

CERCETĂRI ȘI REZULTATE PRIVIND METODELE ȘI MODELELE GEOSPAȚIALE UTILIZATE PENTRU URMĂRIREA ÎN TIMP A CONSTRUCȚIILOR

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la
Universitatea Politehnica Timișoara
în domeniul de doctorat Inginerie Civilă și Instalații

autor: Ing. Adrian Alionescu

conducător științific: Prof.univ.dr.ing. Ion Costescu
luna Decembrie anul 2024

Teza de doctorat este structurată în opt capitole, care abordează diverse aspecte ale monitorizării construcțiilor în timp, inclusiv fundamentarea temei, analiza factorilor care influențează comportamentul structural, metodele avansate de urmărire a deformațiilor, studii de caz pentru monitorizarea lucrărilor de artă și infrastructurilor critice, precum și contribuțiile personale ale autorului în optimizarea proceselor de monitorizare.

Capitolul 1: Introducere

În cadrul acestui capitol se prezintă justificarea alegerii temei de cercetare, evidențiind obiectivele propuse, structura lucrării, precum și o analiză generală a monitorizării în timp a construcțiilor. În acest context, se pune accent pe integrarea principiilor dezvoltării durabile și a utilizării soluțiilor moderne de gestionare a informațiilor aferente construcțiilor, cum este tehnologia BIM (Modelarea Informatică a Clădirilor).

Primul capitol se concentrează pe siguranța în exploatarea construcțiilor, subliniind importanța durabilității și a protecției vieții umane. Este evidențiată necesitatea unei evaluări riguroase a stării tehnice a clădirilor, care implică analiza elementelor structurale, detectarea deformărilor și degradărilor, precum și luarea în considerare a factorilor externi precum solicitările seismice, variațiile climatice și încărcările dinamice generate de utilizare.

Analiza structurii este esențială pentru identificarea timpurie a problemelor, permițând intervenții prompte prin întreținere, consolidare sau reparații, astfel încât să fie prevenite riscurile majore. Solicitățile dinamice, cum ar fi cele seismice și vibrațiile, au un impact semnificativ asupra comportamentului structural pe termen lung, iar monitorizarea detaliată a acestor aspecte joacă un rol crucial în menținerea stabilității clădirii.

Tehnologia moderna surprinde inclusiv senzorii pentru monitorizarea vibrațiilor și deformațiilor contribuie la colectarea de date precise în timp real, care susțin decizii rapide și eficiente. Monitorizarea continuă și periodică, însoțită de analiza comportamentului materialelor, asigură prevenirea deficiențelor structurale și extinde durata de viață a construcțiilor.

De asemenea, în cadrul acestui capitol a fost introdusă și notiunea de BIM (Building Information Modeling). BIM este prezentat ca o tehnologie inovatoare care centralizează datele geometrice, fizice și

funcționale ale construcției într-un model digital tridimensional. Această metodologie facilitează colaborarea interdisciplinară și permite analiza comportamentului structural, energetic și de durabilitate pe toată durata ciclului de viață al clădirii. Utilizarea BIM aduce beneficii semnificative, precum reducerea erorilor, economisirea timpului și optimizarea costurilor.

Idei principale ale capitolului:

1. **Monitorizare continuă:** Identificarea timpurie a problemelor structurale contribuie la prevenirea deficiențelor și la menținerea siguranței.
2. **Tehnologii moderne:** Sistemele avansate de monitorizare oferă date precise pentru intervenții eficiente.
3. **Deformările structurale:** Acestea trebuie analizate constant pentru a evita avarii majore și a prelungi durata de exploatare.
4. **Planificarea monitorizării:** Un sistem bine structurat asigură durabilitatea și siguranța construcțiilor.
5. **Eficiența energetică și sustenabilitatea:** Reducerea consumului de resurse și utilizarea materialelor durabile sunt esențiale pentru o exploatare responsabilă.

Acest capitol subliniază necesitatea unei abordări integrate și multidisciplinare pentru asigurarea siguranței și durabilității construcțiilor, susținând utilizarea tehnologiilor moderne și a soluțiilor inovatoare.

Capitolul 2: Acțiuni fizice asupra construcțiilor

Acest capitol, analizează principalii factori ce trebuie monitorizați în evaluarea deformărilor și deplasărilor structurale. O înțelegere aprofundată și o gestionare adecvată a acestor fenomene sunt esențiale pentru menținerea integrității și siguranței construcțiilor pe termen lung. Printr-o monitorizare riguroasă și implementarea unor soluții tehnice eficiente, specialiștii în proiectare și inginerie pot preveni deteriorările structurale, asigurând funcționarea optimă a construcțiilor și protejând atât utilizatorii, cât și mediul înconjurător.

Stabilitatea construcțiilor reprezintă o preocupare centrală în ingineria civilă, necesitând gestionarea forțelor și influențelor fizice ce pot compromite integritatea structurală a clădirilor. Aceste acțiuni, statice sau variabile, sunt analizate riguros pentru a asigura durabilitatea și siguranța pe termen lung.

1. **Acțiuni statice:** Reprezintă forțele permanente, precum greutatea proprie și încărcările constante, care trebuie distribuite uniform pe fundații pentru a evita tasările și fisurile. Acestea necesită o analiză precisă în faza de proiectare.
2. **Acțiuni dinamice:** Include vibrațiile, traficul, mișcările industriale și vântul. Acestea pot cauza oboseala materialelor sau fisuri, fiind necesare soluții precum amortizoare de vibrații și structuri flexibile.
3. **Acțiuni seismice:** Cutremurele impun utilizarea structurilor flexibile, precum cadrele de oțel și beton armat, alături de măsuri precum rosturile de dilatație. Analiza riscurilor seismice locale este vitală.
4. **Acțiuni climatice:** Ploaia, vântul, zăpada și variațiile de temperatură necesită măsuri de protecție, cum ar fi izolația termică și hidrofulgă, pentru a preveni deteriorarea materialelor și suprasolicitarea structurii.

5. **Acțiuni termice:** Dilatarea materialelor cauzată de fluctuațiile de temperatură poate fi gestionată prin rosturi de dilatație și utilizarea materialelor rezistente la temperaturi extreme.
6. **Acțiuni de uzură:** Sarcinile aplicate de utilizarea zilnică degradează treptat materialele. Întreținerea regulată și inspecțiile periodice sunt esențiale pentru menținerea performanței clădirii.
7. **Acțiuni hidrologice:** Presiunea apei subterane, infiltrațiile și inundațiile pot afecta fundațiile, necesitând soluții precum drenajul eficient și hidroizolația.

Gestionarea acțiunilor fizice asupra construcțiilor este crucială pentru stabilitate și siguranță. Inginerii trebuie să aplice soluții avansate de proiectare și tehnologii moderne de monitorizare, alături de întreținerea periodică, pentru a prelungi durata de viață a clădirilor și a proteja utilizatorii și mediul înconjurător.

