



**TEZĂ DE DOCTORAT - REZUMAT**  
**MANAGEMENTUL RISCULUI ASOCIAT FENOMENULUI DE**  
**INSTABILITATE A VERSANȚILOR: ALUNECĂRILE DE**  
**TEREN DIN ZONA MUNICIPIULUI SIGHIȘOARA**



Sursa: [www.zborpestetransilvania.ro](http://www.zborpestetransilvania.ro)

**DOCTORAND: ing. GEORGE – CĂTĂLIN SILVAȘ**  
**COORDONATOR ȘTIINȚIFIC: prof. dr. ing. CRISTIAN MĂRUNȚEANU**

**2014**

## **Cuprins**

<i>Introducere/</i>	pag. 1
1. Caracteristici fizico-geografice ale Municipiului Sighișoara/	pag. 3
1.1 Date administrative/	pag. 3
1.2 Date geografice/	pag. 4
1.3 Date hidrologice/	pag. 6
1.4 Date climato-meteorologice/	pag. 7
2. Geologia zonei Municipiului Sighișoara/	pag. 8
2.1 Elementele generale de geologie ale zonei/	pag. 8
2.2 Geologia formațiunii de bază și a formațiunii acoperitoare/	pag. 11
2.2.1 Aspecte geologice ale formațiunii de bază/	pag. 14
2.2.2 Aspecte geologice ale formațiunii acoperitoare/	pag. 18
2.3 Geotectonica și formarea reliefului zonei/	pag. 19
2.4 Caracteristici hidrogeologice/	pag. 20
3. Alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara/	pag. 22
3.1 Alunecări de teren și factori declanșatori – cadrul general – Culoarul Târnavei Mari/	pag. 22
3.1.1 Alunecări de teren – cadrul general – Culoarul Târnavei Mari/	pag. 22
3.1.2 Factori declanșatori – cadrul general – Culoarul Târnavei Mari/	pag. 28
3.2 Alunecări de teren și factori declanșatori – cadrul local – municipiul Sighișoara/	pag. 30
3.2.1 Alunecări de teren – cadrul local – municipiul Sighișoara/	pag. 30
3.2.2 Factori declanșatori – cadrul local – municipiul Sighișoara/	pag. 45
3.3 Inventarierea și harta de inventariere a alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara/	pag. 47
3.3.1 Inventarierea alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara/	pag. 47
3.3.2 Harta de inventariere a alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara/	pag. 51
4. Analiza fenomenului de instabilitate al versanților din zona municipiului Sighișoara/	pag. 55
4.1 Analiza de stabilitate a versanților/	pag. 55
4.2 Probleme de instabilitate în cadrul versanților din zona municipiului Sighișoara/	pag. 57
4.3 Caracteristici geotehnice ale tipurilor de roci din zona municipiului Sighișoara/	pag. 58
4.4 Probleme de instabilitate în cadrul versanților din zona Dealul Cetății/	pag. 71

