

DEPARTAMENTUL DE GEOGRAFIE FIZICĂ ȘI TEHNICĂ
FACULTATEA DE GEOGRAFIE UNIVERSITATEA BABEȘ-BOLYAI

Cercetări de geomorfologie aplicată pe
infrastructura rutieră.
Studiu de caz autostrada Transilvania

Rezumatul Tezei de doctorat

Coordonator științific: Prof. univ. Dr. Virgil Surdeanu

Doctorand: Ștefan Buimagă-Iarinca

2012

Cuprins

Cuvinte cheie.....	5
1. Motivația, obiectivul și importanța studiului	6
2. Istoricul cercetărilor de geomorfologie aplicată în România	7
2.2. Geomorfologia aplicată în urbanism și amenajare teritorială.....	7
2.3. Geomorfologia aplicată în agricultură și îmbunătățiri funciare	8
2.4. Geomorfologia aplicată în hidrologie și amenajări hidrotehnice	9
2.5. Geomorfologia aplicată în studiul hazardelor și riscurilor	10
2.6. Geomorfologia aplicată în transporturi și căi de comunicații	10
3. Metodologia și tehnicile aplicate în cadrul lucrării.....	11
3.1. Introducere	11
3.2. Metoda cartografică pe teren și laborator.....	11
3.3. Analiza statistică a seriilor de timp și datelor de laborator	12
3.4. Analiza granulometrică a depozitelor fluviale	12
3.5. Analiza stratigrafică și geotehnică a depozitelor deluviale	12
3.5.1. Coloana stratigrafică	13
3.5.2. Forajul	13
3.6. Metoda geofizică de investigare cu unde	13
electromagnetice	13
3.6.1. Descrierea metodei GPR	13
3.6.2. Aplicarea în teren a metodei GPR.....	14
3.7. Metoda modelării numerice a terenului.....	14
3.8. Modelul de evoluție a reliefului	14
4. Caracteristicile tehnice ale autostrăzii Transilvania.....	15
5. Factori ce influențează buna funcționare a unei căi rutiere.....	16
5.1. Factorul geologic.....	16
5.1.1. Descrierea factorului geologic	16
5.1.2. Importanța factorului geologic.....	18

5.2. Factorul relief	19
5.2.1. Morfologia	19
5.2.2. Caracteristicile morfometrice ale reliefului.....	20
5.3. Factorul climatologic.....	22
5.3.1. Circulația aerului.....	22
5.3.2. Temperatura aerului	22
5.3.3. Precipitațiile	22
5.3.4. Seriile de precipitații orare.....	23
5.3.5. Aspecte climatice cu importanță în manifestarea proceselor geomorfologice.....	24
5.4. Factorul hidrologic	24
5.5. Factorul biopedologic.....	25
6. Analiza influenței autostrăzii în dinamica geomorfosistemului fluvial folosind simularea numerică. Studiu de caz bazinul Hășdate	26
6.1. Parametrii și algoritmi de calcul implicați în funcționarea modelului	27
6.1.1. Topografia și modelul numeric al terenului	27
6.1.2. Modelul numeric al terenului cu infrastructura autostrăzii	27
6.1.3. Modelul numeric al rocii parentale	28
6.1.4. Distribuția fracțiunilor granulometrice în bazinul hidrografic	28
6.1.5. Rata de regresie a hidrografului de viitură	29
6.1.6. Algoritmul de calcul al curgerii	30
6.2. Rezultate obținute în urma simulării	31
7. Analiza influenței autostrăzii în dinamica geomorfosistemului de versant. Procese de mișcare în masă în bazinul Hășdate	32
7.1. Alunecarea de teren de la Crăești.....	33
7.1.1. Localizarea și descrierea sitului investigat.....	33
7.1.2. Descrierea fizico-mecanică a depozitului deluvial.....	34
7.2. Investigarea planului de alunecare folosind metoda GPR.....	38
7.2.1. Setarea valorilor pentru parametrii utilizați	38
7.2.2. Procesarea și interpretarea datelor	39
7.2.3. Interpretarea radargramelor.....	39

7.3. Analiza asupra stabilității versantului	40
7.4. Sistemul geomorfologic al alunecării de teren	42
8. Concluzii generale.....	43
Bibliografie integrală.....	44

Cuvinte cheie

Autostrada Transilvania, geomorfologie aplicată, model de evoluție a reliefului, model CAESAR, GPR

1. Motivația, obiectivul și importanța studiului

În anul 2004 când au început lucrările, „Autostrada Transilvania” era citat ca fiind cel mai mare proiect de infrastructură din Europa. Proiectul presupune construcția a 415 km de autostradă cu o platformă pe 4 benzi lată de 26 de m. Împreună cu autostrada s-a preconizat construcția a 900 de km de drum de acces. Infrastructura rutieră de asemenea ampoare necesită execuția unui volum de excavații calculat de ingineri la peste 90 de milioane de m³ și umplură cu un volum de peste 50 de milioane de m³ (www.cnadnr.ro). Relocarea acestui volum de pământ se face pe baza unui program strict ce privește eroziunea solului și mobilitatea aluviunilor. Totuși, la o analiză itinerantă în lungul autostrăzii se pot observa areale caracterizate de o instabilitate geomorfologică acută.

Hazardul geomorfologic manifestat în apropierea infrastructurii poate induce riscuri. Acest hazard are o probabilitate majoră de ocurență în teritoriile caracterizate de instabilitate geomorfologică, instabilitate ce se manifestă prin procese geomorfologice ce pot fi induse antropice sau nu (Panizza, 1996). În contextul prezentat mai sus, hazardul geomorfologic este reprezentat de procesele erozivo-denudaționale, manifestate la nivelul albiilor și versanților. Rezultatele analizei numerice a acestor procese prezintă un nucleu în studiul de impact geomorfologic post-construcție.

Scopul acestei teze este evaluarea impactului indus de construcția unei căi rutiere asupra sistemelor geomorfologice intersectate. Acest obiectiv presupune identificarea unei metodologii capabile să furnizeze date privind manifestarea în cele mai subtile forme a proceselor geomorfologice.

Un prim obiectiv specific este evaluarea condițiilor naturale din mediul geomorfologic studiat prin analiza factorilor naturali pre-existenți în care se desfășoară activitatea antropică.

Al doilea obiectiv specific îl reprezintă analiza mobilității aluviunilor în bazinul hidrografic, afectată de construcția autostrăzii. Abordarea acestui obiectiv s-a făcut cu ajutorul metodologiei clasice din domeniul geografiei fizice (Ichim et al., 1996)(Rădoane & Rădoane, 2007). Pentru a surprinde distribuția spațială și temporală a proceselor vizate s-a apelat la modele numerice și simularea mediului geomorfologic (Kirkby, 1980)(Coulthard, 2001)(Coulthard et al., 2007) (Hancock et al., 2010).

Al treilea obiectiv specific este analiza proceselor geomorfologice înregistrate la nivelul sistemului de versant, sistem aflat sub impactul lucrărilor ingineresti de la autostradă. Acest obiectiv a presupus studii geotehnice și geofizice (Băncilă et al., 1980) (Surdeanu, 1998) (Jol, 2009). Procesele de eroziune a solului au fost abordate cu metode de modelare matematică și tehnologia sistemelor de

informații geografice (Wischmeier & Smith, 1978) (Renard et al., 1994) (Cristescu, 1978) (ESRI, 2010)

”O autostradă este pentru totdeauna. Este o moștenire,” spune Mix M., Directorul de Proiecte de la Compania Bechtel (Doan, 2007). Acceptând aceste cuvinte ca premisă a studiului de față se poate considera de importanță majoră evaluarea impactului acestei „moșteniri” asupra mediului geomorfologic și implicit asupra dezvoltării comunitare.

2. Istoricul cercetărilor de geomorfologie aplicată în România

Pentru a surprinde distribuția pe domenii de dezvoltare economică, istoricul geomorfologiei aplicate în România a fost împărțit pe paliere de activități socio-economice cu probleme geomorfologice asociate. Periodizarea corespunde în mare măsură etapelor din cadrul epocii contemporane a istoriei economiei naționale.

Istoricul debutează cu înființarea Institutului de Geografie al Academiei Române cu filiale la Iași și Cluj-Napoca. Cercetările geomorfologice s-au încadrat pe mai multe direcții principale: organizarea rațională a agriculturii, documentarea necesară construcțiilor inginerești (construcții hidrotehnice pe Bistrița, Porțile de Fier etc., studii pentru căile de comunicații, etc.), cartarea de noi rezerve de materii prime, combaterea eroziunii cât și studiul reliefului ca obiectiv turistic. În 1990 se înființează Asociația Geomorfologilor din România ce vizează, printre altele, emanciparea geomorfologiei ca știință aplicată în mediul economic, susținută din mediul academic de uniunea profesioniștilor în domeniu. Pe lângă tematica studiilor prezentate anterior, în această perioadă apare un nou curent, studiul hazardelor geomorfologice și riscurilor asociate, deceniul anilor ‘90 fiind declarat Deceniul internațional al dezastrelor naturale (Rădoane & Rădoane, 2004). Geomorfologia devine o știință aplicată recunoscută oficial în forurile decizionale internaționale pentru hazarde și riscuri naturale, fiind o știință integrată, generatoare de răspunsuri conform cerințelor sociale (Grecu, 2009).

2.2. Geomorfologia aplicată în urbanism și amenajare teritorială

Afirmarea geomorfologiei în acest cadru aplicativ a început o dată cu extinderea și sistematizarea spațiului urban în România. În acest context între anii 1950 și 1970 s-au întreprins o serie de studii coordonate de Institutul de Geografie. Tot în această perioadă apar primele lucrări unde se menționează cuplul de termeni „geomorfologie aplicată” (Martiniuc & Băcăuanu, 1963).

Cartografierea geomorfologică devine cea mai productivă metodă de studiu geomorfologic (Posea & Popescu, 1967) (Grigore, 1972) (Martiniuc & Hârjoabă, 1975). Pretabilitatea reliefului pentru extinderea urbană și exploatarea resurselor morfologice a fost studiată de specialiștii geomorfologi în vederea cunoașterii cadrului geomorfologic cu potențial în dezvoltarea socio-economică (Mac & Râpeanu, 1995) (Mac et al., 1995) (Mac & Drăguț, 1997). Petrea R. a analizat caracteristicile geomorfologice ce contribuie la dezvoltarea regională a orașelor mici din Dealurile de Vest (Petrea, 1998). În aceeași notă regională putem menționa studii de geomorfologie în țara Hațegului (Goțiu & Surdeanu, 2002) sau la nivelul județului Cluj (Surdeanu et al., 2006) (Surdeanu et al., 2006), prin care s-a încercat descifrarea cauzelor de declanșare a proceselor geomorfologice și totodată distribuția lor spațială.

2.3. Geomorfologia aplicată în agricultură și îmbunătățiri funciare

Studiile pentru îmbunătățiri funciare, făcute prin prisma geomorfologiei, fac referire la o serie de cauze și soluții în ceea ce privește eroziunea solului și torențialitatea, dinamica aluvionară în sistemul geomorfologic, controlul inundațiilor și al proceselor de albie. Rolul geomorfologiei aplicate se poate afirma și în lucrări de irigații sau desecări ori studii privind stabilitatea versanților.

Dacă se invocă caracterul interdisciplinar al geomorfologiei aplicate se pot cita lucrări ai căror autori nu au fost geomorfologi în sensul strict al cuvântului. Astfel Moțoc M. a studiat procesul de eroziune a solurilor pe terenuri agricole propunând soluții pentru combatere (Moțoc, 1963) (Moțoc et al., 1975). Soluții privind amenajarea torenților și asupra rolului arborilor în amenajările antierozionale prezintă Munteanu S.A. (Munteanu, 1953) (Munteanu et al., 1970). Amenajarea terenurilor agricole împotriva proceselor erozivo-denudaționale a fost studiată și de Băliou V., acesta propunând soluții de amenajare și apărare contra acestor hazarde (Băliou, 1965) (Băliou & Ionescu, 1986). Arghiriade C. face studii asupra capacității de protecție a plantelor împotriva degradării terenurilor (Arghiriade, 1968).

Ioniță I. și Ouatu C. aduc contribuții în cunoașterea proceselor de degradare a terenurilor dintre care se poate cita studiul privind eroziunea solurilor din Colinele Tutovei (Ioniță & Ouatu, 1985). Asupra evoluției și distribuției ravenelor au făcut studii și Rădoane M., Rădoane N., Ichim I. și Surdeanu V. astfel încercându-se o regionare morfologiei și dinamicii corpurilor de ravene (Rădoane et al., 1988) (Rădoane et al., 1995). Mai târziu autorii propun câteva metode matematice de analiză a acestor procese (Rădoane et al., 1994) (Rădoane et al., 1997). Procesele denudaționale au fost studiate de Surdeanu V., lucrările fiind adunate într-o culegere amplă de metode și studii de caz (Surdeanu, 1990) (Surdeanu, 1992) (Surdeanu, 1997) (Surdeanu, 1998).

În 1999 apare lucrarea *Ravenele* ce reprezintă o etalare detaliată a metodelor specifice de cercetare cu exemplificări prin studii de caz. Lucrarea reprezintă o sinteză asupra cunoașterii ravenelor din Podișul Moldovei (Rădoane et al., 1999). În anul 2000 la Iași apare sub îndrumarea lui Ioniță I. o lucrare de geomorfologie aplicată ce reprezintă un manual de studiu asupra degradării terenurilor în zona deluroasă (Ioniță, 2000). Tot în anul 2000 apare o altă lucrare sub același autor cu privire asupra ravenării din Podișul Bârladului (Ioniță, 2000).

Cercetătorii români participă cu studii aplicate pe degradarea solului, la proiecte ample desfășurate la nivel european (Ioniță et al., 2006) (Ioniță, 2007).

Impactul antropic prin modul de utilizare a terenurilor a fost studiat de Oncu M. și Bilașco Șt. pentru microregiunea Brad (Oncu & Bilașco, 2009), iar la nivel macroregional putem cita pe Ioniță I. cu studii în Podișul Moldovei (Ioniță, 2011)

2.4. Geomorfologia aplicată în hidrologie și amenajări hidrotehnice

În anul 1950 România a adoptat un plan național de creștere a capacității electrice prin exploatarea energiei hidrice. Astfel în această perioadă s-a început executarea lucrărilor de construcție la barajul Bicaz. Din 1959 s-a început administrarea apelor pe bazine hidrografice. România a fost printre primele țări din lume în care gospodărirea apelor s-a făcut la nivel de bazin hidrografic ca unitate naturală (Oprișan et al., 2011).

După darea în folosință a barajelor construite pe râurile din România interesul geomorfologilor s-a orientat către impactul indus în dinamica albiilor și a versanților amonte sau aval de baraj. În acest sens s-au întreprins studii cu privire a dinamica reliefului influențată de baraje (Rădoane, 1983) (Ichim & Rădoane, 1986). Au mai apărut studii privind colmatarea lacurilor (Roșca et al., 1980). Surdeanu V. a studiat stabilitatea versanților și rolul alunecărilor de teren în colmatarea lacurilor de baraj (Surdeanu, 1986).

În perioada de după 1989 studiile se axează tot pe influența activităților antropice asupra proceselor de albie sau la nivel de bazin hidrografic. Astfel apar studii asupra impactului indus de eroziunea solului asupra transportului de aluviuni la nivel de bazin hidrografic (Rădoane & Rădoane, 2001)

Studii privind impactul antropic asupra evoluției albie de râu au mai făcut (Petrea et al., 2006) (Rădoane & Rădoane, 2005) (Rădoane et al., 2008).

2.5. Geomorfologia aplicată în studiul hazardelor și riscurilor

Studiul hazardelor geomorfologice și riscurile induse de acestea este o tendință dominantă în geomorfologia aplicată la ora actuală. Analiza hazardelor și cartografierea zonelor de risc geomorfologic s-a făcut încă din perioada afirmării geomorfologiei aplicate ca știință.

În 1978 Coteț P. prezenta un nou tip de hartă cu importanță mare în studiile de geografie, harta riscurilor (Coteț, 1978). Surdeanu V. prezintă o metodă de întocmire a hărților de risc la alunecări de teren folosind invenatrierea siturilor cu procese de acest gen (Surdeanu, 1985). În 1989 Bălțeanu D. publică un studiu asupra hărților de risc cu exemplificări din Subcarpați și Podișul Getic (Bălțeanu et al., 1989).

După 1989 studiile de vulnerabilitate a teritoriului și expunere la risc geomorfologic se înmulțesc. Se pot cita lucrări cu privire generală asupra hazardelor naturale (Bălțeanu, 1992). Grecu F. face precizări asupra metodologiei de întocmire a hărților de risc geomorfologic la nivel de bazin hidrografic (Grecu, 1997). Același autor publică o sinteză asupra riscurilor geologice și geomorfologice (Grecu, 1997). Ianoș I. a făcut o sinteză asupra riscului și apariția lui în sistemele geografice (Ianoș, 1994). aceeași abordare teoretică asupra riscului în relație cu sistemele geografice o au Mac I. și Petrea D. (Mac & Petrea, 2003). În anul 2000 Grecu F. și colaboratorii publică o analiză a hazardului geomorfologic manifestat în Podișul Hârtibaciului (Grecu & Sandu, 2000). Asupra metodelor cartografice folosite în analiza riscului au mai făcut studii Mac I. și colaboratorii (Mac et al., 2003) și Grecu F. (Grecu, 2003) (Grecu, 2002). Sub aspect teoretic cu privire specială pe terminologie și metodologie se pot aminti studii facute de (Armaș, 2006) (Rădoane & Rădoane, 2004) (Floca & Reteșan-Floca, 2003) (Goțiu & Surdeanu, 2007) (Grecu, 2009) (Grecu et al., 2003). Studii privind riscul geomorfologic cu manifestare la nivel regional au făcut (Irimuș, 2003) (Irimuș, 2006) (Voiculescu, 2002) (Sandu & Bălțeanu, 2005) (Goțiu & Surdeanu, 2008) (Gavrilă et al., 2012).

2.6. Geomorfologia aplicată în transporturi și căi de comunicații

Geomorfologii români s-au aplecat asupra problematicii relației dintre relief și căile de comunicații încă din perioada de expansiune urbană din anii 1960-1970. Studiile privind stabilitatea versanților și impactul asupra căilor de comunicații în valea Cernei au făcut Popescu N., Schmidt N., Ielenicz M. Pe Valea Buzăului s-au întreprins același fel de lucrări de către Posea Gr. (***, 1969).

În 1966 toate grupurile de lucru ce priveau proiectarea căilor de transport rutier, naval și aerian au fost unite sub egida Institutului de Proiectări Transporturi Auto, Navale și Aeriene (IPTANA). De atunci majoritatea documentațiilor ce privesc construcția de drumuri cum ar fi și pretabilitatea sau

restrictivitatea reliefului, studii geotehnice, geomorfologice sunt făcute de grupurile de lucru din interiorul acestei instituții.

Totuși studii întreprinse de geomorfologi mai apar și se pot cita (Grecu et al., 2006) (Dobre, 2005) (Dobre, 2007) (Dobre et al., 2011).

3. Metodologia și tehnicile aplicate în cadrul lucrării

3.1. Introducere

Geomorfologia aplicată reprezintă un cumul de metode și tehnici folosite pentru aplicarea studiilor de geomorfologie în soluționarea unor probleme, în special pentru exploatarea resurselor și diminuarea hazardelor (Goudie, 2001), planificarea teritoriului și ingineria mediului (Brunsden, 2002).

3.2. Metoda cartografică pe teren și laborator

În cazul de față tehnica folosită a fost, în prima fază, una iterativă prin care s-a făcut o monitorizare în teren a proceselor de mișcare în masă ce pot afecta construcția autostrăzii. Monitorizarea s-a făcut la un pas de timp prestabilit. Dintre arealele înregistrate, unul este reprezentativ prezentând interes deosebit prin volum, suprafață și localizare.

Următoarea fază metodologică a fost cartografierea suprafeței afectată de alunecarea de teren, la o scară care să permită înregistrarea formelor și elementelor morfologice caracteristice. Pentru o localizare strictă a elementelor alunecării de teren s-a folosit ridicarea topografică. Tehnica topografică permite geolocalizarea exactă a acestor elemente dar și caracteristicile morfometrice, într-un sistem de coordonate și unități de măsură stabilite de operator.

Inițial s-au ridicat topografic elementele morfologice de suprafață: linia de desprindere, perimetrul corpului alunecării, liniile hidrografice, artefacte antropice (stâlpii de înaltă tensiune, prisma construită a autostrăzii).