În cadrul acestui capitol sunt prezentate și regulile esențiale în proiectarea construcțiilor, punând accent pe aspecte precum calculul structural, alegerea materialelor de calitate, proiectarea anti-seismică, rezistența la factori climatici, integrarea măsurilor de întreținere și gestionarea întreținerii drumurilor. Calculul structural vizează evaluarea sarcinilor permanente, variabile și excepționale, conform normelor internaționale, pentru a asigura siguranța pe termen lung. Alegerea materialelor de calitate, testate și certificate, contribuie la durabilitatea construcțiilor, în timp ce proiectarea anti-seismică utilizează tehnologii moderne pentru a proteja structurile în zonele cu activitate seismică. Factorii climatici sunt abordați prin tehnici de izolație și drenaj eficiente, iar integrarea măsurilor de întreținere din faza de proiectare reduce costurile și frecvența intervențiilor ulterioare. De asemenea, întreținerea drumurilor este tratată prin soluții inovatoare, utilizarea materialelor durabile și un management integrat care optimizează resursele prin planificare preventivă și predictivă. Aceste principii asigură robustețea și sustenabilitatea construcțiilor și infrastructurilor

Spre finalul capitolului sunt abordate deformațiile și deplasările structurale, clasificate pentru a înțelege și gestiona impactul acestora asupra integrității și siguranței construcțiilor. Sunt analizate deformațiile axiale (tracțiune, compresiune), transversale (îndoire, torsiune), elastice și plastice, de încovoiere și forfecare, precum și deplasările diferențiale, seismice, datorate vibrațiilor, variațiilor termice și alunecărilor de teren. Aceste fenomene sunt esențiale pentru prevenirea avariilor și a colapsului, fiind necesare analize precise și soluții adaptate, cum ar fi armarea, izolarea seismică sau utilizarea rosturilor de dilatație, pentru a asigura durabilitatea și funcționalitatea construcțiilor.

Capitolul 3: Metode de urmărire în timp a deformațiilor construcțiilor

Acest capitol oferă o prezentare concisă a metodelor și instrumentelor utilizate pentru determinarea deplasărilor liniare și tridimensionale ale structurilor. Acesta abordează tehnici de monitorizare avansate și echipamente specializate, care permit măsurarea precisă și evaluarea comportamentului structural pe termen lung, asigurând o monitorizare eficientă a deformațiilor și contribuind la menținerea siguranței și stabilității construcțiilor.

Metode topo-geodezice pentru măsurarea deplasărilor și deformațiilor verticale

Capitolul prezintă metodele topo-geodezice utilizate pentru monitorizarea deplasărilor și deformațiilor verticale ale construcțiilor, punând accent pe tehnologiile moderne și pe precizia oferită de acestea.

Nivelmentul geometric de înaltă precizie, cunoscut și ca nivelment direct, este metoda de referință pentru determinarea diferențelor de nivel dintre puncte, datorită vizelor orizontale și preciziei ridicate. Aceasta este utilizată pentru măsurarea exactă a deplasărilor verticale, având aplicații variate, de la experimente pe modele reduse la monitorizarea structurilor mari, precum baraje și poduri. Nivelmentul geometric se remarcă prin fiabilitate, versatilitate și stabilitate pe termen lung, fiind ideal pentru urmărirea tasărilor și deformațiilor în timp.

Nivelmentul trigonometric de precizie oferă o alternativă practică, mai ales în zone inaccesibile sau pe distanțe mari. Bazându-se pe măsurarea unghiurilor și a distanțelor, această metodă este eficientă pentru construcțiile înalte sau greu accesibile, deși este mai vulnerabilă la erori atmosferice. Cu toate acestea, prin integrarea stațiilor totale și a tehnologiei GNSS, metoda asigură o precizie ridicată și o aplicabilitate extinsă.

Tehnologiile moderne, precum GNSS, LIDAR și dronele, au revoluționat monitorizarea deformărilor structurale. GNSS permite măsurători precise ale deplasărilor orizontale și verticale în timp real, fiind folosit în monitorizarea structurilor mari. LIDAR, prin scanarea laser, oferă modele 3D detaliate ale construcțiilor și permite analiza deformărilor și degradărilor cu o acuratețe remarcabilă.

În completare, **imagistica cu drone** furnizează date rapide și detaliate despre starea terenurilor sau a construcțiilor. Dronele echipate cu camere foto, senzori multispectrali sau LIDAR permit monitorizarea eficientă a zonelor greu accesibile, iar procesarea imaginilor generează modele digitale și hărți detaliate utile pentru analiza structurală.

Aceste metode, fiecare cu specificul său, contribuie la o monitorizare precisă și eficientă a construcțiilor, susținând siguranța și durabilitatea acestora pe termen lung. De asemenea pentru a putea realiza o urmărire eficientă în timp și a avea un timp de reacție cât mai scurt în situațiile critice este necesară și monitorizarea în timp real a structurilor.

Monitorizarea deformațiilor în timp real este o tehnologie avansată utilizată pentru măsurarea continuă și precisă a modificărilor de poziție, formă sau dimensiune ale structurilor pe parcursul exploatarei. Prin utilizarea senzorilor de înaltă precizie și transmiterea datelor către un sistem central, acest proces permite detectarea instantanee a schimbărilor structurale, asigurând stabilitatea și siguranța construcțiilor.

Sistemele de monitorizare includ senzori precum inclinometre pentru măsurarea înclinării, extensometre pentru detectarea tasărilor și deplasărilor, piezometre pentru monitorizarea presiunii apei în sol și senzori pentru fisuri și vibrații. Datele colectate sunt transmise prin cabluri sau wireless, analizate cu software specializat și pot declanșa alarme automate dacă se depășesc pragurile critice de siguranță.

Un avantaj major al monitorizării în timp real este intervenția promptă în cazul detectării unor probleme structurale, prevenind avarii majore sau chiar dezastre. Acest sistem este indispensabil în monitorizarea structurilor strategice precum barajele, podurile și turnurile de telecomunicații, unde chiar și deformările minore pot prevesti riscuri semnificative.

Echipamentele utilizate, de la extensometre și inclinometre la senzori pentru fisuri și accelerometre, contribuie la evaluarea precisă a stării structurale și geotehnice. De asemenea, ele sprijină luarea de măsuri proactive pentru asigurarea siguranței și optimizarea întreținerii construcțiilor.

Monitorizarea continuă oferă beneficii esențiale, precum prevenirea avariilor, creșterea siguranței, reducerea costurilor de reparații și planificarea optimă a întreținerii, bazată pe date reale. Aceasta joacă un rol crucial în proiectele unde integritatea structurală și siguranța publică sunt prioritare, asigurând durabilitatea infrastructurii și prevenirea dezastrelor.