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

- 4.5 Caracteristici geotehnice ale tipurilor de roci din zona Dealul Cetății/ pag. 73
- 4.6 Analiza stabilității versanților din zona Dealul Cetății/ pag. 78
  - 4.6.1 Metodologia analizei de stabilitate în zona Dealului Cetății/ pag. 88
  - 4.6.2 Implementarea metodologiei analizei de stabilitate în zona Dealului Cetății/ pag. 89
  - 4.6.3 Rezultatele analizei de stabilitate în zona Dealului Cetății/ pag. 97
- 5. Analiza susceptibilității la alunecări de teren în zona Municipiului Sighișoara/ pag. 114
  - 5.1 Analiza susceptibilității la alunecări de teren/ pag. 114
  - 5.2 Analiza calitativă a susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara/ pag. 118
    - 5.2.1 Metodologie/ pag. 118
    - 5.2.2 Crearea hărții de distribuție a alunecărilor de teren/ pag. 120
    - 5.2.3 Crearea modelului digital al elevației (DEM)/ pag. 121
    - 5.2.4 Crearea hărților parametru/ pag. 123
      - 5.2.4.1 Crearea hărții parametru pentru factorul înclinarea versantului/ pag. 123
      - 5.2.4.2 Crearea hărții parametru pentru factorul orientarea versantului/ pag. 124
      - 5.2.4.3 Crearea hărții parametru pentru factorul geologic/ pag. 125
      - 5.2.4.4 Crearea hărții parametru pentru factorul distanței față de rețeaua hidrografică/ pag. 126
      - 5.2.4.5 Crearea hărții parametru pentru factorul distanței față de zonele urbane/ pag. 128
    - 5.2.5 Crearea hărții susceptibilității la alunecări de teren/ pag. 130
      - 5.2.5.1 Combinarea hărții distribuției alunecărilor de teren cu harta înclinării versanților/ pag. 131
      - 5.2.5.2 Combinarea hărții distribuției alunecărilor de teren cu harta orientării versanților/ pag. 132
      - 5.2.5.3 Combinarea hărții distribuției alunecărilor de teren cu harta factorului geologic/ pag. 133
      - 5.2.5.4 Combinarea hărții distribuției alunecărilor de teren cu harta factorului distanța față de rețeaua hidrografică/ pag. 134
      - 5.2.5.5 Combinarea hărții distribuției alunecărilor de teren cu harta factorului distanța față de zonele urbane hidrografică/ pag. 135
      - 5.2.5.6 Harta de susceptibilitate la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara – Metoda bivariată/ pag. 136
  - 5.3 Analiza cantitativă a susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara/ pag. 137
    - 5.3.1 Metodologie/ pag. 137

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

- 5.3.1.1 Crearea hărții înclinării versanților în zona de studiu/ pag. 139
- 5.3.1.2 Crearea hărții adâncimii planului de alunecare în zona de studiu/ pag. 139
- 5.3.1.3 Crearea hărții sinusului înclinării versanților în zona de studiu/ pag. 140
- 5.3.1.4 Crearea hărții cosinusului înclinării versanților în zona de studiu/ pag. 141
- 5.3.1.5 Crearea hărții cosinusului la pătrat a înclinării versanților în zona de studiu/ pag. 142
- 5.3.1.6 Harta de susceptibilitate la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara – Metoda deterministă/ pag. 143
- 6. Soluții tehnice pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților în zona municipiului Sighișoara/ pag. 147
  - 6.1 Soluții tehnice pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților în zona Dealul Cetății/ pag. 147
    - 6.1.2 Prezentarea tehnologiei sistemului de drenuri sifon/ pag. 149
    - 6.1.3 Modul de funcționare a sistemului de dren sifon/ pag. 151
    - 6.1.4 Sasul automatic – componente și principiu de funcționare/ pag. 151
  - 6.2 Soluții tehnice pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților în zona văii pârâului Saeș/ pag. 153
  - 6.3 Soluții tehnice pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților în zona Dealul Gării/ pag. 155
- 7. Concluzii și contribuții personale/ pag. 158
  - 7.1 Concluzii/ pag. 158
  - 7.2 Contribuții personale/ pag. 164

*Bibliografie*

*Anexe*

*Anexa 1* – Fișele forajelor executate pe suprafața municipiului Sighișoara de către S.C. ISPIF S.A. și S.C. Formin S.A.

*Anexa 2* – Harta geologică a municipiului Sighișoara

*Anexa 3* – Harta hidrografică a municipiului Sighișoara

*Anexa 4* – Harta de inventariere a alunecărilor de teren în zona municipiului Sighișoara

*Anexa 5* – Harta topografică Dealul Cetății cu evidențierea profilelor trasate

*Anexa 6* – Profil geologic 1

*Anexa 7* – Profil geologic 2

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

*Anexa 8 – Profil geologic 3*

*Anexa 9 – Profil geologic 4*

*Anexa 10 – Profil geologic 5*

*Anexa 11 – Profil geologic 6*

*Anexa 12 – Profil geologic 7*

*Anexa 13 – Profil geologic 8*

*Anexa 14A – Rezultatele încercărilor în laboratorul de geotehnică pe probe prelevate din zona Dealul Cetății*

*Anexa 14B – Breviar de calcul analiza de stabilitate a versanților din zona Dealul Cetății*

