan (x, y) .

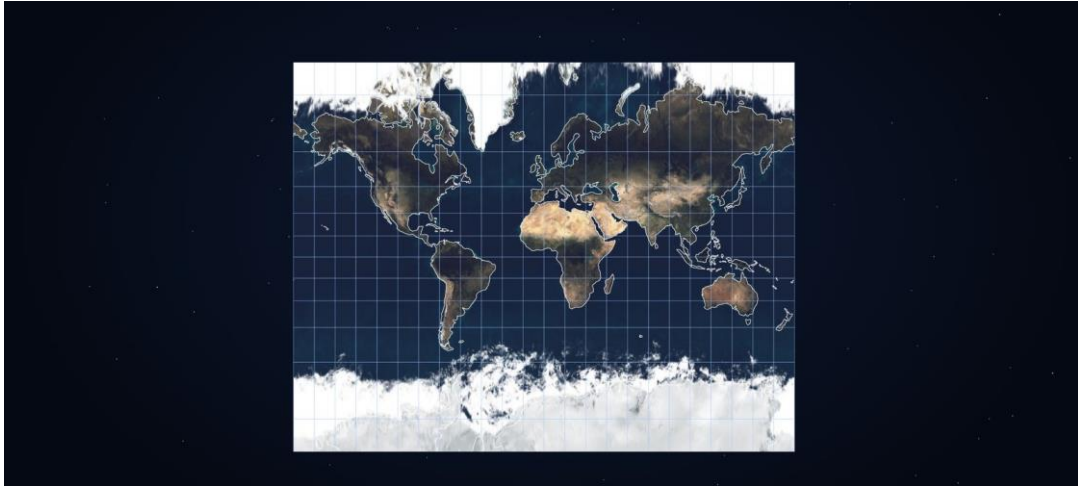


Figura 1.2. Același glob, desfăcut în plan după regula proiecției Mercator: meridianele și paralelele devin drepte perpendiculare, iar suprafețele cresc spre poli.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · De la glob la hartă](#)

Transformările sunt necesare pentru a obține măsurători precise, aplicabile în proiectarea lucrărilor precum sistemele de irigații sau alte lucrări de îmbunătățiri funciare. Prețul plătit este **deformarea**: o sferă nu poate fi întinsă în plan fără ca unele lungimi să se scurteze și altele să se lungească.

★ De reținut

Nu există o proiecție care să păstreze simultan unghiurile, suprafețele și distanțele. Alegerea unei proiecții depinde de natura proiectului și de scopul măsurătorilor.

1.3 Clasificarea proiecțiilor

1.3.1 După deformațiile pe care le păstrează

Deformațiile se vizualizează cu **cercurile lui Tissot**: cercuri mici, egale pe glob, desenate în plan. Forma și mărimea lor în plan arată ce păstrează proiecția (Figura 1.3).

- **Proiecțiile conforme**, cum ar fi proiecția Mercator, conservă **unghiurile** (forma locală): cercurile rămân cercuri, dar își schimbă mărimea. Sunt utile în navigație și inginerie — **Stereo 70 este conformă**.
- **Proiecțiile echivalente** păstrează **suprafețele**: cercurile devin elipse, dar au aceeași arie. Sunt ideale pentru reprezentarea teritoriilor, studii geografice, bilanțuri de suprafață.
- **Proiecțiile echidistante** mențin **distanțele** între puncte pe anumite direcții (de exemplu de-a lungul meridianelor) și se folosesc în scopuri specifice.

- **Proiecțiile de compromis** nu păstrează exact nimic, dar repartizează echilibrat deformările — potrivite pentru hărți ale lumii.

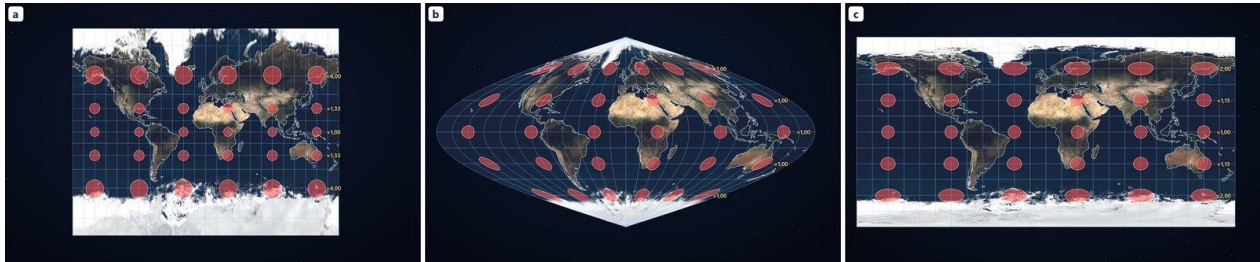


Figura 1.3. Aceleași cercuri Tissot în trei proiecții: (a) conformă — Mercator, cercurile cresc spre poli; (b) echivalentă — sinusoidală, cercurile devin elipse de aceeași arie; (c) echidistantă — plate carrée, diametrul pe meridian rămâne constant.

► Animație interactivă: [Cursul 1 - Proiecția conformă \(și 04b, 04c\)](#)

Tabelul 1.2. Tipurile de proiecții după deformații

Tip	Ce păstrează	Ce deformează	Exemple	Utilizare
Conformă	unghiurile, forma locală	suprafețele (cresc spre margini)	Mercator, Stereo 70, UTM, Lambert conformă	topografie, cadastru, navigație
Echivalentă	suprafețele	unghiurile, forma	sinusoidală, Mollweide, Albers, LAEA	hărți tematice, statistică
Echidistantă	distanțele pe o familie de direcții	restul distanțelor, suprafețele	plate carrée, azimutală echidistantă	distanțe față de un punct
De compromis	nimic exact	puțin din toate	Robinson, Winkel Tripel	hărți ale lumii, atlase

1.3.2 După suprafața de proiecție

Un exercițiu de imaginație ajută la înțelegerea proiecțiilor geometrice: un glob de sticlă, cu continentele desenate pe el, este învelit într-o coală de hârtie. În interiorul globului se aprinde un bec. Lumina „împinge” desenul de pe glob pe coală, care apoi se desface în plan (Figura 1.5).

- **Proiecția azimutală (plană)** — coala este un **plan** tangent la glob. După poziția sursei de lumină rezultă proiecția **gnomonică** (sursa în centrul globului: cercurile mari devin drepte), **stereografică** (sursa în punctul diametral opus punctului de tangență: proiecție conformă) sau **ortografică** (raze paralele: globul văzut din spațiu) — Figura 1.4.
- **Proiecția cilindrică** — coala este rulată într-un **cilindru**; tangentă la ecuator, dă meridiane și paralele drepte, perpendiculare.
- **Proiecția conică** — coala este rulată într-un **con** tangent la o paralelă; desfăcut, conul devine un sector de cerc, cu meridiane drepte concurente și paralele arce de cerc.

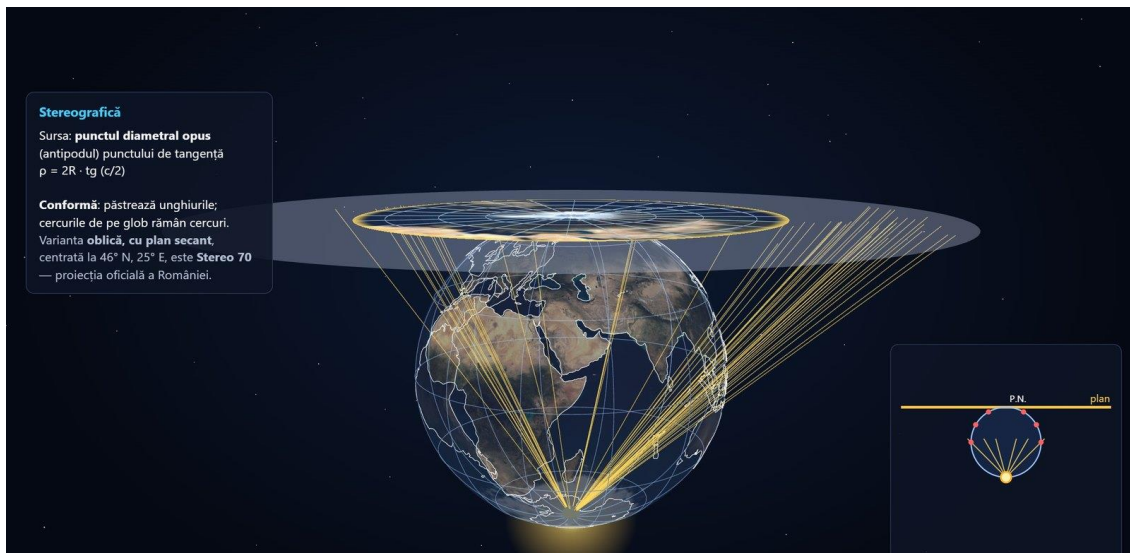


Figura 1.4. Proiecția azimutală pe un plan tangent la pol, cu sursa de lumină în punctul diametral opus — proiecția stereografică.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Proiecția azimutală \(gnomonică, stereografică, ortografică\)](#)

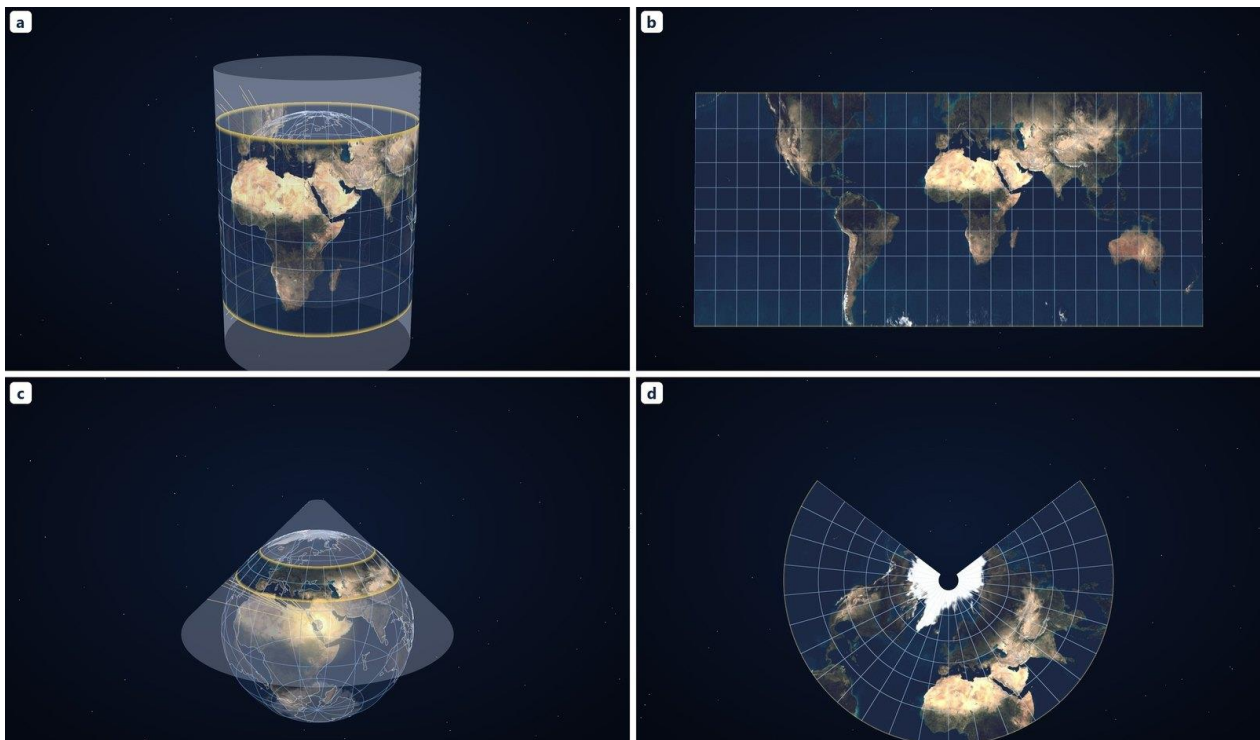


Figura 1.5. Globul, becul și coala: (a) cilindrul tangent la ecuator, colorat de lumină; (b) cilindrul desfăcut; (c) conul tangent la paralela de 45°; (d) conul desfăcut — un sector de cerc.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Proiecția cilindrică și conică](#)

După poziția suprafeței de proiecție față de axa Pământului, proiecțiile sunt **normale** (polare), **transversale** sau **oblice**. Suprafața poate fi **tangentă** (atinge globul într-un punct sau pe o linie) sau **secantă** (îl taie), caz în care deformările se repartizează mai echilibrat. Proiecțiile folosite efectiv în practică (Mercator, UTM, Lambert, Stereo 70) sunt definite **matematic**, nu prin lumină — becul ajută doar la înțelegerea principiului.

1.3.3 Proiecții întrerupte și de compromis

Pentru a reduce deformările, globul se poate **secționa** în fâșii (fuse) sau lobi, reprezentați separat. Fusele de-a lungul meridianelor stau la baza fabricării globurilor și a sistemelor pe fuse (Gauss–Krüger, UTM). Proiecția **Goode** taie globul prin oceane, ca să păstreze forma continentelor (Figura 1.6).

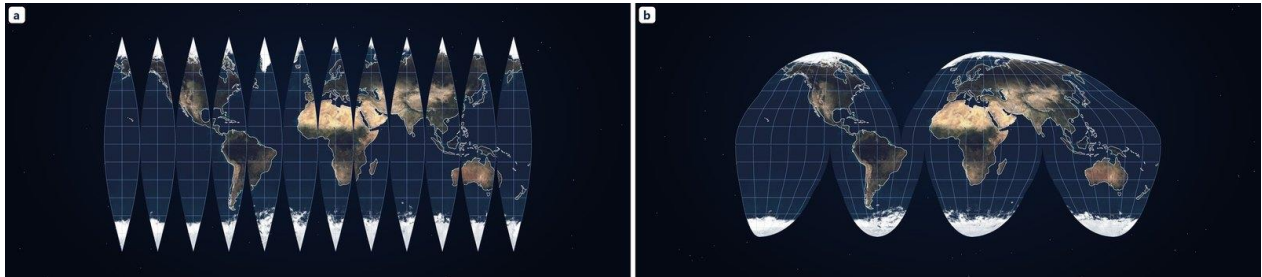


Figura 1.6. Secționarea globului: (a) 12 fuse sinusoidale de câte 30°; (b) proiecția întreruptă Goode homolosine (echivalentă).

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Sectionarea globului în fuse și Goode](#)

1.4 Proiecția Stereo 70

1.4.1 Definiție și parametri

Proiecția **Stereo 70** este o proiecție **stereografică oblică, conformă, cu plan secant**, folosită **exclusiv în România**, adaptată formei și dimensiunii teritoriului național. Este folosită pentru ridicările topografice și cadastrale **la scară mare**, pentru planurile și hărțile topografice și în proiectele de îmbunătățiri funciare — irigații, desecare-drenaj — datorită preciziei pe care o oferă. Proiecțiile conforme mențin unghiurile, fiind ideale în inginerie, unde fiecare deviație poate duce la erori mari.

Trecerea de la coordonatele elipsoidale (**latitudine φ și longitudine λ**) la coordonatele plane (X, Y) se face prin **formule matematice specifice proiecției stereografice**, care folosesc parametrii elipsoidului de referință (Tabelul 1.3). Deoarece centrul proiecției este aproape de centrul geografic al țării, deformările rămân mici și repartizate echilibrat pe tot teritoriul, iar precizia este cea mai bună în zona centrală.

Tabelul 1.3. Parametrii proiecției Stereo 70 (EPSG:3844)

Parametru	Valoare
Tipul proiecției	stereografică oblică, conformă, plan secant
Centrul proiecției	$\varphi_0 = 46^\circ \text{ N}$, $\lambda_0 = 25^\circ \text{ E}$ (la nord de orașul Făgăraș)
Coordonatele plane ale centrului	$X = 500\,000 \text{ m (Nord)}$ · $Y = 500\,000 \text{ m (Est)}$
Factorul de scară în centru	$k_0 = 0,99975$
Elipsoidul	Krasovski 1940 — $a = 6\,378\,245 \text{ m}$, $f = 1/298,3$
Datumul	Pulkovo 1942(58), numit istoric și „Dealul Piscului 1970”
Deformația în centru	$-0,25 \text{ m/km}$
Cercul de deformație nulă	rază de $\approx 201,7 \text{ km}$ în plan
Deformația maximă pe teritoriu	$\approx +0,64 \text{ m/km}$ (la extremitatea estică, în Delta Dunării)

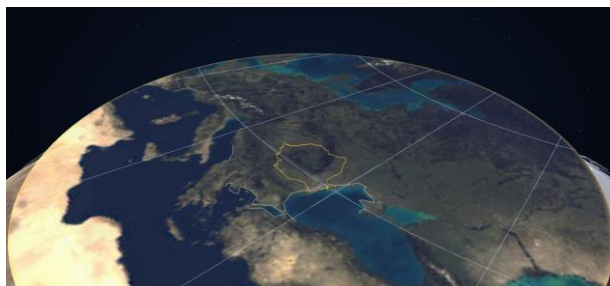
⚠ Atenție — o confuzie frecventă

Centrul proiecției Stereo 70 **nu** este Dealul Piscului și nu se află în Munții Făgăraș: este punctul de calcul **46° N , 25° E** , aflat la nord de orașul Făgăraș. **Dealul Piscului** este punctul fundamental al datumului din 1930; numele lui a fost păstrat pentru datumul Stereo 70 („Dealul Piscului 1970”). De asemenea, formulele Stereo 70 nu folosesc elipsoidul WGS 84, ci **Krasovski 1940**.

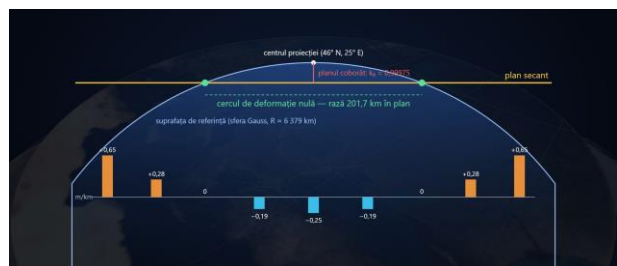
1.4.2 Cum se realizează proiecția

În proiecția stereografică, punctul de proiecție — locul din care pleacă razele — este întotdeauna **diametral opus punctului de tangență**. În varianta **polară**, planul este tangent la un pol, iar punctul de proiecție se află la **polul opus** (Figura 1.4). Stereo 70 este o proiecție stereografică **oblică**: planul de proiecție este perpendicular pe raza care trece prin centrul proiecției, iar razele pleacă din **punctul diametral opus** centrului (în Pacificul de Sud, la 46° S , 155° V) și duc fiecare punct al României pe plan. Proiecția stereografică este **conformă** (Figura 1.7).

Dacă planul ar fi doar tangent, scara ar fi exactă numai în centru și ar crește spre margini. Stereo 70 **coboară planul** în interiorul sferei (factorul de scară $k_0 = 0,99975$): planul devine **secant** și taie suprafața de referință după un cerc pe care scara este exactă. În interiorul cercului lungimile din plan sunt mai mici decât cele reale, în afara lui — mai mari.



(a) razele pleacă din antipodul centrului



(b) planul secant și deformațiile (scară verticală exagerată)

Figura 1.7. Cum se realizează proiecția Stereo 70.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Cum se realizează proiecția Stereo 70](#)

1.4.3 Deformațiile și reducerea distanțelor

Factorul de scară crește cu distanța d față de centrul proiecției (măsurată în plan). Pentru Stereo 70, cu raza sferei Gauss $R \approx 6\,379$ km:

$$k = k_0 \cdot (1 + d^2 / (4 \cdot k_0^2 \cdot R^2))$$

deformația liniară relativă = $(k - 1) \cdot 1000$, în m/km

Tabelul 1.4. Deformația liniară relativă a proiecției Stereo 70, în funcție de distanța față de centru

Distanța față de centru	Factorul de scară k	Deformația	Exemplu de localitate
0 km (centrul)	0,99975	−0,25 m/km	lângă Făgăraș (Brașov, la 61 km: −0,23)
100 km	0,99981	−0,19 m/km	—
150 km	0,99989	−0,11 m/km	Cluj-Napoca (136 km: −0,14)
201,7 km	1,00000	0	București (195 km: −0,02)
250 km	1,00013	+0,13 m/km	Iași (237 km: +0,10)
300 km	1,00030	+0,30 m/km	Timișoara (296 km: +0,29)
350 km	1,00050	+0,50 m/km	Constanța (352 km: +0,51)

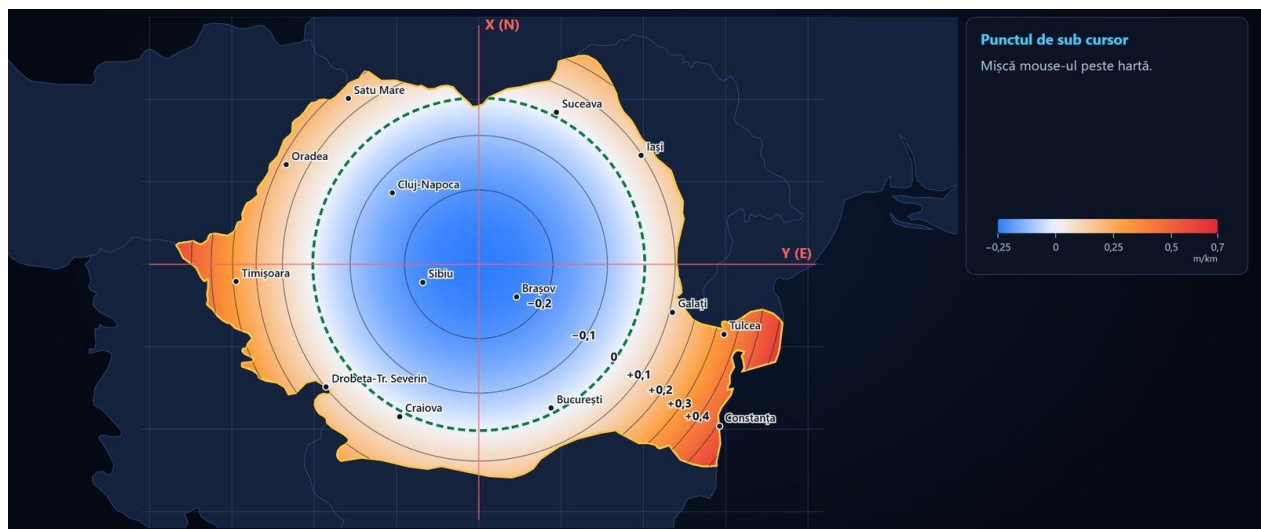


Figura 1.8. Harta deformațiilor Stereo 70 pe teritoriul României, calculată riguros: albastru — lungimi micșorate, roșu — lungimi mărite; linia verde punctată este cercul de deformație nulă.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Harta interactivă a deformațiilor \(citire cu mouse-ul\)](#)

Exemplu rezolvat

O distanță de **850,00 m**, măsurată cu stația totală și redusă la orizontală și la nivelul elipsoidului, se află:

- lângă **Cluj-Napoca**, unde deformația este $-0,136 \text{ m/km}$: în planul Stereo 70 devine $850,00 \times (1 - 0,000136) = \mathbf{849,88 \text{ m}}$;
- lângă **Constanța**, unde deformația este $+0,513 \text{ m/km}$: devine $850,00 \times (1 + 0,000513) = \mathbf{850,44 \text{ m}}$.

Aceeași distanță reală diferă în plan cu 56 cm între cele două zone — o valoare care contează la trasarea unui canal sau la verificarea unei parcele.

Din practică

La ridicările curente, stația totală sau software-ul aplică automat reducerea în planul de proiecție, dacă sunt setate corect proiecția și altitudinea medie a zonei. La trasări de precizie și la rețelele de sprijin se verifică întotdeauna dacă distanțele sunt **reduse la planul Stereo 70** sau sunt **distanțe de teren**.

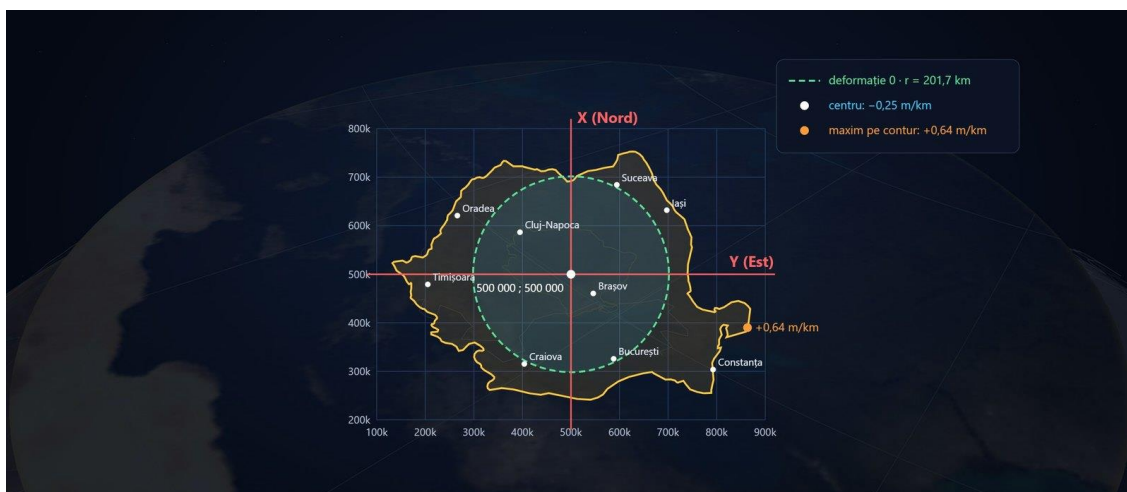


Figura 1.9. Rezultatul în plan: conturul României în coordonate Stereo 70, cu centrul proiecției în $X = Y = 500\,000 \text{ m}$ și cercul de deformație nulă.

1.5 Sistemul de coordonate plane X – Y

1.5.1 Convenția geodezică: X spre Nord, Y spre Est

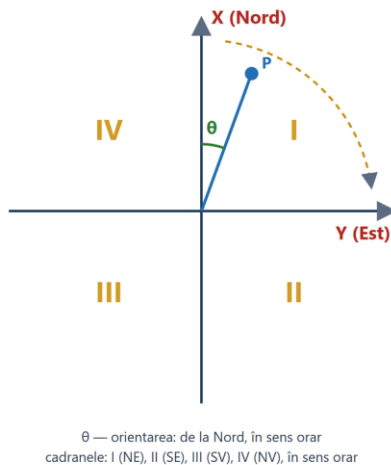
Sistemul de coordonate plane al proiecției Stereo 70 — numit și **sistemul Nord–Est** sau **Est–Nord** — este un sistem **bidimensional**, folosit pentru ridicările topografice și hărțile planimetrice din România. Fiecare punct este descris de două coordonate:

- **coordonata X (Nord)** — poziția pe axa **verticală**;
- **coordonata Y (Est)** — poziția pe axa **orizontală**.

Convenția este **inversă** față de cea din matematică (Figura 1.10). Și unghiurile se măsoară altfel: **orientarea** θ a unei direcții se măsoară **de la Nord, în sens orar**, iar cadranele se numerează tot în sens orar: I (NE), II (SE), III (SV), IV (NV). În topografia din România unghiurile se exprimă de obicei în **grade centesimale**: cercul are 400^g , $1^g = 100^c = 10\,000^{cc}$ ($1''$ sexagesimală $\approx 3,1^{cc}$).

Convenția geodezică (topografie, Stereo 70)

folosită în planurile topografice și cadastrale din România

**Convenția matematică**

cea învățată la geometrie analitică

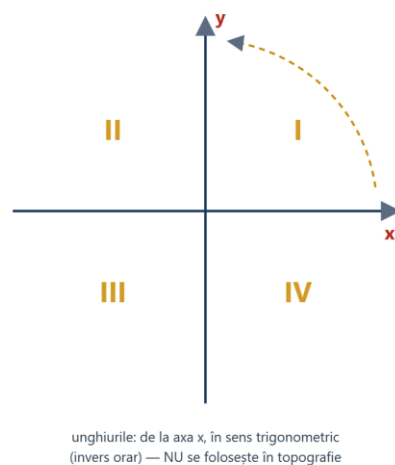


Figura 1.10. Convenția geodezică (stânga) comparată cu cea matematică (dreapta): X spre Nord, Y spre Est, orientarea θ de la Nord în sens orar, cadranele în sens orar.

⚠ Atenție

Inversarea X/Y este una dintre cele mai frecvente greșeli la importul coordonatelor în CAD sau GIS: punctele apar rotite și oglindite, la sute de kilometri distanță. Într-un program CAD, axa x a desenului primește **Y (Est)**, iar axa y primește **X (Nord)**.

1.5.2 Centrul și originea sistemului Stereo 70

Centrul proiecției (46° N, 25° E) a primit coordonatele plane **X = 500 000 m** și **Y = 500 000 m**. Fără această translație, jumătate din țară ar avea coordonate negative — sursă sigură de erori. Prin adunarea a 500 000 m la ambele coordonate („false northing” și „false easting”), toate punctele din România au coordonate **pozitive** (Figura 1.11): de exemplu Timișoara $\approx$ (479 km; 205 km), Iași $\approx$ (632 km; 697 km), Constanța $\approx$ (304 km; 793 km).



Figura 1.11. Translația originii cu 500 km spre vest și spre sud: centrul proiecției devine (500 000; 500 000), iar toate coordonatele din țară devin pozitive.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Translația originii](#)

1.5.3 Calcule din coordonate

Fiecare punct măsurat este raportat la coordonatele X și Y, ceea ce permite calculul distanțelor, orientărilor și suprafețelor necesare planurilor de irigații, drenaj și altor lucrări de îmbunătățiri funciare (Figura 1.12).

$$D = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} \quad \theta = \arctg(\Delta Y / \Delta X)$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot |\sum X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1})|$$

$\Delta X = X_2 - X_1$, $\Delta Y = Y_2 - Y_1$ · cadranul orientării se stabilește după semnele lui ΔX și ΔY

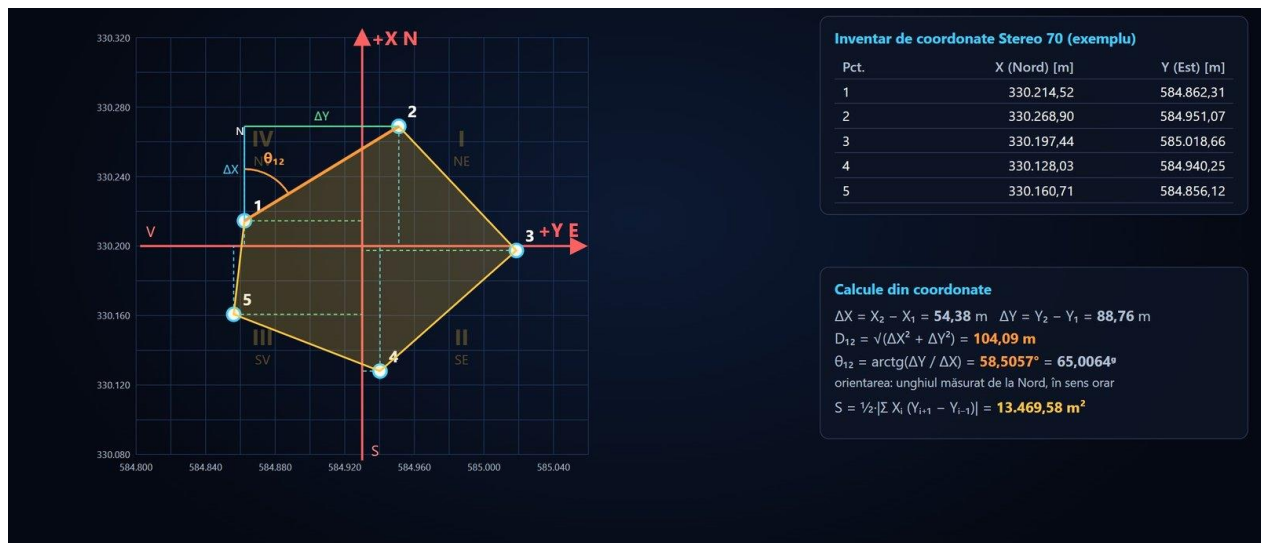


Figura 1.12. Inventarul de coordonate al unui poligon cu 5 puncte, raportat pe axe; latura 1-2 cu ΔX , ΔY și orientarea θ_{12} ; suprafața calculată cu formula lui Gauss.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Sistemul ortogonal X-Y](#)

Exemplu rezolvat

Punctele 1 ($X = 330\,214,52$; $Y = 584\,862,31$) și 2 ($X = 330\,268,90$; $Y = 584\,951,07$):

- $\Delta X = 54,38 \text{ m}$ · $\Delta Y = 88,76 \text{ m}$ — ambele pozitive, deci orientarea este în **cadranul I**;
- $D_{12} = \sqrt{(54,38^2 + 88,76^2)} = 104,09 \text{ m}$;
- $\theta_{12} = \arctg(88,76 / 54,38) = 58,5057^\circ = 65,0064^\circ$.