Capitolul 4: Studii și cercetări pentru monitorizarea în timp a lucrărilor de artă de pe varianta ocolitoare a Municipiului Caransebeș

Acest capitol, prezintă în detaliu cercetările realizate în cadrul unui proiect de monitorizare a podurilor și pasajelor. Acesta include o analiză aprofundată a metodologiilor aplicate și a datelor colectate pentru evaluarea comportamentului structural al acestor lucrări de artă, evidențiind importanța monitorizării continue pentru asigurarea siguranței și durabilității acestora.

Necesitatea monitorizării în timp a obiectivului

Lucrarea, dată în exploatare în decembrie 2011, a întâmpinat probleme majore de stabilitate care au impus închiderea temporară și numeroase intervenții de reparații între 2012 și 2013. Printre acestea s-a numărat refacerea viaductului Valea Mică, situat la km 7+375. În contextul necesității de reparații repetate și a intensității traficului, s-a decis implementarea unui studiu topografic pentru monitorizarea comportamentului în timp al structurii, bazat pe un proiect tehnic dedicat.

Problemele identificate, incluzând fisuri, tasări și deplasări, au fost detaliate în procesele-verbale de recepție. De exemplu, la podul de la km 7+375 au fost solicitate expertize pentru evaluarea stabilității, iar terasamentele viaductelor Sebeș, Potoc și Valea Mare au fost refăcute și ranforsate, din cauza tasărilor semnificative. Viaductul Valea Mică, realizat cu tehnologia TERRE ARMEE, a prezentat cedări ale panourilor prefabricate și torsiuni ale grinzilor superioare, ceea ce a impus refacerea sa și inițierea unei monitorizări stricte.

Pentru implementarea programului de monitorizare a fost necesară elaborarea proiectului tehnic privind supravegherea obiectivelor incluse în acest program. Întocmirea proiectului tehnic de monitorizare presupune elaborarea unui plan detaliat pentru supravegherea comportării în timp a structurii, în vederea asigurării stabilității și siguranței lucrărilor. Acest proiect include:

Nr.	Etapă	Descriere
1.	Definirea obiectivelor de monitorizare	Stabilirea parametrilor cheie ce vor fi urmăriți, cum ar fi tasările, deplasările orizontale și fisurile structurilor.
2.	Selectarea metodelor de monitorizare	Alegerea tehnologiilor și metodelor adecvate pentru măsurători, precum utilizarea de echipamente topografice, senzori de deplasare, tehnici de fotogrammetrie.

3.	Planificarea amplasării echipamentelor	Identificarea punctelor critice ale structurii (culese, piloni, terasamente) unde vor fi amplasate echipamentele de monitorizare pentru a obține date relevante.
4.	Frecvența măsurărilor	Stabilirea unei frecvențe adecvate pentru colectarea datelor, în funcție de necesitățile structurii și riscurile identificate.
5.	Analiza și interpretarea datelor	Elaborarea procedurilor de colectare și interpretare a datelor de monitorizare, inclusiv utilizarea de modele analitice sau software pentru evaluarea comportamentului structural.
6.	Raportarea rezultatelor	Definirea formatului și frecvenței rapoartelor de monitorizare, care vor include evaluări periodice ale stării structurii și recomandări pentru eventuale intervenții.

În cadrul programului de monitorizare au fost incluse podurile SEBEȘ, la km 4+725, POTOȘ, la km 5+512, VALEA MARE, la km 7+107, precum și pasajul din pământ armat VALEA MICĂ, situat la km 7+375.

În ceea ce privește metodele de monitorizare selectate, am optat pentru utilizarea tehnicilor topo-geodezice, care au implicat efectuarea de măsurători ciclice de natură liniară (nivelment geometric de înaltă precizie) și unghiulară (nivelment trigonometric), bazate pe o rețea de puncte fixe amplasate în exteriorul construcției (terasamentului). Pentru realizarea rețelei de sprijin, au fost amplasate repere fixe în zonele situate în afara influenței directe a construcției, asigurând astfel o bază de referință stabilă pentru măsurători.

În cadrul cercetării, am inclus și planificarea detaliată a campaniilor de măsurători. Am propus o monitorizare desfășurată pe o perioadă de 2 ani, interval de timp în care au fost programate să se efectueze 7 cicluri de măsurători, structurate astfel:

- 3 campanii de măsurători au fost efectuate în primele 6 luni ale proiectului;
- 2 campanii de măsurători au fost realizate în următoarele 6 luni, finalizând astfel primul an de monitorizare;
- 2 campanii de măsurători au avut loc în cel de-al doilea an al proiectului, cu o frecvență de o campanie la fiecare 6 luni.

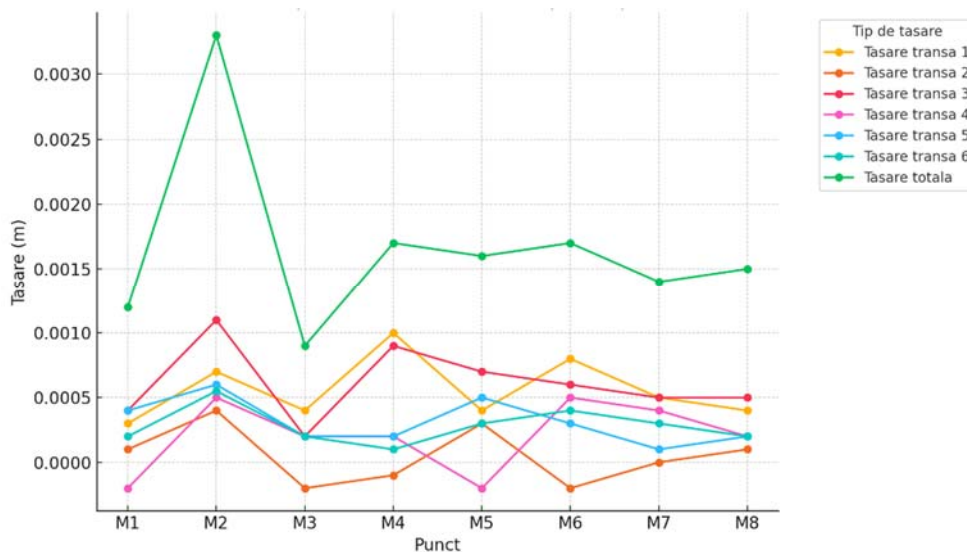


Fig.2. Evoluția trasărilor pe puncte și tranșee

De asemenea, a fost realizată analiza structurală a unui pod bazată pe imaginile capturate cu drona reprezintă aceasta fiind o tehnică modernă care combină metodele tradiționale de inspecție cu tehnologia avansată de procesare a imaginilor și reconstrucției digitale. Această metodologie permite evaluarea rapidă, sigură și detaliată a stării structurale, oferind informații esențiale pentru mentenanță, reabilitare sau planificarea extinderilor.