GPS-ul diferențial s-a folosit pentru legarea măsurătorilor topografice la sistemul național de referință și stabilirea cotelor absolute. Pașii tehnici folosiți sunt cei descriși de (Schofield & Breach, 2007). Pentru măsurătorile topometrice privind variabilele morfometrice s-a aplicat metoda descrisă de (Surdeanu, 1998; Chrzanowski et al., 1986), fiind bine adaptată la condițiile dinamice ale terenului.

Pentru calcularea unui model tridimensional al corpului alunecării, s-au ridicat puncte pe toată suprafața afectată, urmărindu-se elementele morfologice: monticuli, concavități, crăpături, torenți.

3.3. Analiza statistică a seriilor de timp și datelor de laborator

Investigarea fenomenelor naturale nu se poate face fără a analiza seturile de parametri definitorii pentru fenomen. În această categorie intră serii de date temporale (date de precipitații) sau serii de date spațiale. Modul de colectare a datelor uneori implică erori involuntare sau zgomote datorate aparaturii cu care se realizează colectarea datelor. În limbaj matematic acestea se numesc zgomote sau trenduri (tendințe) și trebuie îndepărtate din seriile de date pentru că uneori sunt atât de pronunțate încât interferă sau chiar acoperă valorile reale care descriu fenomenul investigat. Metoda de analiză folosită pentru investigarea seriilor reale (cu tendințe) în acest caz este DFA (Detrended Fluctuation Analysis) (Peng et al., 1994). S-au mai folosit metode clasice de investigare statistică des utilizate în geografie (Ichim et al., 1996).

3.4. Analiza granulometrică a depozitelor fluviale

Granulometria depozitelor de albie s-a efectuat conform tehnicilor prezentate în literatura internațională și cea națională. Probele au fost prelevate folosind metoda volumetrică (Mosley & Tindale, 1985).

Probele au fost prelucrate în laborator iar datele obținute analizate statistic. Având în vedere că pentru acest studiu sunt necesare doar date despre distribuția spațială a claselor granulometrice de sedimente, mobilizate în interiorul bazinului hidrografic, analiza din laborator s-a axat pe distribuția procentuală a claselor Φ din scara Wentworth (Wentworth, 1922).

Probele au fost uscate în etuvă la temperatura de 105°, timp de 24 de ore, conform STAS 1913-1-82 (Manea et al., 2003). Cernerea s-a făcut, în primă fază, cu un set de ciururi pentru clasele Φ : -4 și -3, apoi, folosindu-se o baterie de site și un echipament vibrant pentru realizarea cernerii, pentru fracțiunile din clasele Φ -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6.

3.5. Analiza stratigrafică și geotehnică a depozitelor deluviale

S-au folosit deschiderile naturale din perimetrul arealului studiat și din afara lui. Din aceste aflorimente s-au înregistrat succesiunile stratelor litologice, grosimile unităților litostratigrafice și cota absolută unde aflorează acestea.

În corpul de alunecare s-a executat un foraj cu o foreză manuală pentru prelevarea probelor de sol și substrat. Aceste două metode vizează caracterizarea orizonturilor din depozitul deluvial, detectarea unui eventual strat cu saturație maximă, calibrarea variabilelor de la metoda GPR (Ground Penetrating Radar) și validarea acesteia.

3.5.1. Coloana stratigrafică

Aflorimentul este localizat la aproximativ aceeași cotă altitudinală cu zona de desprindere a alunecării. Deschiderea naturală are formă de diedru și reprezintă un corp torențial cu o înclinare a canalului de etiaj de aproximativ 50 de grade. În cadrul aflorimentului s-a observat o înclinare a stratelor de la est la vest, în concordanță cu înclinarea și orientarea generală a versantului. Stratele a căror grosime nu depășește 20-30 de cm se consideră a fi intercalații în roca de bază. Măsurătorile altimetrice s-au efectuat cu stația totală cu rază LASER. În urma măsurătorilor topometrice s-a stabilit cota absolută superioară unde apar pachetele de nisipuri fine, marne și gresii și grosimea relativă a stratelor.

3.5.2. Forajul

Forajul a fost executat cu ajutorul unei truse de foraj manuală. Pentru avansare în adâncime s-au folosit două sape special concepute pentru argilă și nisip ud. Aceste două sape extrag probe litologice tulburate. Pentru extragerea probelor netulburate s-a folosit o sapă tubulară cu piston sau ștuț cu piston. Probele netulburate au fost extrase la o adâncime echidistantă de 1m și sigilate. Trebuie subliniat faptul că în practica probele nu rămân perfect intacte datorită procedurii de prelevare.

3.6. Metoda geofizică de investigare cu unde electromagnetice

3.6.1. Descrierea metodei GPR

În această secțiune este prezentată succint baza teoretică a măsurătorilor cu GPR.

În cazul studiului de față s-au folosit un set de antene cu frecvența de 50 MHz. Cu această frecvență și în condiții litologice lipsite de strate cu atenuare mare se pot detecta obiecte de minim 0,5 m la o adâncime maximă aproximativă de 20 m. Adâncimi extreme până la 40 de m s-au raportat în literatură, însă în condiții litologice excelente cum este nisipul și pietrișul curat și uscat (Smith & Jol, 1995) sau gresie (Jol et al., 2003). Antenele sunt poziționate într-o configurație de tip „paralel endfire” (Jol & Bristow, 2003).

3.6.2. Aplicarea în teren a metodei GPR

Pentru început s-a făcut o evaluare a mediului înconjurător din arealul studiat pentru a verifica fezabilitatea aplicării acestei metode. În urma analizelor morfologice privind alunecarea de teren s-au stabilit liniile de profil supuse investigațiilor geofizice. În procesul de analiză s-au luat în considerare și amplasarea liniilor de înalta tensiune, care reprezintă un generator important de zgomot electromagnetic. Pentru detectarea unei suprafețe de alunecare și a nivelului piezometric s-au propus patru profile de câte 600 m.

3.7. Metoda modelării numerice a terenului

Modelarea numerică a terenului este necesară pentru descrierea calitativă și cantitativă a formelor de relief. Analiza terenului s-a făcut prin prisma echilibrului static, folosindu-se o serie de indici geomorfometrici (declivitate, hipsometrie, expozitie și fragmentare), dar și cu privire la echilibrul dinamic folosindu-se analiza geostatistică și statistica spațială a celor trei dimensiuni sub influența temporală a ratei de schimbare. Modelul numeric al terenului s-a calculat folosind tehnologia SIG cu ajutorul platformei ArcGIS a dezvoltatorului ESRI (ESRI, 2010). Pentru datele altimetrice s-au folosit izohipsele planurilor topografice, surse devenite deja clasice.

3.8. Modelul de evoluție a reliefului

În acest capitol s-au prezentat principale motive care au condus la alegerea acestui model în concordanță cu obiectivele studiului, așa cum sunt descrise de dezvoltatorul codului (Coulthard, 2001).

Arealul studiat

Modelul CAESAR a fost dezvoltat pe baza studiilor făcute în zona temperată. Bazinele hidrografice studiate sunt incluse în clase de mărime mică și medie. Modelul este adecvat simulărilor pe albie simple meandrate.

Reprezentarea procesului geomorfologic

Modelul ales simulează procesele geomorfologice, din albie și versant, la un nivel de detaliu ce include granulometria depozitelor și stratigrafia sedimentelor. De asemenea modelează topografia albiei, fiind validat prin datarea depozitelor din luncă.

Rezoluția temporală și spațială

CAESAR poate modela secvențe de timp începând de la durata unei furtuni sau viituri (însemnând ore sau zile) până la 10000 de ani, dincolo de care subiectul validării rezultatelor rămâne deschis din punct de vedere științific. De asemenea, poate modela de la secțiuni de albie de 1 - 4 km până la bazine hidrografice.

Interfața de lucru

Modelul CAESAR poate fi folosit cu relativă ușurință deoarece are interfață grafică pentru uz general. Colaborează ușor cu platforma ArcGIS ceea ce facilitează transferul de date cartografice și altimetrice pentru analize geospatiale.

CAESAR - este un model bidimensional ce simulează curgerea râului și transportul de aluviuni. Descrierea modelului a fost subiectul a numeroase articole științifice și dezbateri, dintre care se pot menționa (Coulthard, 1999), (Coulthard, 2001), (Van De Wiel et al., 2007), (Hancock et al., 2010).

4. Caracteristicile tehnice ale autostrăzii Transilvania

Proiectul Autostrada Transilvania are o importanță majoră în dezvoltarea economică națională. Proiectul promite un ajutor sporit pentru integrarea economiei naționale în cea europeană, beneficiile economice extinzându-se pe perioade lungi de timp. De asemenea este un tronson important în rețeaua de autostrăzi europene și în structura rutieră românească. Din anul 2014 acest proiect a fost inclus în rețeaua Transeuropeană putând fi finanțată prin Programul TEN-T.

Proiectul autostrăzii reprezintă o autostradă cu 4 benzi cu o lungime proiectată de 415 km. El pornește de la nord-est de Brașov, de la o altitudine de 600 m și se sfârșește în Câmpia Crișanei, lângă Oradea la 130m altitudine.

Din motive inginerești, proiectul a fost împărțit pe mai multe tronsoane prezentate mai jos:

Secțiunea 1A, Brașov - Făgăraș - 48,81 km

Secțiunea 1B, Făgăraș - Sighișoara - 53,37 km

Secțiunea 1C, Sighișoara - Ogra - 58 km

Secțiunea 2A, Ogra - Câmpia Turzii - 37,19 km

Secțiunea 2B, Câmpia Turzii - Cluj Vest - 52,55 km

Secțiunea 3A, Cluj Vest – Mihăilești - 25,5 km

Secțiunea 3B, Mihăilești - Suplacu de Barcău - 75,48 km

Secțiunea 3C, Suplacu de Barcău - Borș - 64,5 km

Autostrada are, în medie, o lățime a platformei de 26 m. Părțile carosabile sunt despărțite de un mijloc fizic și au o lățime de 7,5 m fiecare. Pentru interconectarea autostrăzii proiectate, inginerii au prevăzut 16 noduri rutiere, 94 de pasarele peste autostradă și 58 de pasaje rutiere. Pentru construcția infrastructurii s-au preconizat excavații la un volum de 90 de milioane de metri cubi. Umplutura necesară amprizei autostrăzii a fost calculată la un volum de 50 de milioane de metri cubi (<http://www.cnadnr.ro/>).

În cadrul lucrării de față s-au studiat procesele geomorfologice asociate cu secțiunea 2B Câmpia Turzii-Cluj Vest. Motivul principal este faptul că numai acest sector este în totalitate funcțional.

5. Factori ce influențează buna funcționare a unei căi rutiere

5.1. Factorul geologic

5.1.1. Descrierea factorului geologic

Arealul investigat este localizat în partea vestică a bazinului sedimentar transilvan la contactul dintre Munții Apuseni și Depresiunea Transilvaniei. Evoluția și structura geologică a bazinului sedimentar, precum și caracteristicile litofaciale ale depozitelor influențează direct proiectarea infrastructurilor, fie ele cu extindere radială (cartiere civile) sau liniare (autostrăzi).

Depozitele antropogene sunt, în teritoriul studiat, provenite din două surse. Cea mai importantă este șantierul autostrăzii, unde materialul excavat a fost depozitat în apropierea platformei infrastructurii, astfel urmărind caracterul liniar al drumului, devine o sursă importantă de aluviuni. A doua sursă este cariera de calcar din nordul localității Săndulești.

Geotectonica Bazinului Transilvaniei este evidențiată printr-un sistem de horst-graben la nivelul soclului cristalin. După finalizarea sedimentării, în Pliocen, cuvertura sedimentară a suferit o modelare în timpul cutării diapire. Traseul autostrăzii traversează cvasiperpendicular, în depresiunea Turda-Câmpia Turzii, un sistem anticlinal-sinclinal (Săndulescu, 1984), (Mutihac et al., 2007).

Analizând harta mișcărilor crustale se poate observa că arealul aflat în studiu traversează o zonă activă cu un ecart cuprins între -1 și 1 m pe an. Infrastructura liniară a autostrăzii traversează o linie de falie crustală activă cunoscută ca Falia Transilvaniei. Falia este localizată la contactul dintre două microplăci tectonice cu dinamică verticală antagonică (Zugrăvescu et al., 1998). Importanța acestei configurații tectonice constă mai ales în influența asupra dinamicii fluviale din zonă.

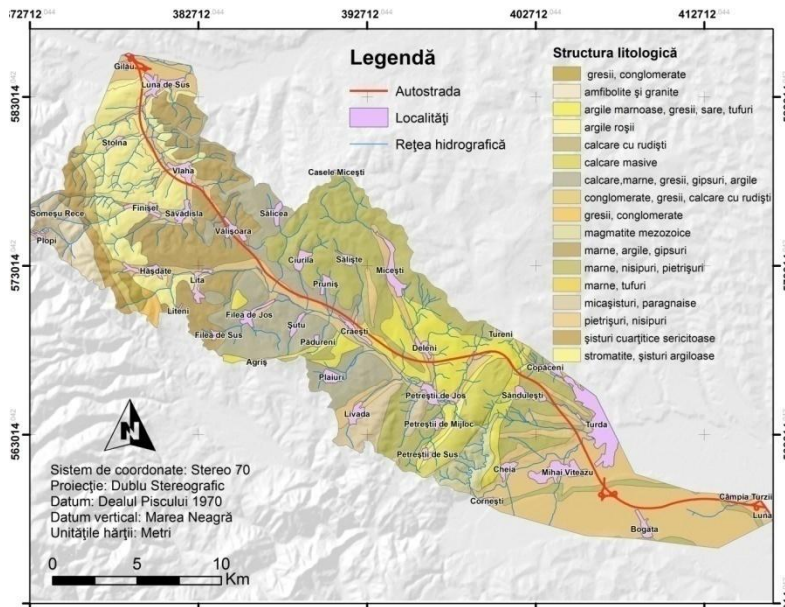


Figura 1 Structura litologică a arealului investigat (Codarcea & Răileanu, 1967)(Răileanu & Saulea, 1967)

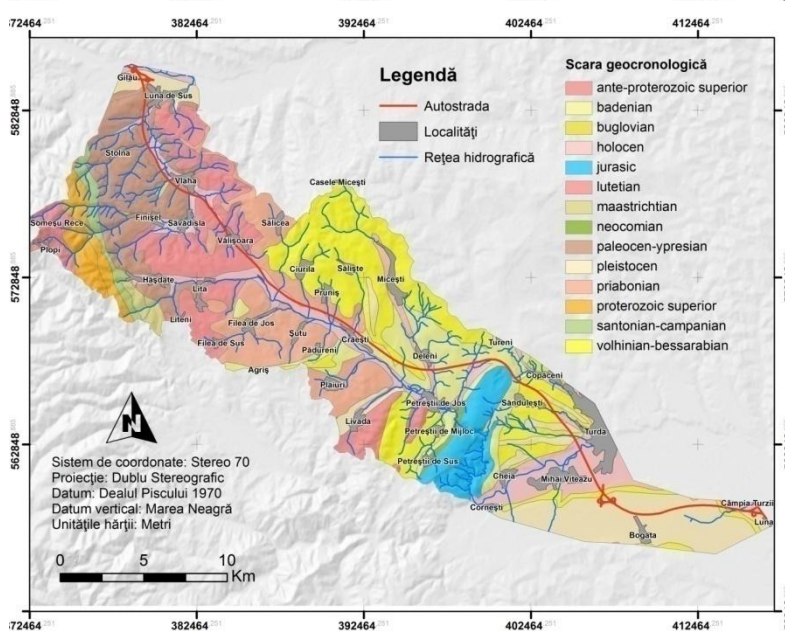


Figura 2 Distribuția geocronologică a structurilor geologice (Răileanu & Saulea, 1967) (Codarcea & Răileanu, 1967)

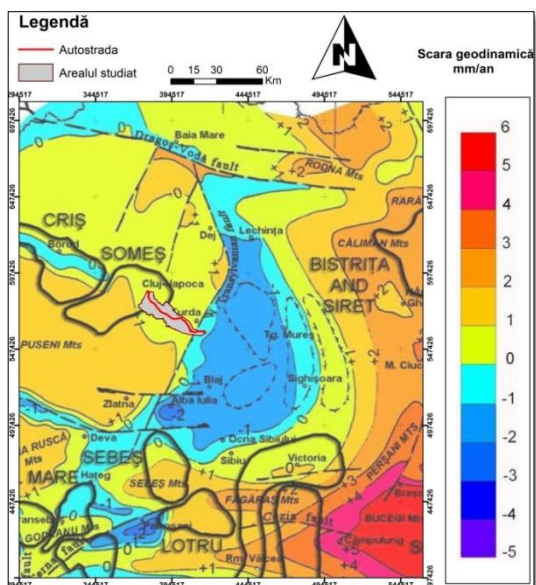


Figura 3 Extras din harta mișcărilor tectonice verticale actuale (Zugrăvescu et al., 1998)

5.1.2. Importanța factorului geologic

Din punct de vedere geotehnic, evoluția geologică, și mai exact, unitățile litostratigrafice, prin proprietățile lor fizice și chimice, pune uneori la mare încercare proiectarea infrastructurii. Partea superioară a pachetului sedimentar (2-30m), din arealul studiat reprezintă fundamentul pe care este ancorat proiectul de infrastructură. Fundațiile pilonilor de viaduct și anrocamentul sunt părțile construcției care transmit încărcătura și vibrațiile autostrăzii, stratelor ce intră în compoziția fundamentului sedimentar. Pentru o construcție durabilă apare necesitatea cunoașterii în detaliu a proprietăților pachetului sedimentar.

În cazul proiectului de infrastructură studiat, principalele fenomene geomorfologice ce afectează structura autostrăzii sunt mișcările în masă, eroziunea de solului și afectarea transportului de aluviuni în sistemul versant-albie.

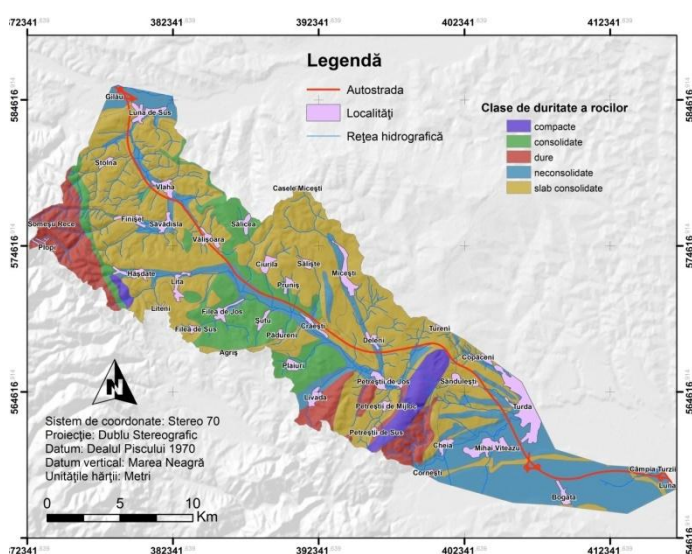


Figura 4 Distribuția spațială a rocilor în funcție de duritate în arealul investigat

5.2. Factorul relief

5.2.1. Morfologia

Din hărțile prezentate se poate observa că autostrada, în cea mai mare parte a lungimii ei, traversează longitudinal Depresiunea Vlaha-Hășdate. Depresiunea este de tip intracarpatic cu aspect deluros cu un ecart hipsometric cuprins între 300 și 500 de metri. Nodul rutier Gilău este amplasat pe terasa de tip pluvio-aluvială a râului Someșul Mic în cadrul Culoarului Gilău-Cluj. În partea de Sud-Est a Depresiunii Hășdate, traseul este construit peste Culmea Hășdate. Trecând în valea râului Arieș traseul autostrăzii traversează o extremitate a Colinelor Ludușului. Relieful are un aspect general colinar cu văi largi și versanți afectați de procese geomorfologice de mișcare în masă. Pe valea Arieșului autostrada are două noduri rutiere construite pe terase proluvio-aluviale ce au un aspect general de câmpie cu denumirea regională de Depresiunea Câmpia Turzii.