Poligonul 1-2-3-4-5 din Figura 1.12 are, după formula lui Gauss, suprafața **$S = 13\,469,58 \text{ m}^2 \approx 1,3470 \text{ ha}$** .

1.6 Sistemul altimetric Marea Neagră 1975

1.6.1 Definiție și importanță

Sistemul altimetric **Marea Neagră 1975** (MN75) este referința pentru altitudinile din România. Altitudinile sunt raportate la **nivelul mediu al Mării Negre**, determinat din observațiile de lungă durată ale **maregrafului din Constanța** și materializat printr-un reper — punctul **zero fundamental**. Denumirea vine de la **compensarea rețelei de nivelment de stat din 1975**; altitudinile sunt **normale** (raportate la cvasigeoid).

Sistemul asigură coerența altitudinilor pe întreg teritoriul și este deosebit de important în îmbunătățirile funciare, unde cota terenului decide sensul de curgere a apei — deci modul de realizare a irigațiilor și a drenajului.

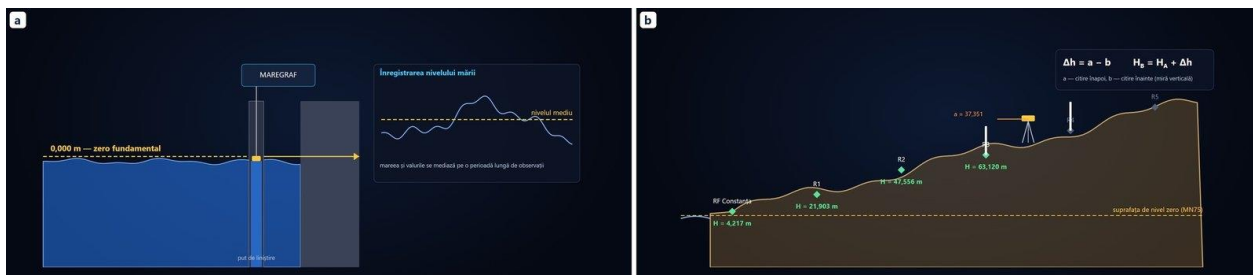


Figura 1.13. De la mare la uscat: (a) maregraful din Constanța înregistrează nivelul mării, din care rezultă nivelul mediu — zero fundamental; (b) prin nivelment geometric, altitudinea se transmite din reper în reper: $\Delta h = a - b$.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Sistemul altimetric Marea Neagră 1975](#)

1.6.2 Modul de utilizare

Altitudinile punctelor noi se determină prin legarea la reperii rețelei de nivelment de stat:

- prin **nivelment geometric** — la fiecare stație se citesc pe mire valorile a (înapoi) și b (înainte), iar diferența de nivel este $\Delta h = a - b$; altitudinea reperului următor este $H_B = H_A + \Delta h$;
- prin **nivelment trigonometric** — din distanță și unghi vertical, cu stația totală;
- prin **GNSS**, cu modelul de cvasigeoid: $H = h - \zeta$ (aplicat automat de RomGEO sau TransDatRO).

Prin raportarea la acest sistem, toate altitudinile sunt unitare la nivel național (Figura 1.14).



Figura 1.14. Rețeaua de nivelment de stat (schematic): poligoane închise de nivelment de precizie, legate de zero fundamental de la Constanța.

1.6.3 Compatibilitatea internațională

Sistemul Marea Neagră 1975 poate fi corelat cu sistemul european de altitudini **EVRS** (realizarea EVRF2007, cu originea la Amsterdam — NAP). Trecerea între sisteme se face cu transformările oficiale (TransDatRO, RomGEO), ceea ce permite integrarea datelor din România în proiecte europene.

1.7 Transformarea coordonatelor GNSS în Stereo 70 și MN75

Măsurătorile GNSS dau coordonate în sistemul european **ETRS89** (B, L, h pe elipsoidul GRS80), iar planurile se întocmesc în **Stereo 70** (X, Y pe elipsoidul Krasovski 1940) și **MN75** (H). Transformarea are trei pași:

1. **schimbarea datumului** ETRS89 → Pulkovo 1942(58), cu grila oficială de transformare;
2. **proiecția stereografică** pe planul secant — X (Nord), Y (Est);
3. **altitudinea**: $H = h - \zeta$, din modelul de cvasigeoid.

Pentru acești pași se folosește aplicația oficială **RomGEO** (api.romgeo.ro) sau programul TransDatRO. Datele de intrare sunt rânduri de forma „nume latitudine longitudine înălțime”; rezultatul conține X, Y Stereo 70 și H MN75 și se poate exporta în DXF, Shapefile sau CSV (Figura 1.15).

Exemplu:

```
Point_1 45°46'15.05532" 25°6'35.89776" 123.4567
Point_2 45°46'15.05532" 25°6'35.89776" 123.4567
Point_3 45°46'15.05532" 25°6'35.89776" 123.4567
```

[Apasă aici pentru ajutor suplimentar](#)

Date de intrare

```
USAMV_Bucuresti 44.4673 26.0656 120.0
Fagaras 46.0 25.0 500.0
Constanta_Port 44.1733 28.6593 40.0
Cluj_Napoca 46.7712 23.6236 400.0
Iasi 47.1585 27.6014 130.0
Timisoara 45.7489 21.2087 130.0
```

Transformă

Exportă Date

Salvează ca DXF Salvează ca Shapefile Salvează ca CSV Separator: Comma Lat/Lon Format: DMS Notă: Exportul va omite punctele în roșu

▲ Date de ieșire

Etichetă (nume punct)	Latitudine [deg] (N/E)	Longitudine [deg] (E/V)	Altitudine Elipsoidală [m] (N/AOD)	X Stereo70 [m] (Nord)	Y Stereo70 [m] (Est)	H MN75 [m] (Marea Neagră 1975)	Comentariu (punct stă)
USAMV_Bucuresti	44.4673	26.0656	120	330284.940	584906.714	84.610	
Fagaras	46	25	500	500031.265	500120.224	460.392	
Constanta_Port	44.1733	28.6593	40	303676.965	792713.808	6.250	
Cluj_Napoca	46.7712	23.6236	400	586651.370	395015.474	359.404	
Iasi	47.1585	27.6014	130	632037.405	697337.942	97.600	
Timisoara	45.7489	21.2087	130	479134.112	205238.724	86.918	

Figura 1.15. Aplicația RomGEO: șase puncte transformate din ETRS89 în Stereo 70 și Marea Neagră 1975 (grila 25.09).

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Simularea RomGEO \(cu mod „Încearcă cu datele tale”\)](#)

⚠ Atenție

Punctul 46° N, 25° E dat în **ETRS89** nu cade în (500 000; 500 000), ci la aproximativ (500 031; 500 120) — diferența de datum este de ~124 m. Centrul proiecției este definit în datumul vechi (Pulkovo 1942(58)); de aceea coordonatele GNSS **nu** se introduc direct în formulele proiecției, ci trec prin transformarea oficială.

1.8 Alte tipuri de proiecții

Pe lângă familiile clasice (cilindrice, conice, azimutale) există proiecții **pseudocilindrice**, **pseudoconice** și **de compromis**, alese după scop: navigație, statistică, inginerie, ilustrație. De exemplu, Uniunea Europeană folosește proiecția azimutală echivalentă **ETRS89-LAEA** (EPSG:3035) pentru grila statistică și INSPIRE, iar hărțile lumii folosesc des Winkel Tripel sau Equal Earth (Figura 1.16).

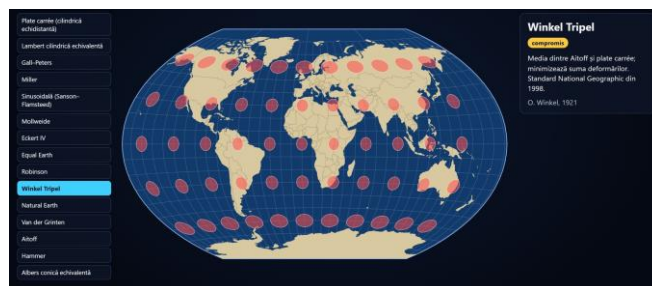


Figura 1.16. Galeria de proiecții: aceeași Terra, cu aceleași cercuri Tissot, în 18 proiecții — aici Winkel Tripel, proiecția de compromis folosită de National Geographic.

► Animație interactivă: [Cursul 1 · Galeria interactivă de proiecții](#)

≡ Pe scurt

- Altitudinile se raportează la **geoid / cvasigeoid**, calculele și proiecțiile la **elipsoid**: $h = H + N$ ($H = h - N$).
- Nicio proiecție nu păstrează tot; **conforme** păstrează unghiurile — de aceea se folosesc în topografie.
- **Stereo 70**: stereografică oblică, conformă, plan secant; centrul 46° N, 25° E (lângă Făgăraș), $k_0 = 0,99975$, $X = Y = 500\,000$ m, elipsoid Krasovski 1940; deformații de la $-0,25$ m/km în centru la $\approx +0,64$ m/km în Delta Dunării.
- În topografie **X = Nord**, **Y = Est**; orientările se măsoară de la Nord, în sens orar.
- **Marea Neagră 1975**: nivelul mediu al mării la maregraful Constanța, rețea compensată în 1975; GNSS → MN75 prin modelul de cvasigeoid.
- Coordonatele GNSS (ETRS89) trec în Stereo 70 / MN75 **numai** prin transformarea oficială — RomGEO sau TransDatRO.

1.9 Întrebări de autoevaluare

1. Care este diferența dintre geoid și elipsoid și de ce se folosesc amândouă?
2. Un receptor GNSS indică $h = 245,30$ m într-un punct în care ondulația cvasigeoidului este $\zeta = 37,10$ m. Care este altitudinea în sistemul Marea Neagră 1975?
3. Ce păstrează o proiecție conformă și de ce se folosește în topografie?
4. Care sunt parametrii principali ai proiecției Stereo 70?
5. Unde se află centrul proiecției Stereo 70 și ce este Dealul Piscului?
6. Cât este deformația unei distanțe în centrul proiecției Stereo 70 și unde devine ea zero?
7. În sistemul Stereo 70, ce reprezintă X și ce reprezintă Y?
8. Calculați distanța și orientarea de la A ($X = 400\,100,00$; $Y = 550\,200,00$) la B ($X = 400\,160,00$; $Y = 550\,280,00$).
9. De ce se adaugă $500\,000$ m la coordonatele plane ale proiecției Stereo 70?
10. Ce reprezintă sistemul altimetric Marea Neagră 1975?
11. De ce coordonatele GNSS nu se pot folosi direct ca Stereo 70 și ce aplicație se folosește pentru transformare?

2. Măsurători realizate cu stațiile totale

Corespunde primei părți a Cursului 2 — „Utilizarea stațiilor totale și a sistemelor GNSS în lucrările de îmbunătățiri funciare”.

Stația totală este instrumentul de bază al topografului: măsoară unghiuri și distanțe cu precizie milimetrică și calculează pe loc coordonatele punctelor. Capitolul arată cum a evoluat instrumentul, din ce este alcătuit, ce echipament îl însoțește în teren, cum se obțin coordonatele prin metoda polară și de ce stația totală rămâne indispensabilă în lucrările de îmbunătățiri funciare, chiar și în epoca GNSS.

© După acest capitol veți putea

- să descrieți componentele unei stații totale și rolul fiecăreia;
- să explicați principiul distanțometrului electronic și să evaluați precizia unei distanțe;
- să instalați corect stația într-un punct și să evitați greșelile frecvente (constanta prisme, înălțimile);
- să calculați coordonatele unui punct nou prin metoda polară;
- să argumentați când se folosește stația totală în locul receptorului GNSS.

Cuvinte-cheie: stație totală · teodolit · EDM · grade centesimale · prismă · constanta prisme · metoda polară · stație robotizată

2.1 Ce este o stație totală

Stațiile totale sunt instrumente moderne folosite pentru măsurători topografice precise. Ele combină funcțiile unui **teodolit** și ale unui **distanțometru electronic (EDM)**, permițând măsurarea **simultană** a unghiurilor orizontale și verticale, precum și a distanțelor între puncte. Un **computer integrat** transformă măsurătorile în coordonate (X, Y, Z) și le stochează (Figura 2.1).

Datorită acestei combinații de funcții, stațiile totale sunt esențiale în ridicările topografice pentru proiecte de infrastructură, construcții și îmbunătățiri funciare, cum ar fi sistemele de irigații. Unul dintre principalele lor avantaje este **independența față de semnalele satelitare (GNSS)**: stația totală este o soluție foarte fiabilă în zone izolate, acoperite de vegetație sau în locuri unde semnalele GNSS sunt obstructionate ori indisponibile.



Figura 2.1. Componentele vizibile ale unei stații totale (GeoMax Zoom10).

★ De reținut

Stația totală = teodolit (unghiuri) + **distanțometru electronic** (distanțe) + **computer** (calcul, stocare, export).

2.2 Evoluția: de la teodolit la stația robotizată

Stația totală de azi este rezultatul a peste un secol de perfecționări. Fiecare etapă a adăugat o funcție nouă, păstrând-o pe cea veche: luneta și cercurile gradate ale teodolitului există și azi, doar că sunt citite electronic (Tabelul 2.1, Figura 2.2).

Tabelul 2.1. *Etapale evoluției stației totale*

Perioada	Etapa	Ce aduce nou	Exemple
sec. XIX – anii 1970	Teodolitul optic-mecanic	unghiuri citite optic pe cercuri gradate, notate în carnetul de teren	Wild T2, Wild T3, Zeiss Theo 010 / 020
anii 1950 – 1970	Distanțometrul electro-optic (EDM)	distanța se măsoară cu lumina; distomate montate pe lunetă	Geodimeter (AGA, 1953); Wild DI 10 (1968)
anii 1970 – 1980	Tahimetrul electronic	unghiuri citite electronic și EDM integrat într-un singur aparat	Zeiss Elta 2 (1968), HP 3820A (1971)
anii 1980 – 1990	Memoria și calculatorul integrat	înregistrare automată, coordonate calculate în teren	carnete electronice (Wild GRE), apoi memorie internă și carduri
anii 1990	Servomotoare și recunoașterea automată a țintei (ATR)	stația urmărește singură prisma; lucrează un singur operator	Geodimeter System 4000 (1990); Leica TCA
sfârșitul anilor 1990	Măsurarea fără reflector	laser vizibil, reflectat direct de suprafața vizată	Leica TCR (1998)
anii 2010 – azi	Stația robotizată cu cameră și scanare	imagini, nori de puncte, legare directă cu GNSS	Leica MS60, Trimble SX10, SmartStation

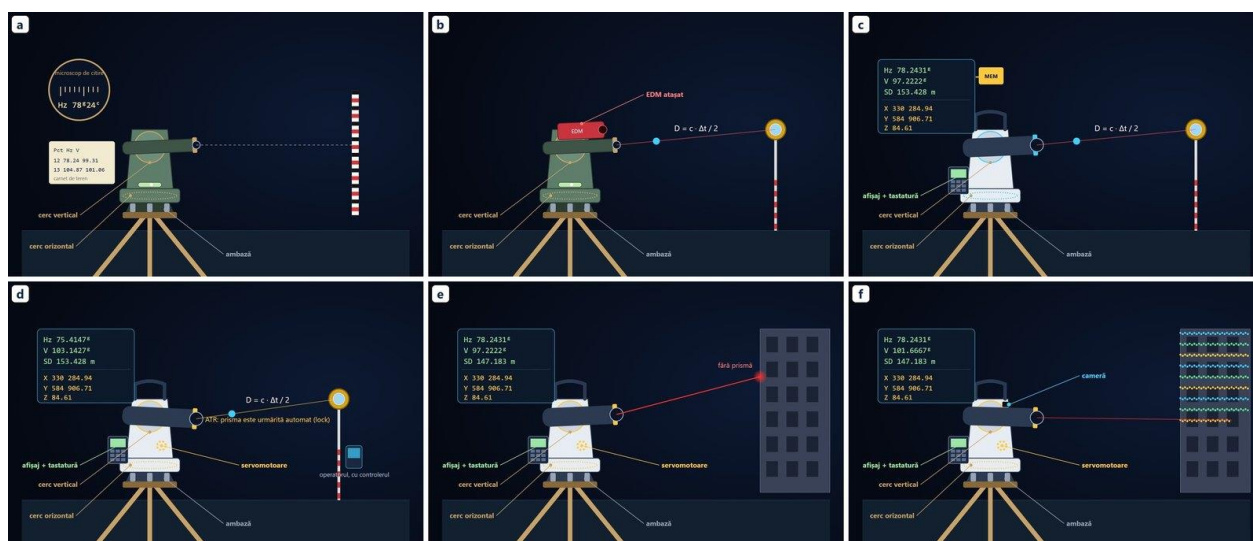


Figura 2.2. Evoluția instrumentului: (a) teodolitul optic, cu citire la microscop și carnet de teren; (b) EDM atașat pe lunetă; (c) stația totală electronică, cu memorie și coordonate calculate; (d) stația robotizată, cu servomotoare și ATR, care urmărește prisma; (e) măsurarea fără prismă; (f) stația cu cameră și scanare.

► Animație interactivă: [Cursul 2 · De la teodolit la stația robotizată](#)

Teodolitele clasice, folosite în România până în anii 2000, se deosebesc mai ales prin dispozitivul de citire și prin precizie (Tabelul 2.2). Stațiile totale le-au păstrat luneta (de regulă cu mărire de 30×), dar au trecut la citirea electronică și au adăugat compensatorul pe două axe și distanțometrul (Tabelul 2.3).

Tabelul 2.2. Caracteristicile unor teodolite clasice

Caracteristica	Zeiss THEO 020	Zeiss THEO 010	Wild T2	Wild T3
Firma constructoare	Karl Zeiss Jena (Germania)	Karl Zeiss Jena (Germania)	Wild (Elveția)	Wild (Elveția)
Variante	THEO 020 / 020A / 020B	THEO 010 / 010A / 010B	Wild T2	Wild T3
Mărirea lunetei	25–30×	30×	30×	24×, 30×, 40×
Distanța minimă de vizare	1,5 m	1,5 m	1,7 m	4,6 m
Sensibilitatea nivelelor	30"	20"	30"	6,5"
Dispozitivul de citire / valoarea diviziunii	microscop cu scăriță / 1 ^c	microscop cu coincidență / 2 ^{cc}	micrometru optic cu coincidență / 2 ^{cc}	micrometru optic cu coincidență / 1 ^{cc}
Abaterea standard a unei direcții, în cele două poziții ale lunetei	20 ^{cc}	10 ^{cc}	20 ^{cc}	2–5 ^{cc}
Foto				

Tabelul 2.3. Caracteristicile unor stații totale

Caracteristica	Leica TCR 407	Leica TCR 805	Leica TCR 1201	Topcon GTS-701
Firma constructoare	Leica Geosystems (Elveția)	Leica Geosystems (Elveția)	Leica Geosystems (Elveția)	Topcon (Japonia)
Mărirea lunetei	30×	30×	30×	30×
Distanța minimă de vizare	1,7 m	1,7 m	1,7 m	1,3 m
Sensibilitatea nivelelor	10" / 30"	10" / 30"	10" / 30"	10" / 30"
Compensator	pe două axe	pe două axe	pe două axe	pe două axe
Dispozitivul de citire	electronic	electronic	electronic	electronic
Precizia unghiulară	20 ^{cc}	15 ^{cc}	3 ^{cc}	6 ^{cc}
Precizia distanței	±(2 mm + 2 ppm)	±(2 mm + 2 ppm)	±(1 mm + 1,5 ppm)	±(2 mm + 2 ppm)
Foto				

2.3 Componentele și principiul de funcționare

Stațiile totale sunt alcătuite din mai multe componente esențiale, fiecare având un rol specific în realizarea măsurătorilor precise.

2.3.1 Teodolitul — măsurarea unghiurilor

Teodolitul este componenta utilizată pentru măsurarea **unghiurilor orizontale** (citite pe cercul orizontal) și **verticale** (citite pe cercul vertical; stațiile afișează de obicei **unghiul zenital** V , măsurat de la verticala locului). El asigură stabilitatea și precizia măsurătorilor unghiulare. Teodolitele moderne au integrate sisteme optice și electronice care permit citirea unghiurilor cu o precizie de ordinul **secundelor de arc**.

În topografia din România unghiurile se exprimă de obicei în **grade centesimale** (Tabelul 2.4).

Tabelul 2.4. Unitățile de măsură pentru unghiuri

Unitatea	Cercul complet	Subdiviziuni	Echivalențe
Grade sexagesimale	360°	1° = 60' · 1' = 60"	1" ≈ 3,09 ^{cc}
Grade centesimale (gon)	400 ^g	1 ^g = 100 ^c · 1 ^c = 100 ^{cc}	1 ^{cc} ≈ 0,32"
Radiani	2π	—	1 rad = 63,6620 ^g = 57,2958°

Exemplu — ce înseamnă precizia unghiulară în teren

O eroare unghiulară ϵ deplasează punctul vizat lateral cu $D \cdot \epsilon$ (ϵ în radiani). La $D = 250$ m:

- o eroare de **1^{cc}** ($1,571 \times 10^{-6}$ rad) înseamnă $250 \times 1,571 \times 10^{-6} = \mathbf{0,4 \text{ mm}}$;
- o eroare de **5"** ($2,424 \times 10^{-5}$ rad) înseamnă **6,1 mm**.

Precizia se alege după lucrare: 5" ajung pentru ridicări curente, 1"–2" pentru rețele de sprijin și monitorizare.

2.3.2 Distanțometrul electronic (EDM)

Distanțometrul utilizează un fascicul de lumină (infraroșu) sau laser pentru a măsura distanța dintre stația totală și punctul țintă. Distanța se calculează pe baza **timpului de propagare** a fasciculului de lumină reflectat de țintă înapoi la stație — sau, la majoritatea instrumentelor, din **diferența de fază** dintre unda emisă și cea reflectată. Stațiile totale pot măsura distanțe de **ordinul kilometrilor** cu precizie ridicată.

$$D = c \cdot \Delta t / 2$$

c — viteza luminii în aer ($\approx 299\,700$ km/s) · Δt — timpul dus-întors · lumina parcurge distanța de două ori

Precizia distanțelor se exprimă sub forma $\pm(a \text{ mm} + b \text{ ppm})$: o parte constantă și una proporțională cu distanța (1 ppm = 1 mm pe kilometru).

Exemplu rezolvat

Stația are precizia $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$. Pentru $D = 850 \text{ m}$: $2 \text{ mm} + 2 \times 0,85 \text{ mm} = \pm 3,7 \text{ mm}$; pentru $D = 2 \text{ km}$: $2 \text{ mm} + 2 \times 2 \text{ mm} = \pm 6 \text{ mm}$.

Măsurarea **fără reflector** (reflectorless) folosește un laser vizibil, reflectat direct de suprafața vizată. Se pot măsura astfel puncte inaccesibile — fațade, poduri, taluzuri, maluri de canal — de la distanțe de ordinul sutelor de metri.

Atenție

Fără reflector, pata laserului are câțiva centimetri: la muchii și pe suprafețe oblice distanța poate fi greșită. Punctul vizat trebuie verificat.

2.3.3 Computerul integrat

Stațiile totale sunt dotate cu un computer integrat care permite procesarea și stocarea datelor colectate: **coordonatele punctelor măsurate (X, Y, Z), unghiurile și distanțele**. Datele pot fi exportate pentru prelucrare în software specializat — **AutoCAD** sau soluții **GIS** — în formate text (CSV, TXT), DXF sau formatele proprii ale producătorilor.

Programele de pe stație acoperă operațiile curente din teren:

- instalarea în stație și **orientarea** — pe un punct cunoscut sau prin stație liberă (retrointersecție);
- ridicarea punctelor prin **metoda polară** (radiere);
- **trasarea** punctelor din proiect;
- calculul **suprafețelor** și al distanțelor dintre puncte;
- determinarea cotei punctelor inaccesibile.

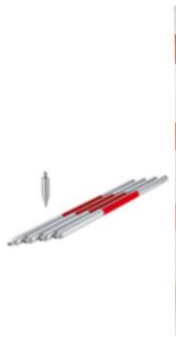
2.4 Echipamentul de teren

O ridicare cu stația totală are nevoie, pe lângă instrument, de câteva accesorii (Figura 2.3, Figura 2.4):

- **trepiedul** — din lemn (dilatare termică mică, amortizează vibrațiile; preferat la lucrările de precizie) sau din aluminiu (ușor și rezistent la umezeală, dar mai sensibil la căldură și la vânt);
- **ambaza** — piesa de legătură dintre instrument și trepied, cu trei șuruburi de calare, nivelă sferică și dispozitiv de centrare optică sau laser. Permite **centrarea forțată**: instrumentul și prisma se schimbă între ele fără a pierde centrarea;
- **jaloanele** — din lemn sau metal, de 2 m, vopsite alternativ roșu-alb, cu vârf metalic, pentru semnalizarea punctelor;
- **bastoanele pentru prismă** — telescopice, cu nivelă sferică; pentru punctele de sprijin și trasările precise se folosesc cu bipod;
- **reflectoarele** — prisma circulară (bătaie de câțiva kilometri), mini-prisma, prisma 360° (pentru stațiile robotizate, nu trebuie întoarsă spre stație) și ținta reflectorizantă (folia).

Accesorii	Trepiede			
	Trepied standard (telescopic)		Mini – trepied metalic	
	Trepied de lemn	Trepied metalic		
Foto				

Figura 2.3. Trepiede: standard (telescopic), din lemn sau din metal, și mini-trepiedul metalic.

Accesorii	Jaloane topografice	
	Jaloane de lemn sau metalice	Mini – jaloane metalice (articulate din segmente de 0,30m)
Foto	 	

(a) jaloane și mini-jaloane articulate din segmente de 0,30 m

Accesorii	Baston cu prisme reflectorizante	Prisme reflectorizante	
	Baston cu mini – prisme (Leica)	Prisme circulare și mini – prismă (Leica)	Suport și mini – prisme (TOPCON)
Foto			

(b) bastoane cu mini-prisme și prisme reflectorizante

Figura 2.4. Accesoriile stației totale.

► Animație interactivă: [Cursul 2 · Echipamentele, pe rând](#)

⚠ Atenție — constanta prismei

Fiecare tip de prismă are o **constantă** proprie, care se introduce în stație. O constantă greșită produce **aceeași eroare pe fiecare distanță**: de exemplu, în sistemul Leica, prisma circulară GPR1 are 0,0 mm, iar mini-prisma +17,5 mm. La schimbarea prismei se schimbă și constanta în stație — este cea mai frecventă greșeală pe șantier.

2.4.1 Instalarea stației într-un punct

1. Trepiedul se așază deasupra punctului, cu capul aproximativ orizontal; picioarele se înfig ferm în teren, apăsând pe pedale.
2. Instrumentul se fixează pe trepied și se **centrează** deasupra punctului, cu laserul sau cu dispozitivul optic al ambazei, deplasând picioarele trepiedului.
3. Se face **calarea**: aproximativ, din picioarele trepiedului, după nivela sferică; apoi fin, din cele trei șuruburi ale ambazei, după nivela electronică.
4. Se verifică din nou centrarea; dacă s-a pierdut, instrumentul se deplasează pe capul trepiedului și se reia calarea fină.

5. Se măsoară **înălțimea instrumentului** (de la punct la marcajul axei lunetei) și se introduc în stație: punctul de stație, înălțimea, prisma folosită și constanta ei.
6. Se face **orientarea**: se vizează un punct cunoscut (sau mai multe, prin stație liberă) și se verifică pe un al doilea punct.



Figura 2.5. Stația totală instalată pe șantier; în planul al doilea, operatorul cu bastonul și prisma.

★ De reținut

O centrare greșită cu 2 mm intră direct în coordonate. Un baston înclinat cu 1° deplasează vârful, la 2 m înălțime, cu **3,5 cm**. Înălțimea prisme se introduce în stație la fiecare schimbare — eroarea trece integral în cota punctului.

2.5 Metoda polară — cum se obțin coordonatele

Cea mai folosită metodă de ridicare cu stația totală este **metoda polară** (radierea). Stația se instalează într-un punct cunoscut S și se orientează pe alt punct cunoscut B; pentru fiecare punct nou P se măsoară unghiul orizontal α , față de direcția S–B, și distanța orizontală D (Figura 2.6).

$$\theta_{SP} = \theta_{SB} + \alpha \quad X_P = X_S + D \cdot \cos \theta_{SP} \quad Y_P = Y_S + D \cdot \sin \theta_{SP}$$

θ — orientarea, măsurată de la Nord în sens orar · D — distanța redusă la orizontală

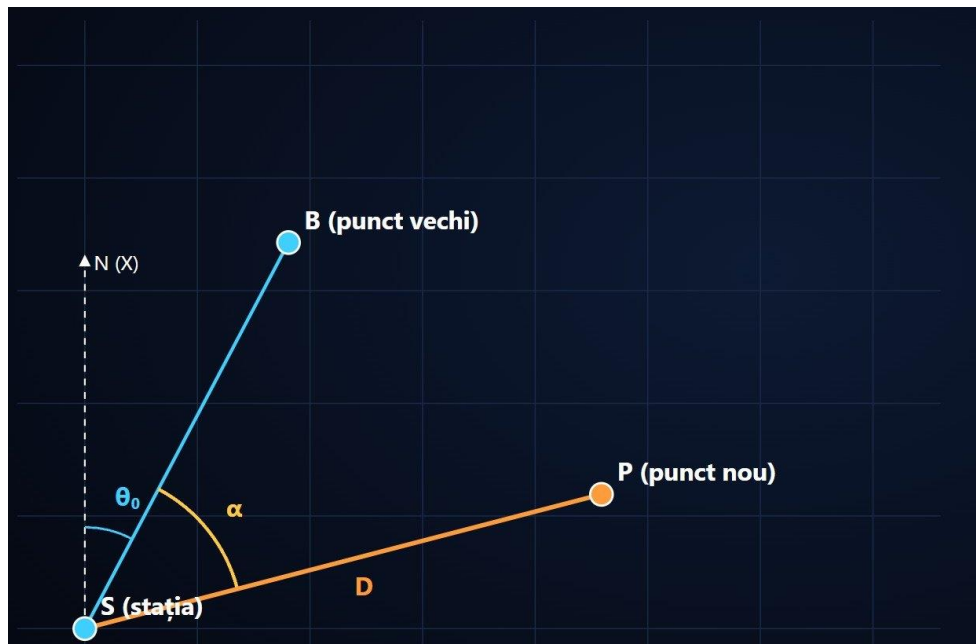


Figura 2.6. Metoda polară: stația *S*, punctul de orientare *B* și punctul nou *P*, cu orientarea θ_0 a direcției *S*–*B*, unghiul măsurat α și distanța *D*.