Analizând valorile obținute se observă că podul Sebeș are o stabilitate bună, diferențele regăsite se încadrează în toleranțele admise privind utilizarea în condiții de siguranță.

În urma prelucrării elementelor măsurate în teren se pot extrage următoarele concluzii referitoare la pasajul Valea Mică:

- La mărcile amplasate pe grinda parapet deformațiile verticale maxime sunt de 7.0 mm (marca M9), iar la baza pasajului sunt de 3.2 mm;
- Diferența de tasare între grinda parapet și baza pasajului (aprox. 4 mm), poate proveni din modul de distribuție a încărcărilor provenite din trafic;
- Deformațiile orizontale ale pasajului de pământ armat sunt ne semnificative, valoarea maximă măsurată fiind de 2mm;
- Analizând deformațiile orizontale și verticale apreciem că nu sunt probleme de stabilitate;
- Nu se impun recomandări pentru identificarea de soluții privind îmbunătățirea stabilității structurii.

De asemenea putem concluziona faptul că analiza structurală a unui pod bazată pe imagini capturate cu drona este un instrument esențial pentru inginerii civili, oferind informații detaliate și precise. Prin această metodă, se poate evalua cu exactitate starea actuală a structurii, se pot planifica lucrări de reabilitare și se pot preveni eventuale avarii critice, contribuind la siguranța și durabilitatea infrastructurii.

Capitolul 5: Modele aplicate la urmărirea deplasărilor pardoselilor și a elementelor structurii de rezistență pentru o construcție industrială

Acest capitol detaliază metodologia de monitorizare în timp a unei hale de producție (TMD FRICTION situată în municipiul Caransebeș, strada Vârful Gugu, nr. 1, județul Caraș Severin) situate într-o zonă cu risc din punct de vedere al stabilității terenului de fundare. Acest capitol descrie modelele aplicate pentru evaluarea deplasărilor pardoselii și a elementelor structurale de rezistență, oferind o analiză sistematică a comportamentului structural pe termen lung, cu scopul de a asigura siguranța și funcționarea optimă a construcției în condiții de risc geotehnic.

Lucrarea a fost solicitată de beneficiar în urma constatării fisurilor în pardoseala halei și a vestiarelor, care ar fi putut afecta activitatea de producție. Pentru identificarea cauzelor, s-a realizat o expertiză tehnică asupra pardoselii din beton, completată de studii geotehnice și de vibrații. De asemenea, s-a impus monitorizarea topografică a deplasărilor verticale ale pardoselii și ale elementelor structurale pentru a evalua stabilitatea halei în timp.

Au fost realizate și măsurători de vibrații, și pentru a asigura funcționarea optimă, se recomandă ajustarea frecvenței de funcționare a mașinii astfel încât să fie în afara domeniului de rezonanță. Aceasta contribuie la reducerea vibrațiilor și la prelungirea duratei de viață a componentelor critice ale echipamentului, promovând stabilitatea și eficiența sistemului.

Monitorizarea pardoselilor industriale prin metode topografice este esențială pentru detectarea deplasărilor și menținerea siguranței structurale. Nivelmentul geometric de precizie este frecvent utilizat pentru măsurarea variațiilor verticale pe suprafețe mari, oferind date exacte despre deformări milimetrice. Precizia măsurătorilor este crucială, erorile acceptabile variind în funcție de tipul construcției și terenului. În condiții de deformații rapide, este necesară o acuratețe ridicată pentru o evaluare promptă. Observațiile realizate periodic pot admite cerințe mai relaxate, dar construcțiile sensibile sau de mari dimensiuni necesită măsurători extrem de precise.

În urma analizei fisurilor existente și a datelor furnizate de studiul geotehnic și de cel de vibrații, am decis să implementăm un proces de monitorizare structurat în 5 etape de măsurători desfășurate pe parcursul unui an. Această abordare ne-a permis să evaluăm detaliat și continuu evoluția posibilelor degradări structurale.

Pentru monitorizarea deplasărilor verticale în pardoseala halei, s-a utilizat metoda nivelmentului geometric de mijloc cu nivela digitală LEICA DNA 03 și stadia de invar GPCL2, recunoscute pentru precizia ridicată (0.3 mm/km) și rezoluția de măsurare de 0.01 mm. Echipamentul permite afișarea în timp real a cotelor și înregistrarea datelor pentru prelucrare ulterioară.

Procesul a inclus măsurători sistematice, prelucrarea datelor pentru calcularea deplasărilor și verificarea stabilității reperilor, urmată de elaborarea documentației. Pentru a asigura acuratețea, s-au efectuat două drumuri de nivelment: una principală și una secundară, pentru a elimina erorile ce pot apărea din cauza suprafeței mari a halei.

În urma măsurătorilor efectuate pe teren și a prelucrării ulterioare a datelor în birou, s-au constatat următoarele:

- **Marcile de tasare** amplasate pe elementele structurii de rezistență au înregistrat modificări pe parcursul ciclurilor de măsurători. Cea mai mare valoare a tasării a fost observată la Marca L11, aceasta fiind de **9,2 mm**.
- **Tasările determinate pentru buloanele amplasate în pardoseală** prezintă valori comparabile, ca ordin de mărime, cu cele obținute pentru mărcile de tasare amplasate pe stâlpi.

Aceste rezultate evidențiază o consistență a fenomenelor de tasare între diferitele puncte de monitorizare ale structurii.

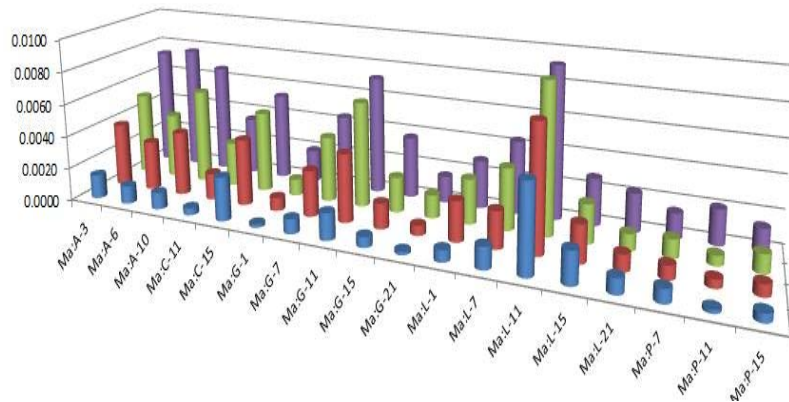


Fig. 3. Reprezentarea tasărilor sub forma grafică

Pe baza datelor obținute, s-a întocmit un raport de expertiză tehnică în care a fost propusă consolidarea pardoselii prin utilizarea tehnicii de injectare. Această soluție presupune realizarea injecțiilor atât în zonele adiacente rosturilor, cât și în vecinătatea fundațiilor, pentru a asigura creșterea capacității portante și stabilitatea structurală.