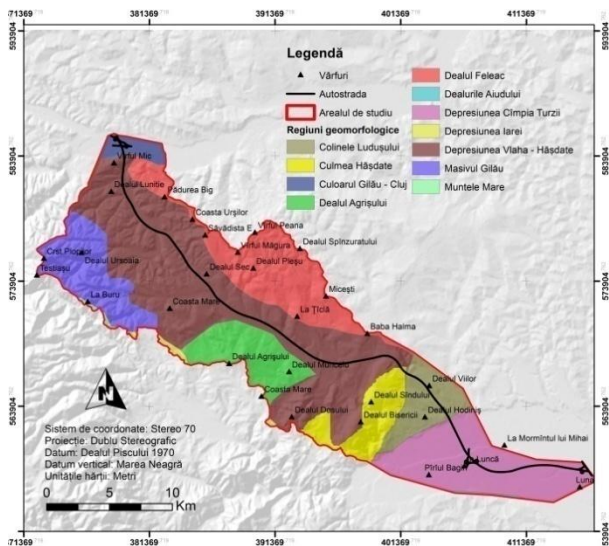


Figura 5 Regiunarea geomorfologică (Posea & Badea, 1984)

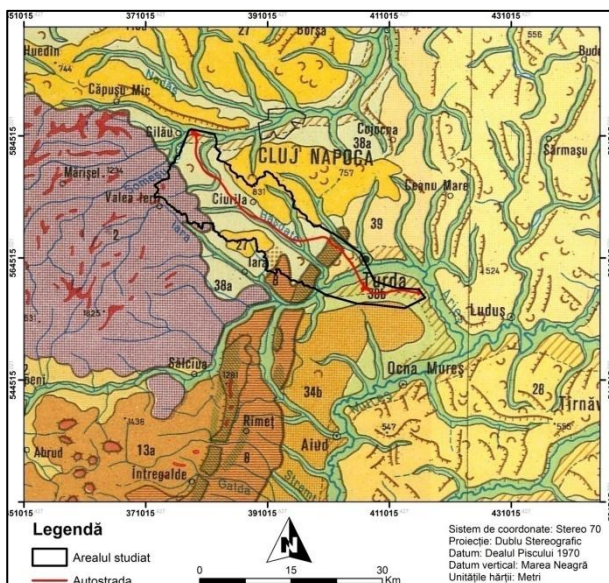


Figura 6 Extras din harta geomorfologică (Badea et al., 1976)

Extras din legendă (Badea et al., 1976):

2 – Munți cu vârfuri rotunjite și suprafețe de nivelare fragmentate. Relief dezvoltat pe fundament cristalin prealpin și înălțați în timpul orogenezei alpine.

8 – Munți cu vârfuri în formă piramidală. Relief dezvoltat pe fundament cristalin prealpin și acoperiți cu cuvertură alpină.

27 – Câmpie colinară fragmentată în masive deluroase cu structură diversificată. Relief dezvoltat pe structuri monoclinale neozoice.

34 b – Relief deluros fragmentat în masive supuse unui proces intens de eroziune și dispus pe circumferința Depresiunii Transilvaniei. Este dezvoltat pe depozite sedimentare neogene cutate și afectate de mobilitatea tectonică.

38 a și b – Depresiuni intracarpatică cu aspect deluros (a) sau de câmpie pluvio-aluvială (b).

39 - Câmpie colinară fragmentată de văi largi cu versanți afectați de mișcări în masă. Relief erozional dezvoltat în depozite miocene.

Traseul autostrăzii traversează forme de relief cu o morfologie aflată în strânsă legătură cu structura litostratigrafică. Morfografia versanților, talvegurilor și interfluviilor este rezultatul influenței litologiei în geneza reliefului. Un rol important îl are și tăria rocilor care duce la o eroziune selectivă, imprimând reliefului forme specifice.

5.2.2. Caracteristicile morfometrice ale reliefului

Morfometria reliefului a fost calculată pe modelul numeric al terenului. Această metodă redă informații cantitative asupra formelor de relief. Din analiza hipsometrică a terenului se observă că autostrada are un traseu ce urmărește cotele de altitudine joasă la o medie de 400 de metri. Aceste valori se regăsesc pe terasele fluviale inferioare din depresiunile Câmpia Turzii, Vlahă-Hășdate și Culoarul Gilău-Cluj. Cele mai mari cote se întâlnesc la nivelul interfluviilor dintre cele trei unități depresionare. Declivitatea terenului din cadrul arealului studiat denotă o distribuție majoritară a pantelor cuprinse între 3 și 17 grade. Autostrada este construită în acest ecart de pante, o excepție fiind localizată în apropierea Defileului Tureni unde se întâlnesc pante de până la 31 de grade.

Declivitatea terenului influențează direct manifestarea proceselor geomorfologice de versant. În cazul clasei de pante cuprinse între 3 și 6 grade s-a raportat o frecvență ridicată a proceselor de eroziune și acumulare proluvio-coluvio-deluvială. Pentru pantele cuprinse între 6 și 17 grade s-a constatat o frecvență ridicată a proceselor de tipul alunecărilor de teren (Surdeanu, 1998). Expoziția versanților este un factor ce influențează umiditatea reținută în depozitele superficiale. Durata de insolație și unghiul de incidență a razelor solare influențează regimul evaporației și durata de existență a stratului de zăpadă. Regimul înghețului în sol este de asemenea dictat de cantitatea de căldură solară receptată de stratul edafic. În cazul autostrăzii se observă ca traversează versanții cu orientare sudică în bazinul hidrografic Hășdate și cu orientare preponderent nordică în bazinul hidrografic Feneș.

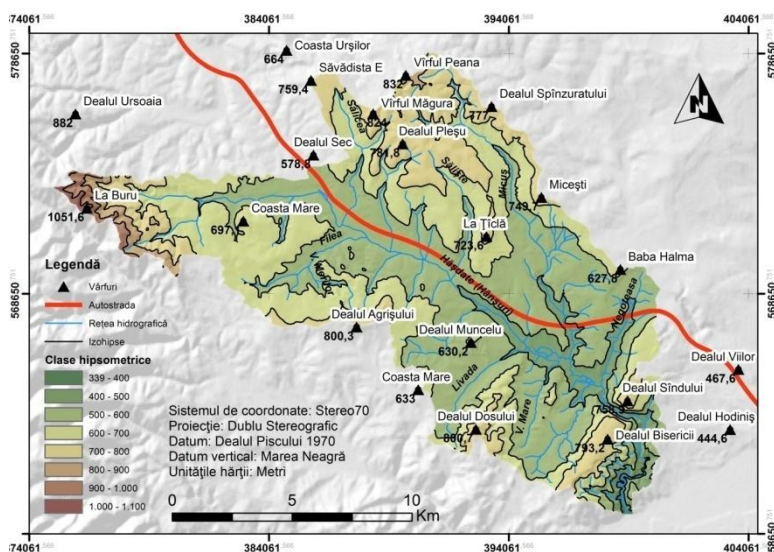


Figura 7 Hipsometria bazinului hidrografic Hășdate

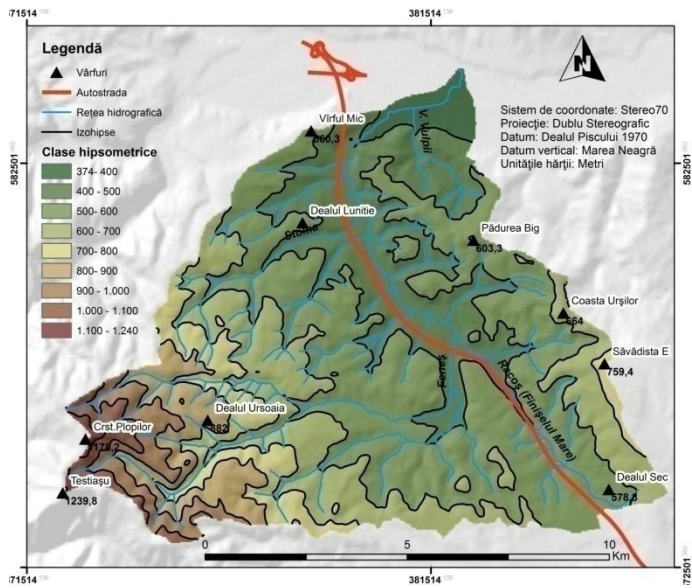


Figura 8 Hipsometria bazinului hidrografic Feneș

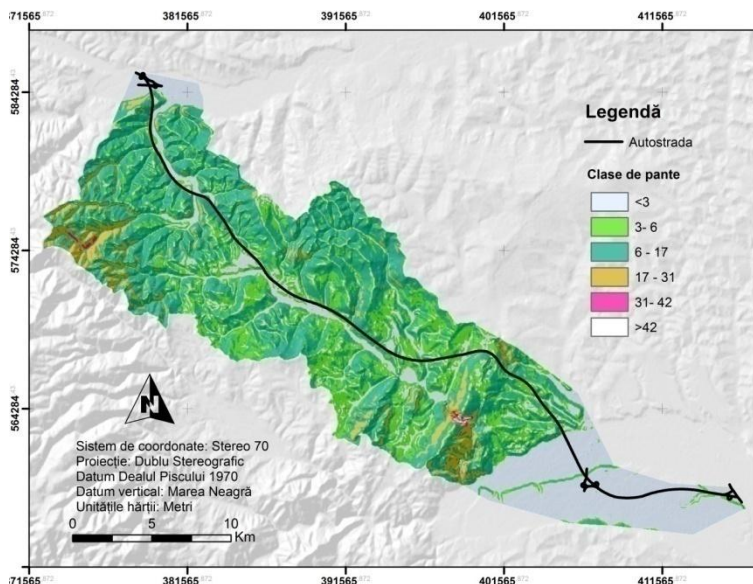


Figura 9 Distribuția pantelor în teritoriul studiat

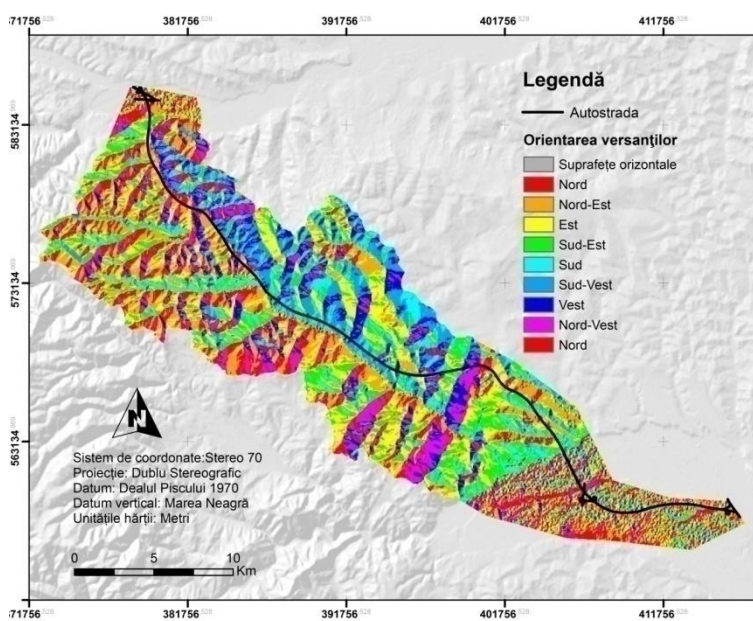


Figura 30 Expoziția versanților în teritoriul studiat

5.3. Factorul climatologic

Pentru a înțelege geneza și variabilitatea spațială a condițiilor climatice este necesară o analiză geografică integrată. Primul aspect fizico-geografic ce trebuie subliniat este integrarea arealelor studiate într-un spațiu macro-unitar cum este Depresiunea Transilvaniei. Aceasta din urmă are un climat relativ umed datorită circulației vestice cu influențe atlantice (Moldovan et al., 2002). Dintre principalii factori geografici generatori ai climei, relieful este factor major în generarea și distribuția spațială a fenomenelor climatice pe teritoriul României (Moldovan, 1999)

5.3.1. Circulația aerului

În Depresiunea Transilvaniei se propagă trei tipuri de mase de aer: maritim polar 60%; maritim tropical 30% și continental arctic 10%. Aerul maritim polar este transportat în Depresiunea Transilvaniei de Anticiclonele Nord-Atlantice și Subpolare, prin Valea Someșului iar aerul maritim tropical este adus de Ciclonii Mediteraneeni prin Culoarul Mureșului (Holobacă, 2010).

5.3.2. Temperatura aerului

Din punct de vedere termic, teritoriul investigat este traversat de izotermele de 8°C în partea de Est și de cea de 4°C în Vest. Izotermele lunii Ianuarie sunt -3°C și -4°C iar pentru Iulie care este cea mai caldă lună sunt corespunzătoare izotermele de 14°C și 18°C . În ceea ce privește amplitudinea medie anuală aceasta se încadrează între izotermele de 21°C și 22°C (Bogdan & Frumușelu, 2002).

Un rol important în regimul termic îl deține perioada de îngheț. Astfel pentru suprafața în studiu durata intervalului de îngheț este cuprinsă între 120 și 150 de zile. De asemenea, temperatura la suprafața solului în zonă este la o medie de 23°C pentru luna Iulie și de -5°C în luna Ianuarie (Croitoru, 2007) (Badea et al., 1983)

5.3.3. Precipitațiile

Teritoriul studiat se încadrează în valorile specifice zonei vestice a Bazinului Transilvaniei la contactul dintre Munții Apuseni și Câmpia Transilvaniei. Cantitatea medie multianuală de precipitații este în medie de 600 mm (Belozarov, 1972).

Modelul CAESAR necesită ca date de intrare serii de timp de ploi la un pas temporal de o oră. Pentru bazinul Hășdate nu există disponibilitatea datelor orare de ploi, astfel s-a folosit o metodologie

descrișă în literatură și aplicată în modelarea fenomenelor naturale (Schaefer & Baker, 2002) (Pierini & Telesca, 2010) (Cheval et al., 2011) (Yang et al., 2010) (Parajka et al., 2005).

În vederea analizei tipologiei precipitațiilor s-au investigat date de precipitații lunare totale pe o perioadă de 30 ani, între 1971 și 2000 de la stațiile meteorologice din Turda, Cluj-Napoca și Băișoara. De la stația pluviometrică din Petreștii de Jos au fost disponibile datele pe numai 2 ani, între ianuarie 2007 și decembrie 2008. Motivul pentru care au fost luate în calcul și aceste date este că o analiză a lor permite calibrarea datelor mediane pentru tot bazinul Hășdate. Precipitațiile orare au fost colectate pe o perioadă de 11 ani în Cluj Napoca și de 6 ani în Turda. Datele disponibile pentru Cluj Napoca au fost măsurate între martie 2001 și octombrie 2011 iar pentru Turda între martie 2006 și octombrie 2011. Fărcaș I. a aplicat metode corelative între stațiile de la Cluj-Napoca și Turda pentru extinderea datelor de precipitații medii lunare și anuale și le-a comparat cu cele din perioada 1896-1955, constatând că din punct de vedere climatologic nu există diferențe mari.

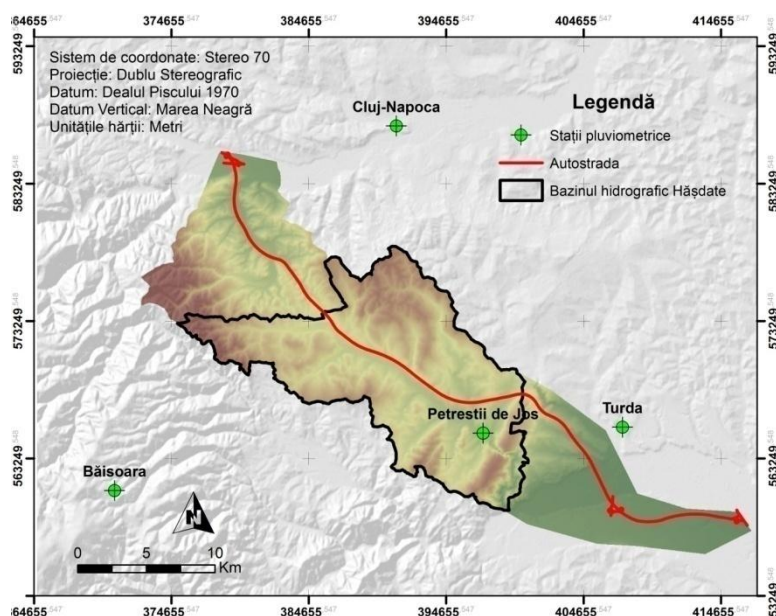


Figura 11 Distribuția spațială a stațiilor pluviometrice

Datele de precipitații totale lunare au fost investigate statistic pentru a se stabili gradul de corelare al acestora. Seria de timp necesară rulării programului de modelare numerică CAESAR a fost obținută pe o perioadă de 17 ani din datele reale măsurate în Cluj-Napoca și Turda, calibrate la cantitatea de precipitații din Petreștii de Jos și cea din Băișoara.

5.3.4. Seriile de precipitații orare

Pentru o simulare realistă este nevoie de un set de date de intrare realist. Datele de input pentru precipitații trebuie să fie suficiente (să acopere din punct de vedere climatic mai mulți ani) și să descrie cât mai corect din punct de vedere statistic arealul investigat.

Studiul prezent a avut ca date de pornire seriile orare de precipitații înregistrate în Cluj Napoca între martie 2001 și octombrie 2011 și în Turda între martie 2006 și octombrie 2011. De asemenea au fost disponibile date de precipitații totale lunare pe 30 ani de la trei stații meteorologice din arealul investigat care au permis o analiză statistico-matematică a comportamentului climatic și extrapolarea acestor rezultate pentru obținerea unei serii de timp corecte din punct de vedere statistic necesară simulării numerice.

Extragerea datelor de interes precum și prelucrarea acestora pentru a ajunge în formatul necesar rulării CAESAR s-a realizat prin utilizarea unui cod simplu, creat de în limbajul C. Seria a fost creată prin colarea celor două serii de timp din Cluj-Napoca și Turda după ce au fost normalizate cu valorile mediane. Seria obținută a fost calibrată ținându-se cont de valorile mediane ale seriilor de precipitații totale lunare măsurate la Băișoara (30 ani) și Petreștii de Jos (2 ani). S-a obținut o serie de 150000 date cu panta zero, bazată pe caracteristicile precipitațiilor reale, măsurate în cele patru stații meteorologice avute în vedere pentru descrierea arealului.

5.3.5. Aspecte climatice cu importanță în manifestarea proceselor geomorfologice

Importanța precipitațiilor este majoră în manifestarea proceselor geomorfologice. Precipitațiile lichide în primul rând sunt importante în ceea ce privește cantitatea și distribuția temporală. O clasificare a vulnerabilității teritoriului Depresiunii Transilvaniei la intensitatea ploilor torențiale arată de asemenea că autostrada traversează o clasă de vulnerabilitate mică. Evapotranspirația este un alt element derivat din regimul climatic și reprezintă suma cantităților de apă evaproată din sol și cea transpirată de componenta vegetală a teritoriului. Conform studiilor făcute de Sandu I. și distribuției spațiale a mediilor anuale de evapotranspirație, teritoriul investigat în studiul de față este clasat în ecartul 500-650 mm (Sandu et al., 2008). Erozivitatea pluvială este un parametru des întâlnit în studiile de eroziune a solului. Acest parametru descrie cel mai bine agresivitatea climatică manifestată regional în contextul unei analize asupra mobilității aluviunilor într-un bazin hidrografic. Pentru estimarea erozivității în arealul de interes al studiului de față s-a folosit metoda propusă de Diodato N (Diodato, 2005). Disponibilitatea valorilor orare ale ploilor din area autostrăzii au permis o analiză a erozivității pentru anul 2010. Valoarea medie calculată pentru anul 2010 este $51,6 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}$.

5.4. Factorul hidrologic

Traseul autostrăzii este împărțit între două unități hidrografice majore, bazinul hidrografic Mureș și bazinul hidrografic Someș. Pentru a întări nota de simetrie se poate menționa că nodurile rutiere ce

limitază secțiunea de autostradă studiată sunt construite în culoarele depresionare a celor două râuri, Arieș și Someșul Mic.

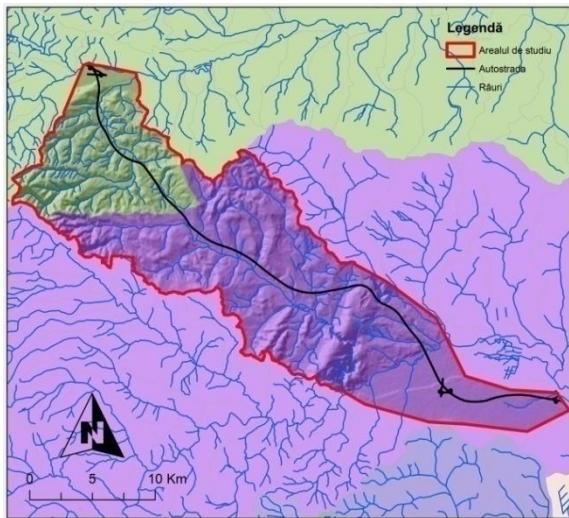


Figura 12 Extinderea spațială a arealului studiat în bazinele Mureș și Someș.