► Animație interactivă: [Cursul 2 · Avantajele stațiilor totale \(metoda polară, pădure, versatilitate\)](#)

Exemplu rezolvat

Stația *S* ($X = 5\,000,000$; $Y = 3\,000,000$) este orientată pe punctul *B* ($X = 5\,180,400$; $Y = 3\,095,200$). Spre punctul nou *P* se măsoară $\alpha = 52,9089^\circ$ și $D = 249,522$ m.

1. orientarea $S \rightarrow B$: $\theta_{SB} = \arctg(95,200 / 180,400) = \mathbf{30,9126^\circ}$ (cadranul I);
2. orientarea $S \rightarrow P$: $\theta_{SP} = 30,9126^\circ + 52,9089^\circ = \mathbf{83,8215^\circ}$;
3. $X_P = 5\,000,000 + 249,522 \cdot \cos 83,8215^\circ = \mathbf{5\,062,731\text{ m}}$;
4. $Y_P = 3\,000,000 + 249,522 \cdot \sin 83,8215^\circ = \mathbf{3\,241,508\text{ m}}$.

Din practică

Stația calculează aceste coordonate automat, la fiecare punct măsurat. De aceea punctele *S* și *B* trebuie să fie corecte, iar orientarea se verifică pe un al treilea punct cunoscut, la începutul și la sfârșitul lucrului.

2.6 Avantajele măsurărilor cu stația totală

Stațiile totale oferă mai multe avantaje în comparație cu alte metode de măsurare, inclusiv cu sistemele GNSS, în anumite situații.

2.6.1 Precizia ridicată

Stațiile totale permit măsurători cu o precizie extrem de mare, fiind capabile să obțină coordonate și distanțe **la nivel de milimetru**. Această precizie este esențială în lucrările de îmbunătățiri funciare,

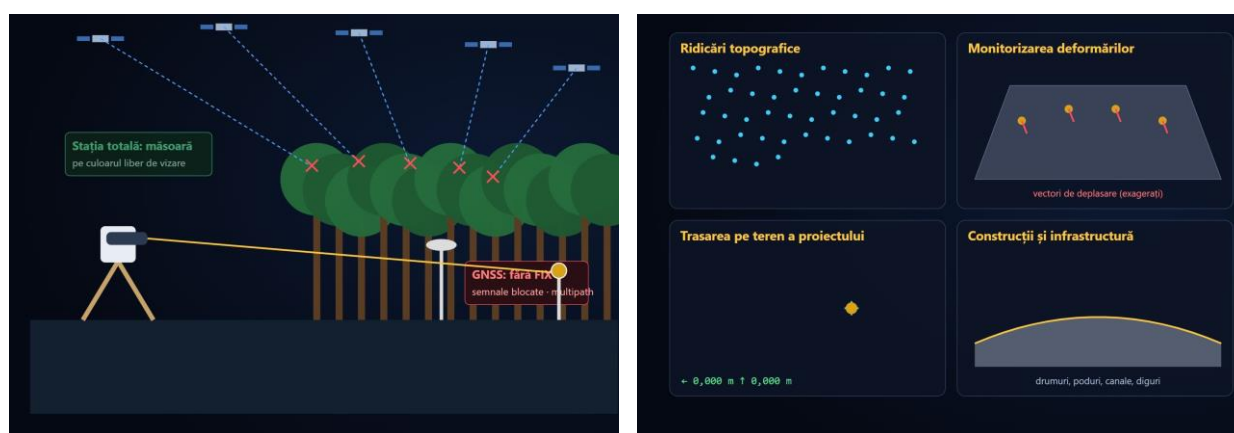
cum ar fi **construcția canalelor de irigații**, unde orice deviație poate afecta funcționarea optimă a sistemului de distribuție a apei: câțiva centimetri de pantă greșită schimbă curgerea apei.

2.6.2 Independența față de semnalele GNSS

Un avantaj major al stațiilor totale este faptul că **nu depind de semnalele satelitare**. Aceasta le face ideale în zonele în care semnalul GNSS este slab sau inexistent: **zone împădurite**, terenuri abrupte, regiuni izolate, lângă clădiri sau sub poduri. Sub coronament, receptorul GNSS pierde sateliții și soluția FIX; stația totală are nevoie doar de vizibilitate directă spre prismă (Figura 2.7).

2.6.3 Versatilitate în aplicare

Stațiile totale sunt extrem de versatile. Ele sunt utilizate nu doar pentru ridicări topografice, ci și pentru **monitorizarea deformărilor**, trasarea proiectelor, măsurători de construcție, **cadastru** și proiecte de infrastructură de mari dimensiuni — drumuri, autostrăzi, poduri, canale și diguri. La monitorizare, aceleași prisme fixe se măsoară repetat, iar diferențele dintre epoci arată deplasarea construcției.



(a) în pădure: GNSS fără FIX, stația măsoară pe culoarul liber

(b) ridicări, monitorizare, trasare, construcții

Figura 2.7. Două avantaje ale stației totale: independența față de GNSS și versatilitatea.

Din practică

În practică, cele două tehnologii se completează: **GNSS** pentru punctele de sprijin, în zonele deschise; **stația totală** pentru detaliile din zonele acoperite și pentru lucrările de precizie milimetrică.

2.7 Stația totală în lucrările de îmbunătățiri funciare

Stațiile totale sunt utilizate frecvent în lucrările de îmbunătățiri funciare datorită capacității lor de a oferi măsurători de precizie în teren. În proiectele de irigații ele măsoară și cartografiază cu exactitate terenurile, identificând **diferențele de nivel** și proiectând **traseele ideale pentru canale**.

Măsurătorile obținute cu stația totală sunt folosite pentru a crea **modele digitale ale terenului (DTM — Digital Terrain Model)**, din care software-ul specializat generează planuri topografice detaliate, **curbe de nivel** și **profile transversale și longitudinale**. Aceste informații sunt critice în proiectarea infrastructurilor de irigații: permit calcularea **volumelor de excavare**, **estimarea costurilor** și **optimizarea fluxului de apă** în funcție de configurația terenului (Figura 2.8).

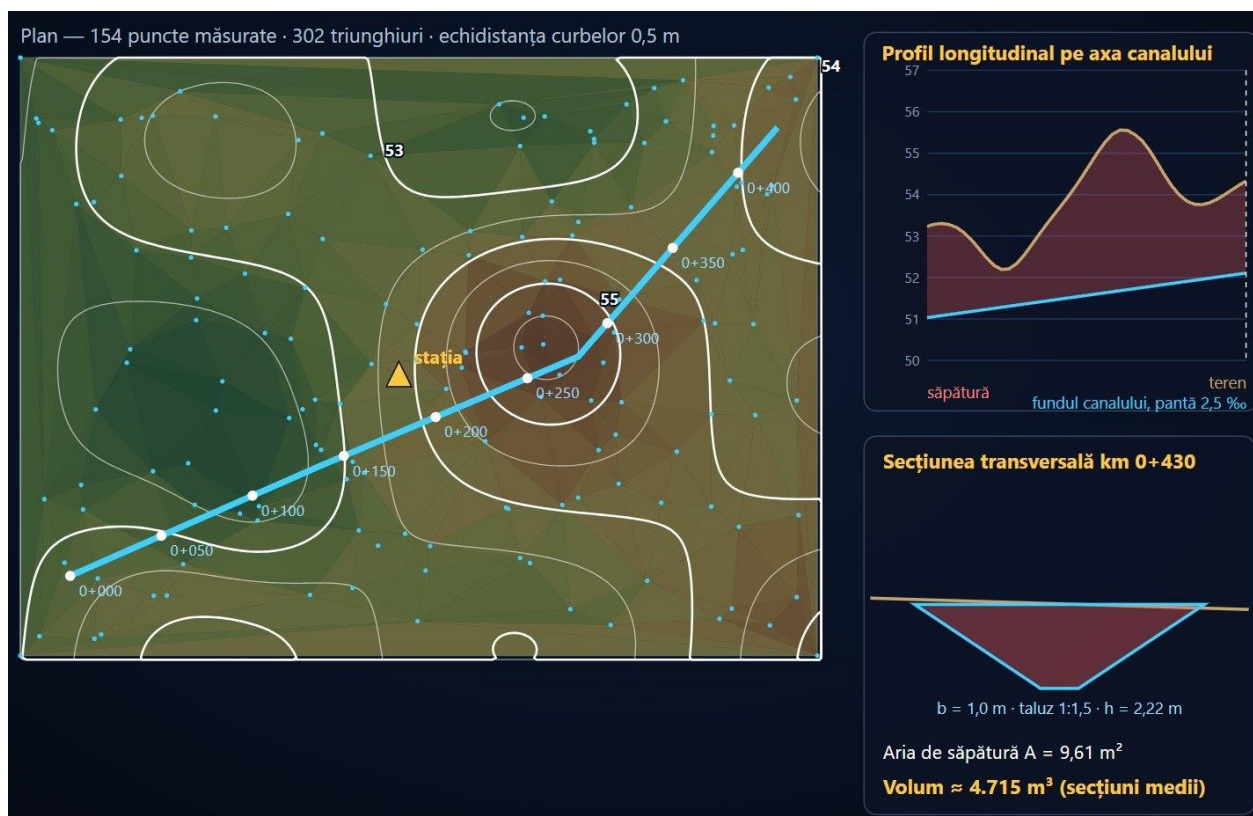


Figura 2.8. De la punctele măsurate la proiectul canalului: 154 de puncte, 302 triunghiuri și curbe de nivel cu echidistanța de 0,5 m; profilul longitudinal pe axa canalului, cu fundul în pantă de 2,5 ‰, și secțiunea transversală de la km 0+430 (aria de săpătură 9,61 m²).

► Animație interactivă: [Cursul 2 · De la măsurători la proiectul canalului](#)

★ Concluzie

Stațiile totale oferă un echilibru între **precizie, versatilitate și independență față de semnalele GNSS**. Ele sunt esențiale în măsurătorile topografice detaliate necesare proiectelor de irigații și drenaj și contribuie la optimizarea utilizării resurselor de apă și la creșterea productivității agricole.

≡ Pe scurt

- Stația totală = **teodolit** (unghiuri orizontale și verticale) + **EDM** (distanțe) + **computer** (coordonate X, Y, Z, stocare, export în AutoCAD sau GIS).
- Unghiurile se citesc cu precizie de ordinul **secundelor de arc**; în România se lucrează de obicei în grade centesimale (cercul are 400°).
- EDM: distanța rezultă din **timpul de propagare** ($D = c \cdot \Delta t / 2$) sau din diferența de fază; distanțe de **ordinul kilometrilor**, cu precizia $\pm(a \text{ mm} + b \text{ ppm})$.
- Avantaje: precizie **milimetrică**, **independență față de GNSS** (pădure, clădiri, poduri), **versatilitate** (ridicări, trasări, cadastru, monitorizarea deformărilor).
- Metoda polară: $\theta_{SP} = \theta_{SB} + \alpha$; $X_P = X_S + D \cdot \cos \theta_{SP}$; $Y_P = Y_S + D \cdot \sin \theta_{SP}$.
- Atenție la **constanta prisme**, la **înălțimea instrumentului și a prisme** și la centrare.
- În îmbunătățiri funciare: DTM → curbe de nivel → profile → volume de săpătură, costuri, trasee optime pentru canale.

2.8 Întrebări de autoevaluare

1. Ce funcții combină o stație totală și ce mărimi măsoară simultan?
2. Pe ce principiu funcționează distanțometrul electronic?
3. O stație are precizia distanțelor $\pm(2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$. Ce precizie are o distanță de 1 200 m?
4. Ce date stochează computerul stației totale și unde se prelucrează ele?
5. Ce este constanta prisme și ce se întâmplă dacă se introduce greșit?
6. Calculați coordonatele punctului P, dacă stația S are coordonatele (1 000,00; 2 000,00), $\theta_{SP} = 100,0000^\circ$ și $D = 150,00 \text{ m}$.
7. De ce sunt preferate stațiile totale în pădure sau lângă clădiri înalte?
8. Dați trei exemple de utilizare a stației totale în afara ridicărilor topografice.
9. Cum contribuie stația totală la proiectarea unui canal de irigații?

3. Măsurători GNSS

Corespunde părții a doua a Cursului 2 — sistemele GNSS, poziționarea cu corecții și aplicațiile în îmbunătățiri funciare.

Tehnologia GNSS (Global Navigation Satellite System) este esențială pentru măsurătorile topografice moderne, oferind poziționare rapidă și precisă pe întreaga suprafață a Pământului. Capitolul prezintă sistemele de sateliți existente în 2026, principiul poziționării, sursele de erori și modul în care corecțiile diferențiale — prin rețeaua națională ROMPOS — duc precizia de la câțiva metri la 1–2 centimetri. Se încheie cu lucrul efectiv cu controlerul și cu aplicațiile în îmbunătățiri funciare.

© După acest capitol veți putea

- să enumerați sistemele GNSS globale și regionale și caracteristicile lor principale;
- să explicați poziționarea prin trilateratie și de ce sunt necesari cel puțin patru sateliți;
- să deosebiți poziționarea autonomă, DGNSS și RTK după principiu și precizie;
- să lucrați corect cu un receptor RTK conectat la ROMPOS (FIX, FLOAT, HRMS, PDOP);
- să alegeți între GNSS și stația totală în funcție de condițiile din teren.

Cuvinte-cheie: GNSS · GPS · Galileo · trilateratie · pseudodistanță · DGNSS · RTK · ROMPOS · NTRIP · FIX / FLOAT

3.1 Ce este GNSS

GNSS este un **termen generic** care include mai multe sisteme de poziționare prin satelit: **GPS** (Global Positioning System) — sistemul american, **GLONASS** (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) — sistemul rusesc, **BeiDou** — sistemul chinezesc și **Galileo** — sistemul european de navigație. Lor li se adaugă sistemele regionale **QZSS** (Japonia) și **NavIC** (India).

Aceste sisteme funcționează prin constelații de sateliți care orbitează Pământul și transmit **semnale radio** către receptoarele aflate la sol. Receptorul calculează poziția unui punct pe baza semnalelor primite de la **minimum patru sateliți** (Figura 3.1).

Fiecare sistem are trei componente, numite **segmente**:

- **segmentul spațial** — sateliții, care emit continuu semnale cu momentul emisiei și poziția lor (efemeridele);
- **segmentul de control** — stațiile de la sol care urmăresc sateliții, le corectează orbitele și ceasurile atomice și le transmit datele de navigație;
- **segmentul utilizatorilor** — receptoarele: de la telefoane mobile la receptoarele geodezice multi-frecvență și multi-constelație.

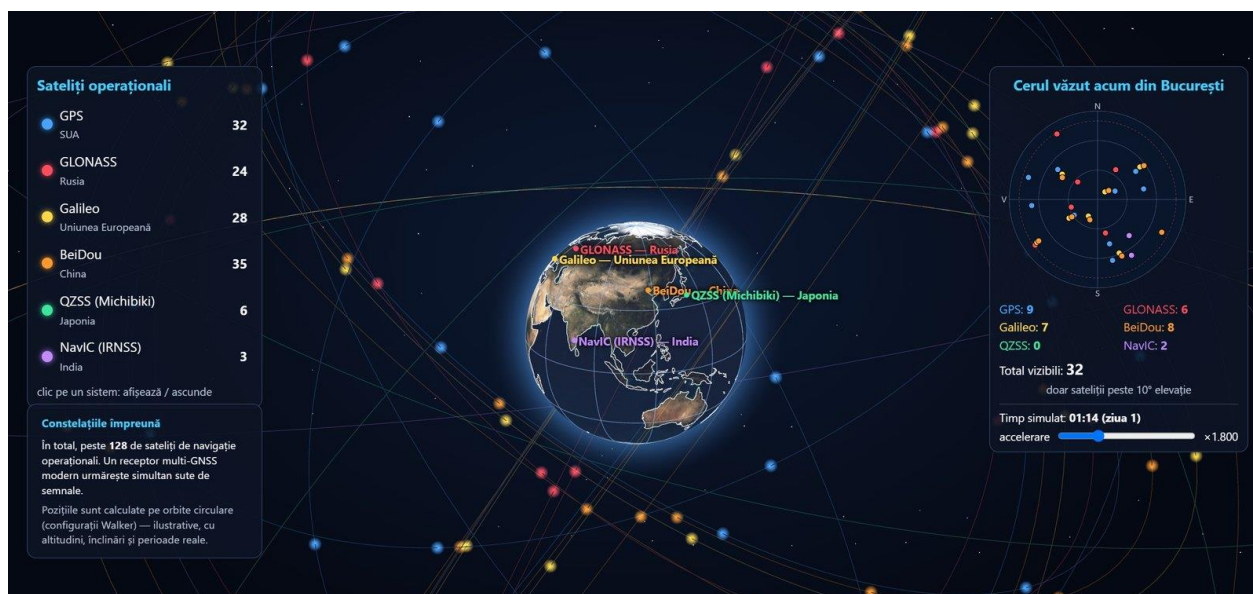


Figura 3.1. Constelațiile GNSS în jurul Pământului, cu numărul de sateliți operaționali în 2026 (stânga) și cerul văzut din București la un moment dat (dreapta): 32 de sateliți vizibili peste 10° elevație.

► Animație interactivă: [Cursul 2 · Constelațiile GNSS \(3D, cu cerul văzut din București\)](#)

3.2 Sistemele de poziționare prin satelit

Fiecare sistem GNSS operează cu propria constelație de sateliți și propriile tehnologii, oferind servicii variate de poziționare (Tabelul 3.1).

3.2.1 GPS

GPS este cel mai cunoscut și utilizat sistem de poziționare globală. A fost dezvoltat de **Departamentul Apărării al SUA** și oferă poziționare globală **24 de ore pe zi, în orice condiții meteorologice**. În 2026 constelația are **32 de sateliți operaționali** (în 2024, la redactarea primei ediții a suportului, erau 31), pe 6 plane orbitale, la circa 20 200 km altitudine, fiecare emițând semnale de poziționare pe mai multe frecvențe (L1, L2, L5).

3.2.2 GLONASS

Sistemul rusesc GLONASS funcționează similar cu GPS și are o constelație de **24 de sateliți**, pe 3 plane orbitale, la circa 19 100 km. Este utilizat atât pentru aplicații militare, cât și civile, cu acoperire globală, dar este **mai performant în regiunile nordice**, datorită înclinării mari a orbitelor (64,8°).

3.2.3 Galileo

Galileo este sistemul de poziționare al **Uniunii Europene**, oferind servicii globale și de înaltă precizie pentru aplicații **civile** — inclusiv serviciul gratuit de înaltă precizie HAS. La finalizare, constelația de primă generație cuprinde **30 de sateliți** (24 activi, pe trei plane orbitale, și 6 de rezervă). În 2026 sunt **28 de sateliți utilizabili** din 34 lansați, iar lansarea celei de-a doua generații a început.

3.2.4 BeiDou

Sistemul BeiDou a fost dezvoltat de **China** în trei etape: BeiDou-1 (2000, experimental), BeiDou-2 (2012, regional, cu accent pe **Asia-Pacific**) și **BeiDou-3** (2020, global). Oferă servicii similare cu GPS

și GLONASS; în 2026 are **35 de sateliți BeiDou-3** (pe orbite medii, înclinate geosincrone și geostaționare), la care se adaugă sateliți BeiDou-2 încă în serviciu.

3.2.5 Sistemele regionale QZSS și NavIC

QZSS (Michibiki, Japonia, 6 sateliți pe orbită) și **NavIC** (India, 3 sateliți funcționali) au sateliți pe orbite geosincrone, care stau mereu deasupra regiunii deservite. Ele completează constelațiile globale în Asia-Pacific; QZSS transmite și corecții de precizie centimetrică (serviciul CLAS).

Tabelul 3.1. Sistemele GNSS în septembrie–octombrie 2026

Sistemul	Sateliți	Orbita: altitudine · înclinare · perioadă	Semnale civile	Acoperire
GPS (SUA)	32 operaționali	20 180 km · 55° · 6 plane · 11 h 58 min	L1 C/A, L1C, L2C, L5	globală
GLONASS (Rusia)	24 operaționali	19 130 km · 64,8° · 3 plane · 11 h 16 min	L1OF, L2OF, L3OC	globală; foarte bună la latitudini mari
Galileo (UE)	28 utilizabili din 34 lansați	23 222 km · 56° · 3 plane · 14 h 05 min	E1, E5a, E5b, E6	globală
BeiDou (China)	35 BeiDou-3 (28 MEO + 3 IGSO + 4 GEO)	21 528 km (MEO) · 55° · 3 plane · 12 h 53 min	B1I, B1C, B2a, B2b, B3I	globală (inițial Asia-Pacific)
QZSS (Japonia)	6 pe orbită	35 786 km (geosincronă) · 41° · 23 h 56 min	L1C/A, L1C, L2C, L5, L6	regională, Asia-Pacific
NavIC (India)	3 funcționali	35 786 km (geosincronă) · 29° · 23 h 56 min	L5, S	regională, India ± 1 500 km

Surse: U.S. Coast Guard NAVCEN, EUSPA — European GNSS Service Centre, China Satellite Navigation Office, JAXA, ISRO. Numerele se schimbă pe măsură ce se lansează sau se retrag sateliți.

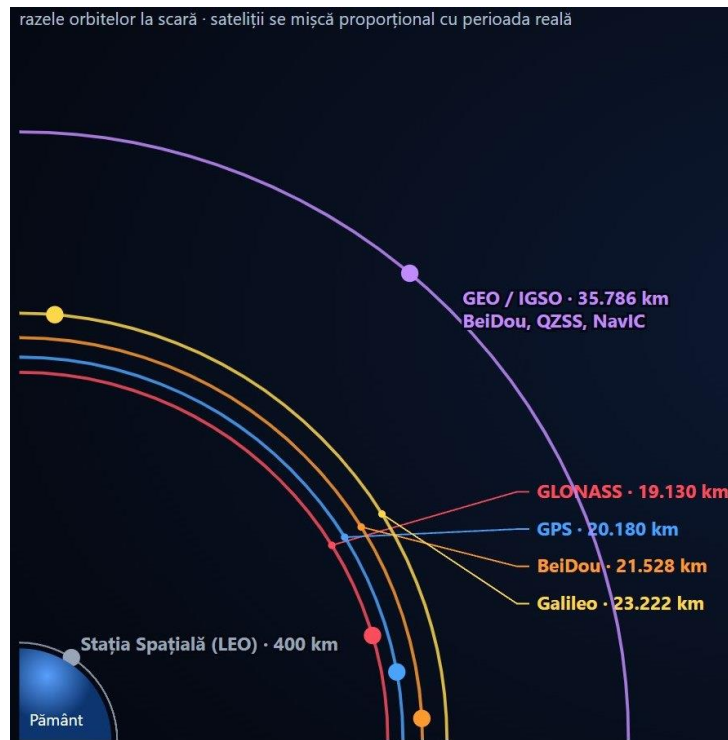


Figura 3.2. Altitudinile orbitelor, la scară: constelațiile globale pe orbite medii (19 000–23 000 km) și sateliții geosincroni BeiDou, QZSS și NavIC la 35 786 km.

► Animație interactivă: [Cursul 2 · Sistemele GNSS — date comparative și istoric](#)

★ De reținut

Un receptor modern **multi-constelație** urmărește simultan GPS, GLONASS, Galileo și BeiDou — peste 30 de sateliți vizibili deodată în România. Mai mulți sateliți înseamnă geometrie mai bună, precizie mai mare și lucru posibil și acolo unde o parte din cer este acoperită.

3.3 Principiul de funcționare: trilaterarea

Poziționarea GNSS se bazează pe metoda **trilaterației**: măsurarea **distanțelor** față de cel puțin patru sateliți aflați pe orbite diferite (Figura 3.3).

- Fiecare satelit emite un semnal care conține **momentul exact al emisieii** și **poziția satelitului** în spațiu.
- Receptorul primește semnalul și calculează distanța față de satelit din **timpul de propagare**, înmulțit cu viteza luminii.
- Cu distanțele față de patru sateliți, receptorul determină coordonatele **X, Y, Z** ale punctului și eroarea propriului ceas; cu mai mulți sateliți, precizia crește considerabil.

$$\rho_i = \sqrt{((X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2)} + c \cdot \delta t$$

ρ_i — pseudodistanța măsurată față de satelitul i · X_i, Y_i, Z_i — poziția satelitului · δt — eroarea ceasului receptorului

Distanța măsurată se numește **pseudodistanță**, pentru că include eroarea ceasului receptorului. Sateliții au ceasuri atomice, receptorul nu: o eroare de numai **1 μ s** a ceasului înseamnă **300 m** de distanță. De aceea eroarea de ceas δt devine a patra necunoscută, alături de X, Y și Z — și de aceea sunt necesari **cel puțin patru sateliți**.

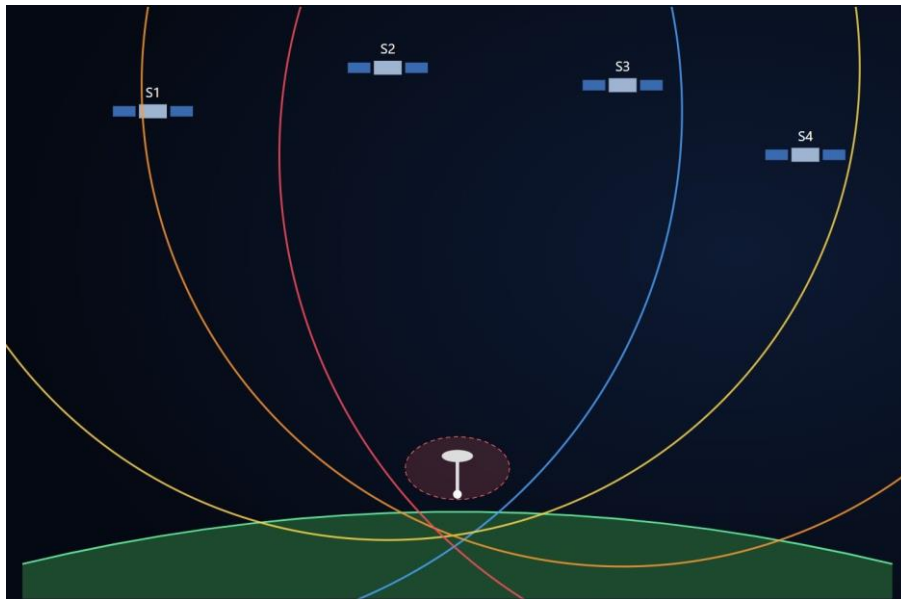


Figura 3.3. Trilaterația: sferele de distanță față de sateliții S1–S4 se intersectează în poziția receptorului.

► Animație interactivă: [Cursul 2 - Poziționarea cu corecții și controlerul RTK](#)

Rezultatul este exprimat în coordonate carteziene geocentrice **X, Y, Z**, transformate apoi în latitudine, longitudine și înălțime elipsoidală (B, L, h) în sistemul european **ETRS89**. Pentru planuri, coordonatele trec în **Stereo 70** și altitudinile în **Marea Neagră 1975**, cu transformarea oficială (RomGEO), ca în §1.7.

⚠ Atenție

Precizia depinde și de **geometria sateliților**, exprimată prin **PDOP** (Position Dilution of Precision): sateliți răspândiți pe tot cerul dau PDOP mic (sub 2–3) și poziții bune; sateliți grupați într-o parte a cerului dau PDOP mare și poziții slabe, chiar dacă sunt mulți.

3.4 Erorile și corecțiile: DGNSS și RTK

3.4.1 Sursele de erori

O poziție calculată doar din semnalele sateliților (poziționare **autonomă**) are erori de câțiva metri. Cea mai mare eroare vine din **ionosferă**, care întârzie semnalul; urmează erorile de orbită și de ceas ale sateliților, reflexiile semnalului pe clădiri sau pe apă (**multipath**), troposfera și zgomotul receptorului (Tabelul 3.2).

Tabelul 3.2. Ordinul de mărime al erorilor, după modul de poziționare

Sursa erorii	Autonom (cod)	DGNSS (corecții de cod)	RTK (faza purtătoarei)
Ionosferă	4,0 m	0,3 m	1,2 cm
Troposferă	0,5 m	0,05 m	0,2 cm
Orbite și ceasuri	1,5 m	0,09 m	0,3 cm
Multipath (reflexii)	0,8 m	0,8 m	0,5 cm
Zgomotul receptorului	0,3 m	0,3 m	0,3 cm
Precizie tipică	3–5 m	0,3–1 m	1–2 cm

3.4.2 Corecțiile diferențiale (DGNSS / DGPS)

Un mod de a îmbunătăți precizia GNSS este utilizarea **corecțiilor diferențiale** (DGNSS, numite istoric DGPS). Stațiile de referință, cu poziții cunoscute exact, compară distanțele măsurate cu cele calculate, determină erorile și transmit **corecții** către receptorii mobili. Aceste corecții reduc erorile cauzate de **atmosferă** (ionosferă, troposferă) și de factorii comuni zonei de lucru — erorile de orbită și de ceas — oferind o precizie **submetrică**, mai bună decât a poziționării GNSS autonome. Erorile strict locale ale roverului (multipath, zgomotul receptorului) nu se elimină prin corecții.

3.4.3 Sistemele RTK (Real-Time Kinematic)

Pentru lucrările care necesită o precizie ridicată, **de ordinul centimetrilor**, se utilizează tehnologia **RTK**. Un receptor fix (**stația de bază**) este plasat într-un punct cunoscut, iar alt receptor, mobil (**roverul**), se deplasează pe teren. Stația de bază transmite **corecții în timp real** către rover, care le aplică pentru a obține o poziționare de înaltă precizie.

Spre deosebire de DGNSS, RTK folosește **faza undei purtătoare** (lungimea de undă ≈ 19 cm pe L1). După rezolvarea numărului întreg de lungimi de undă dintre satelit și receptor (**ambiguitățile**), precizia ajunge la 1–2 cm, plus aproximativ 1 ppm din distanța până la bază.

★ De reținut

- **Autonom:** câțiva metri — navigație, orientare în teren.
- **DGNSS:** submetric — GIS, inventarieri, cartare tematică.
- **RTK:** 1–2 cm — ridicări topografice, trasări, cadastru, ghidajul utilajelor.