După finalizarea etapei de consolidare, au fost realizate trei cicluri suplimentare de măsurători topografice, având ca obiectiv principal monitorizarea și evaluarea evoluției tasărilor în noile condiții structurale și geotehnice generate de lucrările efectuate.

În urma măsurătorilor suplimentare s-a constatat:

- Mărcile de tasare amplasate pe elementele structurii de rezistență (stâlpi) au suferit modificări pe perioada derulării ciclurilor de măsurători, cea mai mare tasare fiind înregistrată la Marca A10, având valoarea de 2,6 mm;
- Pentru buloanele amplasate în pardoseala de la parter, situația tasărilor este asemănătoare ca ordin de mărime cu valorile determinate la mărcile de pe stâlpi. Valoarea maximă determinată la bulonul B1 1 (1,6 mm);
- Toți reperii monitorizați în zonele consolidate au deplasări nesemnificative.
-

Având în vedere evoluția în timp a deformațiilor pardoselii și a structurii de rezistență, se apreciază că tasările s-au stabilizat după realizarea soluțiilor de consolidare prin injecții ale terenului de fundare și se poate trece la elaborarea unui proiect de consolidare generală a pardoselilor și fundațiilor construcției.

Capitolul 6: Analiză topografică de înaltă precizie pentru sistemele de vane de la ecluza Porțile de Fier 1

Acest capitol prezintă studiul realizat în cadrul proiectului de re tehnologizare a ecluzei. Acest capitol evidențiază avantajele utilizării tehnologiei de scanare laser, care permite achiziționarea unui volum semnificativ de date precise, chiar și în condiții dificile de lucru. Tehnologia de scanare laser a demonstrat o eficiență ridicată în colectarea detaliilor topografice esențiale pentru reabilitarea ecluzei, contribuind astfel la optimizarea procesului de re tehnologizare și la îmbunătățirea acurateței datelor.

În anul 2006 a început procesul de reabilitare a ecluzei românești de pe malul stâng dar acest proces a fost întrerupt o perioadă de timp el fiind reluat în urmă cu aproximativ 2 ani.

Obiectul lucrării implică înlocuirea construcției metalice, reabilitarea componentelor înglobate din nișa vane aferente acestei vane segment, reabilitarea ecranului de protecție din nișa vanei, împreună cu piesele înglobate asociate acestuia, și reabilitarea ramei de protecție. Nișa vanei este situată în zona batardoului aval de la Cap Intermediar.

Pentru măsurători, s-au utilizat metoda radierii, metoda coordonatelor rectangulare și scanarea laser, adaptate la cerințele de precizie impuse. Echipamentele alese au inclus stația totală Leica TS15 pentru măsurători topografice și scannerul API Imager PRO 5010 pentru scanarea laser, asigurând date precise și detaliate. Cea mai mare provocare a fost identificarea pozițiilor de scanare pentru a respecta precizia solicitată, având în vedere dificultățile de acces în interiorul vanei și instabilitatea echipamentului de scanare pe macara. Soluția a fost realizarea scanărilor din cinci poziții diferite, dintre care trei în exteriorul vanei și două în interior, în dreptul șinelor de ghidaj.



Fig.4. Scanare realizată în interiorul vanei

Numărul mare de puncte achiziționate 283.952.960 a permis și generarea unui model tridimensional (3D). Utilizarea modelului 3D obținut prin scanarea laser aduce avantaje semnificative în analiza deformațiilor unui obiect, în special datorită densității ridicate a punctelor achiziționate și a preciziei

acestei tehnici. Modelul rezultat reprezintă o replică virtuală foarte detaliată a obiectului studiat, oferind astfel o bază solidă pentru evaluarea și monitorizarea deformărilor în diverse faze ale exploatării.

În concluzie, modelul 3D obținut prin scanare laser este un instrument avansat și eficient pentru analiza deformărilor structurale, oferind o monitorizare precisă și rapidă, ce contribuie la prelungirea duratei de viață a obiectivelor. Comparativ cu metodele tradiționale, scanarea laser reduce timpul de colectare și interpretare a datelor, economisind resurse și minimizând opririle operaționale. Pentru structuri complexe sau greu accesibile, cum ar fi vanele, scanarea terestră bazată pe tehnologia LiDAR este esențială. Totuși, sunt câteva provocări tehnice de gestionat, precum poziționarea stațiilor de scanare, georeferențierea norilor de puncte și asigurarea densității și preciziei ridicate a datelor. Limitările, cum ar fi vizibilitatea redusă sau reflexia materialelor, pot afecta calitatea datelor. Cu o planificare adecvată și utilizarea echipamentelor corespunzătoare, scanarea terestră poate oferi rezultate extrem de precise pentru analiza și monitorizarea structurilor complexe.

Capitolul 7: Model de analiză spațială pentru monitorizarea în timp a unei structuri rutiere inovative

Acest capitol prezintă un model de bune practici utilizat pentru monitorizarea în timp a mai multor sectoare de drum. Prin combinarea metodelor topografice convenționale cu tehnici moderne de măsurători, cum ar fi fotogrametria și scanarea laser terestră, s-a asigurat o precizie ridicată a datelor colectate și o vedere de ansamblu asupra întregii zone studiate.

În acest cadrul astui studiu a fost realizată monitorizarea comportamentului Drumurilor din Satul Ohaba-Forgaci și Tronsonul Ohaba-Forgaci – Boldur studiu, unde a fost realizată analiza comportamentului unor sectoare de drumuri situate în intravilanul satului Ohaba-Forgaci, județul Timiș, precum și un tronson de drum între localitățile Ohaba-Forgaci și Boldur. Analiza a fost necesară după modernizarea acestor drumuri, realizată prin implementarea unei structuri rutiere de tip macadam, care include un liant ce contribuie la consolidarea și creșterea rezistenței drumului. Structura de macadam este tot mai des utilizată în zonele cu trafic intens, cum ar fi cele în care se exploatează utilaje agricole grele, caracteristică regiunilor nordice.

Pentru realizarea acestui proiect, am folosit o gamă variată de metode și tehnologii moderne de măsurători topografice, care asigură o evaluare detaliată și precisă a comportamentului drumurilor pe termen lung. Printre tehnologiile implementate se numără:

- **Nivelmentul geometric de mijloc** – pentru măsurători precise ale diferențelor de nivel;
- **Nivelmentul trigonometric** – utilizat pentru determinarea altitudinilor prin măsurarea unghiurilor verticale;
- **Tehnologia GNSS** – pentru localizarea și măsurarea coordonatelor precise;
- **Scanarea laser terestră** – o metodă avansată de colectare a datelor tridimensionale, care asigură o cartografiere detaliată a terenului;
- **Fotogrametria digitală** – utilizată pentru reconstrucția tridimensională a obiectelor și suprafețelor pe baza imaginilor digitale.