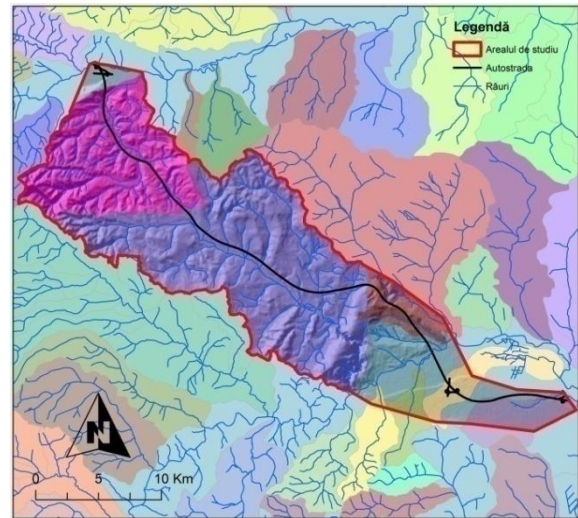


Figura 13 Extinderea spațială a arealului studiat în bazinele hidrografice Feneș și Hășdate.

Autostrada traversează longitudinal două bazine hidrografice ce se interpun celor două râuri prezentate anterior. Bazinul hidrografic Feneș cu o suprafață de 105 km² și o lungime de 29 de km. Râul Feneș este afluent al râului Someșul mic cu punctul de confluență în aval de intersecția autostrăzii cu albia Someșului Mic. Bazinul hidrografic Hășdate cu o suprafață de 215 km² și o lungime de 31 de km. Râul Hășdate este afluentul râului Arieș cu punctul de confluență în amonte de intersecția autostrăzii cu albia Arieșului.

5.5. Factorul biopedologic

S-au prezentat principalele caracteristici ale solurilor întâlnite pe arealul adiacent autostrăzii.

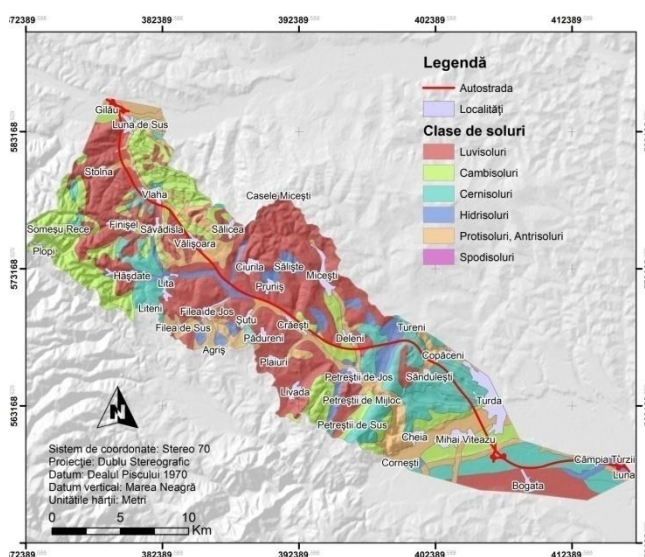


Figura 14 Distribuția spațială a claselor de soluri (Florea, 1988)

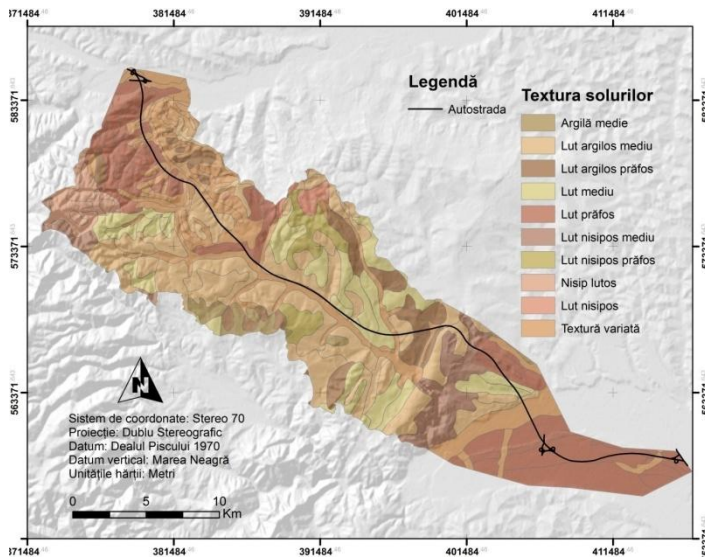


Figura 15 Distribuția spațială a claselor de textură a solurilor

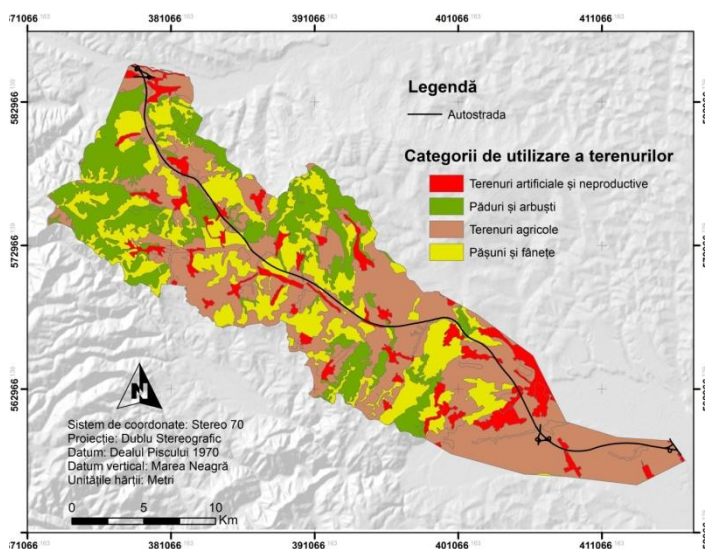


Figura 16 Distribuția spațială a categoriilor de utilizare a terenurilor în arealul studiat (EEA, 2006)

6. Analiza influenței autostrăzii în dinamica geomorfosistemului fluvial folosind simularea numerică. Studiu de caz bazinul Hășdate

Prima fază a studiului a fost simularea evoluției reliefului în condiții și parametri prestabiliți pe modelul numeric al terenului fără autostradă. A doua fază a fost simularea evoluției reliefului cu aceleași condiții și parametri dar cu elementele fizice ale autostrăzii implementate în modelul numeric de teren. În această fază s-au introdus în sistem debitele scurgerii lichide ce provin de pe suprafața de

rulare a autostrăzii, colectată prin rigole și deversată în rețeaua hidrografică de pe versantul stâng al văii Hășdate.

S-au identificat șase puncte de colectare a debitelor, s-au ridicat topografic pentru a fi implementate în modelul CAESAR. Aceste debite reprezintă cantitatea de precipitații colectată de autostradă și deversată în sistemul hidrografic. Este o serie de timp cu pasul temporal identic cu cel al precipitațiilor.

6.1. Parametrii și algoritmi de calcul implicați în funcționarea modelului

6.1.1. Topografia și modelul numeric al terenului

Modelul numeric al terenului este baza topografică pe care modelul CAESAR simulează procesele de versant și albie. Reprezentarea suprafețelor topografice se poate face în patru moduri de bază: grilă, profile, izohipse și rețea de triunghiuri iregulate (Carter, 1988).

Pentru acest studiu s-a folosit un model al terenului de tip grilă cu celule rectangulare regulate, cu rezoluția de 25 metri. Această rezoluție reprezintă un compromis între dimensiunea minimă a unei celule și timpul de procesare a modelului CAESAR. A fost folosit un model topografic cu cea mai bună acuratețe a valorilor de elevație.

Pentru producerea modelului numeric al terenului folosit în acest studiu, s-au scanat, georeferențiat și digitalizat planuri topografice tipărite la scara 1:5000. De pe aceste planuri s-au extras prin digitizare, izohipsele cu valorile de elevație și rețeaua hidrografică. Suprafața topografică a fost calculată folosind platforma ArcGIS, prin metoda Topo to Raster, (ESRI, 2010). Modelul topografic a fost analizat pentru acuratețe folosind puncte geodezice de la ANCPI (Agenția Națională de Cadastru și Publicitate Imobiliară) și cote calculate cu GPS prin metoda RTK (Real-Time Kinematic).

6.1.2. Modelul numeric al terenului cu infrastructura autostrăzii

Pentru reprezentarea tridimensională a construcțiilor de tip debleu și rambleu pe tronsonul de autostradă ce traversează bazinul Hășdate s-au folosit tehnologii de tip CAD și GIS. S-au făcut ridicări topografice pe tot tronsonul autostrăzii cu ajutorul unui GPS diferențial în sistem RTK. Punctele de elevație s-au procesat pentru construirea unui model tridimensional prin triangulație, folosind două linii tridimensionale pentru ruperea pantei la nivelul suprafeței de rulare a autostrăzii. Modelul terenului a fost exportat într-o rețea de tip grid pentru procesare în GIS. Cu ajutorul tehnologiei GIS s-a făcut o corectare a modelului numeric inițial, fără autostradă, cu ajutorul procesului de mozaicare,

rezultatul fiind un model numeric al terenului cu infrastructura autostrăzii reprezentată prin valori de elevație.

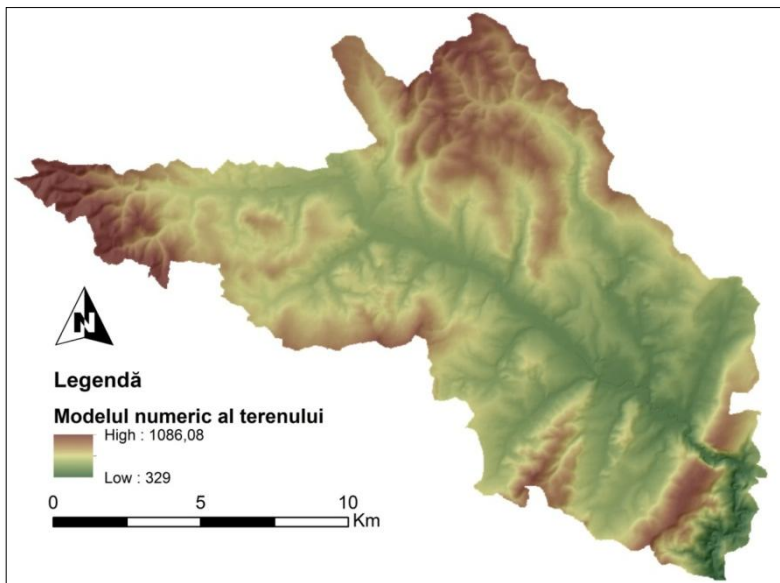


Figura 17 Modelul numeric al terenului pentru bazinul Hășdate

6.1.3. Modelul numeric al rocii parentale

Modelul CAESAR are nevoie de un model numeric al rocii parentale care funcționează ca limită de substrat pentru toate procesele geomorfologice, astfel eroziunea nu poate trece de această adâncime. Acest model a fost creat ca fiind diferența dintre modelul terenului inițial și suprafața cu elevația stabilită de operator. Elevația substratului dur ce ar încetini sau chiar opri eroziunea a fost stabilită în timpul campaniilor de teren.

În cazul modelului de teren cu autostradă s-a considerat rocă parentală și infrastructura autostrăzii, deoarece perimetrul autostrăzii este protejat împotriva eroziunii.

6.1.4. Distribuția fracțiunilor granulometrice în bazinul hidrografic

Având în vedere faptul că punctele de prelevare a probelor au fost puține, a fost necesară o redistribuire a fracțiunilor granulometrice pe suprafața bazinului. Inițial stratul activ unde se inițiază procesele de eroziune, are o granulometrie uniformă dictată de operator în urma măsurătorilor de laborator. Redistribuirea fracțiunilor într-un mod apropiat de cel natural s-a făcut prin rularea modelului CAESAR până ce se formează un strat de pavaj și sedimentograful se echilibrează. Această nouă distribuție spațială a granulometriei depozitelor se folosește ca date de intrare în model.

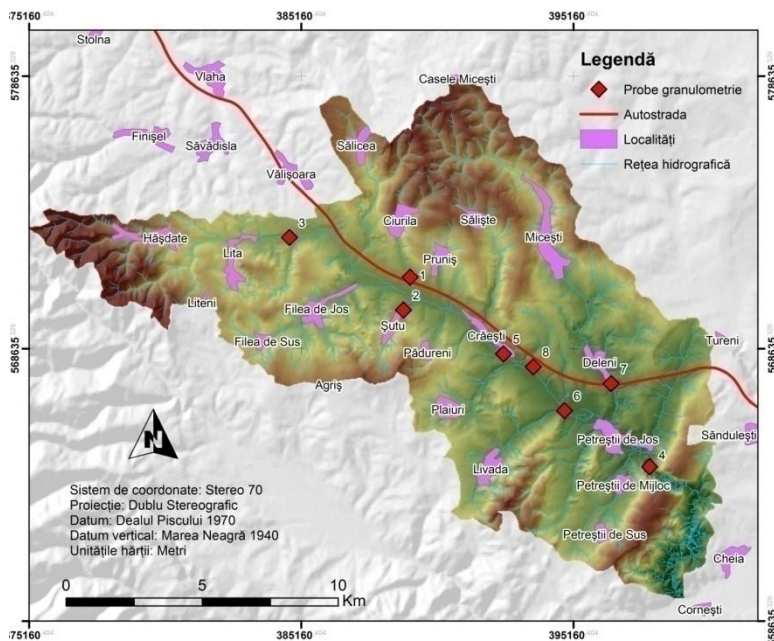


Figura 184 Geolocalizarea punctelor de colectare a probelor granulometrice în bazinul Hășdate

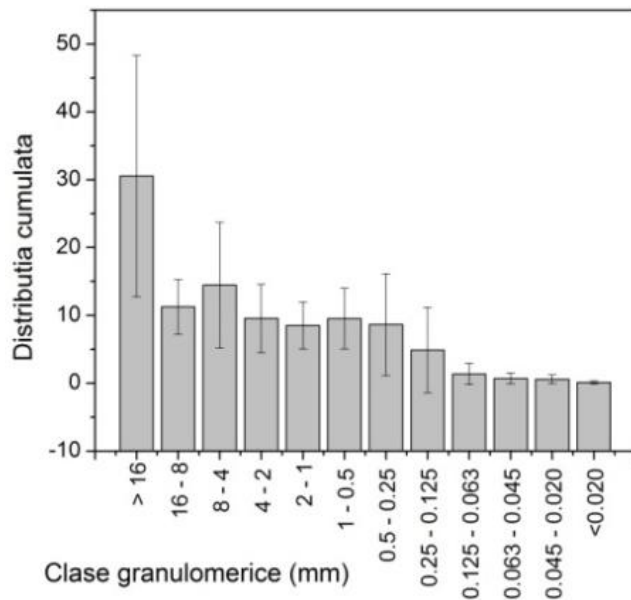


Figura 195 Granulometria probelor în bazinul Hășdate

6.1.5. Rata de regresie a hidrografului de viitură

Parametrul m din cadrul datelor de intrare a modelului CAESAR reprezintă rata de regresie a maximului de viitură în bazinul hidrografic. Calcularea lui se poate face pe două căi. Prima și cea mai sigură este analiza unui hidrograf de viitură din bazin. Pentru bazinele care nu au stații hidrometrice, calcularea se face folosind indicele topografic al bazinului hidrografic.

În acest caz am folosit valorile înregistrate la Petreștii de Jos în data de 22.06.2010. Fitarea cu o funcție hiperbolică a distribuției cumulate a acestor valori a condus la obținerea valorii parametrului m , care în acest caz a fost de 0,014.

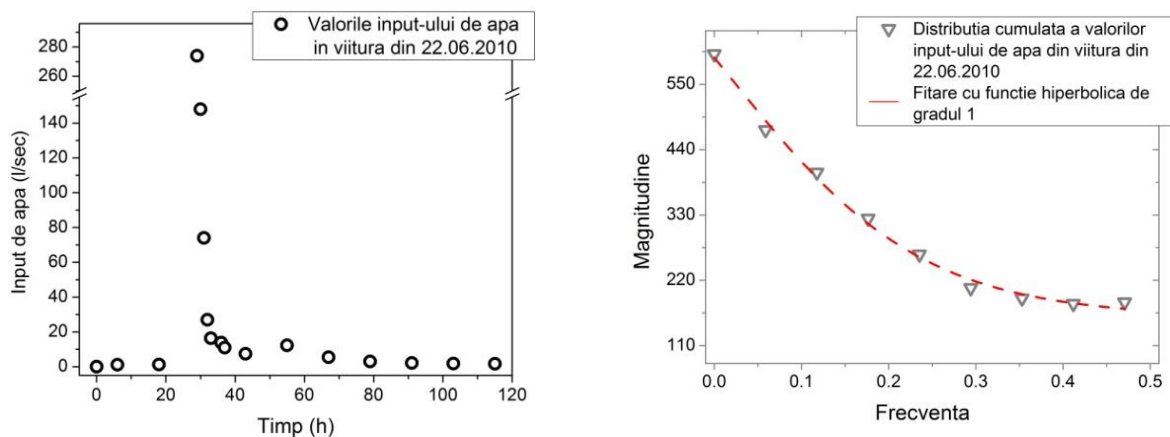


Figura 60 Graficul ratei de regresie a hidrografului de viitură în bazinul hidrografic.

6.1.6. Algoritmul de calcul al curgerii

Algoritmul de calcul al apei în albie sau în suprafață folosit în acest model este bine descris în literatură, (Van De Wiel et al., 2007), (Coulthard et al., 2007), drept urmare am punctat doar aspectele generale.

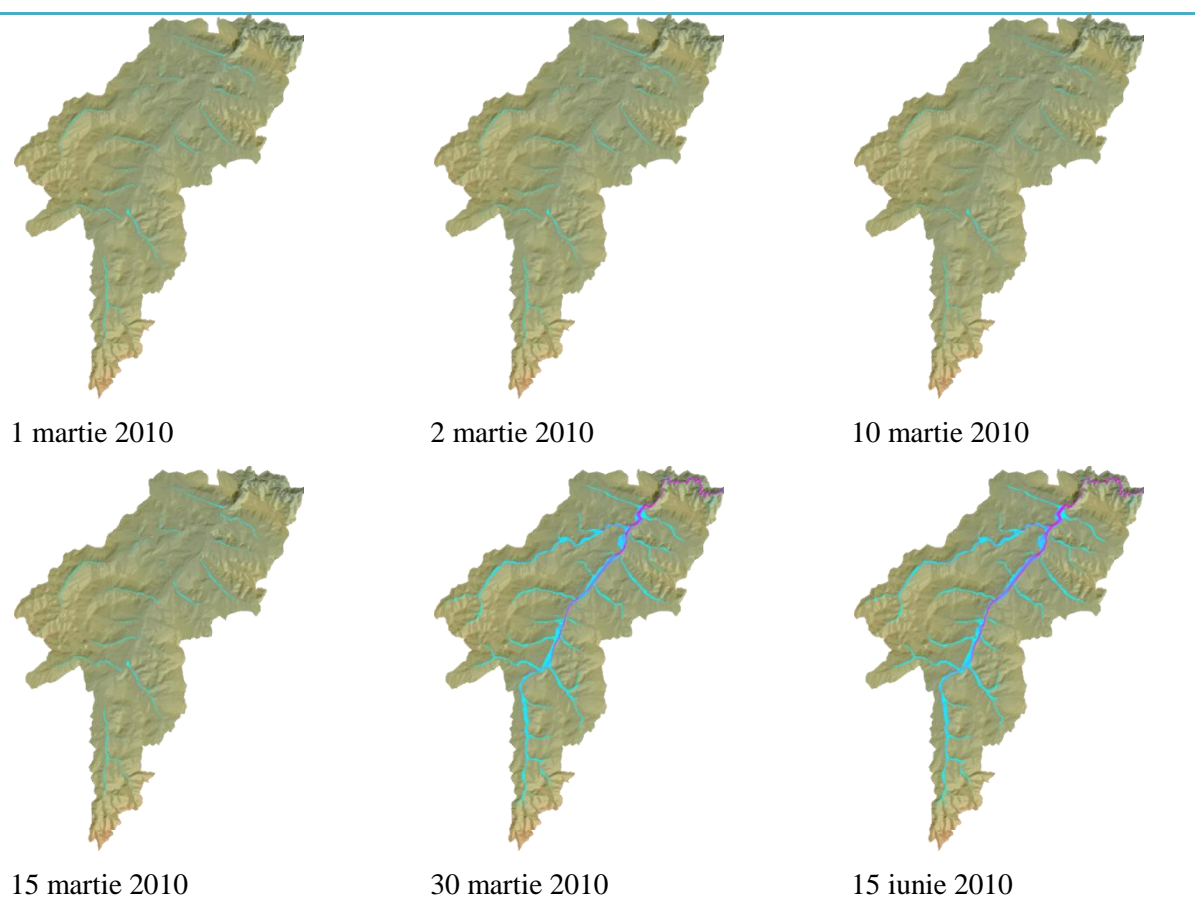


Figura 21 Secvențele procesului de simulare a evoluției reliefului în bazinul Hășdate.