3.5 Rețeaua ROMPOS

În România, corecțiile sunt oferite de **ROMPOS** (Romanian Position Determination System), rețeaua națională de **stații GNSS permanente** administrată de ANCP: **74 de stații** care urmăresc GPS, GLONASS și Galileo (Figura 3.4). Centrul de calcul modelează erorile pe toată țara și generează, pentru fiecare utilizator, o **stație virtuală de referință (VRS)** chiar lângă rover — nu mai este nevoie de o bază proprie.

Corecțiile ajung la rover prin **internet mobil**, cu protocolul **NTRIP**, în formatul standard **RTCM 3.x**. ROMPOS oferă servicii DGNSS (precizie de 3 m sau 0,5 m) și RTK (VRS, FKP, MAC sau bază unică), precum și date pentru post-procesare.

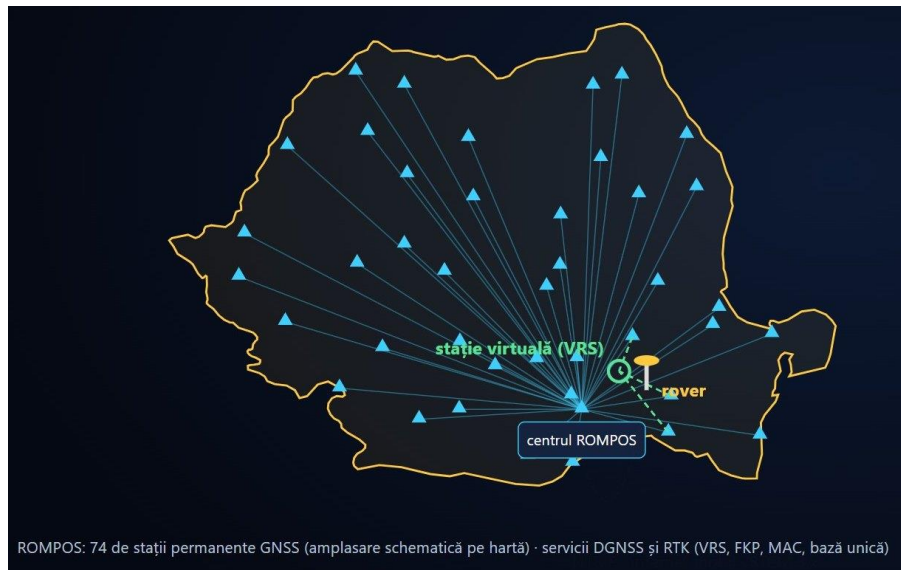


Figura 3.4. RTK în rețea: stațiile permanente ROMPOS (amplasare schematică) transmit observațiile la centrul de calcul, care generează o stație virtuală (VRS) lângă rover.

3.6 Lucrul în teren cu receptorul RTK

Măsurătoarea se conduce de pe **controler** — o tabletă sau un carnet electronic conectat la receptor (Figura 3.5):

1. se pornește receptorul, care calculează la început o poziție **autonomă**;
2. se face conectarea la **caster-ul NTRIP** ROMPOS: utilizator, parolă și punctul de acces (mountpoint) — de exemplu VRS, în format RTCM 3.x;
3. receptorul trimite poziția aproximativă (mesajul NMEA GGA) și începe să primească corecții: soluția trece prin **DGNSS** și apoi **FLOAT**;
4. după rezolvarea ambiguităților, soluția devine **FIX** — precizie centimetrică;
5. punctul se măsoară **numai în FIX**, cu valori mici ale indicatorilor HRMS / VRMS (precizia estimată în plan / pe verticală) și PDOP, pe mai multe epoci;
6. coordonatele se transformă în Stereo 70 și altitudinile în Marea Neagră 1975 (direct pe controler sau ulterior, cu RomGEO).



Figura 3.5. Controlerul RTK: pozițiile succesive calculate de receptor se strâng într-un cerc de 1–2 cm (stânga); conexiunea NTRIP la ROMPOS, starea RTK FIX și indicatorii de calitate HRMS 0,009 m, VRMS 0,016 m, PDOP 1,4 (dreapta).

Exemplu — punctul 101, măsurat RTK FIX

ETRS89: B = 44°28'02,28", L = 26°03'56,16", h = 120,000 m.

Stereo 70: X = 330 284,940 m, Y = 584 906,714 m; altitudinea în Marea Neagră 1975: H = 84,610 m (ondulația cvasigeoidului $\zeta = 35,39$ m).

⚠ Atenție

Sub coronament sau lângă clădiri înalte soluția poate cădea din **FIX** în **FLOAT** (precizie decimetrică). Punctul nu se măsoară până când FIX-ul nu este recâștigat. Un FIX „fals” se depistează remăsurând punctul după o reinițializare sau verificând un punct cunoscut.

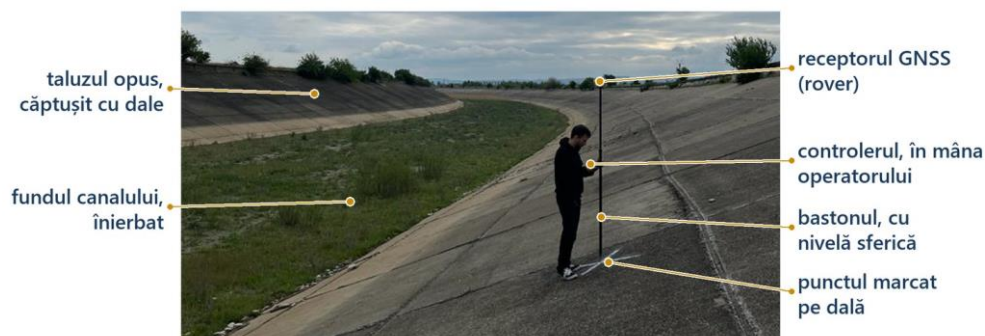


Figura 3.6. Măsurători GNSS RTK pe un canal de irigații căptușit cu dale de beton.

3.7 Aplicații GNSS în lucrările de îmbunătățiri funciare

Măsurătorile GNSS sunt esențiale în proiectele de îmbunătățiri funciare datorită **vitezei, flexibilității și preciziei** ridicate. Ele permit colectarea rapidă a datelor despre teren și generarea planurilor topografice detaliate, necesare pentru proiectarea și implementarea sistemelor de irigații și drenaj.

3.7.1 Măsurători rapide și eficiente

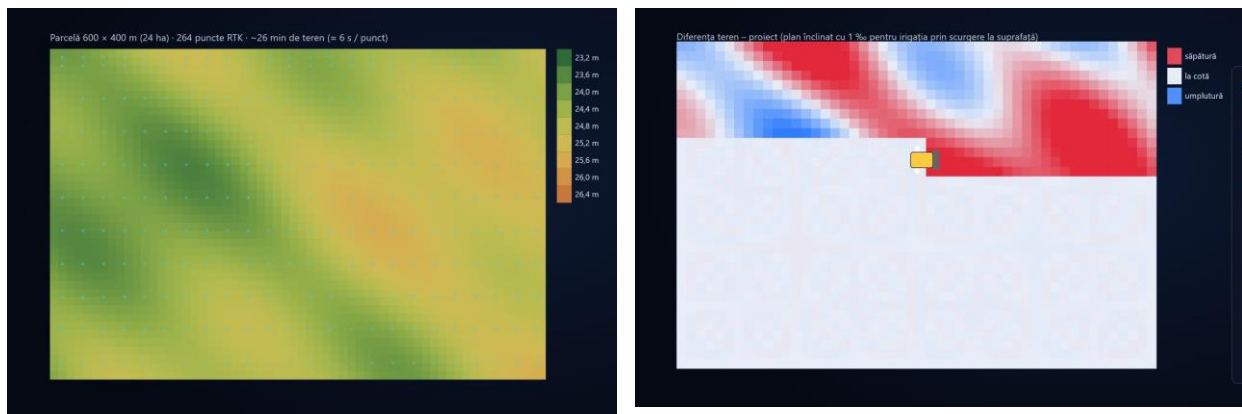
Sistemele GNSS permit măsurători rapide **pe suprafețe mari**, reducând timpul și costurile lucrărilor de teren. În loc să se stabilească puncte de control fizice în mod tradițional, prin drumuri cu stația totală, măsurătorile GNSS oferă o alternativă mult mai rapidă: GNSS poate **înlocui parțial punctele de control tradiționale**. Un punct RTK se măsoară în câteva secunde, fără vizibilitate între puncte.

3.7.2 Crearea modelelor digitale ale terenului (DTM)

Măsurătorile GNSS colectează date precise despre **altitudinea și planimetria** terenului. Din ele se generează **modele digitale ale terenului (DTM)**, folosite apoi pentru proiectarea rețelilor de canale de irigații și a altor lucrări de îmbunătățiri funciare.

3.7.3 Nivelarea terenului cu ghidaj GNSS

Irigația prin scurgere la suprafață cere un teren cu **pantă uniformă**. Utilajele de nivelare (gredere, screpere) au antene GNSS RTK: compară continuu poziția lamei cu suprafața proiectată și o ridică sau o coboară automat, cu abateri de 2–3 cm, fără țărui de trasare (Figura 3.7).



(a) parcelă de 24 ha: 264 de puncte RTK, ≈ 26 de minute de teren

(b) diferența teren – proiect pentru un plan înclinat cu 1 ‰

Figura 3.7. Aplicații GNSS: (a) ridicarea rapidă și modelul terenului; (b) nivelarea cu ghidaj GNSS — roșu: săpătură, albastru: umplutură.

► Animație interactivă: [Cursul 2 · Aplicații GNSS în îmbunătățiri funciare](#)

3.7.4 Monitorizarea și întreținerea infrastructurilor

Pe lângă lucrările inițiale de construcție, GNSS se folosește pentru **monitorizarea și întreținerea** infrastructurii de irigații și drenaj. Pe diguri, canale și stații de pompare se fixează puncte de monitorizare, măsurate periodic (în **epoci**); diferențele dintre epoci arată **deformările și tasările** terenului, permițând intervenții rapide pentru menținerea eficienței sistemelor (Figura 3.8).



Figura 3.8. Monitorizarea unui dig: deplasările punctelor M1–M4 între epocile 2024 și 2026 — orizontal 3–16 mm, tasări de 8–31 mm (vectorii sunt exagerați de 1 500 de ori).

3.8 Stația totală sau GNSS?

Cele două tehnologii nu se exclud, ci se completează. Alegerea depinde de teren, de precizia cerută și de lucrare (Tabelul 3.3).

Tabelul 3.3. Stația totală și receptorul GNSS RTK — comparație

Criteriul	Stația totală	GNSS RTK
Precizia	milimetrică	centimetrică (1–2 cm în plan, 2–3 cm pe înălțime)
Condiția de lucru	vizibilitate directă stație – prismă	cer liber deasupra antenei; semnal de date mobile pentru corecții
Zone potrivite	păduri, zone construite, sub poduri, interioare	zone deschise, suprafețe mari
Productivitate	stații succesive, puncte de sprijin necesare	un operator, fără vizibilitate între puncte
Sistemul de coordonate	al punctelor de sprijin (de regulă Stereo 70)	ETRS89, transformat în Stereo 70 / MN75
Utilizări tipice	trasări precise, monitorizare, detalii în zone acoperite	rețele de sprijin, ridicări extinse, ghidajul utilajelor

≡ Pe scurt

- GNSS = termen generic: **GPS** (SUA, 32 de sateliți în 2026), **GLONASS** (Rusia, 24), **Galileo** (UE, 28 utilizabili; 30 la constelația completă), **BeiDou** (China, 35); regionale: **QZSS** și **NavIC**.
- Poziționarea se face prin **trilaterație**: distanțe față de **cel puțin patru sateliți**, calculate din timpul de propagare $\times$ viteza luminii; necunoscute: X, Y, Z și eroarea ceasului.
- Autonom: metri · **DGNSS**: corecții de cod, submetric · **RTK**: faza purtătoare, **1–2 cm**, în timp real (bază + rover).
- **ROMPOS** (ANCPI): 74 de stații permanente; corecții VRS prin internet mobil (NTRIP, RTCM).
- Pe controler se măsoară **numai în FIX**, cu HRMS, VRMS și PDOP mici.
- Aplicații în IF: ridicări rapide pe suprafețe mari, DTM, nivelarea cu ghidaj GNSS, monitorizarea digurilor și canalelor.

3.9 Întrebări de autoevaluare

1. Ce înseamnă GNSS și care sunt sistemele globale de poziționare prin satelit?
2. De ce sunt necesari cel puțin patru sateliți pentru o poziție?
3. Ceasul receptorului are o eroare de 0,5 μ s. Ce eroare de distanță produce aceasta?
4. Ce rol au stația de bază și roverul într-un sistem RTK?
5. Care este diferența dintre DGNSS și RTK?
6. Ce erori reduc corecțiile diferențiale și ce erori rămân?
7. De ce GLONASS este mai performant în regiunile nordice?
8. Ce este ROMPOS și cum ajung corecțiile la rover?
9. Ce înseamnă FIX și FLOAT pe controler și când se măsoară punctele?
10. Dați trei aplicații GNSS în lucrările de îmbunătățiri funciare.
11. Într-o zonă împădurită trebuie ridicat traseul unui canal de desecare. Ce tehnologie alegeți?

4. Tehnologii aeropurtate UAV: fotogrametrie și scanare 3D

Correspunde Cursului 4 — „Tehnologii aeropurtate UAV și scanare 3D”.

Tehnologiile aeropurtate UAV (Unmanned Aerial Vehicles), cunoscute și sub denumirea de **drone**, au revoluționat domeniul măsurătorilor topografice și al ingineriei civile. Capitolul urmărește tot drumul unei lucrări cu drona: alegerea aparatului și regulile de zbor, principiul fotogrametriei, pregătirea și executarea zborului, apoi prelucrarea pas cu pas — de la sute de fotografii la nor de puncte, model 3D, DSM, DTM și ortofotoplan. Partea a doua prezintă scanarea LiDAR și compară cele două tehnologii.

© După acest capitol veți putea

- să alegeți tipul de UAV potrivit unei lucrări și să cunoașteți cadrul legal al zborului;
- să explicați cum se obțin coordonate 3D din fotografii suprapuse;
- să calculați GSD-ul, altitudinea de zbor și suprapunerile unui plan de zbor;
- să descrieți etapele prelucrării fotogrametrice și produsele rezultate (nor de puncte, DSM, DTM, ortofotoplan);
- să evaluați precizia unui produs prin RMSE și să alegeți între fotogrametrie și LiDAR.

Cuvinte-cheie: UAV · fotogrametrie · GSD · suprapunere · GCP · nor de puncte · DSM · DTM · ortofotoplan · LiDAR · RMSE

4.1 Introducere în tehnologiile aeropurtate UAV

UAV-urile oferă o metodă **rapidă și eficientă de colectare a datelor de la înălțime**, fiind esențiale în realizarea ridicărilor topografice, a fotogrametriei aeriene și a scanărilor 3D. Aceste tehnologii sunt folosite pe scară largă în proiectele de îmbunătățiri funciare, cum ar fi sistemele de irigații și drenaj, oferind o perspectivă detaliată asupra terenului și facilitând planificarea infrastructurilor.

În proiectele de irigații și îmbunătățiri funciare, UAV-urile permit obținerea rapidă a datelor **planimetrice și altimetrice** precise, necesare pentru proiectarea sistemelor de irigații, a canalelor de drenaj și a altor lucrări similare. Utilizarea dronelor **reduce costurile și timpul** necesare măsurătorilor, oferind în același timp o acoperire extinsă și acces la zone greu accesibile.

4.2 Tipuri de UAV

Pentru lucrări topografice se folosesc trei tipuri de drone (Figura 4.1, Tabelul 4.1):

- **multirotorul** (quadcopter, hexacopter, octocopter) — decolează și aterizează oriunde, poate sta pe loc în aer și poartă senzori grei (LiDAR, camere full-frame); are însă autonomie mică, de 25–45 de minute;
- **aripa fixă** — un avion fără pilot, lansat de mână sau cu catapulta; planează eficient și acoperă sute de hectare pe zbor, dar nu poate staționa și are nevoie de spațiu de aterizare;

- **VTOL** (Vertical Take-Off and Landing) — decolează vertical ca un multirotor, apoi zboară cu aripă ca un avion: acoperire mare fără pistă de lansare, la un cost mai mare.



Figura 4.1. Tipuri de UAV folosite în topografie: (a) multirotor cu senzor pe gimbal; (b) aripă fixă; (c) VTOL.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Tipuri de UAV și cadrul legal](#)

Tabelul 4.1. Comparția tipurilor de UAV (ordin de mărime)

Criteriul	Multirotor	Aripă fixă	VTOL
Autonomie	25–45 min	60–120 min	60–120 min
Suprafață pe zbor (GSD 2–3 cm)	zeci – sute de ha	sute de ha	sute – peste 1 000 ha
Decolare	verticală	lansare, pistă	verticală
Zbor staționar	da	nu	doar la decolare
Senzori grei (LiDAR)	da	limitat	limitat
Utilizare tipică	șantiere, canale, construcții hidrotehnice, LiDAR	perimetre de irigații, bazine hidrografice, trasee lungi	proiecte mari fără spațiu de lansare: lunci, culturi înalte

O dronă profesională are, pe lângă motoare și elice, un receptor GNSS (adesea RTK), o unitate inercială (IMU) și senzori de evitare a obstacolelor (Figura 4.2). Pe ea se montează senzorul: o **cameră foto** (de preferat cu obturator mecanic, ca imaginile să nu fie deformate în mișcare), un **senzor LiDAR**, o cameră termală sau multispectrală. Senzorul stă pe un **gimbal** — un suport stabilizat pe trei axe, care îl ține orientat corect indiferent de mișcările dronei (Figura 4.3).



Figura 4.2. Componentele unei drone multirotor profesionale (DJI Matrice 300 RTK).



(a) cameră foto de tip mirrorless



(b) senzor pe gimbal stabilizat (DJI Zenmuse H20)

Figura 4.3. Senzorii de imagine ai dronelor.

4.3 Cadrul legal

Zborurile cu drone se desfășoară după **Regulamentele (UE) 2019/945 și 2019/947**, aplicate în România de **AACR** (Autoritatea Aeronautică Civilă Română). Operatorul de drone se **înregistrează** la AACR, iar pilotul are **certificat de competență**. Înainte de fiecare zbor se verifică **zonele geografice UAS** — aeroporturi, zone militare, zone protejate — și autorizările necesare (Tabelul 4.2).

Tabelul 4.2. Categoriile de operațiuni cu drone (UE 2019/947)

Categoria	Condiții	Detalii
„Deschisă”	masa sub 25 kg · zbor în raza vizuală (VLOS) · maximum 120 m față de sol	A1 — peste oameni (drone C0, C1); A2 — aproape de oameni (C2); A3 — departe de oameni, la cel puțin 150 m de zone rezidențiale, comerciale, industriale sau recreative (C2–C4)
„Specifică”	risc mai mare: zbor în afara razei vizuale (BVLOS), peste 120 m, în apropierea oamenilor cu drone mari	scenarii standard (STS) sau autorizare pe baza unei evaluări a riscului (SORA)
„Certificată”	risc ridicat: transport de persoane, de mărfuri periculoase, zboruri peste aglomerări cu drone mari	reguli apropiate de aviația cu pilot

4.4 Principiile fotogrametriei

Fotogrametria este o metodă de măsurare a coordonatelor obiectelor de pe teren, bazată pe **interpretarea imaginilor** obținute de la înălțime. În fotogrametria modernă, UAV-urile sunt echipate cu camere de înaltă rezoluție care capturează **imagini suprapuse** ale terenului, din poziții diferite. Prin intermediul unor programe specializate, imaginile sunt procesate pentru a genera un **model tridimensional (3D)** al terenului sau al suprafeței de interes.

4.4.1 De la fotografii la coordonate 3D

O singură fotografie arată doar **direcția** spre un punct, nu și distanța până la el: tot ce se află pe aceeași rază apare în același pixel. Cu **două fotografii**, făcute din poziții diferite, razele spre același punct se

intersectează — de aici rezultă poziția lui în spațiu (Figura 4.4). Este același principiu ca al vederii cu doi ochi.

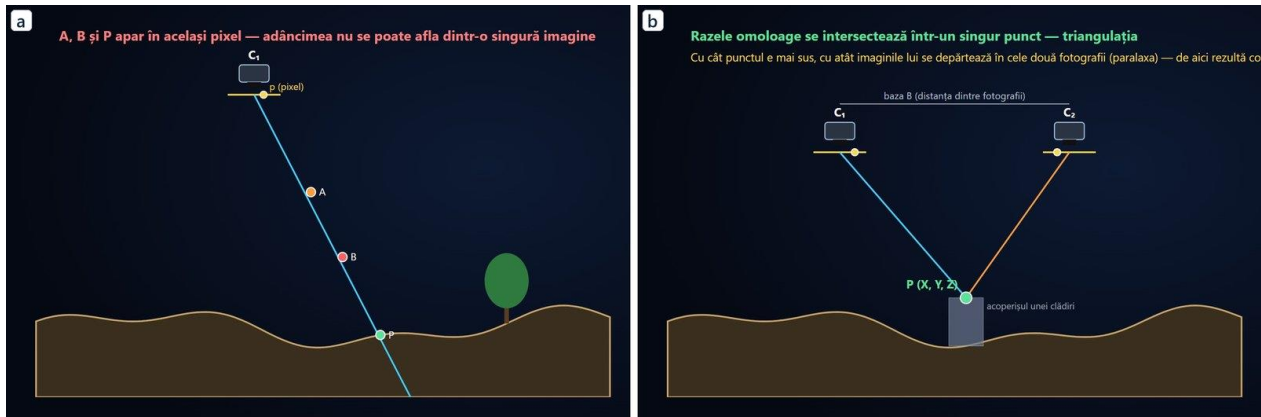


Figura 4.4. (a) Dintr-o singură imagine se cunoaște doar direcția spre punct; (b) din două imagini, razele omoloage se intersectează: poziția 3D a punctului.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Principiul fotogrametriei, GSD și suprapunerea](#)

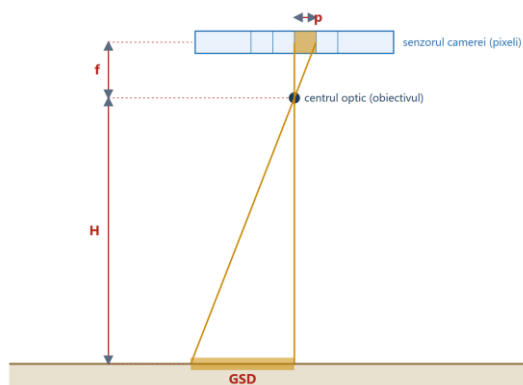
4.4.2 Rezoluția la sol (GSD)

GSD (Ground Sampling Distance) este mărimea unui pixel al imaginii, măsurată pe teren. El depinde de altitudinea de zbor H , de dimensiunea pixelului senzorului p și de distanța focală f (Figura 4.5):

$$\text{GSD} = H \cdot p / f \Rightarrow H = \text{GSD} \cdot f / p$$

H — altitudinea de zbor față de teren · p — dimensiunea pixelului pe senzor · f — distanța focală

Rezoluția la sol (GSD) — triunghiuri asemenea



$$p / f = \text{GSD} / H$$

$$\text{GSD} = H \cdot p / f$$

Exemplu: senzor 1", 20 MP
 lățime 13,2 mm / 5 472 px
 $p = 2,41 \mu\text{m}$ · $f = 8,8 \text{ mm}$
 $H = 91 \text{ m}$
 $\text{GSD} = 91 \times 2,41 \cdot 10^{-6} / 8,8 \cdot 10^{-3}$
 $\text{GSD} \approx 0,025 \text{ m} = 2,5 \text{ cm}$

Figura 4.5. Geometria GSD: triunghiurile asemenea pixel – focală și amprentă – altitudine.

✎ Exemplu — altitudinea de zbor pentru GSD = 2,5 cm

Camera are senzor de 1" (13,2 × 8,8 mm, 5 472 × 3 648 pixeli) și $f = 8,8$ mm. Dimensiunea pixelului: $p = 13,2 \text{ mm} / 5\,472 = \mathbf{2,4123 \text{ }\mu\text{m}}$.

- altitudinea: $H = 0,025 \text{ m} \times 8,8 \text{ mm} / 2,4123 \text{ }\mu\text{m} = \mathbf{91,2 \text{ m}}$;
- amprenta unei fotografii pe teren: $5\,472 \times 2,5 \text{ cm} = 136,8 \text{ m}$ pe $3\,648 \times 2,5 \text{ cm} = 91,2 \text{ m}$, adică **136,8 × 91,2 m**;
- la 120 m altitudine, aceeași cameră ar da $\text{GSD} = 3,3 \text{ cm}$.

Precizia orientativă a produselor: **1–2 × GSD în plan** și **2–3 × GSD pe verticală**, cu puncte de control la sol sau cu dronă RTK/PPK.

4.4.3 Suprapunerea imaginilor

Ca fiecare punct să fie triangulat sigur, el trebuie să apară în **mai multe imagini**. De aceea fotografiile se suprapun (Figura 4.6):

- **suprapunerea longitudinală** (pe direcția de zbor): de obicei **75–85 %**;
- **suprapunerea laterală** (între benzi): **60–75 %**.

$$\text{număr de imagini pe punct} \approx 1 / ((1 - p_l) \cdot (1 - p_t))$$

p_l, p_t — suprapunerea longitudinală și cea laterală · cu 80 % și 70 %: $1 / (0,2 \cdot 0,3) \approx 17$

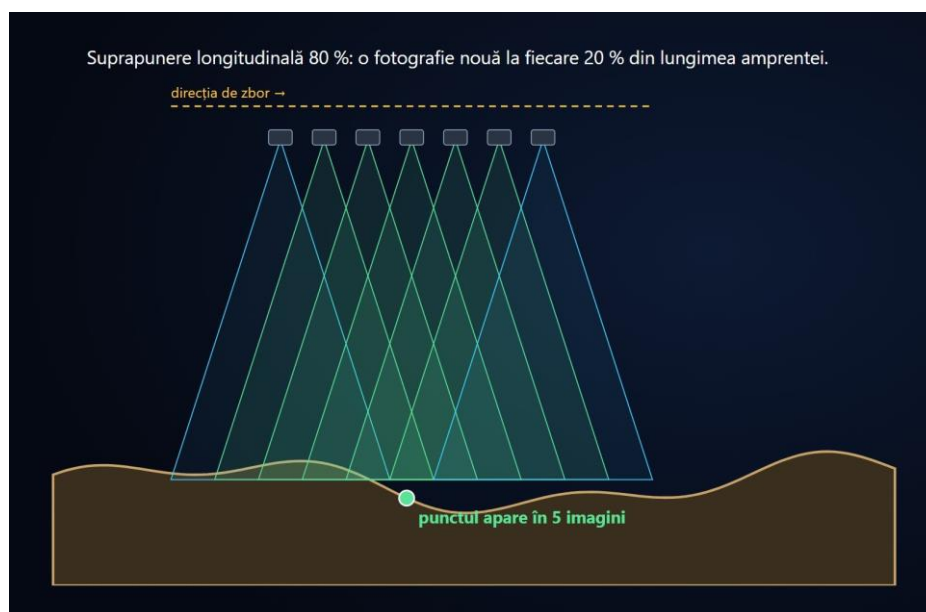


Figura 4.6. Suprapunere longitudinală de 80 %: o fotografie nouă la fiecare 20 % din lungimea amprenteii; punctul marcat apare în 5 imagini consecutive.

⚠ Atenție

Pe vegetație, apă sau teren uniform (culturi, zăpadă, nisip) suprapunerile se măresc — altfel software-ul nu găsește destule puncte comune între imagini și modelul are goluri.

4.5 Pregătirea zborului

Prima etapă a fotogrametriei UAV este **planificarea zborului**: se definesc traiectoriile și altitudinea de zbor în funcție de suprafața care trebuie acoperită și de rezoluția necesară. Se pornește de la zona de lucru și de la precizia cerută de proiect:

1. **GSD-ul dorit** fixează altitudinea de zbor (§4.4.2);
2. din amprenta fotografiei și din suprapuneri, software-ul de planificare calculează **distanța dintre benzi** și **distanța dintre fotografii**;
3. benzile se orientează de obicei pe latura lungă a zonei și **depășesc conturul** cu cel puțin o fotografie, ca marginile să aibă suficiente imagini;
4. se aleg și se materializează **punctele de control la sol (GCP)** și **punctele de verificare (CP)**, măsurate GNSS RTK înainte de zbor.

Exemplu — planul de zbor pentru o zonă de 640 × 330 m (21,1 ha)

Cu GSD = 2,5 cm (H = 91,2 m), suprapuneri de 80 % longitudinal și 70 % lateral:

- distanța dintre fotografii: $91,2 \text{ m} \times (1 - 0,80) = \mathbf{18,24 \text{ m}}$;
- distanța dintre benzi: $136,8 \text{ m} \times (1 - 0,70) = \mathbf{41,04 \text{ m}}$;
- rezultă **10 benzi × 39 de fotografii = 390 de fotografii**, cu un traseu de 7,13 km;
- la 8 m/s, zborul durează $\approx \mathbf{14,9 \text{ minute}}$ — o singură baterie la un multirotor profesional.

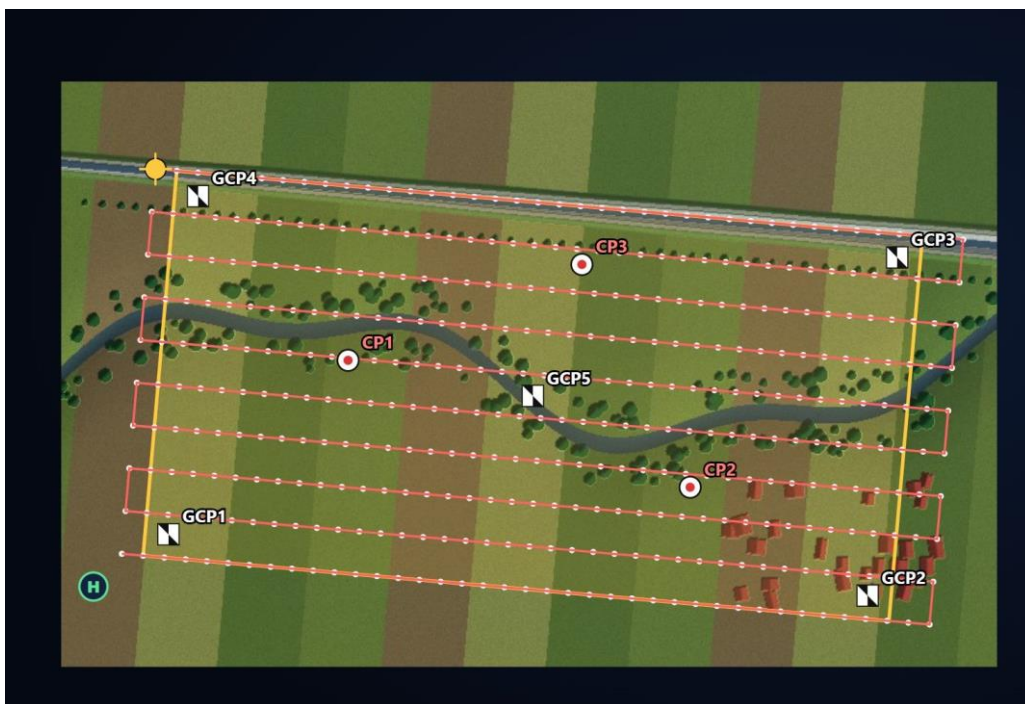


Figura 4.7. Planul de zbor: benzile cu punctele de declanșare (roșu), punctele de control GCP (alb-negru) și punctele de verificare CP (roșu-alb), pe zona de lucru.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Pregătirea zborului](#)

Punctele de control (GCP) sunt ținte vizibile din aer (de regulă în carouri alb-negru), cu coordonate măsurate GNSS RTK. Ele leagă modelul de sistemul de coordonate și îl corectează; se distribuie pe tot perimetrul și în interior — minimum 5, de obicei 8–15 pe o zonă ca cea din exemplu. **Punctele de**

verificare (CP) se măsoară la fel, dar **nu** intră în calcul: pe ele se verifică, independent, precizia produsului final (§4.7.7). Dronele cu receptor **RTK/PPK** reduc numărul de GCP necesare, dar nu elimină punctele de verificare.