În cadrul studiului, s-au aplicat atât metode tradiționale, cât și tehnici moderne de măsurători topografice. Într-o primă fază, au fost utilizate metodele topografice clasice, cum ar fi măsurătorile cu stația totală și

nivelmentul geometric, pentru a stabili pozițiile punctelor de control și pentru a obține un model inițial al drumului. Aceste date au fost esențiale pentru stabilirea unei baze de comparație pentru măsurătorile ulterioare și pentru detectarea modificărilor structurale care pot apărea în timp.

Un pas important în procesul de monitorizare a fost utilizarea fotogrametriei digitale, care permite obținerea de imagini aeriene detaliate ale tronsoanelor de drum studiate. Fotogrametria oferă o imagine de ansamblu a drumurilor, fiind utilă pentru evaluarea vizuală a deformărilor, fisurilor sau altor neregularități care pot apărea pe parcursul exploatării drumurilor. Aceasta permite obținerea unor imagini periodice, facilitând detectarea schimbărilor apărute în timp.

Pentru a crește și mai mult precizia măsurătorilor, am utilizat scanarea laser terestră, o tehnologie avansată care captează un număr foarte mare de puncte de date într-un timp scurt, cu o densitate de până la un milion de puncte pe secundă. Scanarea laser a permis realizarea unor modele 3D ale drumurilor, oferind o analiză detaliată a suprafeței și structurii acestora. Această tehnologie este esențială pentru detectarea micilor modificări care pot prevesti deformări mai grave pe termen lung.

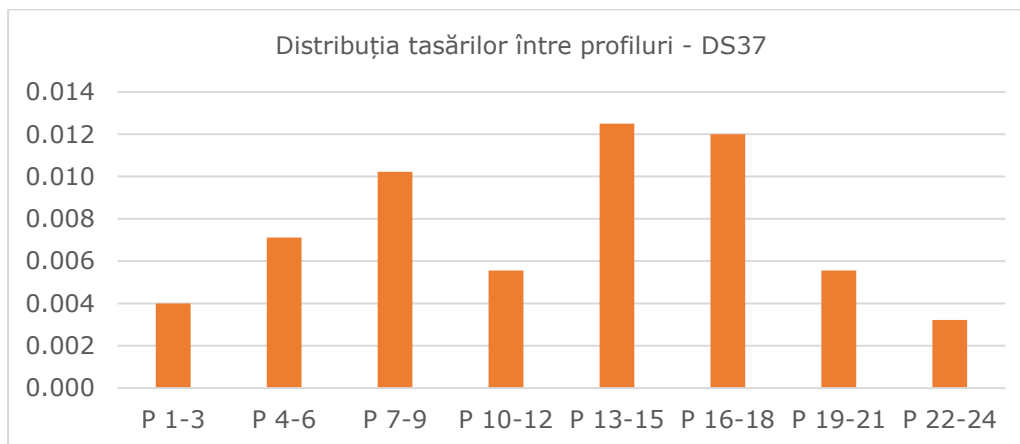


Fig.4. Diagrama distribuției tasărilor pe unul din tronsoanele de la Ohaba-Forgaci

Unul dintre principalele avantaje ale acestui studiu a fost utilizarea unei abordări integrate, în care datele obținute printr-o metodă au fost validate și corelate cu cele obținute prin alte metode. Această abordare a crescut fiabilitatea rezultatelor și a redus riscurile de erori. Astfel, am reușit să realizăm o monitorizare riguroasă și detaliată a structurilor rutiere, oferind o evaluare corectă a stării drumurilor din zonele studiate.

În concluzie, utilizarea unei combinații de metode tradiționale și tehnologii moderne a permis realizarea unei analize precise și detaliate a drumurilor din satul Ohaba-Forgaci și tronsonul Ohaba-Forgaci – Boldur. Prin implementarea scanării laser terestre, fotogrametriei digitale și altor tehnici avansate, am obținut date de înaltă precizie, esențiale pentru monitorizarea stării structurale a drumurilor pe termen lung. Aceste metode vor contribui semnificativ la evaluarea comportamentului drumurilor și la prevenirea eventualelor deformații majore care ar putea apărea în viitor.

Capitolul 8: Concluziile generale

Capitolul prezintă concluziile formulate pe baza cercetărilor efectuate în cadrul proceselor de monitorizare a obiectivelor analizate, evidențiind contribuțiile originale ale autorului. De asemenea, capitolul detaliază modul în care rezultatele obținute din cercetare au fost valorificate, subliniind impactul acestora asupra îmbunătățirii metodelor de monitorizare și a aplicabilității lor în practică. Monitorizarea comportamentului construcțiilor este esențială pentru reducerea riscurilor asociate stărilor limită, care pot afecta atât funcționalitatea, cât și siguranța acestora. Riscurile includ pierderea capacității de a satisface cerințele de exploatare și apariția unor pericole pentru siguranța oamenilor și bunurilor. Prin urmare, este crucial să se monitorizeze din timp deformațiile și deplasările structurale care pot semnala pierderea stabilității.

Tehnologiile topo-geodezice moderne sunt esențiale pentru urmărirea evoluției construcțiilor, iar aplicațiile acestora includ măsurarea tasărilor, deplasărilor orizontale și înclinațiilor. Aceste tehnologii, mai ales cele automatizate, permit evaluarea precisă a comportamentului construcțiilor și detectarea timpurie a fenomenelor de instabilitate.

Fenomenul de tasare sau deplasare orizontală nu este întotdeauna un semnal de alarmă, dar atunci când valorile măsurate depășesc valorile preconizate, este necesară o analiză detaliată. Un program de monitorizare a tasărilor este crucial pentru asigurarea funcționării optime și sigure a unei construcții pe termen lung. Fără o monitorizare adecvată, pot apărea riscuri ce pot afecta durata de viață a construcției și siguranța utilizatorilor.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Adrian Alionescu, Ioan Sorin Herban, Clara-Beatrice Vîlceanu, Cosmin Constantin Mușat - Mathematic Interpolation Methods - Support for an Efficient 3D Modeling of Landslides in the Context of Displacements Monitoring, AIP Conference Proceedings 1648, 670002 (2015); DOI: 10.1063/1.4912897, pp. 67002-1-67002-4
- [2] Adrian Alionescu, Sorin Herban, Carmen Grecea, Clara-Beatrice Vîlceanu - Comparative study of TLS and digital photogrammetry for 3D modeling of the Martyr's cross monument, Proceedings of IGIT 2015, International Conference, Integrated geo-spatial information technology and its application to resource and environmental management towards GEOSS, ISBN 978-963-334-211-4, pp. 94-99, Publisher: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron
- [3] Arsene, C. (2005). Comportarea în timp a construcțiilor situate în zonele de exploatare a zăcămintelor de sare. Urmărirea comportării în timp prin metode geodezice, Zilele Academice Timișene, Universitatea „Politehnica” din Timișoara, pp. 509-514.
- [4] Brebu F.M. (2011) – Contribuții privind evaluarea topo-geodezică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Teză de Doctorat, Editura Politehnica, Timișoara.
- [5] Brebu F.M., Bălă A.C. (2011) – Monitoring of special construction using 3D laser scanning, Buletinul Științific al Universității „Politehnica” din Timișoara, Seria Hidrotehnica, ISSN 1224-6042, vol. 2, pp. 71-75
- [6] Clara-Beatrice Vîlceanu, Sorin Herban, Adrian Alionescu, Cosmin Mușat - Processing of environmental data using Digital Terrain Models for the western part of Romania, Proceedings of