6.2. Rezultate obținute în urma simulării

Rezultatele simulării cu ajutorul modelului CAESAR constau în serii de timp la un pas de timp prestabilit de 24 de ore. Dintre parametrii rezultați din simulare am ales pentru analiză seriile de timp cu debitele de aluviuni mobilizate în bazinul hidrografic.

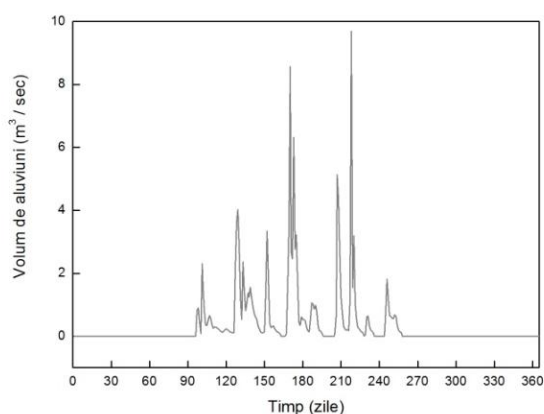


Figura 72 Valorile debitului de aluviuni calculat în bazinul Hășdate (fără autostradă)

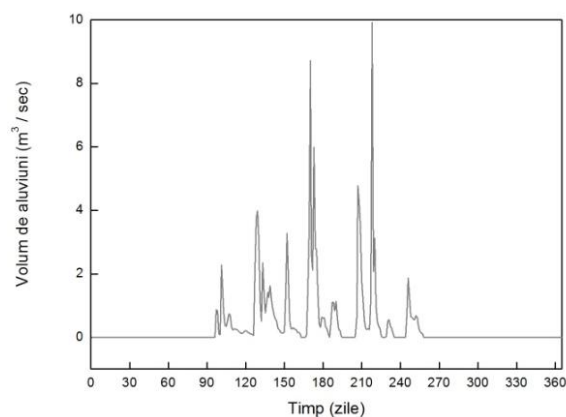


Figura 23 Valorile debitului de aluviuni calculat în bazinul Hășdate (cu autostradă)

Diferențele dintre valorile celor două simulări arată că accelerarea și atenuarea transportului de aluviuni la nivelul bazinului hidrografic nu se face în funcție de variația cantitativă a precipitațiilor pe bazin. Diferențele apar datorită schimbărilor la nivelul suprafeței topografice și redistribuirii scurgerii lichide pe versantul stâng al văii Hășdate.

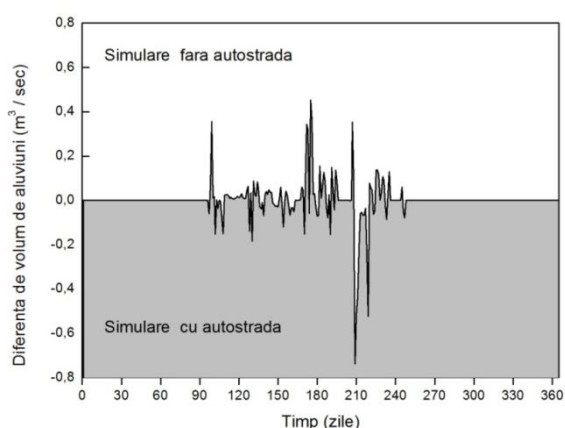


Figura 24 Diferențele de debit de aluviuni între cele două simulări

Din hărțile cu distribuția suprafețelor cu procese erozivo-denudaționale se poate observa o reorganizare a acestor procese pe versantul stâng al văii Hășdate, în vecinătatea infrastructurii autostrăzii. Din imaginile de detaliu se poate observa distribuția ariilor de stocaj și celor care funcționează ca surse de aluviuni. Se poate observa și o colmatare a perimetrului cu infrastructura autostrăzii, fapt care în teren se identifică prin colmatarea rigolelor de protecție ale autostrăzii.

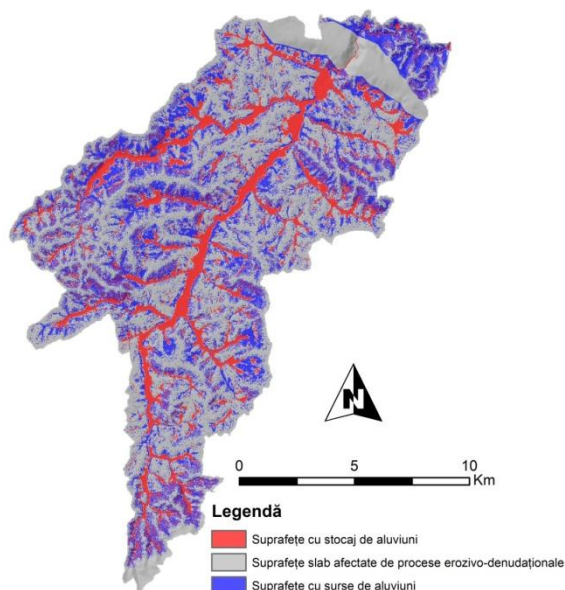


Figura 25 Distribuția suprafețelor afectate de procesele erozivo-denudaționale. Model numeric cu autostradă.

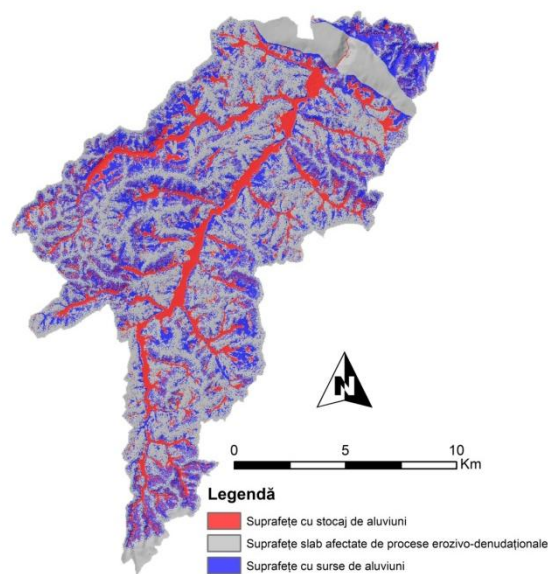


Figura 26 Distribuția suprafețelor afectate de procesele erozivo-denudaționale. Model numeric fără autostradă.

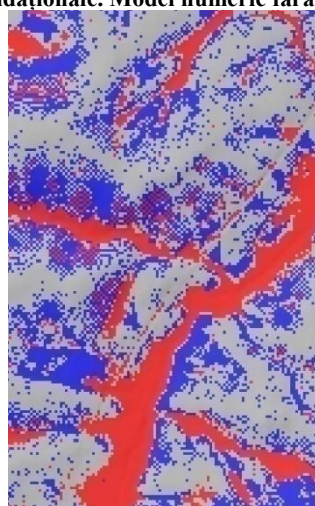
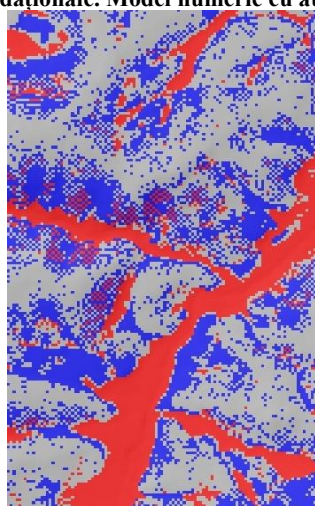


Figura 27 Imagini de detaliu a ariilor afectate de procesele erozivo-denudaționale. Stânga fără autostradă, dreapta cu autostradă.

7. Analiza influenței autostrăzii în dinamica geomorfosistemului de versant. Procese de mișcare în masă în bazinul Hășdate

Traseul autostrăzii traversează un teritoriu care din punct de vedere litologic este caracterizat de roci slab consolidate, sunt plastic deformabile, alunecă și curg pe versanți. Manifestarea proceselor deluviale active este relativ scăzută. Majoritatea alunecărilor de teren de pe terenul aferent autostrăzii sunt de tip translațional și superficiale. Printre cauzele de declanșare cele mai importante sunt vibrațiile din timpul șantierului și săparea zonei inferioare a versantului. Totuși, în urma investigațiilor de teren s-a identificat o alunecare de teren ce a devenit un obiectiv de studiu în lucrarea de față.

7.1. Alunecarea de teren de la Crăești

7.1.1. Localizarea și descrierea sitului investigat

Alunecarea de teren este localizată în nord-vestul localității Crăești pe versantul stâng al văii Hășdate. Distanța dintre fruntea alunecării și ampriza autostrăzii este 5 m. Conform studiului litologic în compoziția depozitului deluvial sunt prezente argile, nisipuri și concrețiuni grezoase. În vecinătatea corpului de alunecare s-au identificat deschideri naturale în corpi torențiale. În aceste deschideri s-au ridicat topometric cotele la care apar primele strate de gresii și nisipuri. Urmărind aceste cote s-a concluzionat că stratele de gresii și nisipuri sunt de tip monoclinal și conforme cu înclinarea versantului. Mai mult s-a stabilit că acestea sunt situate la o adâncime de 3-4 metri de la nivelul solului. Folosind metodele specifice de cartare s-a întocmit schița alunecării de teren.

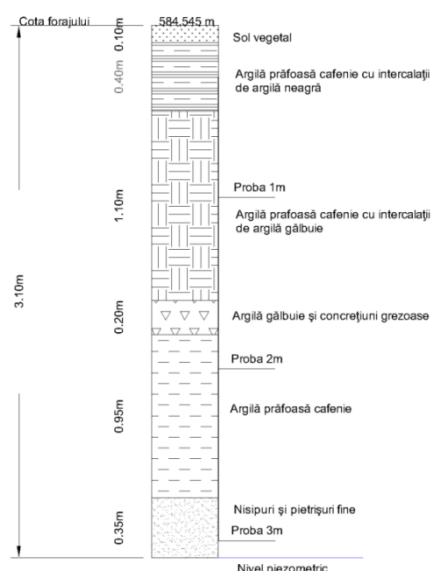


Figura 28 Foraj în depozitul deluvial de la Crăești

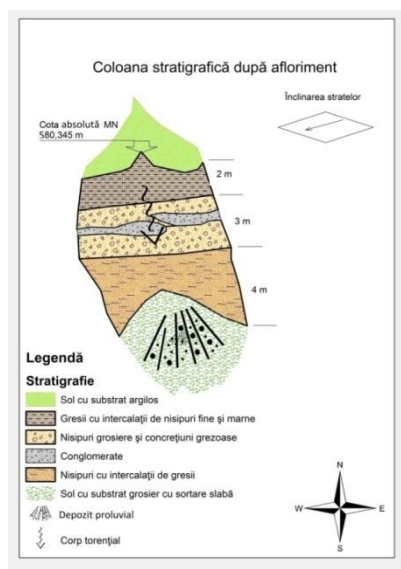


Figura 29 Coloana stratigrafică după afloriment în vecinătatea alunecării de teren de la Crăești

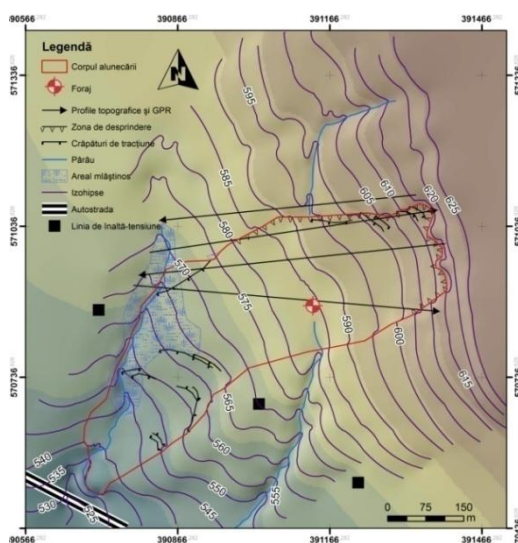


Figura 30 Schița alunecării de teren de la Crăești

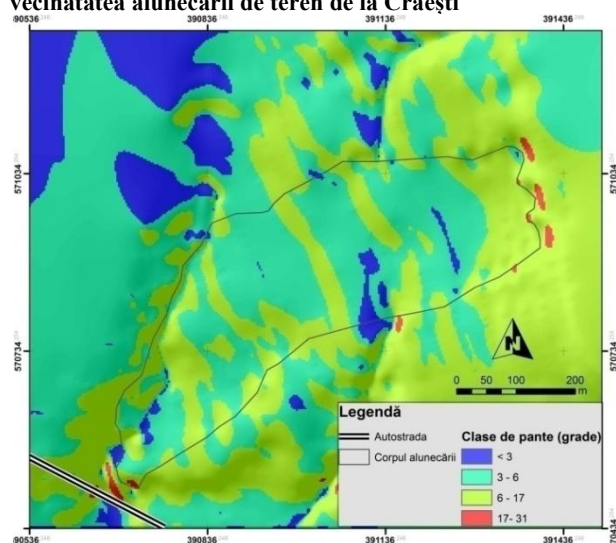


Figura 31 Distribuția pantelor în cadrul alunecării de teren de la Crăești

7.1.2. Descrierea fizico-mecanică a depozitului deluvial

Manifestările și dinamica sistemului morfologic al alunecării de teren depinde în mare măsură de proprietățile fizice ale substratului. Acestea tind să se schimbe odată cu intrarea sistemului într-o fază dinamică. Cunoașterea acestor variabile contribuie semnificativ la acuratețea rezultatelor analizei privind dinamica sistemului de versant.

Fracțiunea granulometrică este reprezentată de particule cu dimensiuni caracteristice pietrișului, nisipului, praf și argilă:

Tabel 1 Frațiunea granulometrică STAS (1243-88, 1983).

pietriș	2-70 mm
nisip	0,05-2 mm
praf	0,005-0,05 mm
argilă	< 0,005 mm

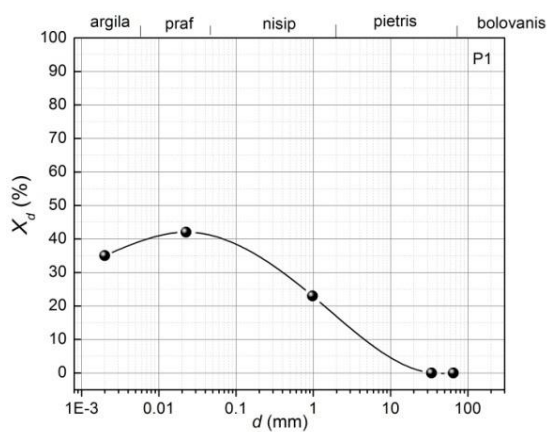


Figura 32 Histograma și curba de frecvență granulometrică pentru proba 1

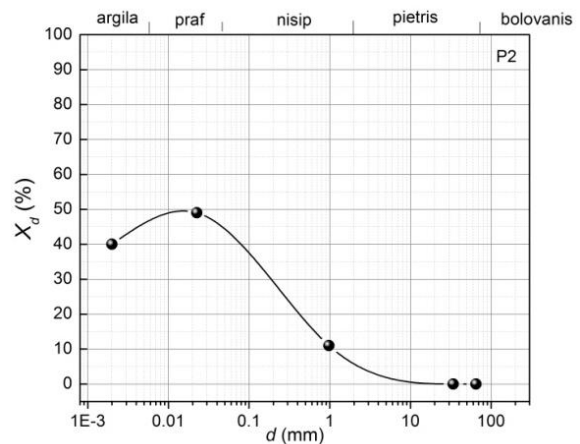


Figura 33 Histograma și curba de frecvență granulometrică pentru proba 2

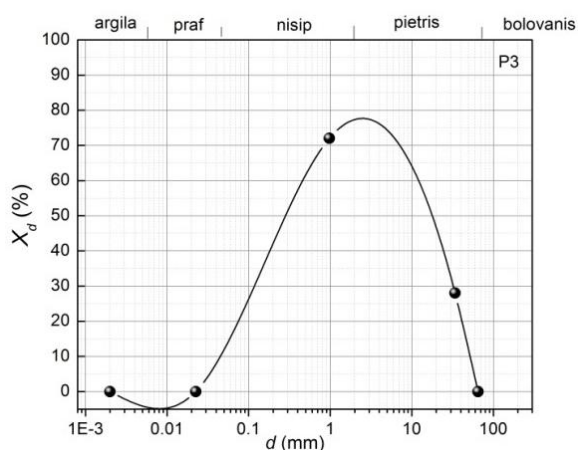


Figura 34 Histograma și curba de frecvență granulometrică pentru proba 3

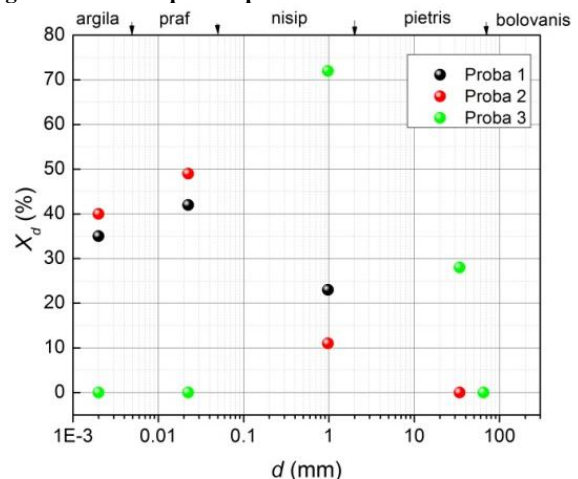


Figura 35 Histograma distribuției granulometrice pentru toate cele trei probe

Coefficientul de neuniformitate este raportul dintre diametrul fracțiunii cu ponderea de 60 % din compoziția granulometrică și diametrul fracțiunii cu ponderea de 10 % din aceeași granulozitate.

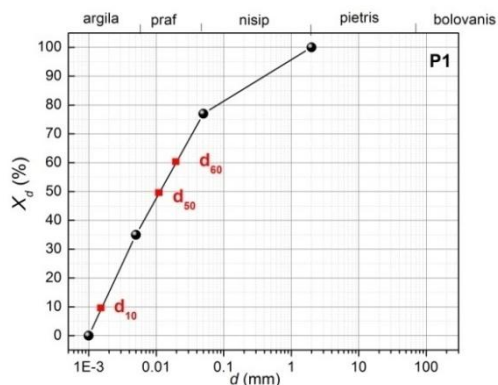


Figura 36 Curba granulometrică pentru Proba 1

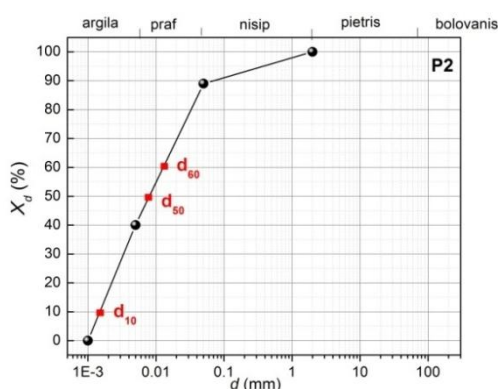


Figura 37 Curba granulometrică pentru Proba 2

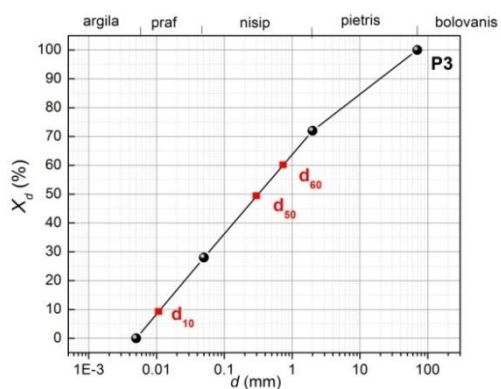


Figura 38 Curba granulometrică pentru Proba 3

Conform datelor extrase din curbele granulometrice, probele analizate se încadrează în clasa pământurilor cu uniformitate medie ($5 < U < 15$). Probele investigate au următoarele valori:

Tabel 2 Coeficientul de neuniformitate pentru cele 3 probe

Proba 1	12,5
Proba 2	8
Proba 3	5,6

Umiditatea naturală este ponderea de umețcare a materialului deluvial. Pentru probele noastre s-au calculat următoarele procente:

Tabel 3 Procentul de umiditate naturală

Proba 1	36,7 %
Proba 2	35,12 %
Proba 3	32 %

Cu ajutorul acestor valori s-a calculat *gradul de umiditate*. Probele au următoarele grade de saturație:

Tabel 4 Gradul de saturație a probelor

Proba 1	0,98
Proba 2	0,94
Proba 3	0,96

Se poate observa că depozitul cercetat este practic saturat $S_r > 0,9$.