⚙️ Lista de verificări înainte de decolare

- zona geografică UAS și autorizările (AACR, proprietari) — verificate;
- meteo: vânt sub limita dronei, fără precipitații; lumină uniformă, cu umbre scurte;
- GCP-urile materializate și măsurate, fișierul de coordonate pregătit;
- bateriile încărcate, cardul de memorie gol, elicele verificate;
- calibrarea busolei și a IMU; conexiunea RTK (NTRIP) sau baza GNSS pentru PPK;
- setările camerei: focalizare, timp de expunere scurt, format imagini;
- planul de zbor încărcat, cu înălțimea de revenire (RTH) peste cele mai înalte obstacole.

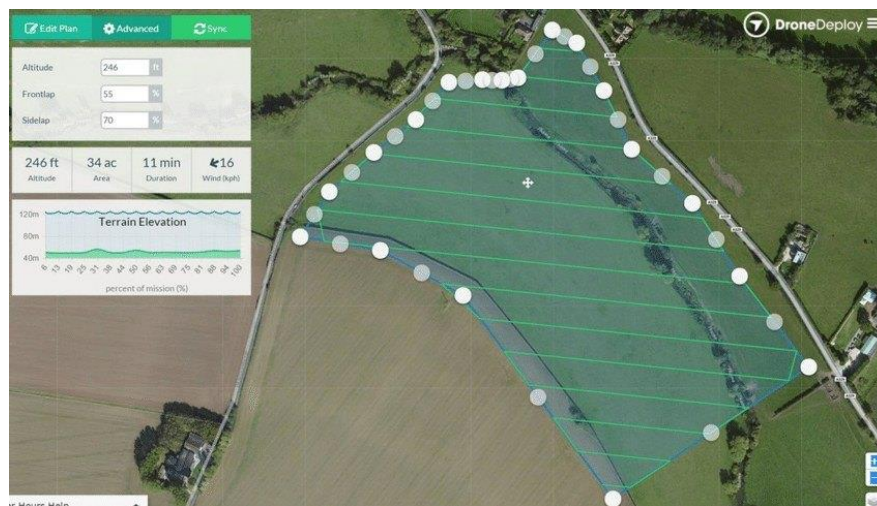


Figura 4.8. Plan de zbor într-o aplicație de planificare: conturul zonei, benzile, altitudinea, suprafața și durata estimată, plus profilul de elevație al terenului.

4.6 Zborul

Captura imaginilor: UAV-ul zboară automat conform traiectoriei stabilite și captează **imagini suprapuse**. După decolare, drona urcă la altitudinea planificată, parcurge benzile și declanșează camera la intervale egale — în exemplu, la fiecare 18 m. Fiecare fotografie acoperă $\approx 91 \times 137$ m, iar amprentele se suprapun: 80 % pe direcția de zbor și 70 % între benzi. Suprapunerea imaginilor este esențială pentru procesul ulterior de **reconstrucție 3D** (Figura 4.9).

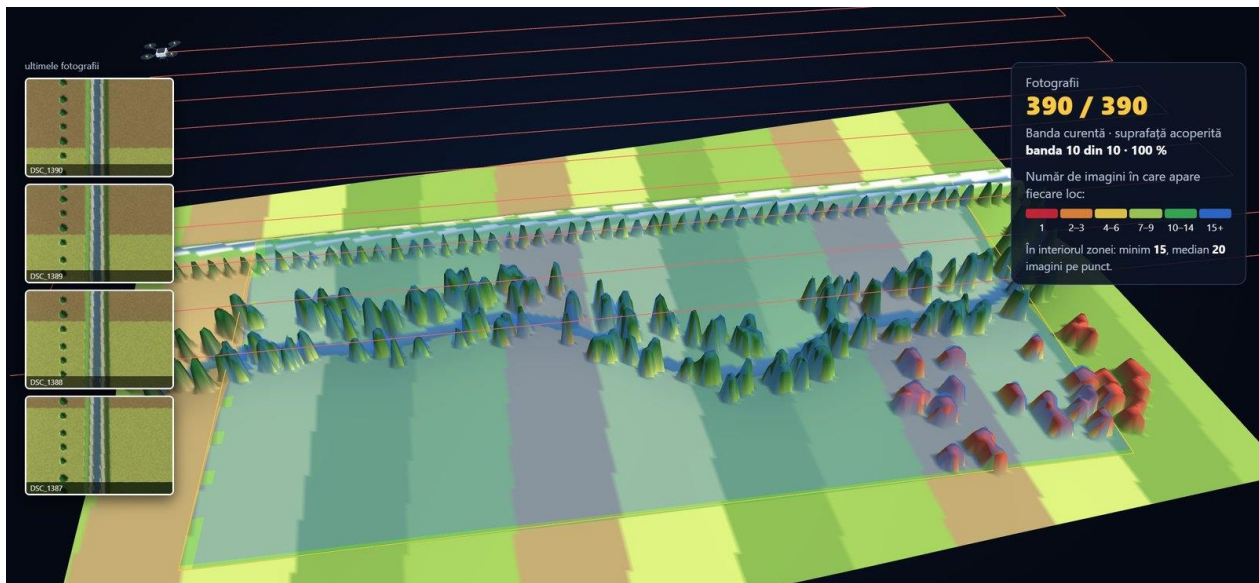


Figura 4.9. Zborul încheiat: cele 390 de fotografii și harta suprapunerilor — culoarea arată în câte imagini apare fiecare loc; în interior, fiecare punct apare în 15–20 de imagini.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Zborul: benzi, declansări, suprapuneri](#)

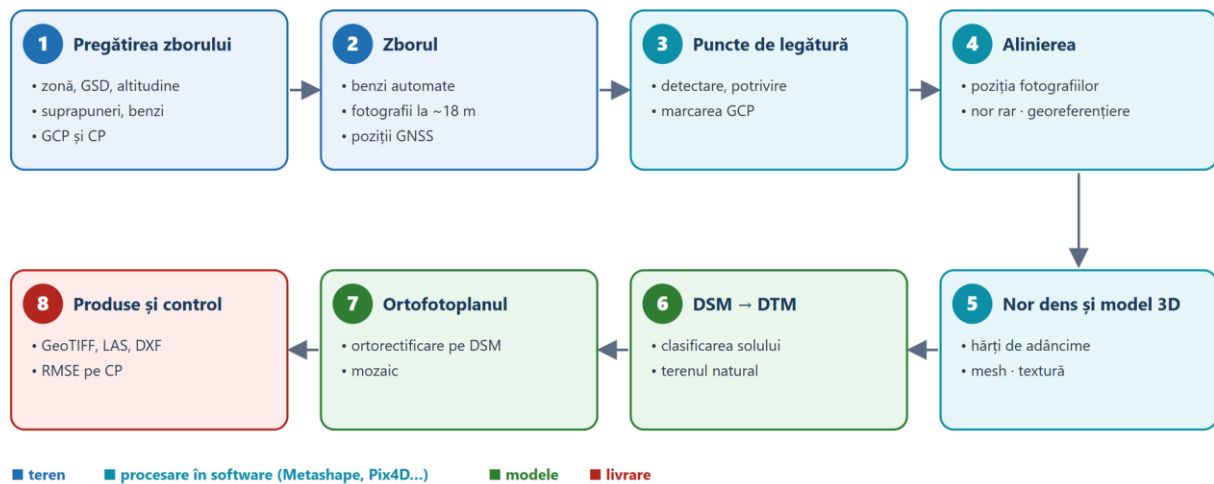
★ De reținut

Spre marginile zonei, fiecare punct apare în mai puține imagini — de aceea benzile depășesc conturul lucrării, iar marginile modelului se verifică cu atenție.

4.7 Prelucrarea datelor, pas cu pas

Imaginile capturate sunt importate într-un software de fotogrametrie — de exemplu **Agisoft Metashape** sau **Pix4D** — care le procesează pentru a genera modele tridimensionale, ortofotoplanuri și curbe de nivel. Prelucrarea are opt pași (Figura 4.10).

Fluxul fotogrametric cu UAV — cei 8 pași



Pașii 3–8 rulează în software; operatorul verifică rapoartele la fiecare etapă (erori de reproiecție, erori pe GCP, clasificare).

Figura 4.10. Fluxul prelucrării fotogrametrice: de la fotografii la produsele finale.

4.7.1 Punctele de legătură

În fiecare fotografie, software-ul caută **puncte caracteristice** — colțuri, pete, muchii, locuri ușor de recunoscut. Același detaliu este găsit apoi în imaginile vecine și se formează perechi de **puncte omoloage** (puncte de legătură). Unele potriviri sunt greșite: ele nu respectă geometria comună a celor două imagini și sunt eliminate automat (Figura 4.11).

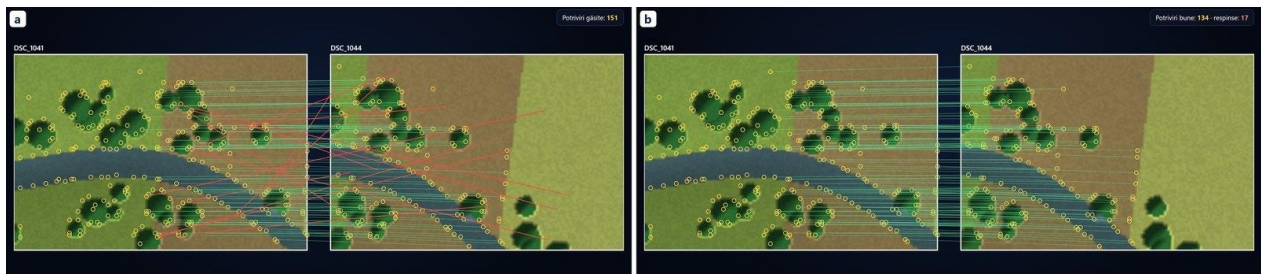


Figura 4.11. Punctele de legătură: (a) perechi de puncte omoloage între două fotografii vecine; (b) potrivirile greșite (roșu) sunt eliminate.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Punctele de legătură și punctele de control](#)

4.7.2 Punctele de control în imagini

Punctele de control se **marchează** în fotografiile în care apar: software-ul estimează unde ar trebui să fie ținta (din poziția GNSS a dronei), iar operatorul fixează centrul exact al ei, în cel puțin 3 imagini — în practică, în toate (Figura 4.12).



Figura 4.12. Marcarea punctului de control GCP3 în trei fotografii: cercul albastru — poziția estimată de software, crucea — poziția marcată de operator.

4.7.3 Alinierea fotografiilor

Pozițiile aproximative ale fotografiilor vin de la GNSS-ul dronei (metri de eroare, fără RTK). La **aliniere** (aerotriangulație), din punctele de legătură se calculează simultan **poziția și orientarea fiecărei fotografii** și coordonatele 3D ale punctelor. Același punct este văzut din multe fotografii, iar razele lor trebuie să se întâlnească; abaterile — **eroarea de reproiecție** — se micșorează iterativ, până sub un pixel. Modelul obținut este coerent, dar deplasat și rotit față de sistemul de coordonate: **punctele de control** îl aduc la poziția corectă (Figura 4.13).

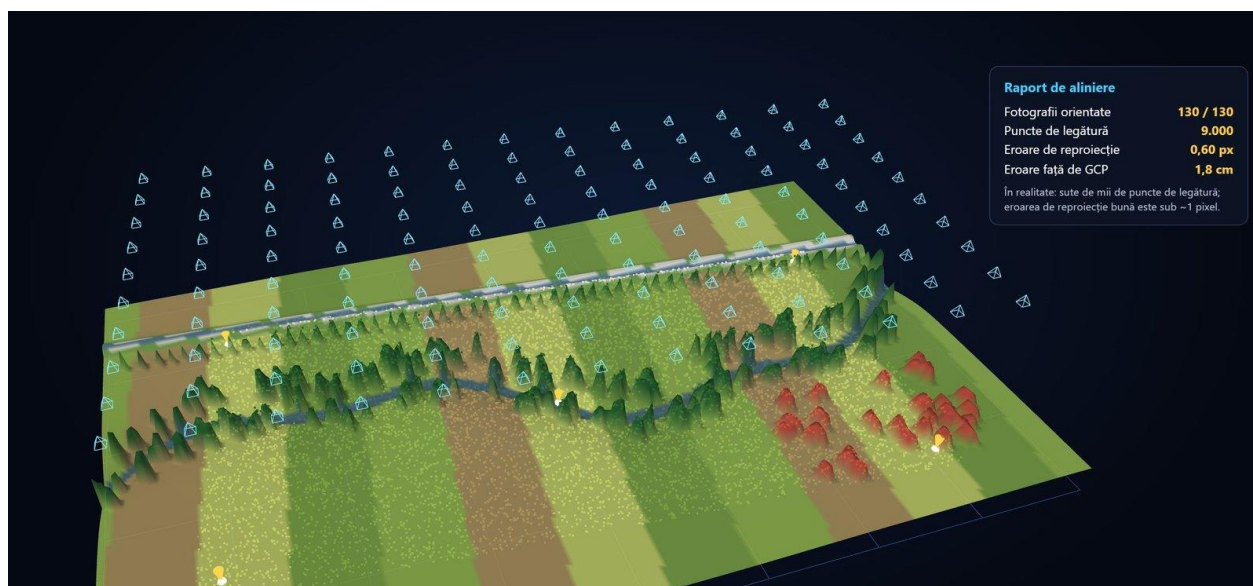


Figura 4.13. Rezultatul alinierii: 130 de fotografii orientate deasupra norului rar de puncte georeferențiat, cu raportul de aliniere (puncte de legătură, eroare de reproiecție, erori pe GCP).

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Alinierea fotografiilor \(aerotriangulația\)](#)

4.7.4 Norul dens de puncte și modelul 3D

Pentru fiecare fotografie orientată se calculează o **hartă de adâncime** — distanța până la teren în fiecare pixel (Figura 4.14). Hărțile de adâncime ale tuturor fotografiilor se combină în **norul dens de puncte**, colorat din imagini: milioane de puncte, fiecare cu coordonatele X, Y, Z. Punctele se unesc apoi

în triunghiuri — **modelul 3D al suprafeței** (mesh) —, peste care se proiectează culorile din fotografii: **modelul 3D texturat** (Figura 4.15).

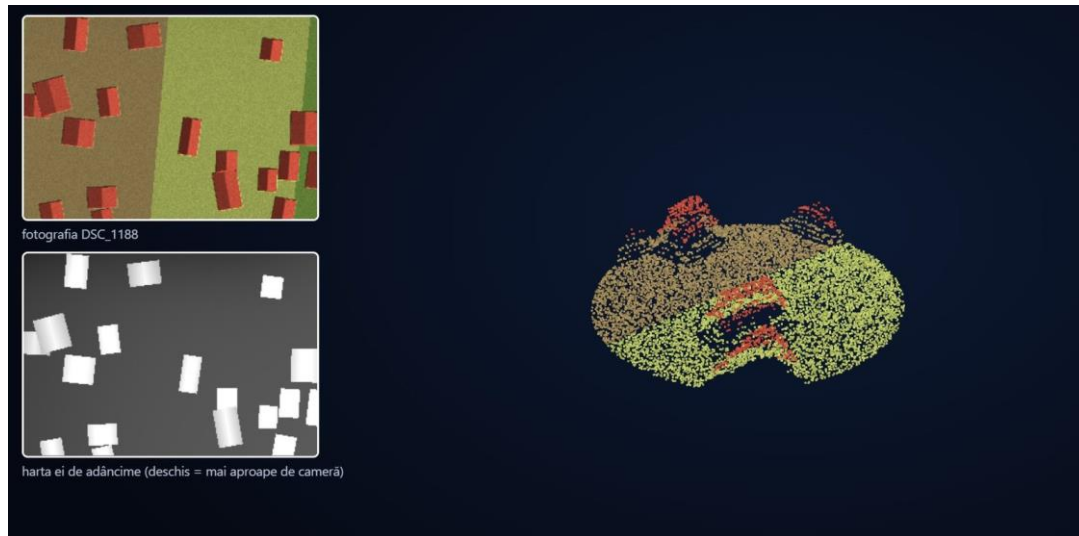


Figura 4.14. Harta de adâncime: o fotografie (sus), harta ei de adâncime — deschis înseamnă mai aproape de cameră (jos) — și partea de nor dens rezultată (dreapta).

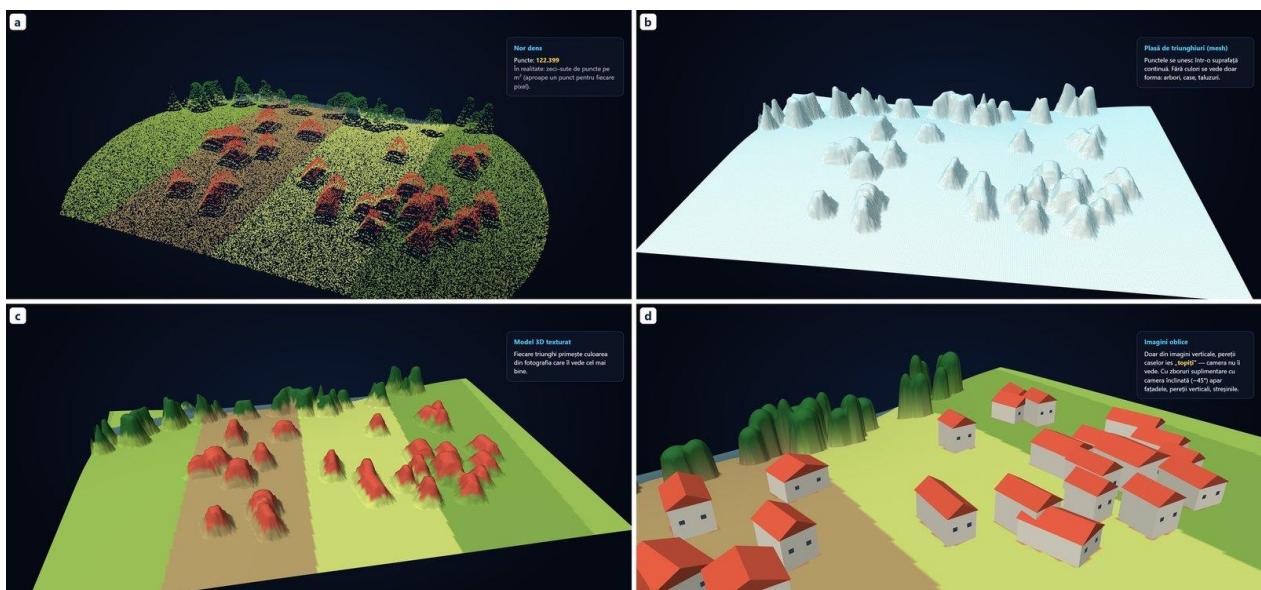


Figura 4.15. De la nor la model: (a) norul dens, colorat din imagini; (b) plasa de triunghiuri (mesh); (c) modelul 3D texturat; (d) modelul cu imagini oblice, cu fațade corecte.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Norul dens și modelul 3D](#)

Doar din imagini verticale (nadir), pereții clădirilor nu se văd, iar în model ei apar „topiți” (Figura 4.16). Pentru construcții, zborurile suplimentare cu camera înclinată la $\approx 45^\circ$ (**imagini oblice**) dau pereți verticali și fațade corecte.

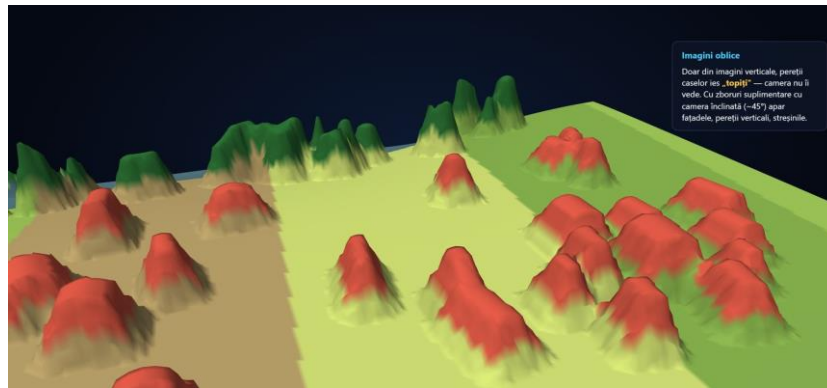


Figura 4.16. Model din imagini exclusiv verticale: pereții clădirilor par „topi”.

4.7.5 Modelul digital al suprafeței (DSM) și modelul digital al terenului (DTM)

Norul dens fotogrametric descrie **suprafața** — acoperișuri, coronamentul arborilor, solul liber: din el rezultă **modelul digital al suprafeței (DSM)**. Pentru proiectare este nevoie însă de **terenul natural**, adică de **modelul digital al terenului (DTM)**. Acesta se obține prin **clasificarea** norului (Figura 4.17):

1. filtrarea începe cu punctele cele mai joase din celule mari — acestea sunt sigur pe sol;
2. iterativ, se adaugă punctele apropiate de suprafața solului (cu distanță și unghi maxime impuse, de exemplu 0,5 m și 30°), astfel încât algoritmul să nu „urce” pe case și arbori;
3. punctele de sol formează DTM-ul; restul se clasifică pe categorii: vegetație, clădiri, apă.

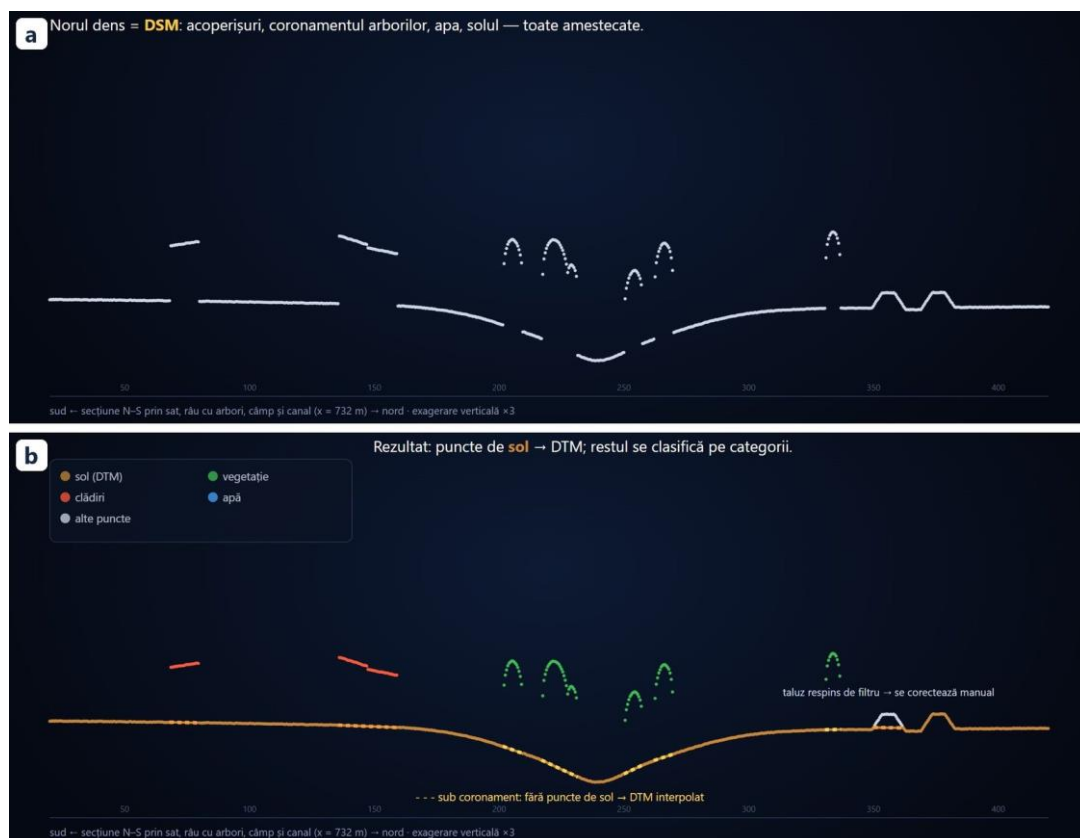
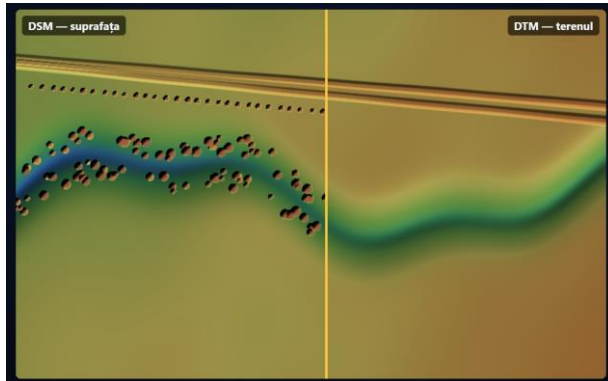


Figura 4.17. Clasificarea norului, în secțiune: (a) norul dens este DSM-ul — acoperișuri, coronament, apă și sol, amestecate; (b) rezultatul filtrării: punctele de sol (portocaliu) formează DTM-ul, restul se clasifică pe categorii.

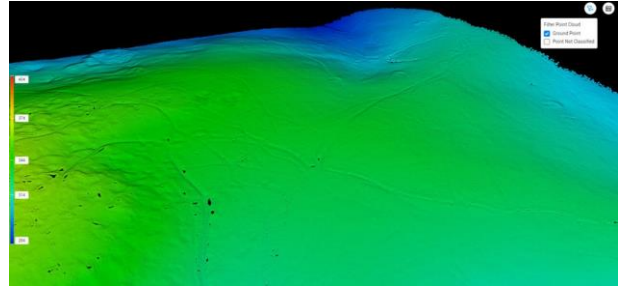
► Animație interactivă: [Cursul 4 · De la DSM la DTM](#)

⚠ Atenție

Sub coronamentul des, fotogrametria **nu vede solul**: acolo DTM-ul este doar **interpolat** între punctele de sol din jur. Pentru terenurile împădurite se folosește LiDAR (§4.8).



(a) DSM și DTM pe aceeași zonă



(b) DTM real, colorat după altitudine

Figura 4.18. Suprafața și terenul: (a) în stânga DSM-ul, cu arbori și construcții, în dreapta DTM-ul, terenul natural; (b) un DTM obținut dintr-un zbor real.

4.7.6 Ortofotoplanul

Fotografia brută este o **proiecție centrală**: tot ce are înălțime este împins radial, dinspre nadir spre margini. Deplasarea datorată reliefului este:

$$d = r \cdot h / H$$

r — distanța față de nadir · h — înălțimea obiectului · H — altitudinea de zbor

🔧 Exemplu rezolvat

Acoperișul unei case de $h = 10$ m, aflat la $r = 60$ m de nadir, într-o fotografie făcută de la $H = 91$ m, apare deplasat cu $d = 60 \times 10 / 91 = \mathbf{6,6 \text{ m}}$: casa pare „culcată” spre exterior (Figura 4.19).

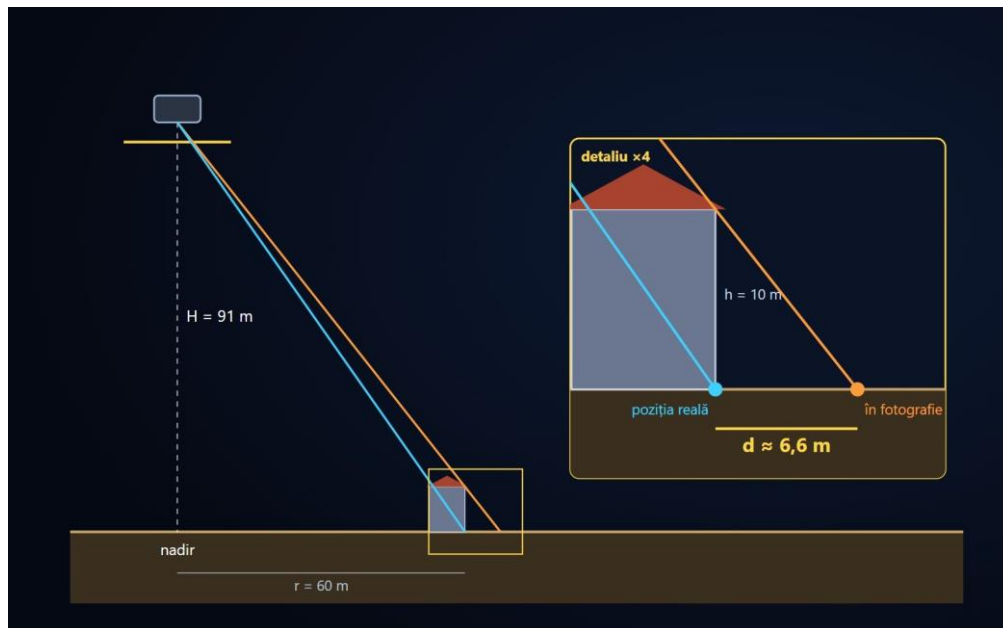


Figura 4.19. Deplasarea datorată reliefului în proiecția centrală: $d \approx 6,6$ m pentru o casă de 10 m aflată la 60 m de nadir.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Ortofotoplanul](#)

Ortorectificarea reprojectează fiecare fotografie pe DSM, readucând fiecare obiect pe amprenta lui: rezultă o imagine în **proiecție ortogonală**, corectată geometric, în care se pot măsura distanțe și suprafețe ca pe un plan (Figura 4.20). Fotografiile ortorectificate se decupează apoi pe **linii de îmbinare**, culorile se egalizează și rezultă **ortofotoplanul** (ortomozaicul) final, georeferențiat (Figura 4.21).

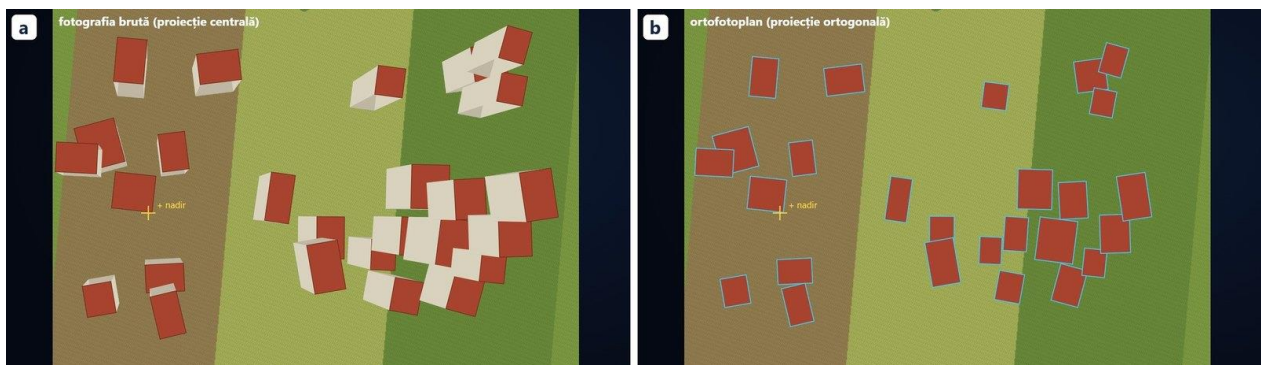


Figura 4.20. (a) Fotografia brută — proiecție centrală: casele „se culcă” spre exterior; (b) ortofotoplanul — proiecție ortogonală: fiecare casă stă pe amprenta ei.