- “15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015”, ISSN 1314-2704, Vol. II, Geodesy & Mine Surveying, Cartography & GIS, DOI:10.5593/sgem2015B22, pp. 1043-1051
- [7] Coșarcă C. (2009) - Sisteme de măsurare în industrie, Editura Conpress, București, ISBN 978-973-100-077-0.
- [8] Coșarcă C., Sărăcin A., Dragomir P.I., Docan D.C., Clinci T.S. (2014) - Măsurători geodezice inginerești, Editura Conpress, București, ISBN 978-973-100-326-9, pp. 183.
- [9] Cristescu N. (1978) – Topografie inginerească, Editura Didactică și Pedagogică, București.
- [10] Florea, Alunecări de teren și taluze. Editura Tehnică, București - 1979
- [11] Grecea C., Rusu G., Mușat C., Moscovici A.-M. (2013) - Challenges in Implementing the Systematic Land Registration in Romania, 1st European Conference of Geodesy and Geomatics Engineering (GENG '13), Recent Advances in Geodesy and Geomatics Engineering, Antalya, Turcia, ISBN 978-960-474-335-3; ISSN: 2227-4359, pp. 98-106.
- [12] Grecea C., Sturza M., Mușat C. (2009) – Elemente de măsurători terestre, Vol. 1, Ediție Revizuită, Editura Politehnica, Timișoara.
- [13] Haida V., Marin M., Mirea M. (2004) – Mecanica pământurilor, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara.
- [14] Herban I.S. (2006) - Contribuții la aplicarea metodelor topografice la studiul și urmărirea deplasărilor construcțiilor și ale terenului, Teză de Doctorat, Editura Politehnica, Timișoara.
- [15] Herban S., Grecea C., Rusu G., Alionescu A. (2014) - Evaluation of structure deformation using geodetic methods, 2nd European Conference of Geodesy & Geomatics Engineering (GENG '14), Advances in Environmental Development, Geomatics Engineering and Tourism, Brașov, România, ISBN: 978-960-474-385-8; ISSN: 2227-4359; pp. 157-162.
- [16] Herban, S. - Aplicarea metodei elementelor finite în cazul măsurării și urmării deformațiilor construcțiilor și terenului, Simpozion Internațional GeoCAD, Alba Iulia, 2005
- [17] Herban, S. - Aplicarea metodelor topografice la studiul și urmărirea deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Referat Doctorat, 2000
- [18] Herban, S. Modele de determinare a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Zilele Academice Timișene - 2004
- [19] Herban, S. Procedee și metode topografice de urmărire a tasării construcțiilor - Zilele Academice Timișene - 2001
- [20] Iacobescu O., Barnoaiea I. (2014) - Topografie – Note de curs pentru învățământul la distanță, Partea I, Universitatea „Ștefan cel Mare” Suceava, Facultatea de Silvicultură.
- [21] Legea nr. 10/1995 privind calitatea în construcții - Normativ privind urmărirea comportării în timp a construcțiilor, indicativ P 130-2023
- [22] Manea G., Călin A. (2005) - Caracteristicile fotogrametriei digitale în raport cu cea analogică și cu cea analitică, Simpozionul Științific Internațional de Cadastru GeoCAD Alba-Iulia, RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre, nr. 5, pp. 301-310.
- [23] Mușat C.C. (2006) – Contribuții privind stabilirea tasărilor și deformațiilor construcțiilor utilizând metode și tehnici topo-geodezice moderne, Teză de Doctorat, Editura Politehnica, Timișoara.
- [24] Neamțu M., Onose D., Neuner J. (1988) – Măsurarea topografică a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor, Institutul de Construcții București.
- [25] Neamțu, M. - Determinarea deplasărilor orizontale ale construcțiilor prin metode geodezice - Referat Doctorat, 1971

- [26] Normativ I.N.C.E.R.C. - Normativ pentru determinarea tasărilor construcțiilor civile și industriale prin metode topografice C 61-64
- [27] Normativul privind proiectarea clădirilor de locuințe (revizuire NP 016-96), indicativ NP 057-02 din 24.09.2002
- [28] Nuttens T., De Wulf A., Bral L., De Wit B., Carlier L., De Ryck M., Stal C., Constaes D., De Backer H. (2010) – High Resolution Terrestrial Laser Scanning for Tunnel Deformation Measurements, FIG Congress 2010: Facing the Challenges – Building the Capacity, Sydney, Australia, pp. 2.
- [29] Ortelecan, M., Pop, N. (2005). Metode topografice de urmărire a comportării construcțiilor și terenurilor înconjurătoare, Editura AcademicPres, Cluj-Napoca, ISBN 973-7950-99-2.
- [30] Ordin 847/02.06.2014 - Procedura privind activitățile de control efectuate pentru aplicarea prevederilor legale privind urmărirea curentă și specială a comportării în exploatarea construcțiilor - indicativ PCU 004, Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice, București, 2014
- [31] Palamariu, M., Popa, A. (2008). Urmărirea comportării terenurilor și construcțiilor, Seria Didactică, Universitatea „1 Decembrie 1918” Alba Iulia.
- [32] Perfecționarea metodelor de lucru și a tehnologiilor în topografia inginerească. București, 1979
- [33] Paul Zdrenghea, Vîlceanu Clara-Beatrice, Sorin Herban, Adrian Alionescu - Using the laser scanning for conservation of Cultural Heritage buildings, International Conference on Numerical Analysis And Applied Mathematics 2022, ICNAAM-2022, Volume 3094, DOI: 10.1063/5.0213285
- [34] Radu Teșilă, Georgiana Rusu, Beatrice Vîlceanu, Adrian Alionescu - Targeting Displacements' Monitoring of Constructions through Mathematical Methods, AIP Conference Proceedings 1738, 350010 (2016); DOI: 10.1063/1.4952133, pp. 350010-1 - 350010-4
- [35] Rusu G. (2016) – Contribuții privind urmărirea în timp a deplasărilor și deformațiilor construcțiilor prin metode topo-geodezice, Seria 18, Nr. 2, Editura Politehnica, Timișoara, ISSN: 2393-4816, ISBN: 978-606-35-0048-0
- [36] Rusu G., Mușat C.C. (2012) - Modern concepts of 3D modeling in geodetic works, RevCAD Journal of Geodesy and Cadastre, vol. 13, pp. 137-146.
- [37] Rusu G., Mușat C., Costescu I. (2015) - Considerații privind urmărirea în timp a comportării construcțiilor utilizând metode topo-geodezice moderne, Zilele Academice Timișene, ediția a XIV-a, Simpozion "Drumul și mediul înconjurător", Timișoara, Editura Solness Timișoara, ISSN 2247-3807, pp. 181-189.
- [38] S.I. Herban, C.-B. Vîlceanu, A. Alionescu, C. Grecea - Studying the movement of buildings and developing models to determine real settlements, Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), Vol. 15, No. 2 (2014), pp. 789-797, ISSN 1311-5065
- [39] STAS 2745 - 69 - Urmărirea tasării construcțiilor prin metode topografice
- [40] Sternberg H. (2006) - Deformation measurements at historical buildings with terrestrial laser scanners, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI, Part 5, Dresden, pp. 303-308.
- [41] Sturza M., Novac G., David V., Herban I.S., Baci A. (2007) – Elemente de măsurători terestre, Vol. 2, ISBN: 978-973-625-377-5, Editura Politehnica, Timișoara.
- [42] Udrea F. (2011) - Managementul riscurilor de mediu, Universitatea Spiru Haret București, Editura Uffman, ISBN 978-606-8222-68-4.
- [43] Ursea, V. - Topografie aplicată în construcții. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1974