Limitele de plasticitate sau Limitele Atterberg exprimă starea de plasticitate a matricei depozitelor.

Pentru probele analizate s-au stabilit următoarele valori:

Tabel 5 Limitele de plasticitate

	W_L	W_P
Proba 1	48,39 %	31,69 %
Proba 2	47,97 %	29,07 %
Proba 3	fracțiune < 0,5 insuficientă pentru această analiză	

Depozitul deluvial investigat se încadrează în clasa argilelor prăfoase cu plasticitate mijlocie: $35\% < w_L < 50\%$. Pe baza acestor valori s-au calculat mărimea intervalului de plasticitate.

Indicele de plasticitate reprezintă valoarea intervalului de umiditate în care depozitul deluvial se comportă ca material plastic. Intervalele de comportare plastică a probelor calculate pe baza limitelor de plasticitate sunt următoarele:

Tabel 6 Indicele de plasticitate

Proba 1	16,70 %
Proba 2	18,90 %

După indicele de plasticitate calculat, depozitul deluvial se încadrează în clasa argilelor prăfoase cu plasticitate mijlocie, $15\% < I_p < 35\%$

Indicele de consistență reprezintă starea fizică naturală actuală a depozitelor argiloase. Aplicarea formulei pe datele de mai sus a returnat următoarele valori:

Tabel 7 Indicele de consistență

Proba 1	0,70
Proba 2	0,68

Conform acestui indice probele se încadrează în clasa materialelor plastic consistente cu $0,51 < I_c < 0,75$.

Greutatea volumică a scheletului probelor reprezintă raportul dintre greutatea particulelor solide și volumul scheletului materialului investigat. Pentru cazul de față s-au folosit valorile densităților specifice recomandate de S.Manea, conform căreia aceste valori nu diferă semnificativ de la pământ la altul (Manea et al., 2003).

Pentru accelerația gravitațională s-a folosit valoarea de $10 \frac{m}{s^2}$. În baza acestor valori s-au calculat următoarele densități specifice:

Tabel 8 Greutatea volumică și densitățile scheletului

	ρ_s	γ_s
Proba 1	2,7	27
Proba 2	2,7	27
Proba 3	2,65	26,5

Greutatea volumică în stare naturală este raportul dintre greutatea totală a probei și volumul acesteia. Pentru probele analizate s-au calculat următoarele valori:

Tabel 9 Greutatea volumică în stare naturală

proba 1	18,33
proba 2	18,16
proba 3	18,56

Greutatea volumică în stare uscată este greutatea probei uscate în raport cu volumul total al probei. *Densitatea în stare uscată* reprezintă raportul dintre masa probei uscate și volumul total al probei. În urma măsurătorilor de laborator s-au calculat următoarele greutateți volumice:

Tabel 10 Greutatea volumică în stare uscată

	γ_d
Proba 1	13,41
Proba 2	13,44
Proba 3	14,06

Porozitatea este procentul de pori față de volumul total, pentru care s-au calculat următoarele valori:

Tabel 11 Porozitatea

	n
Proba 1	50
Proba 2	50
Proba 3	46

Indicele de activitate coloidală sau Indicele de activitate a lui Skempton definește activitatea depozitelor argiloase în raport cu apa. Analiza curbelor granulometrice a returnat următoarele valori pentru activitatea coloidală:

Tabel 12 Indicele de activitate coloidală

Proba 1	1,11
Proba 2	1,11
Proba 3	nu are în compoziție fracțiunea de 0,002 mm.

Conform acestor rezultate argilele din depozitul deluvial au o activitate coloidală medie ($0,76 < I_A < 1,25$).

7.2. Investigarea planului de alunecare folosind metoda GPR

7.2.1. Setarea valorilor pentru parametrii utilizați

Pentru procesarea inițială, pe teren și automată a datelor transmise și primite de antene este necesară stabilirea unor valori cu privire la variabilele condițiilor litologice. Valorile sunt introduse în sistem înainte de inițierea măsurărilor.

Viteza de propagare a undelor electromagnetice. În cazul de față s-au folosit valori obținute empiric, raportate în literatura științifică sau comunicate personal. După analiza litologică din foraj, confruntată cu valorile raportate științific, s-a stabilit folosirea unei viteze de propagare de 0,06 m/ns (Davis & Annan, 1989) (Jol & Bristow, 2003). Această viteză este caracteristică litologiei argiloase și nisipului saturat, amândouă găsindu-se în arealul studiat.

Intervalul de timp a emisiunii unei undei electromagnetice. O altă valoare prestabilită este fereastra de timp. Acesta este intervalul de timp cât este emisă unda electromagnetică într-un impuls și definește lungimea totală a unei urme. A. P. Annan susține că intervalul de timp trebuie setat astfel încât adâncimea de penetrare să depășească cu o treime adâncimea presupusă a mediului investigat sau a obiectului căutat (Annan, 2001). Pentru studiul de caz prezentat aici s-a folosit valoarea de 433.3 ns, care este în concordanță cu valorile specificate în literatură sau folosite în practică (Annan, 2001) (Sass O. comunicare personală).

Intervalul de timp pentru eșantionare. Această variabilă stabilește frecvența eșantionării dintr-o trasă. În cazul de față s-a folosit o rată de eșantionare cu frecvența de 800 MHz.

Pasul metric de măsurare. Configurația sistemului GPR folosit și morfologia terenului au impus folosirea unui pas metric echidistant. Acest pas reprezintă distanța dintre urmele înregistrate pe un profil. Pentru aplicația de față s-a folosit pasul de 0.5 m, care este conformă cu cele două recomandări de mai sus.

7.2.2. Procesarea și interpretarea datelor

Editarea și filtrarea

Această etapă seamănă în mare parte cu prelucrarea datelor de reflexie seismică. O primă fază în procesarea datelor este editarea sau corectarea fisierului antet „header file”. Acesta conține date despre parametrii folosiți în timpul măsurătorilor, denumirile profilurilor și alte informații care ajută la organizarea datelor GPR. A doua fază este procesarea datelor achiziționate în teren prin filtrare. Majoritatea măsurătorilor executate pe substrat sedimentar necesită o filtrare de bază (Jol & Bristow, 2003). Pentru procesare s-a folosit programul ReflexW (Sandmeier, 1993).

7.2.3. Interpretarea radargramelor

După interpretarea radargramelor s-a stabilit că stratul de nisip suprasaturat păstrează o echidistanță față de nivelul 0 al solului cuprinsă între 3 și 4 metri.

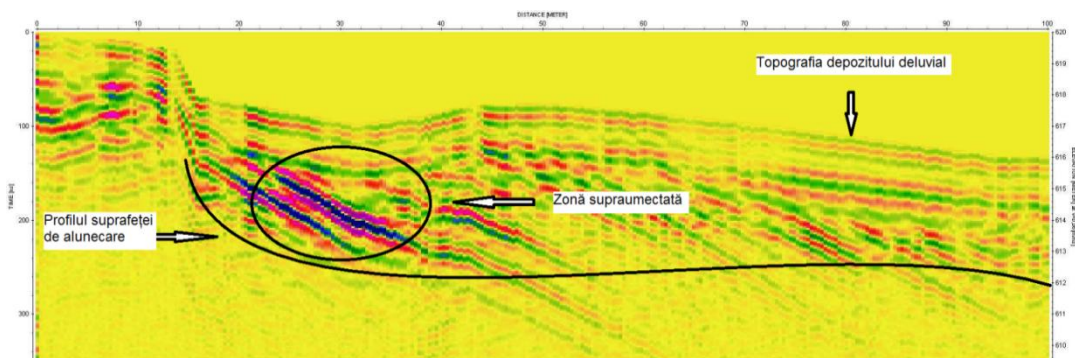


Figura 39 Radargrama cu zona de desprindere la alunecarea de la Crăești

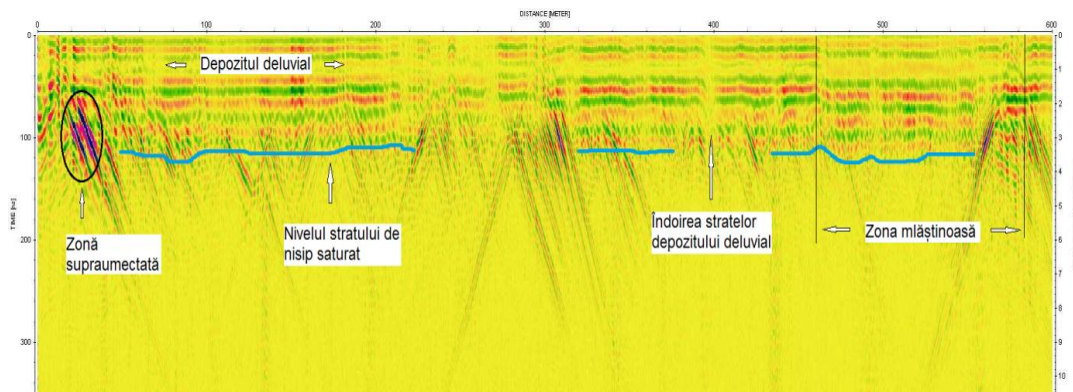


Figura 40 Interpretarea unui profil georadar pe alunecarea de teren de la Crăești

Interpolând între profilele georadar putem considera că suprafața de alunecare este conformă cu suprafața solului.

7.3. Analiza asupra stabilității versantului

Sistemul alunecării de teren a fost analizat și din punctul de vedere al stabilității versantului afectat sau a factorului de siguranță. Pentru această analiză s-a efectuat studiul rezistenței la forfecare a depozitului deluvial. Rezistența la forfecare este influențată de posibilitatea de drenare a apei din depozitul deluvial. Prin prisma acestui fapt se cunosc două tipuri de comportări ale depozitelor deluviale: Pe termen scurt depozitul se deformează într-un volum constant fără drenarea apei. Pe termen lung depozitul este drenat iar comportarea este dictată de scheletul materialului fără suprapresiunile interstițiale ale apei

Analiza rezistenței s-a făcut pe dreapta caracteristică a depozitului și în funcție de parametrii rezistenței la forfecare. Dreapta caracteristică a depozitului exprimă condiția de forfecare după ecuația Mohr-Coulomb. În cazul de față s-a efectuat o analiză a comportării pe termen lung calculându-se parametrii efectivi ai rezistenței la forfecare. Această metodă presupune drenarea probei în timpul încercărilor reducând valoarea presiunii apei din pori la 0 (Popa & Fărcaș, 2004). În urma analizei s-au stabilit valorile parametrilor efectivi:

Tabel 13 Parametrii efectivi ai rezistenței la forfecare.

	unghiul de frecare internă (φ)	coeziunea (c)
proba 1	13	8
proba 2	13	8
proba 3	19	0

Factorul de siguranță reprezintă raportul dintre forțele ce cauzează mișcarea depozitului deluvial și forțele de rezistență ce stau împotriva mișcării (Surdeanu, 1998).

Forța gravitațională este principala forță care tinde să reducă la orizontal morfologia terenului. Împotriva ei se opun forțele de coeziune și frecare. Stabilitatea unui versant depinde în mare măsură de starea de echilibru dintre cele două părți (De Blasio, 2011)

Așadar,

$$F_s = \frac{\text{Forțele de rezistență}}{\text{Forțele motrice}}$$

Dacă $F_s > 1$ rezultă că sistemul este stabil, iar dacă $F_s < 1$ rezultă ca sistemul este instabil.

Factorii ce influențează valoarea factorului de siguranță sunt de natură diferită:

- Tipul de rocă implicată în procesul geomorfologic
- Stratigrafia depozitului deluvial
- Distribuția maselor depozitelor în cadrul versantului
- Rata de infiltrare a apei în structura litologică
- Vegetația și modul de utilizare a terenurilor din cadrul corpului de alunecare
- Influența unor forțe impulsive din exteriorul sistemului ce deranjează echilibrul versantului

Factorul de siguranță a fost calculat cu formula propusa de (Milligan et al., 2005).

$$F_s = \frac{\text{tg}\varphi}{\text{tg}\beta} \left[1 - \frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{(1 + \text{tg}^2\beta)}{(1 + \text{tg}\alpha\text{tg}\beta)} \right]$$

unde:

- F_s este factorul de siguranță
- γ este greutatea volumică a depozitelor
- γ_w este greutatea volumică a apei
- $\text{tg}\beta$ este panta depozitului deluvial
- $\text{tg}\alpha$ este panta nivelului hidrostatic

În cazul depozitului deluvial din acest studiu s-a considerat că $\alpha = \beta$ astfel formula factorului de siguranță a devenit:

$$F_s = \frac{\text{tg}\varphi}{\text{tg}\beta} \left[1 - \frac{\gamma_w}{\gamma} \right]$$

Pentru calcularea factorului de siguranță s-au procesat datele din analizele morfometrice și geotehnice: unghiul de frecare internă $\varphi = 15$; unghiul cu orizontala a depozitului deluvial $\beta = 6$; greutatea volumică a apei $\gamma_w = 9,8$; greutatea volumică a depozitelor $\gamma = 18,35$

În urma studiului s-a stabilit că $F_s = 1,27$ rezultând o stare de stabilitate. Din evaluarea de mai sus se poate observa că valoarea factorului de siguranță nu depinde de adâncimea la care se găsește planul de alunecare iar starea de stabilitate se regăsește atât timp cât $\beta < \varphi$.

7.4. Sistemul geomorfologic al alunecării de teren

În cazul alunecării de la Crăești variabilele sistemului de alunecare au fost măsurate în teren prin ridicări topografice și geofizice, prin cartarea geomorfologică de detaliu și prin analize de laborator.

Variabilele morfometrice măsurate în teren sunt:

- Lungimea maximă măsurată de la cornișa de desprindere până la fruntea de alunecare este de 871 m
- Lățimea maximă măsurată în zona cea mai lată a corpului de alunecare este de 254 m
- Grosimea corpului alunecării a fost stabilită în urma măsurătorilor geotehnice și geofizice la o medie de 3,5 m
- Perimetrul alunecării este de 2020 m
- Suprafața alunecării este de 183 582 m²
- Volumul a fost calculat conform relației lui Surdeanu V. (Surdeanu, 1998) și are o valoare de 774 319 m³.

În urma analizei morfologice s-a stabilit că alunecare de teren s-a manifestat în două secvențe.

Prima secvență are o cauzalitate antropică. În timpul lucrărilor la șantierul autostrăzii s-a ridicat nivelul de bază a rețelei hidrografice locale prin depozitarea haldelor de pământ în albie. Asigurarea drenajului s-a făcut printr-o tubulatură inadecvată, astfel la primele ploi abundente drenajul a fost întrerupt. A urmat o perioadă în care suprafața de teren amonte de infrastructura autostrăzii s-a transformat într-o mlaștină, nivelul freatic bălțind la suprafața terenului. În sezonul de primăvară-vară au fost precipitații abundente pe bazinul Hășdate timp în care depozitul deluvial supraumectat a depășit starea de echilibru și s-a transformat într-o curgere noroioasă ce a împins protecția cu gabioane în trepte amenajată pe albie. Acest proces a barat complet drenajul amenajat pe sub infrastructura autostrăzii.

A doua secvență s-a derulat în urma subminării bazei versantului stâng al pârâului. Curgerea noroioasă a permis transportul de deluvii pe direcția albiei. Starea de stabilitate a versantului afectat la bază s-a schimbat și a intrat într-o fază de alunecare translațională. Alunecarea depozitului deluvial s-a produs pe o distanță relativ scurtă de până la 5 m iar cornișa de desprindere are o înălțime medie de 2 m.

La momentul măsurătorilor depozitul era într-o stare de echilibru stabilită prin măsurători topometrice secvențiale. Drenajul deficitar dezorganizat de pe versant poate impune noi condiții în structura sistemului ajustând astfel starea de echilibru și factorul de siguranță.

8. Concluzii generale

Lucrarea de față se dorește a fi un studiu de geomorfologie aplicată pentru analiza impactului infrastructurii rutiere în dinamica sistemelor geomorfologice. Prezintă două studii de caz reprezentative pentru procesele de versant și albie în aria investigată.

Inițierea studiilor geomorfologice de detaliu s-au făcut după o analiză a factorilor fizico- geografici locali ce influențează sistemul geomorfologic și buna funcționare a autostrăzii. Încadrarea teritoriului studiat în sistemele geografice zonale a scos în evidență impactul factorilor naturali asupra proceselor geomorfologice generate antropice sau naturale.

Fundamentul geologic al spațiului investigat impune prin proprietățile fizice ale rocilor, condiționări în manifestările fenomenelor geomorfologice. S-a arătat că prin înclinarea straturilor și gradul lor de compactare pachetele stratigrafice influențează drastic stabilitatea versanților. Granulometria depozitelor și distribuția lor spațială influențează structura depozitelor deluviale și dinamica pânzei freactice în cadrul acestor depozite.

Regiunea geomorfologică și analiza geomorfometrică scoate în evidență condiționări în sistemul albie-versant prin ecartul hipsometric, expoziția versanților și panta acestora.

Rețeaua hidrografică este un factor important în dinamica materialelor aluvionare dislocate prin procesele erozivo-denudaționale.

Factorul climatic s-a dovedit a fi „motorul” proceselor geomorfologice de versant. Precipitațiile influențează în mod direct fenomenele geomorfologice prin amplitudine și intensitate.

S-a arătat că în arealul studiat factorul biopedologic este în relație strânsă cu factorul antropice. Omul influențează evoluția stratului edafic prin controlul vegetației și utilizarea terenurilor. Solul are o mare importanță în dinamica geomorfologică prin prisma proprietăților fizico-chimice, în special.

Metodologia angajată în derularea studiilor de caz este un cumul de tehnici și metode cu aspecte de originalitate pentru studiile de geomorfologie aplicată din România. S-a folosit modelarea numerică și simularea computațională în studiul proceselor fluviale și erozivo-denudaționale. Modelarea numerică și matematică s-a folosit pentru investigarea seriilor de date altimetrice, de precipitații, geotehnice și geofizice. Tehnologia GIS a permis reprezentarea distribuției spațiale a arealelor investigate. Trebuie

specificat că majoritatea datelor folosite în modelele statistico-matematice au fost colectate din teren în timpul campaniilor de teren.

Interacțiunea infrastructurii autostrăzii în dinamica geomorfologică la nivelul bazinului hidrografic Hășdate a fost simulată cu ajutorul modelului CAESAR. Acest model furnizează date ce caracterizează influența schimbărilor de mediu geomorfologic. S-a arătat că pe parcursul unui an pot fi schimbări majore la nivelul bazinului hidrografic, prea subtile însă pentru a fi măsurate în plan local.

În cazul proceselor de versant s-a studiat o alunecare de teren, considerată reprezentativă pentru aria de influență a autostrăzii. S-au analizat variabilele morfometrice ale sistemului de alunecare și stabilitatea versantului. S-a prezentat modul de influență antropică asupra geomorfosistemului de versant.

Dintre aspectele de originalitate se pot puncta:

- utilizarea modelului de evoluție a reliefului CAESAR în simularea impactului indus de proiectele de infrastructură rutieră, la nivelul bazinului hidrografic
- investigarea arhitecturii structurale a depozitelor deluviale cu ajutorul tehnicii GPR, în cadrul studiilor de geomorfologie aplicată în România.