Figura 4.21. Mozaicarea: fotografiile ortorectificate, decupate pe liniile de îmbinare (galben), formează ortofotoplanul.

4.7.7 Produsele și controlul calității

Din același zbor rezultă mai multe produse, toate în **același sistem de coordonate** (Stereo 70 și Marea Neagră 1975): ortofotoplanul, DSM-ul, DTM-ul, norul de puncte clasificat, curbele de nivel, modelul 3D texturat, harta de umbrire a reliefului și raportul de procesare (Figura 4.22).

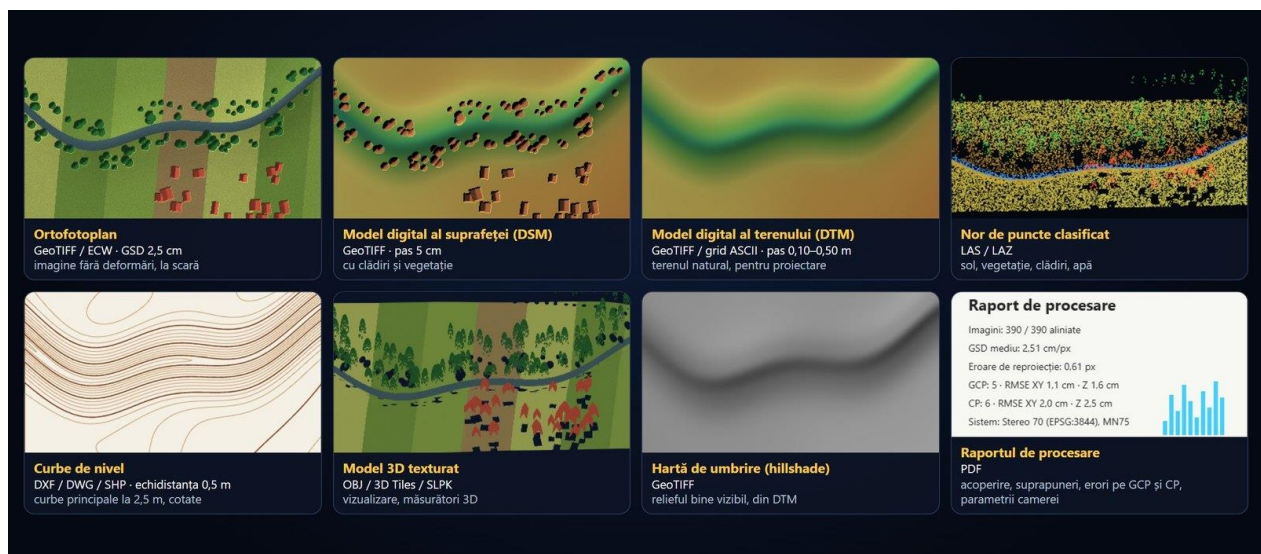


Figura 4.22. Produsele unui zbor fotogrametric, cu formatele uzuale: ortofotoplan (GeoTIFF), DSM și DTM (GeoTIFF, grid ASCII), nor clasificat (LAS / LAZ), curbe de nivel (DXF, DWG, SHP), model 3D (OBJ, 3D Tiles), hartă de umbrire și raportul de procesare (PDF).

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Produsele și controlul calității](#)

Controlul calității se face pe **punctele de verificare** (CP), măsurate independent pe teren și neintroduse în calcul: se compară coordonatele lor din produs cu cele măsurate și se calculează **eroarea medie pătratică (RMSE)**:

$$RMSE = \sqrt{(\sum \Delta_i^2 / n)} \quad RMSE_{XY} = \sqrt{(RMSE_X^2 + RMSE_Y^2)}$$

Δ_i — diferența dintre coordonata din produs și cea măsurată pe teren · n — numărul punctelor de verificare

Tabelul 4.3. Abaterile pe punctele de verificare (cm)

Punctul	ΔX	ΔY	ΔZ
CP1	+1,2	-0,8	+2,4
CP2	-0,6	+1,5	-3,1
CP3	+2,1	+0,4	+1,8
CP4	-1,4	-1,9	+3,6
CP5	+0,3	+2,2	-2,2
CP6	-2,0	-0,5	-1,4
RMSE	1,43	1,40	2,53

Exemplu rezolvat

Din Tabelul 4.3: $RMSE_X = \sqrt{((1,2^2 + 0,6^2 + 2,1^2 + 1,4^2 + 0,3^2 + 2,0^2) / 6)} = \mathbf{1,43 \text{ cm}}$, $RMSE_Y = \mathbf{1,40 \text{ cm}}$, $RMSE_Z = \mathbf{2,53 \text{ cm}}$; în plan, $RMSE_{XY} = \sqrt{(1,43^2 + 1,40^2)} = \mathbf{2,0 \text{ cm}}$.

Raportat la GSD = 2,5 cm: în plan $\approx 0,8 \times \text{GSD}$, pe verticală $\approx 1,0 \times \text{GSD}$ — în toleranța din caietul de sarcini, deci produsul este **admis**.



Figura 4.23. Punctele de verificare pe ortofotoplan, cu abaterile în plan (săgeți, exagrate de 800 de ori) și pe verticală (bare).

★ De reținut

Punctele de verificare **nu** se folosesc ca puncte de control: dacă ar intra în calcul, eroarea lor ar fi micșorată artificial, iar controlul n-ar mai fi independent.

4.8 Scanarea 3D cu LiDAR

4.8.1 Principiul LiDAR

Pe lângă camere foto, UAV-urile pot fi echipate cu senzori **LiDAR** (Light Detection and Ranging), care utilizează un **fascicul laser** pentru a măsura distanțele față de obiectele de pe sol și pentru a crea un **nor de puncte 3D** al terenului. Scannerul trimite impulsuri laser și, din **timpul de întoarcere**, calculează distanța — ca distanțometrul stației totale (§2.3.2): $d = c \cdot t / 2$, deci 1 ns înseamnă 15 cm de distanță.

Prin frunziș, același impuls dă **mai multe ecouri**: primul ecou vine din vârful coronamentului, ecurile intermediare din ramuri, **ultimul ecou** — adesea din sol (Figura 4.24). Spre deosebire de fotogrametrie, care depinde de lumina naturală și de rezoluția camerelor, LiDAR-ul este un senzor **activ**: dă date foarte precise și în condiții de **iluminare slabă** și în zone cu **vegetație densă**.

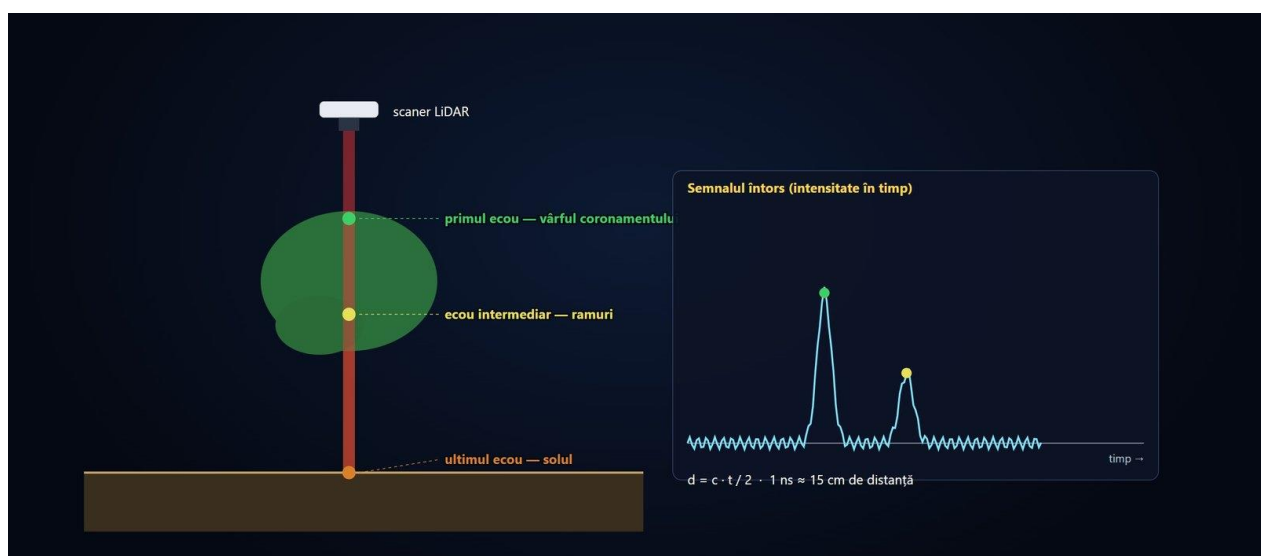


Figura 4.24. Un impuls laser care trece prin coronament: primul ecou — vârful coronamentului, ecoul intermediar — ramurile, ultimul ecou — solul; în dreapta, semnalul întors, cu intensitatea în timp.

► Animație interactivă: [Cursul 4 · Scanarea LiDAR](#)

4.8.2 Procesul de scanare și prelucrarea datelor

Similar cu fotogrametria, scanarea 3D cu LiDAR are trei etape:

1. **Planificarea zborului** — traiectoria și înălțimea se planifică pentru a acoperi întreaga zonă de interes, iar senzorul LiDAR este calibrat pentru a obține **densitatea de puncte** dorită.
2. **Captura datelor** — pe măsură ce UAV-ul zboară, senzorul emite fascicule laser care se reflectă înapoi către receptorul montat pe dronă: sute de mii de impulsuri pe secundă, pe o fâșie de sub dronă. Poziția și orientarea dronei vin din **GNSS + IMU** (unitatea inerțială). Datele sunt înregistrate sub formă de coordonate **X, Y, Z**.

3. **Generarea norului de puncte și a modelului 3D** — datele se procesează într-un nor de puncte care reprezintă suprafața terenului, clădirile și vegetația; după clasificare, norul permite modele digitale foarte precise ale terenului.

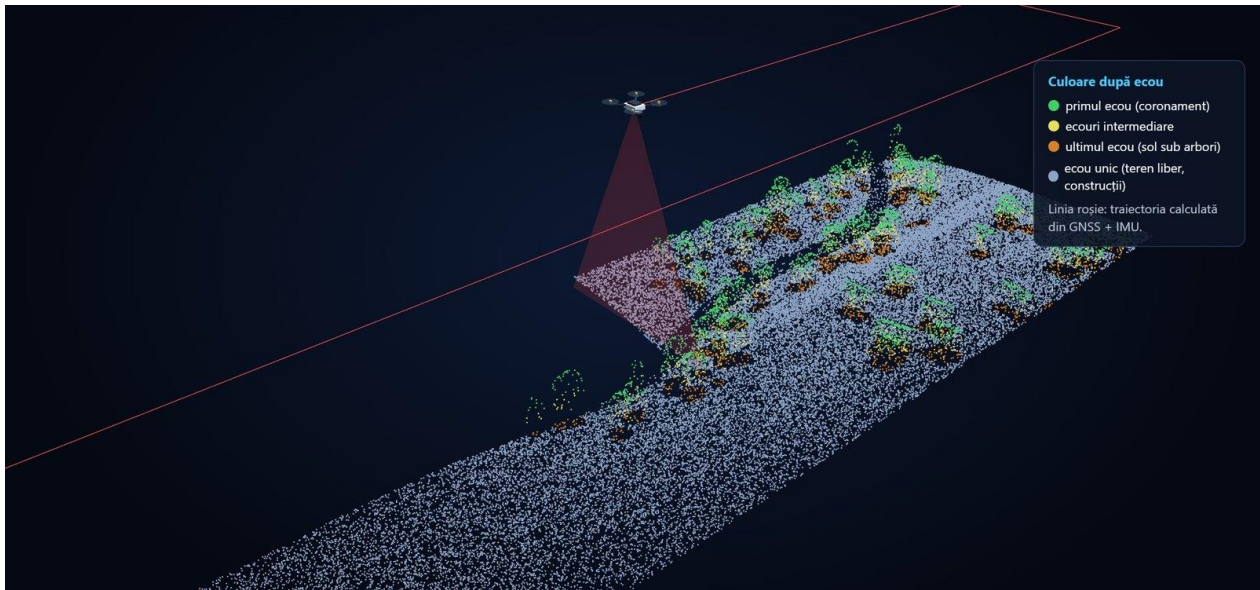


Figura 4.25. Zborul LiDAR: scanerul „mătură” o fâșie sub dronă; norul este colorat după ecou — verde: coronamentul, portocaliu: solul de sub arbori; pe apă laserul se întoarce slab și lasă goluri.

4.8.3 Fotogrametrie sau LiDAR?

Diferența esențială apare sub vegetație: **fotogrametria interpolează** terenul de sub arbori, **LiDAR-ul îl măsoară** (Figura 4.26, Tabelul 4.4).

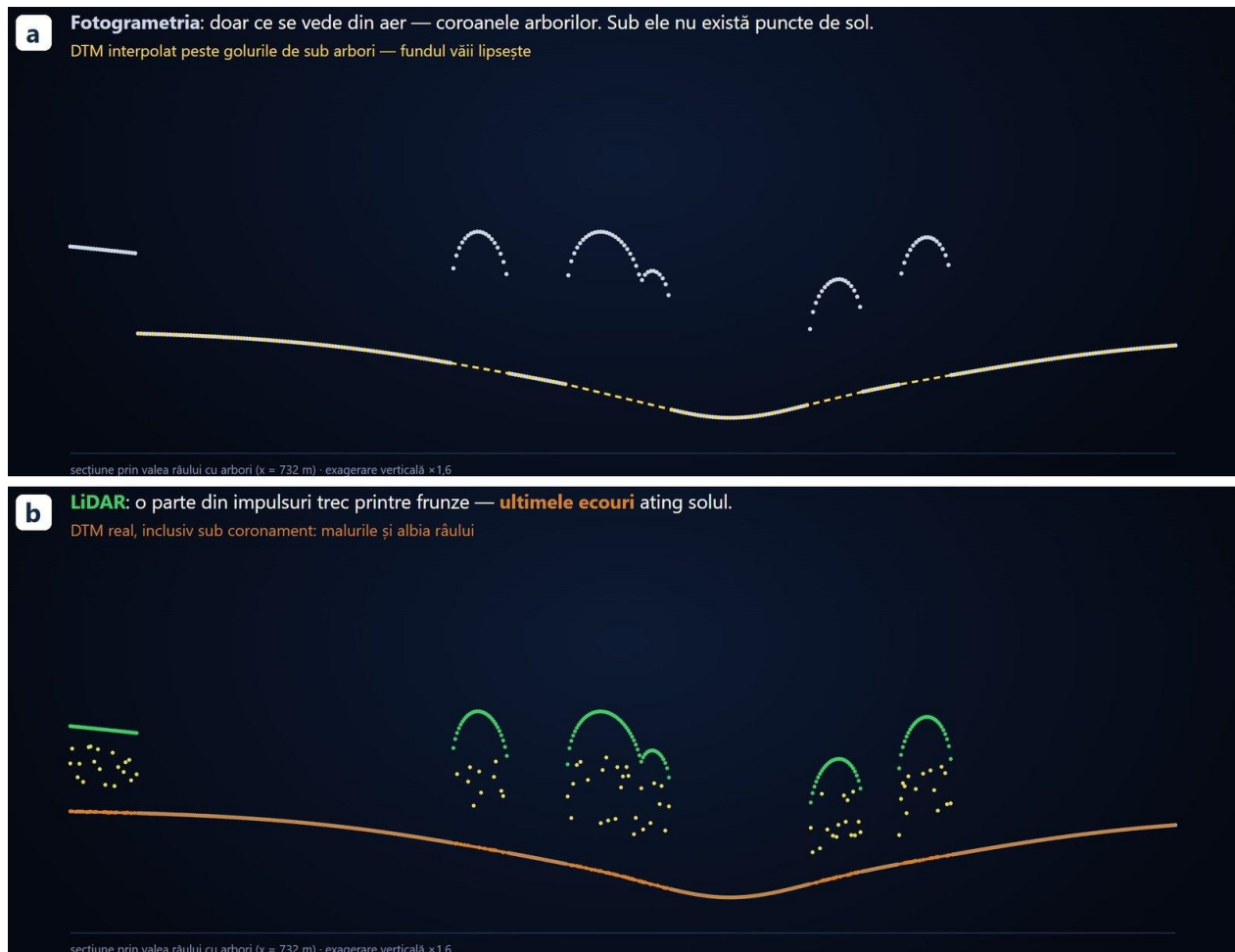


Figura 4.26. Secțiune printr-o vale cu râu și arbori: (a) fotogrametria vede doar coroanele arborilor — DTM-ul este interpolat, fundul văii lipsește; (b) LiDAR: o parte din impulsuri trec printre frunze, iar ultimele ecouri ating solul — DTM real, inclusiv sub coronament.

Tabelul 4.4. Fotogrametria UAV și LiDAR-ul UAV — comparație

Criteriul	Fotogrametrie UAV	LiDAR UAV
Senzorul	cameră foto (pasiv, are nevoie de lumină)	scaner laser (activ, lucrează și în lumină slabă)
Solul sub vegetație	nu se vede — DTM interpolat	măsurat prin ultimele ecouri
Densitatea norului	foarte mare ($\approx 1\,600$ puncte / m ² la GSD 2,5 cm)	100–500 puncte / m ²
Culoare, textură, ortofotoplan	da	numai cu o cameră suplimentară
Suprafețe uniforme (apă, zăpadă, culturi)	dificile — puține puncte de legătură	mai bune; apa absoarbe laserul
Precizia pe verticală	3–5 cm în teren liber	3–5 cm, inclusiv sub vegetație
Cost	mai mic	mai mare (senzor, prelucrare)

★ De reținut

Cele două tehnologii se completează: multe drone poartă azi și cameră, și LiDAR. Fotogrametria dă imaginea și detaliile, LiDAR-ul dă solul de sub vegetație.

4.9 Aplicații și avantaje în îmbunătățiri funciare

În proiectele de irigații, fotogrametria aeriană este utilizată pentru a evalua topografia terenului, ajutând la identificarea zonelor care necesită reconfigurare sau ajustări pentru a **optimiza fluxul de apă**. Prin modelele digitale ale terenului obținute se pot proiecta sisteme de irigații eficiente, **reducând pierderile de apă și maximizând productivitatea agricolă**. Scanarea LiDAR este extrem de utilă în zonele cu **vegetație densă** sau în terenurile greu accesibile: oferă o rezoluție ridicată, permițând monitorizarea detaliată a infrastructurilor existente și planificarea optimă a noilor lucrări (Figura 4.27).



(a) lucrări la un canal, fotografiate cu drona



(b) impermeabilizarea taluzurilor unui canal

Figura 4.27. Drona urmărește lucrările de îmbunătățiri funciare de la proiectare la recepție.

4.9.1 Eficiența și reducerea costurilor

UAV-urile permit colectarea rapidă a datelor pe suprafețe extinse, reducând drastic timpul necesar măsurătorilor tradiționale de teren. Costurile asociate zborurilor UAV sunt, în general, **mult mai mici decât cele ale survolurilor cu avioane sau elicoptere** — dronele pot înlocui parțial survolurile aeriene clasice (Tabelul 4.5).

Tabelul 4.5. Durata orientativă a unei ridicări pe 300 ha de teren liber

Metoda	Zile de teren	Zile de birou	Total	Densitatea datelor	Precizie Z
Stație totală	75,5	7,5	≈ 83 de zile	1 punct / 100–400 m ²	1–2 cm
GNSS RTK	25,5	4,5	≈ 30 de zile	1 punct / 100–400 m ²	2–3 cm
UAV fotogrametrie	4,0	4,5	≈ 8,5 zile	≈ 1 600 puncte / m ²	3–5 cm
UAV LiDAR	3,0	6,0	≈ 9 zile	100–500 puncte / m ²	3–5 cm

Valori orientative, din animația „Comparator”; includ mobilizarea. Pe suprafețe mici, metodele clasice rămân la fel de rapide; în pădure, numai LiDAR-ul (sau măsurătorile clasice, lent) dau solul de sub coronament.

4.9.2 Accesibilitatea în teren dificil

Un alt avantaj este capacitatea de a accesa **zone greu accesibile sau periculoase** — terenuri abrupte, inundate, mlăștinoase. Datele se obțin **fără a pune în pericol personalul** de pe teren.

4.9.3 Acoperire și detalii

Cu drona se acoperă rapid o zonă mare, obținând în același timp **detalii foarte fine**. Această combinație de viteză și acuratețe este esențială în lucrările de îmbunătățiri funciare, unde fiecare detaliu poate avea un impact semnificativ asupra proiectului.

★ Concluzie

Tehnologiile aeropurtate UAV, fie prin fotogrametrie, fie prin scanare 3D, oferă o metodă **rapidă, precisă și accesibilă** de colectare a datelor planimetrice și altimetrice. Ele reduc semnificativ costurile și timpul măsurătorilor tradiționale și oferă date extinse și detaliate pentru **decizii mai bine fundamentate** în proiectarea sistemelor de irigații și drenaj.

≡ Pe scurt

- UAV = vehicul aerian fără pilot (dronă): **multirotor, aripă fixă, VTOL**; zborurile respectă Regulamentele (UE) 2019/945 și 2019/947, aplicate de AACR.
- **Fotogrametria** măsoară coordonate prin interpretarea imaginilor: din cel puțin două fotografii suprapuse rezultă poziția 3D a fiecărui punct.
- **GSD** = $H \cdot p / f$; suprapuneri uzuale: 80 % longitudinal, 70 % lateral → fiecare punct apare în ≈ 17 imagini.
- Etape: **planificarea zborului** → **captura imaginilor** → **prelucrarea** (Agisoft Metashape, Pix4D): puncte de legătură, GCP, aliniere, nor dens, mesh, DSM / DTM, ortofotoplan.
- **DSM** = suprafața (cu arbori și clădiri); **DTM** = terenul natural, obținut prin clasificarea norului; **ortofotoplanul** = imagine corectată geometric ($d = r \cdot h / H$ eliminat).
- Precizia se verifică pe **puncte de verificare** independente: $RMSE = \sqrt{(\Sigma \Delta^2 / n)}$.
- **LiDAR**: fascicul laser, nor de puncte X, Y, Z; mai multe ecouri pe impuls → **solul de sub vegetație** se măsoară, nu se interpolează.
- Avantaje: costuri și timp reduse (față de survolurile cu avionul), acces fără risc în zone periculoase, acoperire mare cu detalii fine.

4.10 Întrebări de autoevaluare

1. Ce este un UAV și ce tipuri de UAV se folosesc în topografie?
2. Când alegeți o dronă cu aripă fixă în locul unui multirotor?
3. Ce este fotogrametria și de ce sunt necesare imagini suprapuse?
4. O cameră are pixelul de $2,4123 \mu\text{m}$ și $f = 8,8 \text{ mm}$. Ce GSD se obține la 60 m altitudine?

5. Cu suprapuneri de 75 % longitudinal și 60 % lateral, în câte imagini apare, aproximativ, un punct?
6. Care este prima etapă a unei lucrări de fotogrametrie cu UAV și ce se stabilește în ea?
7. Ce diferență este între punctele de control (GCP) și punctele de verificare (CP)?
8. Care este diferența dintre DSM și DTM și cum se obține DTM-ul din norul fotogrametric?
9. Ce este ortofotoplanul și de ce nu poate fi înlocuit cu o fotografie brută?
10. Calculați $RMSE_z$ pentru abaterile +3, -2, +1 și -4 cm.
11. De ce LiDAR-ul este preferat în zonele cu vegetație densă?
12. Dați trei avantaje ale UAV-urilor în lucrările de îmbunătățiri funciare.

5. Modelul digital al terenului și aplicații software

Corespunde Cursului 3 — „Modelul digital al terenului și utilizarea softurilor CAD: nor de puncte, curbe de nivel, profile, volume”.

Toate măsurătorile din capitolele anterioare — cu stația totală, cu GNSS sau cu drona — se întâlnesc într-un singur produs: **modelul digital al terenului**. Din el se obțin curbele de nivel, profilele longitudinale și transversale, volumele de săpătură și umplutură, adică tot ce îi trebuie proiectantului unui canal de irigații sau de desecare. Capitolul explică noțiunile (MDT, DTM, DSM, TIN, nor de puncte), citirea și generarea curbelor de nivel, profilele și calculul volumelor, apoi fluxul de lucru în AutoCAD cu TopoLT și ProfLT și în Civil 3D.

☉ După acest capitol veți putea

- să deosebiți DEM, DTM și DSM și să explicați cum se construiește un model TIN;
- să descrieți norul de puncte și clasificarea lui;
- să citiți curbele de nivel și să calculați panta terenului;
- să întocmiți și să interpretați profilele longitudinale și transversale ale unui canal;
- să calculați volumele de săpătură prin metoda profilelor (secțiunilor) medii;
- să descrieți fluxul de lucru în software-ul CAD, de la puncte la antemăsurătoare.

Cuvinte-cheie: MDT · DTM · DSM · TIN · nor de puncte · curbe de nivel · echidistanță · profil longitudinal · profil transversal · volume · AutoCAD · TopoLT · Civil 3D

5.1 Modelul digital al terenului (MDT)

Modelul digital al terenului (MDT) este o **reprezentare tridimensională a suprafeței terenului**, generată pe baza datelor topografice colectate prin diferite metode: **măsurători terestre** (stație totală), **tehnologii aeropurtate UAV** sau **măsurători GNSS**. MDT-urile sunt esențiale în proiectele de îmbunătățiri funciare, în special pentru planificarea și proiectarea infrastructurii de irigații și drenaj, deoarece oferă o **imagine detaliată a topografiei** terenului și permit realizarea analizelor și calculelor necesare.

MDT-urile sunt utilizate pentru a vizualiza și analiza relieful. În lucrările de irigații, ele ajută la **proiectarea eficientă a canalelor** și a sistemelor de distribuție a apei, prin identificarea diferențelor de nivel și a **traseelor optime** pentru curgerea apei.

5.1.1 DEM, DTM și DSM

În literatura de specialitate se folosesc trei termeni înrudiți (Figura 5.1):

- **DEM** (Digital Elevation Model) — modelul digital de elevație, termenul general;
- **DTM** (Digital Terrain Model, în română MDT) — **terenul natural**, fără vegetație și fără construcții;

- **DSM** (Digital Surface Model) — **suprafața** cu tot ce se află pe ea: arbori, clădiri, utilaje.

⚠ Atenție

Pentru proiectare se folosește **DTM-ul**. Un zbor LiDAR sau fotogrametric dă întâi DSM-ul; un DSM folosit în locul DTM-ului greșește cotele cu metri — de exemplu, la marginea unei perdele forestiere, „terenul” ar avea înălțimea coroanelor.

5.1.2 Modelul TIN

Datele de teren sunt **puncte cu coordonatele X, Y și cota Z**. Cel mai simplu model care trece exact prin punctele măsurate este rețeaua de triunghiuri neregulate — **TIN** (Triangulated Irregular Network): punctele vecine se unesc în triunghiuri (de regulă prin triangulația Delaunay), iar cota oricărui punct se interpolează liniar în triunghiul în care cade. **Liniile de frângere** — muchiile taluzurilor, crestele digurilor, fundul canalelor — se impun ca laturi de triunghi, ca modelul să nu „taie” muchiile terenului.

Pentru analize pe suprafețe mari, modelul se transformă adesea într-un **grid** (raster) — o rețea regulată de celule, fiecare cu o cotă. Din DTM se calculează apoi **harta pantelor** și **direcțiile de scurgere a apei**: unde se adună apa, unde trebuie drenaj, pe unde pot trece canalele.

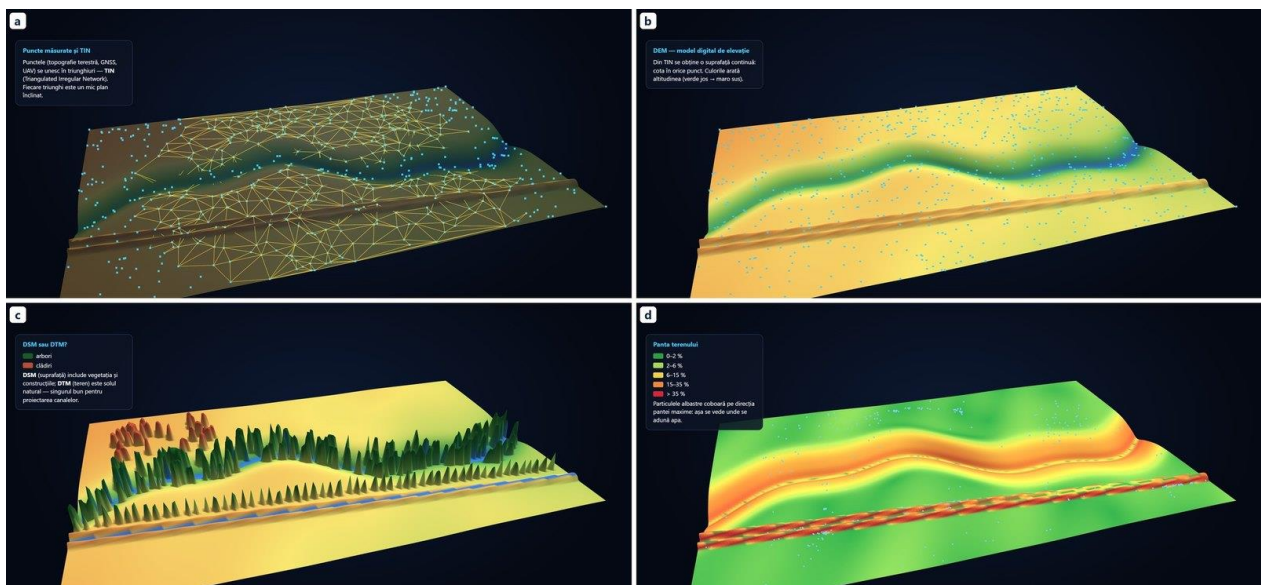


Figura 5.1. Modelul digital pas cu pas: (a) punctele măsurate unite în triunghiuri (TIN); (b) modelul colorat după altitudine — valea râului, canalul magistral cu digurile, câmpia; (c) DSM-ul, cu arbori și construcții; (d) harta pantelor, calculată din DTM.