- [44] Vîlceanu C.B. (2014) - Utilizarea tehnologiilor geodezice moderne pentru monitorizarea, prelucrarea și analiza unor alunecări de teren și construcții din pământ armat, Teză de Doctorat, Editura Politehnica Timișoara, ISSN: 1842-581X, ISBN: 978-606-554-754-4.
- [45] Vîlceanu C.B., Bălă A.C. (2013) - Crearea modelului digital al terenului utilizând tehnologia de scanare laser terestră pentru alunecarea de teren – drum de acces între localitatea Orșova și platoul Topleț, culmea Dranic, județul Mehedinți, Revista Română de Inginerie Civilă, Vol. 4, Nr. 2, Editura Matrix Rom, pp. 131-141.
- [46] <https://ecosynergy.ro/blog-impactul-cladirilor-asupra-mediului-solutii-eficiente-pentru-reducerea-efectului-negativ/>
- [47] https://en.wikipedia.org/wiki/Error_analysis_for_the_Global_Positioning_System
- [48] <https://gamasfaltari.ro/avantajele-asfaltului-modificat-cu-polimeri/>
- [49] <https://galkanepi.com.br/leica-tcrp1205-r300-geoprema-A4302211>
- [50] <https://geoprema.com/wp-content/uploads/2020/04/Leica-TCRP1205-R300-1.jpg>
- [51] <https://infraser.ro/drumuri/importanta-intretinerii-preventive-a-drumurilor-economii-pe-termen-lung/>
- [52] <https://link.springer.com/article/10.1007/s12524-022-01494-y>
- [53] <https://masuratori-terestre.blogspot.com/p/nivelmentul.html>
- [54] <https://pdfcookie.com/documents/nivelment-geometric-nj2614p3nrl4>
- [55] <https://rompos.ro/index.php/informatii-tehnice/utilizare-si-aplicatii>
- [56] <https://sisirl.com/survey-equipment-product/leica-gmp111-0-mini-prism/>
- [57] <https://sisirl.com/wp-content/uploads/2018/01/GMP111-0-Mini-Prism.png>
- [58] https://skygrid.ro/image/cache/catalog/NEW/Mira_leica_GPCL2_11-1000x1000-1000x1000.jpeg
- [59] <https://static.machinetools.com/uploads/1917172/galaxyD-view1-zoom-600px.png>
- [60] <https://www.3dlasermapping.com/zeb1-indoor-mapping>
- [61] <https://www.anpm.ro/dezvoltare-durabila>
- [62] <https://www.environmental-expert.com/products/api-model-imager-pro-c-high-speed-laser-scanning-276301>
- [63] <https://www.geosense.com/product-category/extensometers/>
- [64] <https://www.geosense.com/product-category/inclinometers/>
- [65] <https://www.geosense.com/product-category/piezometers/>
- [66] <https://www.geosense.com/product-category/tilt-sensors/>
- [67] <https://www.geosense.com/products/geologger-cr-series/>
- [68] <https://www.geosense.com/wp-content/uploads/2021/04/DigitalTapeExtensometerManualV1.0.pdf>
- [69] <https://www.geosense.com/wp-content/uploads/2021/05/MEMS-Tilt-Meter-Beam-Application-Guide-V1.2.pdf>
- [70] <https://www.giscad.ro/aparat/trimble-dini/>
- [71] https://www.giscad.ro/wp-content/uploads/2022/03/Dini_studio_back_right_3151-removebg-preview.png
- [72] <https://www.indiamart.com/proddetail/dji-phantom-4-pro-v2-0-drone-camera-23546097555.html>
- [73] https://www.mdipa.ro/userfiles/cod_proiectare_seismica.pdf
- [74] <https://www.mpifma.ro/tehnologia-bim-ce-este-si-avantaje/>
- [75] <https://www.planradar.com/ro/ce-este-bim/>

- [76] https://www.researchgate.net/figure/Real-time-kinematic-RTK-GNSS-El-Mowafy-2000_fig1_49662751
- [77] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224121012665>
- [78] <https://www.sccssurvey.co.uk/aerial-photography-target-aerial-photography-target.html>
- [79] https://www.sccssurvey.co.uk/media/catalog/product/cache/eb4d4766e44c6b2bf836cfeffa662e43/d/_d_13-lp500-1.jpg
- [80] <https://www.terre-armee.com/reinforced-earth/retaining-walls/>
- [81] <https://www.tokopedia.com/adigtc/trimble-dini-level-accuracy-0-3-0-7-digital-level-automatic-leveling?extParam=whid%3D15029366>
- [82] <https://www.tualcom.com/what-is-gnss/>
- [83] <https://ro.scribd.com/doc/35584776/Deformabilitatea-metalelor-%C5%9Fi-aliajelor>
- [84] <https://ro.scribd.com/document/614574054/Building-Information-Modeling-CDE-BIM>
- [85] <http://masuratori-terestre.blogspot.ro/p/nivela.html>
- [86] <https://ecosynergy.ro/blog-impactul-cladirilor-asupra-mediului-solutii-eficiente-pentru-reducerea-efectului-negativ/>
- [87] <https://www.anpm.ro/dezvoltare-durabila>
- [88] <https://www.geosense.com/wp-content/uploads/2021/05/MEMS-Tilt-Meter-Beam-Application-Guide-V1.2.pdf>
- [89] <https://www.planradar.com/ro/ce-este-bim/>
- [90] <https://www.mpifma.ro/tehnologia-bim-ce-este-si-avantaje/>