Bibliografie integrală

1. Abu Hammad, A., Lundekvam, H. ; Borresen, T., (2005). Adaptation of RUSLE in the Eastern part of the Mediterranean Region. *Environmental Management*, 34(6), pp.829-841.
2. Alberts, E.E., Holzhey, C.S., West, L.T. ; Nordin, J.O., (1987). *Soil Selection: USDA water erosion prediction project (WEPP)*. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers USDA.
3. Anghel, T. , Bilașco, Ș., (2008). The Motru basin-GIS application on sheet erosion. *Geographia Napocensis*, 2(1), pp.90-108.
4. Annan, A.P., (2001). *Ground penetrating radar workshop notes*. Ontario: Sensors and Software Inc.
5. Arghiriade, C., (1968). *Cercetări privind capacitatea de retenție a apei în culturile tinere de protecție de pe terenurile degradate*.: Centrul de Documentare Tehnică pentru Economia Forestieră. București
6. Armaș, I.,(2006). *Risc și vulnerabilitate. Metode de evaluare aplicate în geomorfologie*. Editura Universității din București. București
7. Badea, L. (sub redacție), (1983). *Geografia României I. Geografie fizică*. Editura Academiei RSR. București
8. Badea, L., Niculescu, G. , Sencu, (1976). *Harta Geomorfologică a României scara 1: 1000000*. Academia Română Institutul de Geografie. București

9. Bailey, S.D., Wintle, A.G., Duller, G.A.T. , Bristow, C.S., (2001). Sand deposition during the last millennium at Aberffraw Anglesey, North Wales as determined by OSL dating of quartz. *Quaternary Sciences Reviews*, 20, pp.701-704.
10. Băloiu, V., (1965). *Amenajarea torenților pe teritoriul agricol*. Editura Agrosilvică. București
11. Băloiu, V. , Ionescu, V., (1986). *Apărarea terenurilor agricole împotriva eroziunii, alunecărilor și inundațiilor*. Editura Ceres. București
12. Bălțeanu, D., (1983). *Experimentul de teren în geomorfologie*. Editura Academiei RSR. București
13. Bălțeanu, D., (1992). Natural hazards in Romania. *Revue Roumaine de Geographie*, 36, pp.47-57.
14. Bălțeanu, D., (1997). Geomorphological hazard of Romania. In C. Embleton și C. Embleton-Hamann, eds. *Geomorphological Hazards of Europe*. Elsevier. pp.409-427. Amsterdam
15. Bălțeanu, D., Dinu, M. , Cioacă, A., (1989). Hărțile de risc geomorfologic (Exemplificări din Subcarpații și Podișul Getic). *Studii și Cercetări de Geologie, Geofizică și Geografie*, XXXI, pp.9-13.
16. Bălțeanu, D. (sub redacție), (2012). Recent landform evolution in Romanian Carpathians and Pericarpethian Regions. In D. Loczy, M. Stankoviansky și A. Kotarba, eds. *Recent Landform Evolution. The Carpatho-Balkan-Dinaric Region*. Londra și New York: Springer. pp.249-287.
17. Băncilă, I.(sub redacție), (1980). *Geologie Inginerească*. Editura Tehnică. București
18. Barat, C., (1963). La geomorphologie appliquee en Roumanie. Constatations et suggestions. *Revue de Geomorphologie Dynamique*, XIV, pp.10-12.
19. Bates, P.D. , De Roo, A.P.J., (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 236, pp.54-77.
20. Bates, P.D., Horritt, M.S., Fewtrell, T.J., (2010). A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation. *Journal of Hydrology*, 387, pp.33-45.
21. Beckinsale, R.P. , Chorley, R.J., (1991). Historical and Regional Geomorphology 1890-1950. In *The History of the Study of Landforms or the Development of Geomorphology*. Routledge. p. Volume III. Londra și New York
22. Belozarov, V., (1972). *Clima orașului Cluj și a împrejurimilor. Teza de doctorat*. Universitatea Babeș-Bolyai. Cluj-Napoca
23. Bilașco, Ș. et al., (2009). Implementation of the USLE model using GIS techniques. Case study the Someșean Plateau. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 4(2), pp.123-132.
24. Blaga, G., Filipov F., Paulette L., Rusu I., Udrescu S., Vasile D., (2008). *Pedologie*. Editura Mega. Cluj-Napoca
25. Boengiu, S., (2003). *Geologie Generală. Îndrumător de lucrări practice*. Tipografia Universității din Craiova. Craiova
26. Bogdan, O. , Frumușelu, D., (2002). *Atlas geografic. România. Mediul și rețeaua electrică de transport*. Editura Academiei Române. București

27. Box, G.E.P. , Jerkins, G.M., (1976). *Time series analysis: Forecasting and Control*. 2nd ed. Holden-Day. San Francisco
28. Brockwell, P.J. ,Davis, R., (1991). *Time series: Theory and Method*. Spriger-Verlag. New York
29. Brunsten, D., (2002). Geomorphological roulette for engineers and planners: some insights into an old game. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrology* 35, pp.101-142.
30. Bryce, R.M. , Sprague, K.B.,(2012). Revisiting detrended fluctuation analysis. *Nature*, (martie).
31. Bunte, K. , Abt, S.R., (2001). *Sampling surface and subsurface particle-size distribution in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics and streambed monitoring*. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins
32. Buynevich, I.V., FitzGerald, D.M. , van Heteren, S., (2004). Sedimentary records of intense storms in Holocene barrier sequences, Maine, USA. *Marine Geology*, 210, pp.135-148.
33. Buz, V. , Rus, I., (2002). *Geografie Tehnică-Topografie*. Editura Eurodidact. Cluj-Napoca
34. Carter, J.R., (1988). Digital representation of topographic surfaces. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), pp.1577-1580.
35. Cassidy, N.J.,(2009). Electrical and magnetic properties of rocks, soils and fluids. In J. H.M., ed. *Ground penetrating radar.Theory and applications*. Elsevier Science. pp.41-73. Oxford
36. Cassidy, N.J., (2009). Ground penetrating radar data processing, modelling and analysis. In H.M. Jol, ed. *Ground penetrating radar. Theory and applications*. Elsevier. pp.141-176. Amsterdam
37. Chen, Z., Ivanov, P.C., Hu, K. , Stanley, H.E., (2002). Effect of nonstationarities on detrended fluctuation analysis. *Physical Review E*, 65(4).
38. Cheval, S. ; Baciú, M.; Dumitrescu, A.; Breza, T.; Legates, D. R.; Chendeş, V, (2011). Climatologic adjustments to monthly precipitation in Romania. *International Journal of Climatology*, 31, pp.704-714.
39. Christie, M., Tsoflias, G.P., Stockli, D.F. , Black, R., (2009). Assessing fault displacement and off-fault deformation in an extensional tectonic setting using 3-D ground-penetrating radar imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 68, pp.9-16.
40. Chrzanowski, A., Chen, Y.Q. , Secord, J.M., (1986). Geometrical analysis of deformation surveys. In Y., B., ed. *Modern Methodology in Precise Engineering and Deformation Surveys-II.*, 1986. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts
41. Clichici, O., (1975). *Geologie Structurală și Cartografie Geologică*. Editura Universității "Babeş-Bolyai". Cluj-Napoca
42. Coates, D.R., (1971). *Environmental Geomorphology*. State University of New York. Binghamton
43. Codarcea, A. , Răileanu, G., (1967). *Harta geologică L-34-XII scara 1:200 000. Foaia 10 Cluj*. Institutul Geologic al României. București
44. Coteț, P., (1973). *Geomorfologia României*. Ed. Tehnică. București

45. Coteș, P., (1978). O nouă categorie de hărți, hărțile de risc și importanța lor geografică. *Terra*, X(3).
46. Coulthard, T.J., (1999). *Modelling upland catchment response to Holocene environmental change*. School of Geography, University of Leeds: Teză de doctorat nepublicată.
47. Coulthard, T.J., (2001). Landscape evolution models: a software review. *Hydrological Processes*, 15, pp.165-173.
48. Coulthard, T.J., Hicks, D.M. , Van De Wiel, M.J., (2007). Cellular modelling of river catchments and reaches: Advantages, limitations and prospects. *Geomorphology*, 90, pp.192-207.
49. Coulthard, T.J., Kirkby, M.J. , Macklin, M.G., (2000). Modelling geomorphic response to environmental change in a upland catchment. *Hydrological Processes*, 14, pp.2031-45.
50. Coulthard, T.J., Lewin, J. , Macklin, M.G., (2005). Modelling differential catchment response to environmental change. *Geomorphology*, 69, pp.222-41.
51. Cristescu, N., (1978). *Topografie Inginerească*. Editura Didactică și Pedagogică. București
52. Croitoru, A.E., (2007). *Excesul de precipitații din Depresiunea Transilvaniei*. Casa Cărții de Știință. Cluj-Napoca
53. Cruden, D.M., (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43, pp.27-29.
54. Davis, J.L. , Annan, A.P., (1989). Ground penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37, pp.531-551.
55. De Blasio, F.V., (2011). *Introduction to the physics of landslides*. Springer. Dordrecht Heidelberg Londra New York
56. Diodato, N., (2005). Predicting RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) monthly erosivity index from readily available rainfall data in Mediterranean area. *The Environmentalist*, 25, pp.63-70.
57. Doan, A.M., (2007). *Bechtel Corporation*. [Online] Available at: www.bechtel.com [Accessed 2010].
58. Dobre, R., (2005). Impactul amenajărilor sectorului de autostradă Comarnic-Predeal asupra reliefului. *Comunicări de Geografie*, IX.
59. Dobre, R., (2007). Pretabilitatea terenurilor pentru o legătură feroviară în sectorul Câmpina -Predeal. *Comunicări de Geografie*, XI.
60. Dobre, R., Mihai, B. , Savulescu, I., (2011). The geomorphotechnical map: A highly detailed geomorphic map for railroad infrastructure improvement. A case study for the Prahova River Defile (Curvature Carpathians, Romania). *Journal of Maps*, pp.126-137.
61. Evans, K.G. , Willgoose, G.R., (2000). Post-mining landform evolution modelling. Effects of vegetation and surface ripping. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, pp.803-824.
62. Fărcaș, I., (1983). *Probleme speciale privind climatologia României, partea I, Factorii climatogenetici*. Universitatea Babeș-Bolyai. Cluj-Napoca
63. Farr, T.G. et al., (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, 45, p.33.

64. Flageollet, J.C., (1989). *Les mouvements de terrain et leur prevention*. Editura Masson. Paris
65. Flanagan, D.C. , Livingstone, S.J., (1995). *Water Erosion Prediction Project (WEPP) Version 95-7 User Summary*. NSERL Raport Nr.11.
66. Fleming, C., Marsh, S.H. , Giles, J.R.A., (2010). Introducing elevation models for geoscience. In *Elevation Models for Geoscience*. The Geological Society. pp.1-5. London
67. Floca, L. , Reteșan-Floca, D., (2003). Analiza percepției și acceptabilității riscurilor ambientale- premisă a dezvoltării durabile. *Riscuri și Catastrofe, VolI, Casa Cartii de Știință, Cluj-Napoca*.
68. Florea, N., (1988). *Harta solurilor XVIII-XII Scara 1:200000. Foile Turda și Cluj*. București: Institutul de Cercetări Pedologice și Agrochimice.
69. Florea, N. , Munteanu, I., (2003). *Sistemul Român de Taxonomie a Solurilor*. Editura Estfalia. București
70. Gavrilă, I.G., Anghel, T. , **Buimăgă-Iarinca, Șt.**, (2012). The influence of fluvial dynamics on geoarchaeosites from the Danube Bank (The Măcin Branch). Case Study: Troesmis Fortress (Romania). *Air and water components of the environment*, 4, pp.329-336.
71. Goodchild, M.F. , Mark, D.M.,(1987). The fractal nature of geographic phenomena. *Annals of Association of American Geographers*, 77(2), p.265–278.
72. Goțiu, D. , Surdeanu, V., (2002). Procese geomorfologice contemporane în Țara Hațegului. *Revista de Geomorfologie*, 4, pp.103-107.
73. Goțiu, D. , Surdeanu, V., (2004). Impactul indus de exploatarea în carieră a calcarului de la Crăciunești. *Geography within the context of contemporary development*, pp.106-112.
74. Goțiu, D. , Surdeanu, V., (2007). *Noțiuni fundamentale în studiul hazardelor naturale*. Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca
75. Goțiu, D. , Surdeanu, V., (2008). *Hazardele naturale și riscurile asociate din Țara Hațegului*. Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca
76. Goudie, A.S., (2001). Applied geomorphologie: An introduction. *Zeitschrift fur Geomorphologie Supplementband 124*, pp.101-110.
77. Grecu, F., (1997). Etapele întocmirii hărții expunerii la risc a terenurilor din bazine hidrografice de deal. *Memoriile Secțiunii Științifice ale Academiei Române, Seria IV(XVII)*, pp.307-323.
78. Grecu, F., (1997). *Fenomene naturale de risc geologice și geomorfologice*. Editura Universității din București. București
79. Grecu, F., (2002). Risk prone lands in hilly regions: Mapping stages. In R.J. Allison, ed. *Applied Geomorphology*. John Wiley & Sons. pp.49-64. Chichester
80. Grecu, F., (2003). Aspecte ale reprezentării cartografice a fenomenelor de risc geomorfic. *Riscuri și Catastrofe, II*, pp.323-331.
81. Grecu, F., (2009). *Hazarde și riscuri naturale*. IV ed. Editura Universitară București. București

82. Grecu, F., Comănescu, L. , Cruceru, N., (2003). The perception of the geomorphic risk in different territorial geosystems. Dynamics and applied significations. *Geomorphological sensitivity and systems response*, pp.87- 98.
83. Grecu, F., Marculeț, I. , Dobre, R., (2006). Pretabilitatea reliefului pentru căile de comunicație în Podișul Hârtibaciului. *Comunicări de Geografie*, X.
84. Grecu, F. , Sandu, M., (2000). The Hârtibaciu Tableland. Geomorfological hazard. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 34, pp.95-105.
85. Grigore, M., (1972). *Cartografia geomorfologică*. Centrul de multiplicare al Universității din București. București
86. Gurth, P.L., (2010). Geomorphometric comparison of ASTER GDEM and SRTM. In *Volume XXXVIII*. 2010. ISPRS. Orlando
87. Hancock, G.R. et al., (2010). A catchment scale evaluation of the SIBERIA and CAESAR landscape evolution models. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, pp.863-875.
88. Holobacă, I.H., (2010). *Studiul secetelor din Transilvania*. Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca
89. Horvath, C., Bilașco, Ș. , Antal, Y.M., (2008). Quantitative estimation of soil erosion in the Drăgan river watershed with the USLE type ROMSEM model. *Geographia Napocensis*, 2 (1), pp.82-89.
90. Horvath, C., **Buimăgă-Iarinca, Șt.**, Roșian G., Pop O.A.,(2011), Flow regimes spatial variability. *Air and water components of the environment*,3, 313-319.
91. Hui, L., Xiaoling, C.; Lim, K. J.; Xiaobin, C.; Sagong, M.,(2010). Assessment of soil erosion and sediment yield in Liao watershed, Jiangxi Province, China, using USLE, GIS and RS. *Journal of Earth Science*, 21(6), pp.941-953.
92. Hutchinson, M.F., (1988). Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In *Proceedings of the Third International Symposium on Spatial Data Handling*. Sydney, 1988. International Geographic Union.
93. Hutchinson, M.F., (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106, pp.211-232.
94. Hutchinson, M.F. , Dowling, T.I., (1991). A continental hydrological assessment of a new grid-based digital elevation model of Australia. *Hydrological Processes*, 5, pp.45-58.
95. Ianoș, I., (1994). Riscul în sistemele geografice. *Studii și cercetări de geografie*, XLI.
96. Ianovici, V., (1969). *Geografia văii Dunării românești*. Editura Academiei RSR. București
97. Ichim, I., Bătucă, D., Rădoane, M. , Duma, D., (1989). *Morfologia și dinamica albiilor de râu*. Editura Tehnică. București
98. Ichim, I. , Rădoane, M., (1986). *Efectele barajelor în dinamica reliefului. Abordare geomorfologică*. Editura Academiei RSR. București
99. Ichim, I., Rădoane, M. , Rădoane, N., (1996). *Analiza cantitativa in geografia fizică. Metode și aplicații*. Editura Universității Alexandru Ioan Cuza. Iași
100. Ioniță, I., (2000). *Formarea și evoluția ravenelor din Podișul Bârladului*. Editura Corson. Iași

101. Ioniță, I., (2000). *Geomorfologie aplicată. Procese de degradare a regiunilor deluroase*. Editura Universității Al. I. Cuza. Iași
102. Ioniță, I., (2007). Gully development in the Moldavian Plateau of Romania. In K. Helming, J.L. Rubio și J. Boardman, eds. *Soil erosion research in Europe*. Catena Special Issue vol 68. pp.133-140.
103. Ioniță, I., (2011). The human impact on soil erosion and gulling in the Moldavian Plateau, Romania. *Landform Analysis*, 17, pp.71-73.
104. Ioniță, I. , Ouatu, C., (1985). Contribuții la studiul eroziunii solurilor din Colinele Tutovei. *Cercetări Agronomice în Moldova*, 3.
105. Ioniță, I., Rădoane, M. , Mircea, S., (2006). Romania. In J. Boardman și J. Poesen, eds. *Soil Erosion in Europe*. John Wiley. pp.155-166. Chichester
106. Irimuş, I.A., (2003). Riscuri geomorfice în regiunea de contact interjudețeană din nord-vestul României. *Riscuri și Catastrofe, Vol I, Casa cărții de Știință, Cluj-Napoca*.
107. Irimuş, I.A., (2006). *Hazarde și riscuri asociate proceselor geomorfologice în aria cutelor diapire din Depresiunea Transilvaniei*. Casa Cărții de Știință. Cluj-Napoca
108. Jol, H.M., (2009). *Ground Penetrating Radar. Theory and Applications*. I ed. Elsevier Science. Oxford
109. Jol, H.M. , Bristow, C.S., (2003). GPR in sediments: advice on data collection, basic processing and interpretation, a good practice guide. In C.S. Bristow și H.M. Jol, eds. *Ground Penetrating Radar in sediments*. Geological Society Special Publications 211. pp.9-27. Londra
110. Jol, H.M. et al., (2003). Stratigraphic imaging of the Navajo Sandstone using ground penetrating radar. *The Leading Edge*, 22, pp.882-887.
111. Jol, H.M., Smith, D.G. , Meyers, R.A., (1996). Digital ground penetrating radar(GPR): An improved and very effective geophysical tool for studying modern coastal barriers (examples for the Atlantic, Gulf and Pacific coasts, USA). *Journal of Coastal Research*, 12, pp.960-968.
112. Jones, D.K.C., (1980). British applied geomorphology: An appraisal.. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband 36*, pp.48-73.
113. Keary, P. , Brooks, M., (1991). *An introduction to geophysical exploration*. II ed. Blackwell Scientific Publications. Boston
114. Kendall, M.G., (1970). *Rank correlation methods*. Griffin. Londra
115. Kirkby, M.J., (1980). Modelling water erosion processes. In M.J. Kirkby și R.P.C. Morgan, eds. *Soil Erosion*. Wiley. pp.183-216. Chichester
116. Konecsny, K., (1997). *Bilanțul hidrologic în Podișul Transilvaniei și în regiunile montane aferente*. Teză. Cluj-Napoca
117. Kouli, M., Soupios, P. , Vallianatos, F., (2009). Soil erosion prediction using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57, pp.483-497.