► Animație interactivă: [Cursul 3 · DEM: puncte → TIN → DSM / DTM → pante](#)

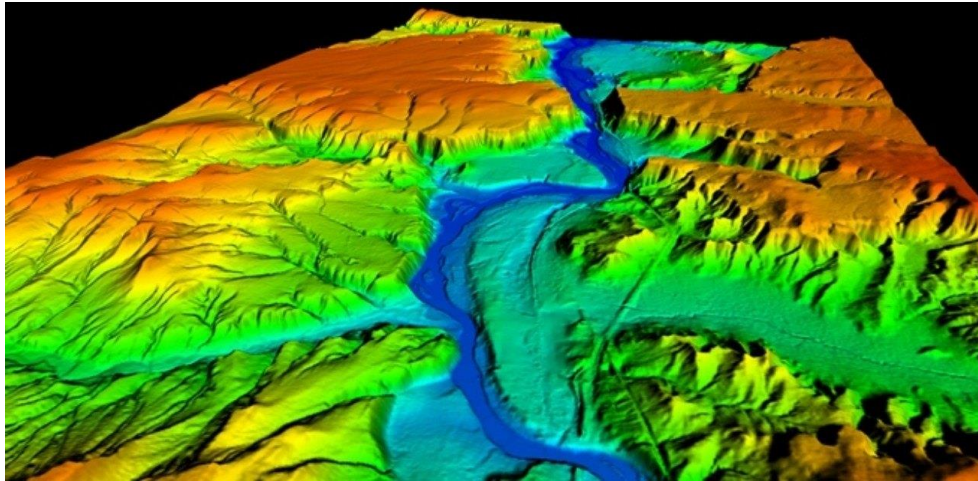


Figura 5.2. Model digital de elevație al unei văi de râu, colorat după altitudine (albastru — jos, roșu — sus).

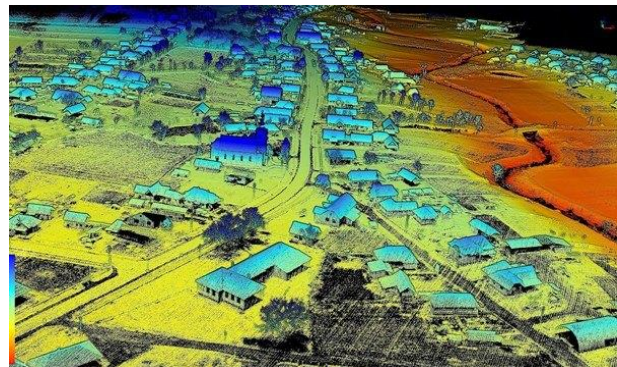
5.2 Norul de puncte

Norul de puncte este o **colecție de puncte tridimensionale** care reprezintă suprafața terenului și obiectele de pe ea. Se obține prin măsurători precise: scanare laser (**LiDAR**) — din UAV, de la sol sau de pe vehicule — ori prin **fotogrametrie** din imagini UAV (Capitolul 4). Fiecare punct are coordonatele **x, y și z**, care definesc poziția și altitudinea lui; adesea are și culoare (RGB), intensitate și o **clasă**.

Norii de puncte oferă o descriere detaliată a terenului și sunt utilizați pentru a genera modele digitale, precum și curbe de nivel și profile transversale și longitudinale (Figura 5.3).



(a) canalul magistral, cu digurile și drumul de serviciu — culori reale



(b) o localitate — colorat după elevație

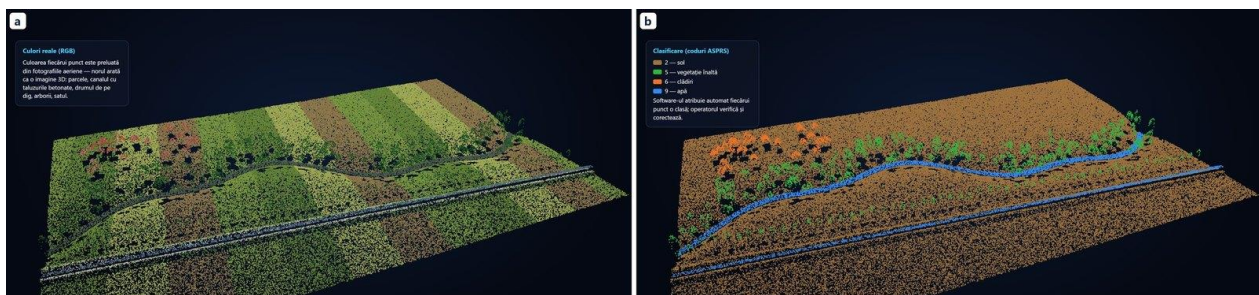
Figura 5.3. Nori de puncte obținuți din zboruri UAV.

5.2.1 Clasificarea norului

Înainte de modelare, punctele se **clasifică**: fiecare primește o clasă după ce reprezintă. Clasele sunt standardizate în formatul **LAS** al ASPRS (Tabelul 5.1). Clasificarea automată separă întâi **solul**, apoi vegetația și construcțiile; operatorul verifică și corectează. Se filtrează tot ce nu este sol — rămân punctele DTM (Figura 5.4).

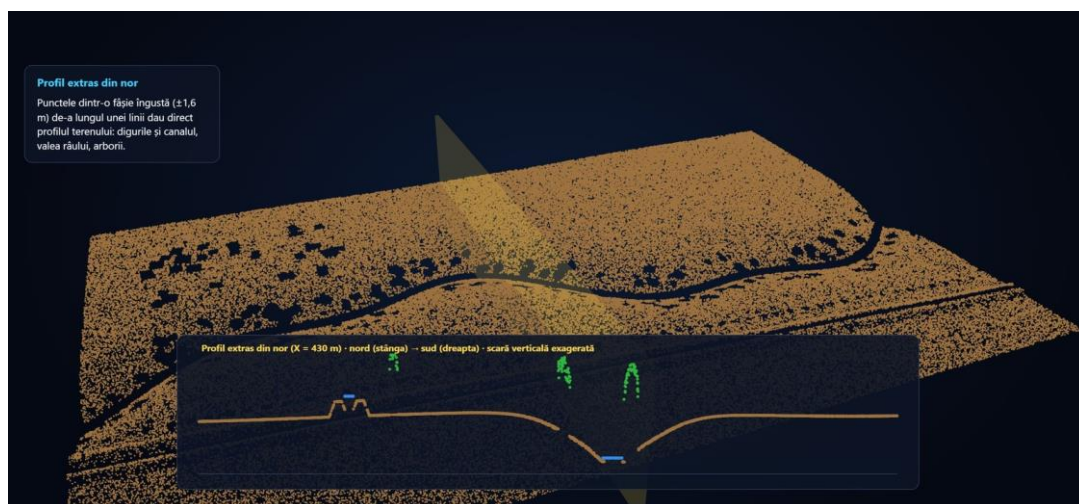
Tabelul 5.1. Principalele clase de puncte din standardul LAS (ASPRS)

Codul	Clasa	Codul	Clasa
1	neclasificat	6	clădiri
2	sol	7	zgomot jos (puncte false sub teren)
3	vegetație joasă	9	apă
4	vegetație medie	17	tablier de pod
5	vegetație înaltă	18	zgomot înalt

**Figura 5.4.** Norul de puncte al aceiași zone: (a) colorat cu culorile reale din fotografii; (b) clasificat — sol, vegetație, clădiri, apă.

► Animație interactivă: [Cursul 3 · Norul de puncte: scanare, culori, clasificare, profil](#)

Din norul de puncte se pot extrage direct **profile** — secțiuni verticale prin teren, canal și diguri — luând punctele dintr-o fâșie îngustă de-a lungul unei linii (Figura 5.5).

**Figura 5.5.** Profil extras din nor: punctele dintr-o fâșie de $\pm 1,5$ m de-a lungul unei linii dau direct profilul terenului, al digurilor și al canalului.

5.3 Curbele de nivel

5.3.1 Definiție și principiu

Curbele de nivel sunt linii care **unesc punctele de pe teren cu aceeași altitudine**. Ele sunt esențiale pentru înțelegerea topografiei unui teren: oferă o **reprezentare grafică clară a reliefului** și sunt utilizate frecvent în planurile topografice.

Principiul se înțelege ușor dacă ne imaginăm **apa urcând** peste teren: la fiecare cotă întreagă, linia malului este o curbă de nivel. Liniile se proiectează pe un plan orizontal — așa apar pe planul topografic (Figura 5.6).

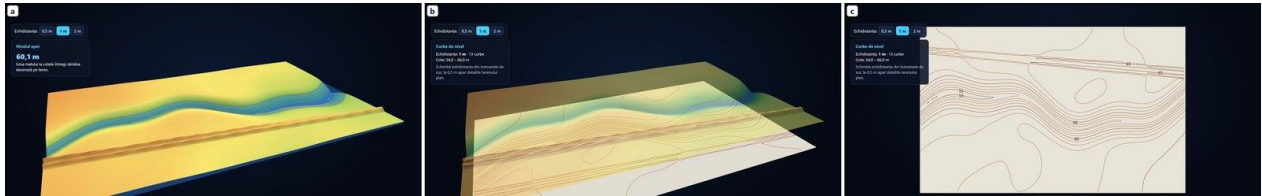


Figura 5.6. Curbele de nivel: (a) apa care urcă peste teren — linia malului la o cotă dată; (b) curbele proiectate pe un plan orizontal; (c) planul cu curbe normale și curbe principale cotate.

► Animație interactivă: [Cursul 3 · Curbele de nivel: apa care urcă](#)

5.3.2 Echidistanța și citirea reliefului

Diferența de nivel dintre două curbe vecine se numește **echidistanță**. Ea se alege după scara planului și după relief: la terenurile plane din lucrările de irigații se folosesc echidistanțe mici, de **0,25–0,5 m**, iar în zonele de deal, de 1–2 m. Pe plan se desenează **curbe normale** la fiecare echidistanță și **curbe principale** — mai groase și cotate — de regulă la fiecare a cincea curbă.

- **curbele dese** înseamnă pantă mare — taluzurile canalelor, malurile văilor;
- **curbele rare** înseamnă teren plan;
- curbele nu se intersectează și nu se întrerup (decât la marginea planului); pe văi au vârful îndreptat spre amonte, pe dealuri — spre aval.

Generarea curbelor de nivel este un pas esențial în proiectarea sistemelor de irigații și drenaj, deoarece permite **determinarea pantei terenului**, necesară pentru calculul curgerii apei și pentru proiectarea optimă a canalelor:

$$p = \Delta h / d \cdot 100 [\%]$$

Δh — diferența de nivel (echidistanța) · d — distanța orizontală dintre curbe

✍ Exemplu rezolvat

Pe un plan cu echidistanța de 0,5 m, două curbe vecine sunt la 25 m distanță: panta terenului este $p = 0,5 / 25 \times 100 = 2 \%$. Dacă aceleași curbe ar fi la 250 m, panta ar fi doar $0,2 \% = 2 \text{‰}$ — un teren foarte plan, tipic pentru câmpiile irigate.

Curbele de nivel se generează pe baza datelor din **norul de puncte** sau din **măsurătorile GNSS** și se prelucrează în software specializat, precum **AutoCAD** (cu extensii de topografie) și **Civil 3D** (Figura 5.7).

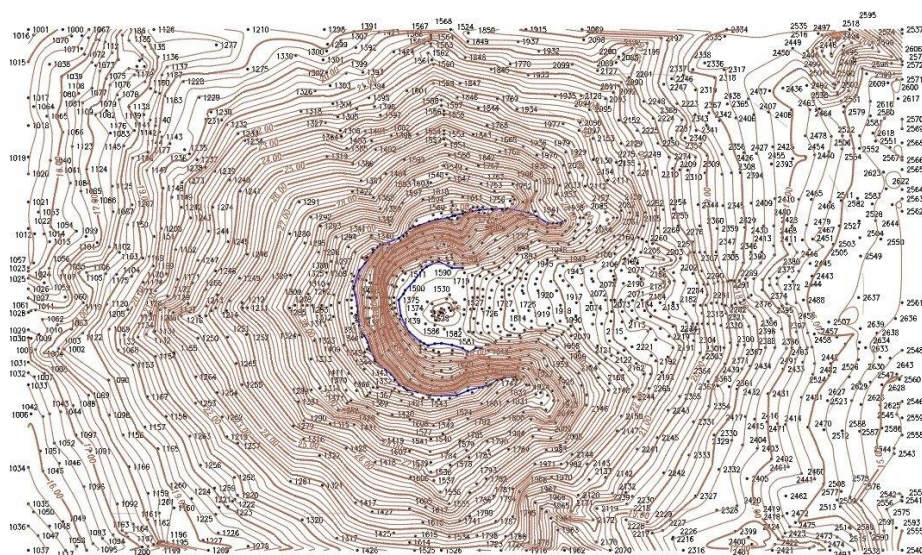


Figura 5.7. Curbe de nivel generate dintr-un model digital, cu cotele punctelor.

5.4 Profilele longitudinale și transversale

5.4.1 Definiție

Profilele sunt **secțiuni verticale ale terenului**, realizate de-a lungul unor linii prestabilite pe modelul digital al terenului. Ele permit evaluarea detaliată a reliefului de-a lungul unei rute sau zone de interes, cum ar fi traseul unui canal de irigații sau al unei rețele de drenaj.

- **Profilul longitudinal** urmărește **traseul principal** al proiectului — de exemplu axa unui canal de irigații — și arată variațiile de altitudine **de-a lungul** acelei rute.
- **Profilele transversale** sunt secțiuni **perpendiculare pe traseul principal**; ele arată variația altitudinii de o parte și de alta a axei, în dreptul fiecărui pichet.

Profilul longitudinal se poate imagina ca o **cortină verticală** coborâtă de-a lungul axei: marginea ei de sus urmărește terenul. Cortina se desfășoară apoi în plan — rezultatul este profilul longitudinal al terenului (Figura 5.8).

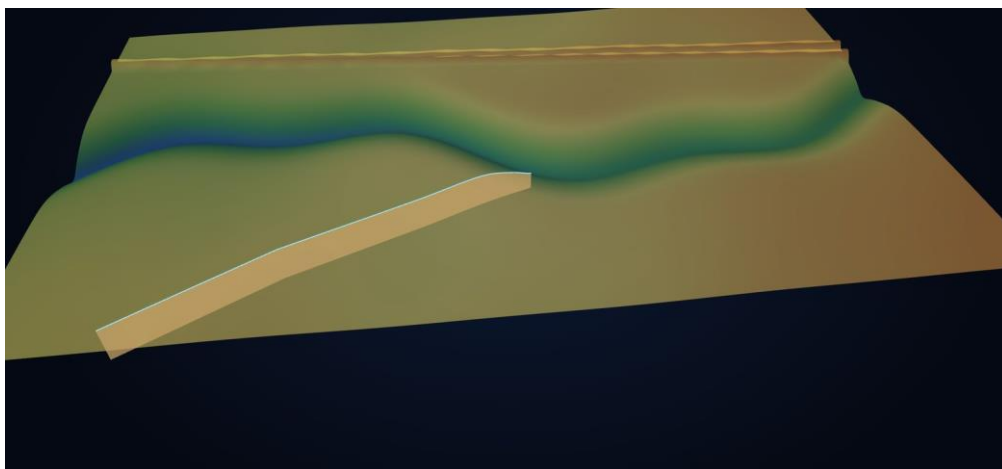


Figura 5.8. Cortina verticală coborâtă de-a lungul axei canalului: marginea ei de sus este profilul longitudinal al terenului.

► Animație interactivă: [Cursul 3 · Profilele: cortina, contrapanta, secțiunile](#)

5.4.2 Importanța profilelor în proiectele de îmbunătățiri funciare

Profilele transversale și longitudinale sunt esențiale în proiectele de irigații și drenaj, deoarece oferă o perspectivă detaliată asupra topografiei terenului. Ele sunt utilizate pentru a **calcula volumul de material** care trebuie excavat sau adăugat și pentru a **determina panta necesară** curgerii eficiente a apei.

În proiectarea unui canal de irigații, **profilul longitudinal** asigură **curgerea corectă a apei** de-a lungul traseului: fundul canalului are o pantă continuă spre aval, astfel încât apa să nu stagneze în puncte joase, iar viteza să nu crească atât de mult încât să erodeze canalul (Figura 5.9).

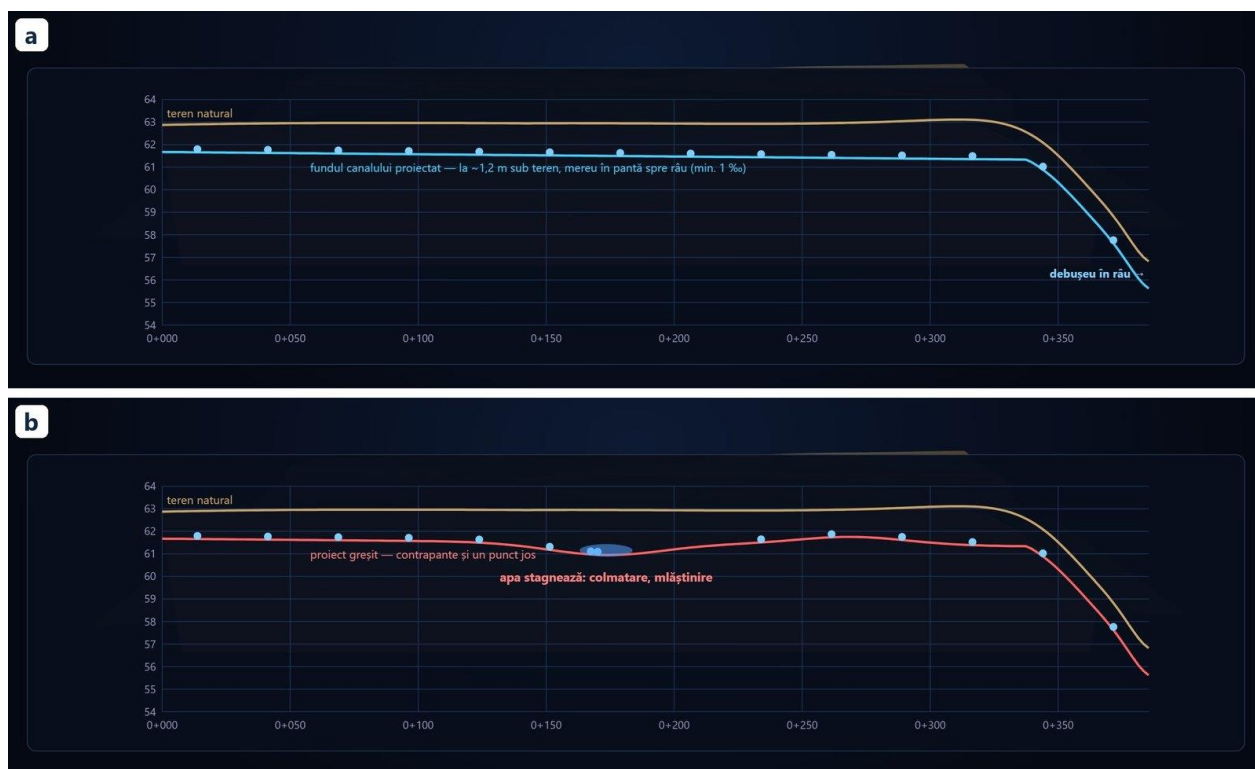


Figura 5.9. Profilul longitudinal al unui canal de desecare: (a) corect — fundul canalului (albastru) la $\approx 1,2$ m sub teren, în pantă continuă spre debușeu în râu; (b) greșit — o contrapantă creează un punct jos în care apa stagnează: colmatare și înmlăștinire.

⚠ Atenție

O **contrapantă** pe profilul longitudinal este o greșeală gravă de proiectare sau de execuție: punctul jos adună apa și sedimentele, canalul se colmatează, iar terenul din jur se înmlăștinește. De aceea cotele fundului canalului se verifică după execuție, prin ridicare topografică.

Profilele transversale se trasează perpendicular pe axă, la distanțe egale — de exemplu la 50 m — și în punctele caracteristice (schimbări de pantă, poduri, subtraversări). Pe fiecare se desenează terenul și **secțiunea tip** a canalului; de aici rezultă **aria de săpătură** sau de umplutură (Figura 5.10).

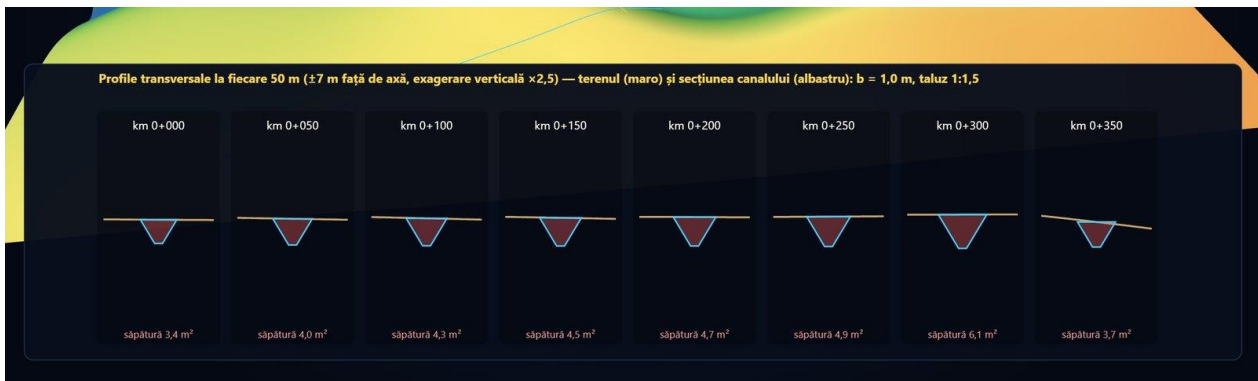


Figura 5.10. Profile transversale la fiecare 50 m: terenul (maro) și secțiunea canalului (albastru), cu $b = 1,0$ m și taluzuri 1:1,5; sub fiecare, aria de săpătură.

5.4.3 Planșa profilului

În proiect, profilul longitudinal se desenează la scări diferite pe orizontală și pe verticală (de exemplu 1:1 000 și 1:100), ca diferențele de nivel să se vadă clar. Sub desen se află tabelul profilului, numit în practică „**chitara**”: pentru fiecare pichet — cota terenului, cota proiectului, adâncimea de săpătură, distanțele parțiale și cumulate, pantele (Figura 5.11).

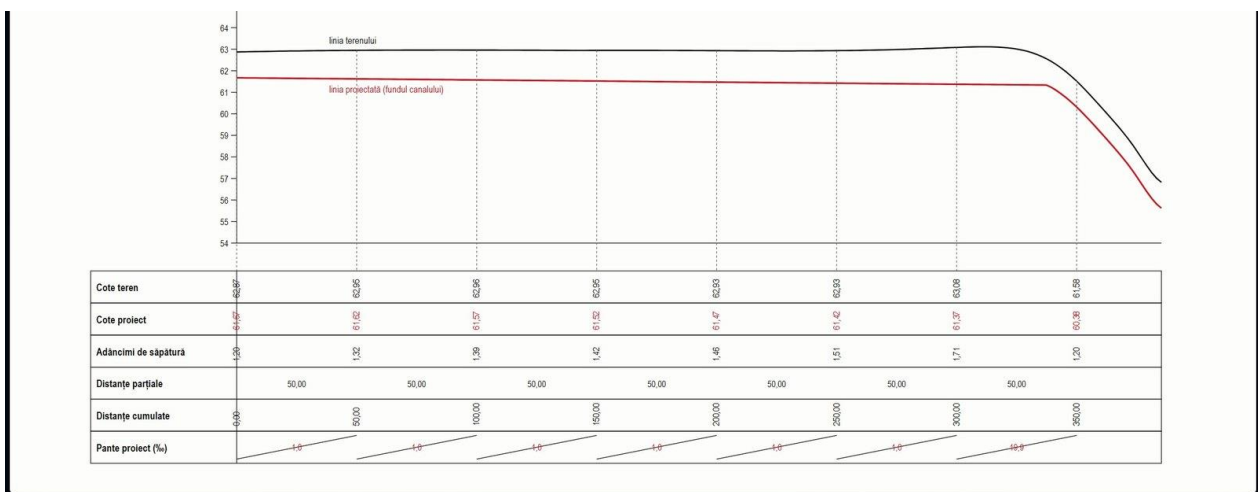


Figura 5.11. Planșa profilului longitudinal: linia terenului (negru), linia proiectată a fundului canalului (roșu) și „chitara” cu cotele, adâncimile de săpătură, distanțele și pantele.

► Animație interactivă: [Cursul 3 · Profilul în CAD: chitara, secțiunea, volumele](#)

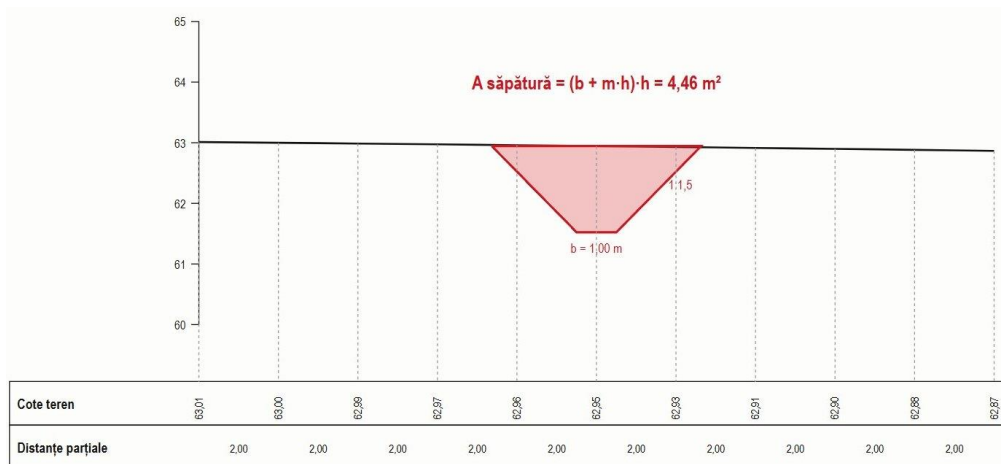


Figura 5.12. Profilul transversal de la km 0+150: terenul, secțiunea tip a canalului ($b = 1,00 \text{ m}$, taluz 1:1,5) și aria de săpătură $A = 4,46 \text{ m}^2$.

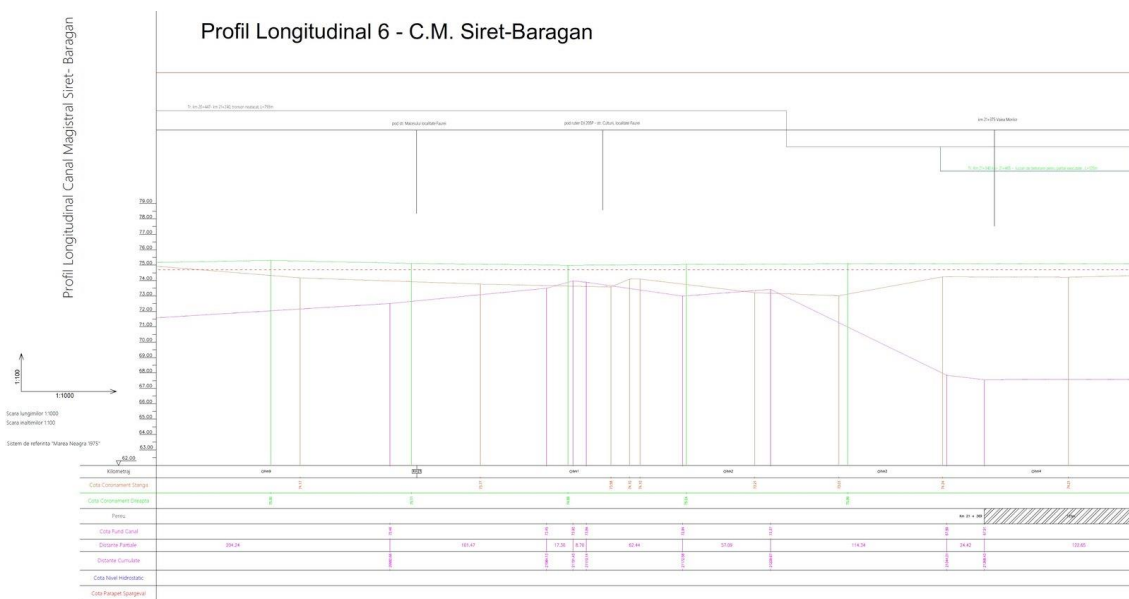


Figura 5.13. Profil longitudinal dintr-un proiect real — un canal de pe traseul Canalului Magistral Siret-Bărăgan.

5.5 Calculul volumelor de terasamente

Prin intermediul profilelor transversale și longitudinale se poate calcula **volumul exact de material** care trebuie excavat sau adăugat într-un proiect. Această funcție este critică în planificarea lucrărilor: reduce riscurile de supraestimare sau subestimare a cantităților necesare și optimizează costurile.

Aria secțiunii de săpătură a unui canal trapezoidal, cu teren aproximativ orizontal, este:

$$A = (b + m \cdot h) \cdot h$$

b — lățimea la fund · m — înclinarea taluzului (1 : m) · h — adâncimea de săpătură

 Exemplu rezolvat

Canalul are $b = 1,00$ m, taluzuri 1:1,5 ($m = 1,5$) și, la km 0+150, adâncimea $h = 1,423$ m: $A = (1,00 + 1,5 \times 1,423) \times 1,423 = 3,135 \times 1,423 = \mathbf{4,46\ m^2}$. Lățimea la suprafață este $b + 2 \cdot m \cdot h = 1,00 + 2 \times 1,5 \times 1,423 = \mathbf{5,27\ m}$.

Volumul dintre două profile transversale consecutive se calculează prin **metoda profilelor (secțiunilor) medii**: media ariilor înmulțită cu distanța dintre profile; volumele parțiale se însumează pe toată axa (Tabelul 5.2).

$$V = (A_1 + A_2) / 2 \cdot d$$

A_1, A_2 — ariile a două profile consecutive · d — distanța dintre ele

 Exemplu rezolvat

Între profilele P3 (km 0+100, $A_1 = 4,27\ m^2$) și P4 (km 0+150, $A_2 = 4,46\ m^2$), la $d = 50$ m: $V = (4,27 + 4,46) / 2 \times 50 = \mathbf{218,25\ m^3}$.

Tabelul 5.2. Calculul volumului de săpătură pentru un canal de 385 m

Profilul	Poziția (km)	Aria de săpătură (m^2)	Distanța (m)	Volumul parțial (m^3)
P1	0+000	3,36	—	—
P2	0+050	3,95	50,00	182,75
P3	0+100	4,27	50,00	205,50
P4	0+150	4,46	50,00	218,25
P5	0+200	4,65	50,00	227,75
P6	0+250	4,91	50,00	239,00
P7	0+300	6,09	50,00	275,00
P8	0+350	3,36	50,00	236,25
P9	0+385	3,36	35,32	118,68
Total				1 703,18

 Din practică

Software-ul (TopoLT, ProfLT, Civil 3D) face exact acest calcul, cu ariile măsurate pe fiecare profil desenat. Pe terenuri neregulate se folosesc profile mai dese sau calculul direct între două suprafețe (teren și proiect), pe modelul TIN.

5.6 Software-ul de proiectare

5.6.1 AutoCAD, TopoLT și ProfLT

AutoCAD este unul dintre cele mai utilizate programe pentru **desen tehnic și proiectare**, fiind folosit pe scară largă în inginerie, arhitectură și topografie. În proiectele de îmbunătățiri funciare, AutoCAD permite **importul și procesarea datelor topografice** colectate prin metode tradiționale sau aeropurtate și **generarea planurilor** detaliate.