118. Lafren, J.M. et al., (1991). WEPP soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46, pp.29-34.
119. Lane, S.N., (1998). Hydraulic modelling in hydrology and geomorphology: a review of high resolution approaches. *Hydrological processes*, 12, pp.1131-1150.
120. Leclerc, R.F. , Hickin, E.J., (1997). The internal structure of scrolled floodplain deposits based on ground-penetrating radar, North Thompson River, British Columbia. *Geomorphology*, 21, pp.17-38.
121. Lukas, S. , Sass, O.,(2011). Internal structures and radar reflection patterns of modern moraines at the Gorner Glacier, Switzerland. In I.P.F.H.M.și.P.A.A. Martini, ed. *Ice-Marginal and Periglacial Processes and Sediments*. Geological Society Special Publications 354. pp.77-92. Londra
122. Mac, I., (1985). Progrese în geomorfologia aplicată din România în ultimii 20 de ani. *Terra*, XVII(2).
123. Mac, I. , Drăguț, L., (1997). Rolul reliefului în dezvoltarea, amenajarea teritorială și estetica urbană a orașului Deva. *Analele Universității de Vest din Timișoara, Seria Geografie*(7).
124. Mac, I., Irimuș, I.A. , Zemianschi, S., (1995). Pretabilitatea reliefului pentru amenajările urbane în zona Turda. *studia Universitatis Babeș-Bolyai, Seria Geographia* XL(1).
125. Mac, I. , Petrea, D., (2003). Sisteme geografice la risc. *Riscuri și Catastrofe*, II, pp.13-26.
126. Mac, I. , Râpeanu, M., (1995). Premisele geomorfologice pentru localizarea și dezvoltarea orașului Predeal. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Seria Geographia* XL(1).
127. Mac, I., Rus, I. , Șerban, G., (2003). Cartografierea, o alternativă în evaluarea riscurilor naturale. *Riscuri și Catastrofe*, II, pp.313- 322.
128. Macklin, M.G. et al., (2006). A geomorphological approach to the management of rivers contaminated by metal mining. *Geomorphology*, 79(3-4), pp.423-447.
129. Manea, S., Batali, L. , Popa, H., (2003). *Mecanica Pamânturilor*. Conpress București. București
130. Martiniuc, C. , Băcăuanu, V., (1963). Cercetări de geomorfologie aplicată în sprijinul sistematizării urbane și rurale din Moldova (Metodica cercetărilor). *Analele Științifice ale Universității din Iași*, T. IX, p.sec.2.
131. Martiniuc, C. , Hârjoabă, I., (1975). Probleme actuale ale geomorfologiei aplicate. In *Lucrările Colocviului Național de Geomorfologie aplicată și Cartografiere Geomorfologică*. Iasi, 1975.
132. Mateescu, C., (1963). *Hidraulică*. editura Didactică și Pedagogică. București
133. Matei, L., (1983). *Argilele panoniene din Transilvania*. Editura Academiei. București
134. Mihăilescu, V., (1939). Porniturile de teren și clasificarea lor. *Revista Geografică Română*, An II, pp.Fasc.II-III.
135. Mihăilescu, N.S., (1955). *Geologie Tehnică Volumul II*. Editura Tehnică. București
136. Milligan, G., Fookes, P. , Lee, M.,(2005). Engineering behaviour of soils and rocks. In P.G. Fookes, E.M. Lee și G. Milligan, eds. *Geomorphology for Engineers*. 2009th ed. Dunbeath: Whittles Publishing. pp.137-169.
137. Moldovan, F., (1999). *Meteorologie-Climatologie*. Editura Dimitrie Cantemir. Târgu Mureș

138. Moldovan, F., Sorocovschi, V. , Holobacă, I., (2002). Deficitul pluviometric ca fenomen climatic de risc în Depresiunea Transilvaniei. *Revista Riscuri și Catastrofe*, 1, pp.90-97.
139. Morariu, T., (1968). Simpozionul internațional de geomorfologie aplicată. *Studia Universitatis "Babeș-Bolyai", seria geologie-geografie, nr.1.*
140. Morariu, T., (1969). Travaux du symposium international de geomorphologie appliquee: Bucharest 1967. 1969. Academia R.S.România. Bucharest
141. Morariu, T. și Gârbacea, V., (1968). Déplacements massifs de terrain de type glimee en Roumanie. *Revue Roumaine de Géologie, Géophysique, et de Géographie, Série de géographie*, 1-2, pp.Tom I-II.
142. Morgan, R.P.C. et al., (1998). *The European soil erosion model (EUROSEM): documentation and user guide*. UK: Silsoe College Cranfield University.
143. Mosley, M.P. , Tindale, D.S.,(1985). Sediment variability and bed material sampling in gravel-bed rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, pp.465-482.
144. Moțoc, M., (1963). *Eroziunea solului pe terenurile agricole și combaterea ei*. Editura Agrosilvică. București
145. Moțoc, M. et al., (1975). *Eroziunea solului și metode de combatere*. Editura Ceres. București
146. Moțoc, M. , Sevastel, M., (2002). *Evaloarea factorilor care determină riscul eroziunii hidrice în suprafață*. Editura Bren. București
147. Moțoc, M., Stănescu, P. , Taloiescu, L., (1979). *Modele de estimare a eroziunii totale și efluențe pe bazine hidrografice mici*. Buletin ICPA. București
148. Munteanu, S.A., (1953). *Corectarea torenților*. Editura Agrosilvică. București
149. Munteanu, S.A., Gaspar, R. , Băloiu, V., (1970). *Corectarea torenților și combaterea eroziunii terenurilor*. În *Manualul inginerului hidrotehnician*. Editura tehnică. București
150. Murray, A.B. , Paola, C., (1994). A cellular model of braided rivers. *Nature*, 371, pp.54-57.
151. Murray, A.B. , Paola, C., (1997). Properties of a cellular braided stream model. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22, pp.1001-1025.
152. Murray, A.B. și Paola, C., (2003). Modelling the effect of vegetation on channel pattern in bedload rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28, pp.131-143.
153. Mutihac, V., Stratulat, M.I. , Fechet, R.M., (2007). *Geologia României*. Editura Didactică și Pedagogică. București
154. Nicholas, A.P., (2005). Cellular modelling in fluvial geomorfology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, pp.179-195.
155. Oncu, M., (2008). *Elemente de pedogeografie*. Casa Cărții de Știință. Cluj-Napoca
156. Oncu, M. , Bilașco, Ș., (2009). Microregiunea Brad: Solurile și modul de utilizare a terenurilor. *Geographia Napocensis*, 1, pp.41-48.

157. Oncu, M. , Bilașco, Ș., (2010). Valea Sebeșului- Considerații biopedogeografice. *Geographia Napocensis*, IV(1), pp.23-31.
158. Opreșan, E. et al., (2011). *Sinteza studiilor de fundamentare a schemelor directoare de amenajare și management ale bazinelor hidrografice. Componenta plan de amenajare*. București: Administrația Națională "Apele Române" Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor.
159. Panizza, M., (1996). *Environmental Geomorphology*. Elsevier. Amsterdam
160. Parajka, J., Merz, R. , Bloschl, G., (2005). A comparison of regionalisation methods for catchment model parameters. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, pp.509-542.
161. Patriche, C.V., Căpățână, V. , Stoica, D.L., (2006). Aspects regarding soil erosion spatial modeling using the USLE-RUSLE within GIS. *Geographia Technica*, 2, pp.89-97.
162. Penck, A., (1894). *Morphologie der Erdoberfläche*. Verlag von J. Engelhorn. Stuttgart
163. Peng, C.K. et al., (1994). Mosaic organisation of DNA nucleotides. *Physical Review E*, 49(2).
164. Petrea, R., (1998). *Dimensiunea geomorfologică în dezvoltarea și estetica urbană a orașelor mici din Dealurile de Vest (Sectorul dintre Barcău și Crișul Negru)*. Ed. Universității din Oradea. Oradea
165. Petrea, D., (2005). *Obiect, metodă și cunoaștere geografică*. Editura Universității din Oradea. Oradea
166. Petrea, D., Rus, I. , Petrea, R., (2006). Restructurări plan-spațiale în evoluția recentă a albiei Crișului Repede (între Ciucea și Oradea). *Revista de Geomorfologie*, 8, pp.35-44.
167. Pierini, J.O. , Telesca, L., (2010). Fluctuation analysis of monthly rainfall time series. *Fluctuation and Noise Letters*, 9(2), pp.219-228.
168. Plackett, R.L., (1983). Karl Pearson and the Chi-Squared test. *International Statistical Review*, 51(1), pp.59-72.
169. Popa, A. , Fărcaș, V., (2004). *Geotehnică*. Editura U.T.Pres. Cluj-Napoca
170. Pop, O., **Buimaga-Iarinca, Șt.**, Stoffel, M. , Anghel, T., (2012). Reponse des epiceas(Picea Abies(L.) Karst.) a l accumulation des sediments dans le basin de retention Dumitreleul (Massif du Călimani, Roumanie). *Arbres et Dynamiques*, Acceptat.
171. Popescu Argeșel, I., (1977). *Munții Trascăului. Studiu geomorfologic*. Editura Academiei RSR. București
172. Posea, G., (1982). Regionarea geomorfologică – unitățile de relief ale României. In *Enciclopedia geografică a României*. Editura Științifică și Enciclopedică. pp.39-40. București
173. Posea, G., (2005). *Geomorfologia României. Relief-tipuri, geneză, evoluție, regionare*. II ed. Editura Fundației România de Măine. București
174. Posea, G. , Badea, L., (1984). *România – unitățile de relief, hartă 1 : 750.000*. Editura Științifică și Enciclopedică. București
175. Posea, G. , Popescu, N., (1967). Importanța hărții geomorfologice în amenajarea teritorială. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Seria Geologie-Geografie*(2).

176. Rădoane, M., (1983). *Relieful și procesele reliefogene din zona lacului de baraj Izvorul Muntelui de pe Valea Bistriței Moldovenești*. Teză. Iași
177. Rădoane, N., (2002). *Geomorfologia bazinelor hidrografice mici*. Editura Universității Suceava. Suceava
178. Rădoane, M., Cristea, I., Rădoane, N., (2011). Geomorphological mapping. Evolution and trends. *Revista de geomorfologie*, 13, pp.19-41.
179. Rădoane, M., Ichim, I., Rădoane, N., 1995. Gully distribution and development in Moldavia. *Catena*, 24.
180. Rădoane, M., Ichim, I., Rădoane, N., Surdeanu, V., (1988). Asupra profilului longitudinal și factorul formă a ravenelor din Podișul Moldovenesc. *Studii și Cercetări GGG Seria Geografie*, 37.
181. Rădoane, M., Rădoane, N., (2001). Eroziunea terenurilor și transportul de aluviuni în sistemele hidrografice Jjia și Bârlad. *Revista de Geomorfologie*, 3, pp.73-86.
182. Rădoane, M., Rădoane, N., (2004). Geomorfologia aplicată în analiza hazardelor naturale. *Riscuri și Catastrofe*, 1, pp.57-68.
183. Rădoane, M. și Rădoane, N., (2005). Dams, sediment sources and reservoir silting in Romania. *Geomorphology*, 71, pp.112-125.
184. Rădoane, M. și Rădoane, N., (2007). *Geomorfologie Aplicată*. Editura Universității Ștefan cel Mare. Suceava
185. Rădoane, M., Rădoane, N., Dumitriu, D., Cristea, I., (2007). Granulometria depozitelor de albie ale râului Prut între Orofiteana și Galați. *Revista de Geomorfologie*.
186. Rădoane, M., Rădoane, N., Dumitriu, D., Miclăuș, C., (2008). Downstream variation in bed sediment size along the east carpathians rivers. Evidence of the role of the sediment sources. *Earth Surface Landforms and Processes*, 33(5), pp.674-694.
187. Rădoane, M., Rădoane, N., Ichim, I., (1994). Ecuații de regresie multiplă pentru evaluarea ratei de avansare a ravenelor din Podișul moldovenesc. *Studii și Cercetări GGG, Seria Geografie*, XLI.
188. Rădoane, M., Rădoane, N. și Ichim, I., (1997). Analiza multivariată a ravenelor din Podișul Moldovenesc. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai*.
189. Rădoane, M., Rădoane, N., Ichim, I., Surdeanu, V., (1999). *Ravenele. Forme, procese și evoluție*. Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca
190. Răileanu, G., Saulea, E., (1967). *Harta geologică L-34-XVIII scara 1:200 000. Foaia 18 Turda*. București: Institutul Geologic al României.
191. Renard, K.G., Laflen, J.M., Foster, G.R., McCool, D.K., (1994). The revised universal soil loss equation. In R. Lal, ed. *Soil erosion research methods*. II ed. Ankeny IA: Soil and Water Conservation Society.
192. Richardson, E.V., Simons, D.B., Julien, P.Z., (1990). *Highway in the river environment*. Final Report. Fort Collins: National Highway Institute Engineering Research Center, Colorado State University.
193. Roberts, M.C., Bravard, J.P., Jol, H.M., (1997). Radar signature and structure of an avulsed channel: Rhone River, Aoste, France. *Journal of Quaternary Science*, 12, pp.35-42.

194. Roșca, D., Breier, A., Teodor, S.M., (1980). Probleme legate de colmatarea lacurilor din România. *Hidrotehnica*, 25(11).
195. Sandmeier, K.J., (1993). *ReflexW, 5.0. The 2D procesing and 2D/3D interpretation software for GPR, Reflection seismics and Refraction seismics*. SandmeierK.J. Karlsruhe
196. Sandu, M., Bălțeanu, D., (2005). *Hazarde naturale din Carpații și Subcarpații dintre Trotuș și Teleajen*. Editura Ars Docendi. București
197. Săndulache, A., Sficlea, V., (1966). *Cartografie-Topografie*. Editura Didactică și Pedagogică. București
198. Săndulescu, M., (1984). *Geotectonica României*. Editura Tehnică. București
199. Sandu, I. et al., (2008). *Clima României*. Editura Academiei Române. București
200. Sass, O., (2008). The use of GPR in determining talus thickness and talus structure - case studies from the European Alps. In C.și.K.C. Hauck, ed. *Applied Geophysics in Periglacial Environments*. Cambridge University Press. pp.165-171. Cambridge
201. Sass, O., Bell, R., Glade, T., (2008). Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany). *Geomorphology*, 93, pp.89-103.
202. Savu, A., (1963). *Podișul Someșan. Studiu geomorfologic*. Teza. Cluj-Napoca
203. Savu, A., Mac, I., (1972). Relieful județului Sălaj ca factor în distribuția și dezvoltarea asezărilor omenești. *Studia Universitatis Babeș-Bolyai, Seria Geologie-Geografie*(1).
204. Schaefer, M.G., Baker, P.E., (2002). *Extended precipitations time series for continuous hydrological modeling in Western Washington*. Department of Transportation Washington State.
205. Schofield, W., Breach, M., (2007). *Engineering Surveying*. 6th ed. Elsevier Ltd. Oxford
206. Sheriff, R.E., Geldart, L.P., (1982). *Exploration Seismology Volume I: Hystory, Theory and Data Aquisition*. Cambridge University Press. New york
207. Smith, D.G., Jol, H.M., (1995). Ground penetrating radar: antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in Quaternary sediments. *Journal of Applied Geophysics*, 33, pp.93-100.
208. Spearman, C., (1904). The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology*, 15, pp.72-101.
209. SRCS, (1979). *Sistemul Român de Clasificare a Solurilor*. Institutul de Cercetări pedologice și Agrochimice. București
210. Stângă, I.C., 2011. Climate agressivness and rainfall erosivity. *Riscuri și Catastrofe*, 9(2), pp.21-32.
211. Surdeanu, V., (1985). Considerații asupra inventarierii alunecărilor de teren în vederea întocmirii hărților de risc. *Lucrările Seminarului geografic „Dimitrie Cantemir”*, 5, pp.25-32.
212. Surdeanu, V., (1986). Landslides and their role in reservoir silting. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 58, pp.165-172.

213. Surdeanu, V., (1990). Sistemul geomorfologic al alunecărilor de teren. *Studia Universitatis Babeş- Bolyai*, XXXV(2).
214. Surdeanu, V., (1992). Corelații între alunecările de teren și alte procese denudaționale. *Studia Universitatis Babeş- Bolyai*, XXXVII(1-2).
215. Surdeanu, V., (1997). La repartition des glissements de terrain dans les Carpates Orientales. *Geographia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 19.
216. Surdeanu, V., (1998). *Geografia terenurilor degradate*. Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca
217. Surdeanu, V., Gotiu, D., Rus, I. , Crețu, A., (2006a). Geomorfologie aplicată în zona urbană a municipiului Cluj-Napoca. *Revista de Geomorfologie*.
218. Surdeanu, V., Rus, I. , Goțiu, D., (2006b). Integrated slope processes susceptibility analysis and risk assesment of the Cluj county. Case study Cheia. In *Rural space and local development..* Presa Universitară Clujeană. Cluj-Napoca
219. Surdeanu V., Moldovan M., Anghel T., **Buimăgă-Iarinca Șt.**, Pop O.T., Rus I., (2011), Spatial distribution of deep-seated landslides (glimee) in the Transylvanian Basin, *Studia Universitatis „Babeş-Bolyai” Geographie*, vol. 2, pp.3-8
220. Tachikawa, T., Hato, M., Kaku, M. , Iwasaki, A., (2011). The characteristics of ASTER GDEM version 2. Vancouver
221. Tachikawa, T. et al., (2011). *ASTER Global Digital Elevation Model Version 2-Summarz of Validation Results*. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center.
222. Tucker, G.E. , Slingerland, R.L., (1994). Erosional dynamics, flexural isostasy and long-lived escarpments: A numerical modeling study. *Journal of Geophysical Research*, 99(B6)
223. Tufescu, V., (1966). *Modelarea naturală a reliefului și eroziunea accelerată*. Editura Academiei. București
224. Ujvari, I., (1972). *Geografia apelor României*. Editura Științifică. București
225. Van De Wiel, M.J., Coulthard, T.J., Macklin, M.G. , Lewin, J., (2007). Embedding reach-scale fluvial dynamics within the CAESAR cellular automaton landscape evolution model. *Geomorphology*, 90, pp.283-301.
226. van Overmeeren, R.A., (1998). Radar facies of unconsolidated sediments in Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology. *Applied Geophysics*, 40, pp.1-18.
227. Vancea, A., (1960). *Neogenul din Bazinul Transilvaniei*. Editura Academiei RPR. București
228. Varnes, D.J., (1978). Slope movement types and processes. In R.L. Schuster și R.J. Krizek, eds. *Landslides- Analysis and Control*. National Academy of Sceinces. pp.11-33. Washington
229. Vladimirescu, I., (1984). *Bazele hidrologiei tehnice*. Editura Tehnică. București
230. Voiculescu, M., (2002). *Fenomene geografice de risc în Masivul Făgăraș*. Editura Brumar. Timișoara

231. Wahba, G., (1990). Spline models for Observational data. In *CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics..* University of Winsconsin. Madison
232. Wang, W., Yang, X. , Yao, T., (2012). Evaluation of ASTER GDEM and SRTM and their suitability in hydraulic modelling of a glacial lake outburst flood in Southeast Tibet. *Hydrological Processes*, 26(2), pp.213-225.
233. Wentworth, C.K., (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30, pp.377-392.
234. Wilcoxon, F., (1945). Individual Comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), pp.80-83.
235. Willgoose, G., Bras, I. și Rodriques-Itrube, I., (1991). Results from a new model of river basin evolution. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, pp.237-254.
236. Williams, J.R., (1975). Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In *Present and prospective technology for predicting sediment yields and sources*. USDA-ARS: ARS-S-40.
237. Wischmeier, W.H. și Smith, D.D., (1965). *Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains*. Agriculture Handbook Nr 282. Us Department of Agriculture Purdue Agricultural Experiment Station. Purdue
238. Wischmeier, W.H. , Smith, D.D., (1978). *Predicting rainfall erosion losses- Aguide to conservation planning*. Handbook Nr. 537. US Department of Agriculture. Washington
239. Woolhiser, D.A., Smith, R.E. , Goodrich, D.C., (1990). *KINEROS: A kinematic runoff and erosion model: documentation and user manual*. ARS-77. Agricultural Research Service.
240. Yang, W., Bardossy, A. , Caspary, H.J., (2010). Downscaling daily precipitations time series using a combined circulation and regression based approach. *Theoretical and Applied Climatology*, 102, pp.439-454.
241. Yılmaz, O., (2001). *Seismic data analysis: Processing, inversion and interpretation of seismic data. Vol.I și II*. Society of Exploration Geophysicists. Tusla
242. Zugrăvescu, D., Polonic, G., Horomnea, M. , Dragomir, V., (1998). Recent vertical crustal movements on the romanian territory, major tectonic compartments and their relative dynamics. *Revue Roumaine de Geophysique*, 42.
243. ***, (1969). Travaux du Symposium Internațional de Geomorphologie Appliquee. București.
244. ***, (1975). *Lucrările Colocviului național de geomorfologie aplicată și cartografiere geomorfologică: Iași 26-28 octombrie 1973*. Iași.
245. 1243-88, S., (1983). *Clasificarea și identificarea pământurilor*. Institutul Român de Standardizare Institutul Român de Standardizare. București
246. EEA, (2006). *Corine Land Cover*. [Online] Available at: <http://www.eea.europa.eu>.
247. ESRI, (2010). *ArcGIS 10*. Licență Academică Universitatea Graz.
248. ESRI,(2010). *ESRI ArcGIS help files*. ESRI Inc.
249. MALAGeoscience, (2012). *Products: Mala GPR ProEx System*. [Online] Available at: <http://www.malags.com>.
250. Compania națională de autostrăzi și drumuri naționale din România <http://www.cnadnr.ro>