TopoLT este un **add-on pentru AutoCAD** (și pentru alte programe CAD compatibile — BricsCAD, ZWCAD, GstarCAD), dezvoltat de compania românească 3D Space, care facilitează lucrul cu datele topografice: importul și exportul punctelor, **generarea automată a curbelor de nivel, profilele transversale și longitudinale**, calculul suprafețelor și volumelor, trasarea automată a elementelor topografice. Extensia **ProfLT**, de la același producător, este dedicată proiectării profilelor longitudinale și transversale pentru drumuri, căi ferate, rețele de utilități și canale.

5.6.2 Civil 3D

Civil 3D (Autodesk) este un program esențial pentru proiectarea infrastructurii și pentru lucrările de inginerie civilă. Permite **procesarea datelor topografice, generarea modelului digital al terenului**, desenarea curbelor de nivel și realizarea **analizelor de pante și de curgere a apei**. Este deosebit de util în proiectele de îmbunătățiri funciare, deoarece oferă **instrumente avansate pentru proiectarea rețelelor de irigații și drenaj**, inclusiv optimizarea traseelor și **calculul volumelor de pământ**.

5.6.3 Fluxul de lucru în CAD

1. **Importul punctelor** măsurate — stație totală, GNSS, nor de puncte filtrat — dintr-un fișier text: număr, X, Y, Z (atenție la ordinea coordonatelor, §1.5).
2. **Triangularea**: programul unește punctele în triunghiuri — modelul digital al terenului —, respectând liniile de frângere (taluzuri, muchii).
3. **Curbele de nivel** se generează automat din TIN, la echidistanța aleasă, și se cotează.
4. **Axa canalului** se desenează și se pichetează — de exemplu la 50 m.
5. **Profilul longitudinal**: extensia extrage cotele din TIN și desenează terenul; linia proiectată a fundului se trasează pe profil.
6. **Profilele transversale**, la fiecare pichet, cu secțiunea tip a canalului.
7. **Volumele** de săpătură și umplutură rezultă din ariile secțiunilor — gata pentru antemăsurătoare.

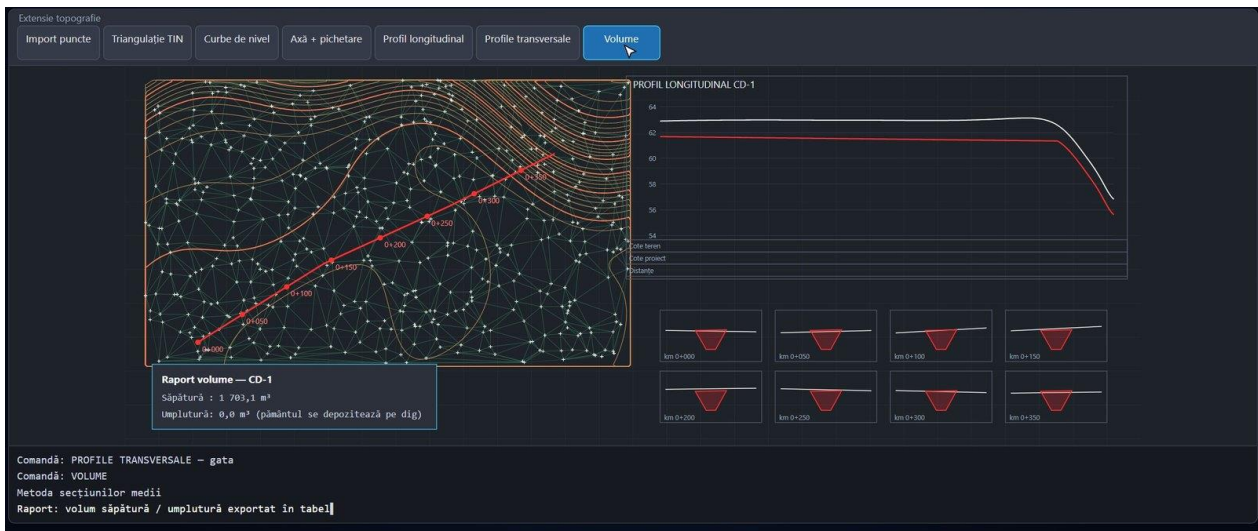


Figura 5.14. Fluxul de lucru într-un program CAD cu extensie de topografie: planul cu punctele, triunghiurile și curbele de nivel, axa pichetată, profilul longitudinal, profilele transversale și raportul de volume.

► Animație interactivă: [Cursul 3 · Fluxul de lucru în CAD](#)

5.7 Aplicații ale MDT-urilor în îmbunătățiri funciare

5.7.1 Proiectarea canalelor de irigații și drenaj

MDT-urile și curbele de nivel generate în AutoCAD sau Civil 3D sunt esențiale pentru proiectarea canalelor de irigații și drenaj. Ele permit vizualizarea topografiei și **determinarea pantelor ideale**, care asigură o curgere optimă a apei, **evitând eroziunea sau acumularea excesivă de apă** (Figura 5.15).

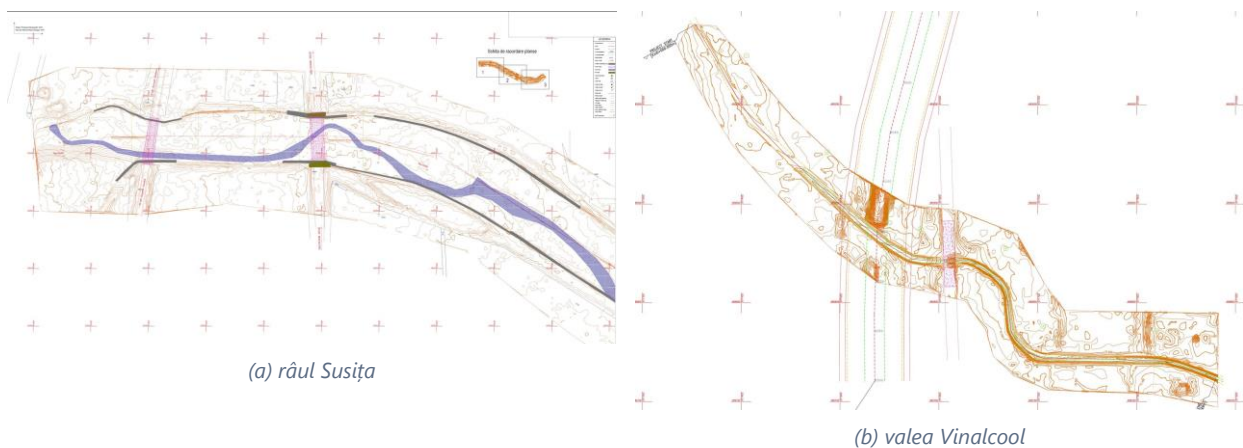


Figura 5.15. Amenajarea râurilor și văilor care intersectează Canalul Magistral Siret-Bărăgan: planuri de situație întocmite pe modelul digital al terenului — curbe de nivel, albie regularizate, traversări.

5.7.2 Calcularea volumelor de excavat

Din profilele transversale și longitudinale se calculează volumul exact de material de excavat sau de adăugat (§5.5); se evită supraestimarea sau subestimarea cantităților și se optimizează costurile.

5.7.3 Monitorizarea și întreținerea infrastructurii

MDT-urile sunt utilizate și pentru **monitorizarea continuă** a terenului și a infrastructurii de irigații și drenaj. Comparând modele realizate la momente diferite — **diferența dintre modele** (DoD, DEM

of Difference) —, se identifică **deformările** terenului și **modificările rețelelor**: colmatări, eroziuni, tasări. Intervențiile se pot face rapid și eficient, iar volumul de decolmatat se calculează direct (Figura 5.16).

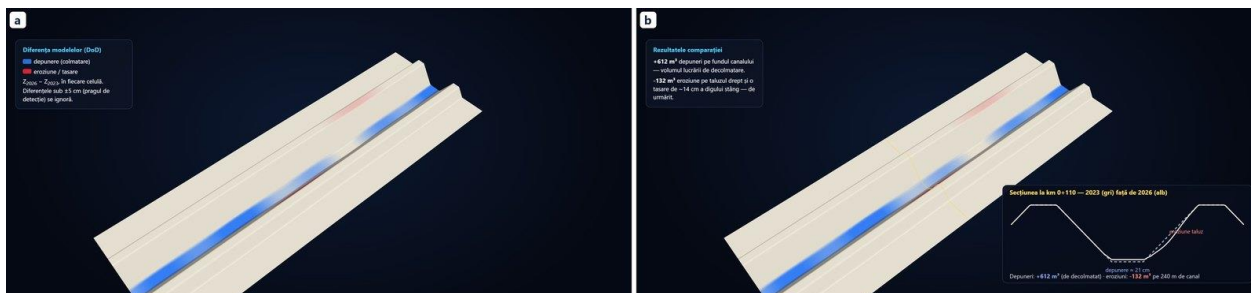


Figura 5.16. Monitorizarea unui canal: (a) diferența dintre ridicarea din 2026 și cea din 2023 — albastru: depuneri pe fundul canalului (colmatări), roșu: eroziunea taluzului și tasarea digului; (b) secțiunea comparativă și volumele.

► Animație interactivă: [Cursul 3 · Monitorizarea: diferența dintre modele](#)

★ Concluzie

Modelul digital al terenului și software-ul specializat — AutoCAD cu TopoLT și ProfLT, Civil 3D — joacă un rol crucial în proiectarea și implementarea lucrărilor de îmbunătățiri funciare. Curbele de nivel, profilele transversale și longitudinale și calculul volumelor de excavat asigură o infrastructură de irigații și drenaj eficientă și sustenabilă, cu costuri reduse și performanțe mai bune.

≡ Pe scurt

- **MDT** = reprezentare 3D a suprafeței terenului, din măsurători terestre, UAV și GNSS. **DTM** = terenul natural (pentru proiectare); **DSM** = suprafața cu vegetație și construcții.
- **TIN**: punctele X, Y, Z unite în triunghiuri, cu liniile de frângere respectate.
- **Norul de puncte**: colecție de puncte 3D (x, y, z), din LiDAR sau fotogrametrie; se clasifică (sol = clasa 2 în LAS) înainte de modelare.
- **Curbele de nivel** unesc punctele cu aceeași altitudine; echidistanța = diferența de nivel dintre curbe; panta $p = \Delta h / d$.
- **Profilele** sunt secțiuni verticale: **longitudinal** — de-a lungul traseului (curgerea corectă a apei, fără contrapante); **transversal** — perpendicular pe traseu (ariile de săpătură).
- **Volumul** prin profile medii: $V = (A_1 + A_2) / 2 \cdot d$.
- **AutoCAD** — desen și planuri; **TopoLT** — add-on pentru curbe, profile, volume; **Civil 3D** — MDT, pante, curgerea apei, rețele, volume.
- Modelele repetate în timp permit **monitorizarea**: colmatări, eroziuni, tasări.

5.8 Întrebări de autoevaluare

1. Ce este modelul digital al terenului și din ce date se obține?
2. Care este diferența dintre DTM și DSM? Care se folosește la proiectarea unui canal?
3. Ce este norul de puncte și ce coordonate are fiecare punct?
4. Ce sunt curbele de nivel și ce este echidistanța?

5. Pe un plan cu echidistanța de 1 m, două curbe vecine sunt la 40 m distanță. Ce pantă are terenul?
6. Ce deosebește profilul longitudinal de profilul transversal?
7. De ce este periculoasă o contrapantă pe profilul longitudinal al unui canal?
8. Calculați volumul de săpătură dintre două profile cu ariile de $5,20 \text{ m}^2$ și $6,00 \text{ m}^2$, aflate la 25 m unul de altul.
9. Ce este TopoLT și ce operații facilitează?
10. Ce permite Civil 3D în proiectele de îmbunătățiri funciare?
11. Cum se folosesc MDT-urile în întreținerea unui sistem de irigații?

Anexa 1 · Formular

Formulele din suport, pe scurt. Semnificația fiecărei mărimi este explicată în capitolul indicat.

Tabelul A.1. *Formulele cursului*

Mărimea	Formula	Capitolul
Altitudinea din înălțimea GNSS	$h = H + N \Rightarrow H = h - \zeta$	1.1
Factorul de scară Stereo 70	$k = k_0 \cdot (1 + d^2 / (4 \cdot k_0^2 \cdot R^2))$, $k_0 = 0,99975$	1.4.3
Deformația liniară relativă	$(k - 1) \cdot 1000$ [m/km]	1.4.3
Distanța din coordonate	$D = \sqrt{(\Delta X^2 + \Delta Y^2)}$	1.5.3
Orientarea	$\theta = \arctg(\Delta Y / \Delta X)$, cadranul după semnele lui ΔX și ΔY	1.5.3
Suprafața din coordonate (Gauss)	$S = \frac{1}{2} \cdot \sum X_i \cdot (Y_{i+1} - Y_{i-1}) $	1.5.3
Unități unghiulare	$400^g = 360^\circ = 2\pi$; $1^g = 100^c = 10\,000^{cc}$	2.3.1
Distanța măsurată cu EDM	$D = c \cdot \Delta t / 2$	2.3.2
Precizia distanței	$\pm(a \text{ mm} + b \text{ ppm} \cdot D \text{ [km]})$	2.3.2
Metoda polară	$\theta_{SP} = \theta_{SB} + \alpha$; $X_P = X_S + D \cdot \cos \theta_{SP}$; $Y_P = Y_S + D \cdot \sin \theta_{SP}$	2.5
Pseudodistanța GNSS	$\rho_i = \sqrt{((X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2 + (Z_i - Z)^2)} + c \cdot \delta t$	3.3
Rezoluția la sol	$GSD = H \cdot p / f \Rightarrow H = GSD \cdot f / p$	4.4.2
Imagini pe punct	$n \approx 1 / ((1 - p_l) \cdot (1 - p_t))$	4.4.3
Deplasarea datorată reliefului	$d = r \cdot h / H$	4.7.6
Eroarea medie pătratică	$RMSE = \sqrt{(\sum \Delta_i^2 / n)}$; $RMSE_{XY} = \sqrt{(RMSE_X^2 + RMSE_Y^2)}$	4.7.7
Panta terenului	$p = \Delta h / d \cdot 100$ [%]	5.3.2
Aria secțiunii trapezoidale	$A = (b + m \cdot h) \cdot h$	5.5
Volumul prin profile medii	$V = (A_1 + A_2) / 2 \cdot d$	5.5

Anexa 2 · Glosar

Tabelul A.2. *Termenii cursului*

Termenul	Explicația
Aerotriangulație (alinieri)	calculul simultan al poziției și orientării tuturor fotografiilor și al coordonatelor punctelor de legătură
Altitudine normală	altitudinea raportată la cvasigeoid, folosită în sistemul Marea Neagră 1975
Ambază	piesa dintre instrument și trepied, cu trei șuruburi de calare, nivelă și dispozitiv de centrare
ATR	recunoașterea automată a țintei: stația robotizată găsește și urmărește singură prisma
Cvasigeoid	suprafață foarte apropiată de geoid, la care se raportează altitudinile normale
Curbă de nivel	linie care unește punctele de pe teren cu aceeași altitudine
DGNSS (DGPS)	poziționare cu corecții diferențiale de cod; precizie submetrică
DSM	modelul digital al suprafeței: terenul împreună cu vegetația și construcțiile
DTM / MDT	modelul digital al terenului natural, fără vegetație și construcții
Echidistanță	diferența de nivel dintre două curbe de nivel vecine
EDM	distanțometrul electronic: măsoară distanța cu un fascicul de lumină sau laser
Elipsoid de referință	suprafață matematică (elipsoid de rotație) pe care se fac calculele geodezice și proiecțiile
ETRS89	sistemul european de referință în care lucrează măsurătorile GNSS și rețeaua ROMPOS
Factor de scară	raportul dintre o lungime din planul de proiecție și lungimea corespunzătoare de pe elipsoid
FIX / FLOAT	starea soluției RTK: FIX — ambiguități rezolvate, precizie centimetrică; FLOAT — nerezolvate, precizie decimetrică
GCP	punct de control la sol: țintă vizibilă din aer, cu coordonate măsurate, care georeferențiază modelul fotogrametric
Geoid	suprafața echipotențială a câmpului gravitațional care aproximează nivelul mediu al mărilor
GNSS	termen generic pentru sistemele de poziționare prin satelit: GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou
GSD	rezoluția la sol: mărimea unui pixel al imaginii, măsurată pe teren
Grade centesimale (gon)	unitate unghiulară: cercul are 400 ^g ; 1 ^g = 100 ^c = 10 000 ^c
IMU	unitatea inerțială: măsoară orientarea și accelerațiile dronei sau ale senzorului
LiDAR	scanare laser: distanțe măsurate cu impulsuri laser, din care rezultă un nor de puncte

Termenul	Explicația
Marea Neagră 1975	sistemul național de altitudini, raportat la nivelul mediu al Mării Negre la Constanța
Metoda polară (radiere)	determinarea unui punct nou din unghiul și distanța măsurate dintr-o stație orientată
Multipath	eroarea GNSS produsă de semnalele reflectate de clădiri, apă sau teren
Nor de puncte	colecție de puncte 3D (x, y, z) care descriu terenul și obiectele de pe el
NTRIP	protocolul prin care corecțiile GNSS ajung prin internet la receptor
Orientare (θ)	unghiul unei direcții, măsurat de la Nord, în sens orar
Ortofotoplan	imagine aeriană corectată geometric, în proiecție ortogonală, pe care se poate măsura
PDOP	indicator al geometriei sateliților: cu cât e mai mic, cu atât poziția e mai bună
Pichet	punct marcat pe axa unei lucrări liniare, la distanțe stabilite (de exemplu la 50 m)
Profil longitudinal	secțiune verticală prin teren de-a lungul axei lucrării
Profil transversal	secțiune verticală prin teren, perpendiculară pe axa lucrării
Proiecție conformă	proiecție cartografică ce păstrează unghiurile (forma locală)
Proiecție echivalentă	proiecție cartografică ce păstrează suprafețele
Pseudodistanță	distanța satelit–receptor măsurată din timpul de propagare, afectată de eroarea ceasului receptorului
RMSE	eroarea medie pătratică: $\sqrt{(\sum \Delta^2 / n)}$, calculată pe puncte de verificare independente
ROMPOS	rețeaua națională de stații GNSS permanente a ANCP
RTK	poziționare cinematică în timp real, cu faza unei purtătoare; precizie de 1–2 cm
Stație totală	instrument care combină teodolitul, distanțometrul electronic și un computer
Stereo 70	proiecția cartografică oficială a României: stereografică oblică, conformă, cu plan secant
Suprapunere	partea comună a două fotografii vecine: longitudinală (pe direcția de zbor) sau laterală (între benzi)
TIN	rețea de triunghiuri neregulate care unește punctele măsurate într-o suprafață
UAV	vehicul aerian fără pilot (dronă)
VRS	stație virtuală de referință, generată de rețeaua ROMPOS lângă rover

Anexa 3 · Bibliografie și resurse

Proiecții cartografice și sisteme de referință

- Snyder, J. P. (1987). *Map Projections — A Working Manual*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1395. Washington: USGS.
- IOGP. *Geomatics Guidance Note 7, part 2: Coordinate Conversions and Transformations including Formulas* (IOGP Publication 373-7-2) — metoda EPSG 9809, proiecția stereografică oblică.
- EPSG:3844 — Pulkovo 1942(58) / Stereo70: epsg.io/3844
- ANCPI — RomGEO, transformarea coordonatelor ETRS89 în Stereo 70 și Marea Neagră 1975: api.romgeo.ro
- Resurse online: ro.wikipedia.org · topo-online.ro · expertcadastru.ro · roteaprofu.wordpress.com · meteorologiaenred.com

Stații totale și GNSS

- U.S. Coast Guard Navigation Center — starea constelației GPS: navcen.uscg.gov
- EUSPA, European GNSS Service Centre — constelația Galileo: gsc-europa.eu
- China Satellite Navigation Office — BeiDou: en.beidou.gov.cn
- Cabinet Office, Japonia — QZSS (Michibiki): qzss.go.jp
- ISRO — NavIC: isro.gov.in
- ANCPI — ROMPOS, servicii DGNSS, RTK și NTRIP: rompos.ro

UAV, fotogrametrie și LiDAR

- Regulamentul delegat (UE) 2019/945 al Comisiei privind sistemele de aeronave fără pilot la bord.
- Regulamentul de punere în aplicare (UE) 2019/947 al Comisiei privind normele și procedurile de operare a aeronavelor fără pilot la bord.
- AACR — Autoritatea Aeronautică Civilă Română: caa.ro
- ASPRS. *LAS Specification 1.4 — R15* (2019). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- ASPRS. *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*, ediția a 2-a (2023).
- Agisoft Metashape — manualul utilizatorului: agisoft.com
- Pix4D — documentație: support.pix4d.com

Modelul digital al terenului și software

- Autodesk — documentația AutoCAD și Civil 3D: help.autodesk.com
- 3D Space — documentația programelor TopoLT și ProfLT.
- Planșele proiectelor de amenajare a râurilor care intersectează Canalul Magistral Siret-Bărăgan, folosite ca exemple în Capitolul 5.

Răspunsuri la întrebările de autoevaluare

Încercați întâi să răspundeți singuri, apoi verificați aici. Răspunsurile sunt scurte; explicația completă se găsește în secțiunea indicată din fiecare capitol.

Capitolul 1 · Proiecții cartografice

1. Geoidul este suprafața echipotențială care aproximează nivelul mediu al mărilor — referința pentru altitudini. Elipsoidul este o suprafață matematică netedă, pe care se fac calculele geodezice și proiecțiile; geoidul nu poate fi descris printr-o formulă simplă (§1.1).
2. $H = h - \zeta = 245,30 - 37,10 = 208,20$ m (§1.1).
3. Păstrează unghiurile (forma locală). Unghiurile măsurate în teren rămân valabile în plan, deci calculele de coordonate sunt consistente cu măsurătorile (§1.3).
4. Stereografică oblică, conformă, plan secant; centrul 46° N, 25° E; $k_0 = 0,99975$; $X = Y = 500\,000$ m în centru; elipsoid Krasovski 1940, datum Pulkovo 1942(58) (§1.4).
5. Centrul este punctul 46° N, 25° E, la nord de orașul Făgăraș. Dealul Piscului este punctul fundamental al datumului din 1930 (numele istoric al datumului Stereo 70), nu centrul proiecției (§1.4).
6. $-0,25$ m/km (lungimile din plan sunt cu 25 cm/km mai mici); deformăția este zero pe cercul cu raza de $\approx 201,7$ km în jurul centrului (§1.4).
7. X este coordonata Nord (axa verticală), Y este coordonata Est (axa orizontală) (§1.5).
8. $\Delta X = 60,00$ m, $\Delta Y = 80,00$ m; $D = 100,00$ m; $\theta = \arctg(80/60) = 53,1301^\circ = 59,0334^\circ$, cadranul I (§1.5).
9. Ca toate coordonatele de pe teritoriul României să fie pozitive și ușor de gestionat (§1.5).
10. Sistemul național de altitudini (normale), raportat la nivelul mediu al Mării Negre determinat la maregraful din Constanța; rețeaua de nivelment a fost compensată în 1975 (§1.6).
11. GNSS dă coordonate ETRS89 pe elipsoidul GRS80, iar Stereo 70 folosește alt datum (Pulkovo 1942(58), elipsoid Krasovski) și o proiecție; transformarea oficială, cu grilă și model de cvasigeoid, se face cu RomGEO sau TransDatRO (§1.7).

Capitolul 2 · Stații totale

1. Funcțiile teodolitului și ale distanțometrului electronic (EDM). Măsoară simultan unghiuri orizontale, unghiuri verticale și distanțe; computerul integrat calculează coordonatele (§2.1).
2. Emite un fascicul de lumină sau laser, reflectat de țintă; distanța rezultă din timpul de propagare dus-întors ($D = c \cdot \Delta t / 2$) sau din diferența de fază dintre unda emisă și cea reflectată (§2.3.2).
3. $2\text{ mm} + 2 \times 1,2\text{ mm} = \pm 4,4\text{ mm}$ (§2.3.2).
4. Coordonatele punctelor (X, Y, Z), unghiurile și distanțele; se exportă pentru prelucrare în AutoCAD sau în software GIS (§2.3.3).
5. Corecția proprie fiecărui tip de prismă, aplicată distanței măsurate. O valoare greșită produce aceeași eroare sistematică pe fiecare distanță (§2.4).
6. Orientarea de 100° înseamnă direcția Est: $X_P = 1\,000,00 + 150,00 \cdot \cos 100^\circ = 1\,000,00$; $Y_P = 2\,000,00 + 150,00 \cdot \sin 100^\circ = 2\,150,00$ (§2.5).
7. Pentru că nu depind de semnalele GNSS: au nevoie doar de vizibilitate directă spre prismă (§2.6).
8. Monitorizarea deformărilor, trasarea proiectelor, cadastrul, construcția de drumuri și autostrăzi (§2.6).
9. Punctele măsurate formează DTM-ul, din care rezultă curbele de nivel și profilele; cu ele se stabilesc traseul și panta canalului, se calculează volumele de săpătură și se estimează costurile (§2.7).

Capitolul 3 · Măsurători GNSS

1. Global Navigation Satellite System — termen generic pentru sistemele de poziționare prin satelit: GPS (SUA), GLONASS (Rusia), Galileo (Uniunea Europeană) și BeiDou (China); se adaugă sistemele regionale QZSS (Japonia) și NavIC (India) (§3.1, §3.2).
2. Necunoscutele sunt coordonatele X, Y, Z și eroarea ceasului receptorului; patru necunoscute cer patru distanțe (§3.3).
3. $c \cdot \delta t \approx 300\,000 \text{ km/s} \times 0,5 \times 10^{-6} \text{ s} \approx 150 \text{ m}$ (§3.3).
4. Stația de bază, instalată într-un punct cunoscut, transmite corecții în timp real; roverul, mobil, le aplică și obține poziții cu precizie centimetrică (§3.4.3).
5. DGNSS corectează pseudodistanțele de cod și dă precizie submetrică; RTK folosește faza unde purtătoare și rezolvă ambiguitățile, cu precizie de 1–2 cm (§3.4).
6. Se reduc erorile comune zonei de lucru: întârzierile din atmosferă (ionosferă, troposferă) și erorile de orbită și de ceas ale sateliților. Rămân erorile locale ale roverului: multipath-ul și zgomotul receptorului (§3.4).
7. Pentru că orbitele lui au înclinare mare ($64,8^\circ$), iar sateliții urcă mai sus pe cer la latitudini mari (§3.2.2).
8. Rețeaua națională de stații GNSS permanente a ANCPI (74 de stații). Centrul de calcul generează o stație virtuală (VRS) lângă rover, iar corecțiile ajung prin internet mobil, cu protocolul NTRIP, în format RTCM (§3.5).
9. FLOAT: ambiguitățile nu sunt rezolvate, precizie decimetrică; FIX: ambiguitățile sunt rezolvate, precizie centimetrică. Punctele se măsoară numai în FIX, cu HRMS, VRMS și PDOP mici (§3.6).
10. Ridicări rapide pe suprafețe mari și DTM pentru proiectarea canalelor; nivelarea terenului cu ghidaj GNSS; monitorizarea deformărilor la diguri și canale (§3.7).
11. Punctele de sprijin se determină cu GNSS în zonele deschise de la margine, iar ridicarea sub coronament se face cu stația totală, care nu depinde de semnalele satelitare (§3.8).

Capitolul 4 · Tehnologii aeropurtate UAV

1. Un vehicul aerian fără pilot (dronă). Se folosesc multirotoarele, aripile fixe și dronele VTOL (§4.1, §4.2).
2. Pentru suprafețe mari (sute de hectare) și trasee lungi, când există spațiu de lansare și aterizare; multirotorul este potrivit pentru suprafețe mici și medii, spații înguste și senzori grei (§4.2).
3. O metodă de măsurare a coordonatelor bazată pe interpretarea imaginilor obținute de la înălțime. O singură imagine dă doar direcția spre un punct; din cel puțin două imagini suprapuse razele se intersectează, rezultând poziția 3D — suprapunerea este necesară reconstrucției 3D (§4.4).
4. $GSD = H \cdot p / f = 60 \text{ m} \times 2,4123 \mu\text{m} / 8,8 \text{ mm} = 1,64 \text{ cm}$ (§4.4.2).
5. $1 / ((1 - 0,75) \cdot (1 - 0,60)) = 1 / (0,25 \cdot 0,40) = 10$ imagini (§4.4.3).
6. Planificarea zborului: GSD-ul și altitudinea, benzile, suprapunerile, punctele de control la sol, verificările de dinaintea decolării (§4.5).
7. GCP intră în calcul și georeferențiază modelul; CP se măsoară la fel, dar nu intră în calcul — pe ele se verifică independent precizia produsului (§4.5, §4.7.7).
8. DSM descrie suprafața, cu acoperișuri și vegetație; DTM descrie terenul natural. DTM-ul se obține prin clasificarea norului: se păstrează doar punctele de sol (§4.7.5).
9. O imagine corectată geometric, în proiecție ortogonală, pe care se măsoară ca pe un plan. Fotografia brută este o proiecție centrală, în care obiectele înalte sunt deplasate radial ($d = r \cdot h / H$) (§4.7.6).
10. $RMSE_z = \sqrt{((9 + 4 + 1 + 16) / 4)} = \sqrt{7,5} = 2,74 \text{ cm}$ (§4.7.7).
11. Pentru că o parte din impulsurile laser trec printre frunze, iar ultimele ecouri ating solul: terenul de sub coronament este măsurat, nu interpolat ca în fotogrametrie (§4.8).

12. Costuri și timp reduse față de măsurătorile clasice și de survolurile cu avionul; acces fără risc în zone greu accesibile sau periculoase; acoperire mare cu detalii fine, pentru decizii mai bine fundamentate (§4.9).

Capitolul 5 · Modelul digital al terenului

1. O reprezentare tridimensională a suprafeței terenului, generată din date topografice colectate prin măsurători terestre, UAV și GNSS (§5.1).
2. DTM reprezintă terenul natural, fără vegetație și construcții; DSM include arborii, clădirile și tot ce se află pe teren. La proiectare se folosește DTM-ul (§5.1.1).
3. O colecție de puncte 3D care descriu suprafața terenului, obținută prin UAV cu LiDAR sau prin fotogrametrie; fiecare punct are coordonatele x, y și z (§5.2).
4. Linii care unesc punctele de pe teren cu aceeași altitudine; echidistanța este diferența de nivel dintre două curbe vecine (§5.3).
5. $p = 1 / 40 \times 100 = 2,5 \%$ (§5.3.2).
6. Profilul longitudinal urmărește traseul principal și arată variația altitudinii de-a lungul lui; profilul transversal este o secțiune perpendiculară pe traseu (§5.4.1).
7. Creează un punct jos în care apa stagnează și se depun sedimentele: canalul se colmatează, iar terenul din jur se înmlăștinește (§5.4.2).
8. $V = (5,20 + 6,00) / 2 \times 25 = 140,00 \text{ m}^3$ (§5.5).
9. Un add-on pentru AutoCAD, dezvoltat de 3D Space, pentru lucrul cu date topografice: generarea curbelor de nivel, profilele longitudinale și transversale, suprafețe și volume (§5.6.1).
10. Procesarea datelor topografice, generarea MDT-ului, curbele de nivel, analizele de pante și de curgere a apei, proiectarea rețelelor de irigații și drenaj și calculul volumelor de pământ (§5.6.2).
11. Prin compararea modelelor ridicate la momente diferite se identifică deformările terenului și modificările rețelei — colmatări, eroziuni, tasări — și se calculează volumele de decolmatat (§5.7).