*Anexa 15 – Harta topografică a municipiului Sighișoara*

*Anexa 16 – Harta modelului digital al elevației a municipiului Sighișoara*

*Anexa 17 – Harta înclinării versanților a municipiului Sighișoara*

*Anexa 18 – Harta orientării versanților a municipiului Sighișoara*

*Anexa 19 – Harta distanței față de rețeaua hidrografică în zona municipiului Sighișoara*

*Anexa 20 – Harta distanței față de rețezele urbane în zona municipiului Sighișoara*

*Anexa 21 – Harta susceptibilității la alunecări de teren în funcție de înclinarea versantului a municipiului Sighișoara*

*Anexa 22 – Harta susceptibilității la alunecări de teren în funcție de orientarea versantului a municipiului Sighișoara*

*Anexa 23 – Harta susceptibilității la alunecări de teren în funcție de geologie a municipiului Sighișoara*

*Anexa 24 – Harta susceptibilității la alunecări de teren în funcție de distanța față de rețeaua hidrografică a municipiului Sighișoara*

*Anexa 25 – Harta susceptibilității la alunecări de teren în funcție de distanța față de zonele urbane a municipiului Sighișoara*

*Anexa 26 – Harta susceptibilității la alunecări de teren a municipiului Sighișoara*

*Anexa 27 – Harta adâncimii planului de alunecare în zona municipiului Sighișoara*

*Anexa 28 – Harta sinusului înclinării versanților în zona municipiului Sighișoara*

*Anexa 29 – Harta cosinusului înclinării versanților în zona municipiului Sighișoara*

*Anexa 30 – Harta cosinusului la pătrat înclinării versanților în zona municipiului Sighișoara*

*Anexa 31 – Harta susceptibilității la alunecări de teren a municipiului Sighișoara – fără acvifer*

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

*Anexa 32* – Harta susceptibilității la alunecări de teren a municipiului Sighișoara – cu acvifer

*Anexa 33* – Harta soluții tehnice propuse în zona Dealul Cetății

*Anexa 34* – Harta soluții tehnice propuse în zona Dealul Gării

*Anexa 35* – Harta soluții tehnice propuse în zona pârâului Saeș

## ***Introducere***

*„Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara” reprezintă rezultatul a nouă ani de pregătire universitară în domeniul geologiei inginerești și a geotehnicii și a șase ani de activitate profesională în aceleași domenii.*

*Teza de doctorat își are scopul de a contoriza, de a cuantifica și de a analiza fenomenele de instabilitate a versanților din zona de studiu prin diferite mijloace și metode de circulație națională dar și internațională.*

*Instabilitatea versanților a fost, este și va fi o problemă pentru municipiul Sighișoara. Încă din anul 1976, când a fost înregistrată prima alunecare de teren în zona Dealului Cetății, în funcție de anumiți factori, periodic se declanșează alunecări de teren în aproximativ toate zonele de versant ale municipiului. Factorii de influență și declanșare sunt diverși și cu ponderi de influență diferite. Totuși aceștia se regăsesc la baza declanșării tuturor alunecărilor de teren din zona de studiu.*

*Analiza fenomenelor de instabilitate a versanților presupune utilizarea unor metode geologice inginerești deja utilizate de câțiva ani la nivel național dar și metode geologice inginerești de circulație internațională. Însă ceea ce aduc nou, prin această teză de doctorat, la nivel național în domeniul ingineriei geologice este utilizarea pentru prima oară a unor metode geo-spațiale pentru contorizarea susceptibilității la alunecări de teren a unei zone. De asemenea combinarea unor metode, cum ar fi cele de analiză a versanților, cu metodele de analiză geo-spațială consider că reprezintă o noutate pe plan național în domeniul ingineriei geologice. Deși metoda bivariată din cadrul analizei geo-spațiale a susceptibilității la alunecări de teren este deja utilizată la nivel național de către geografi, metoda deterministă este pentru prima oară aplicată în analiza unei zone de studiu.*

*Obiectivele tezei de doctorat sunt de a prezenta influența fenomenului de instabilitate a versanților asupra zonei de studiu, dar mai important a zonei Dealul Cetății unde este situată Cetatea Sighișoara. Deși, în trecut, dl. prof. dr. ing. Cristian Mărunțeanu a analizat în detaliu într-o serie de lucrări științifice situația creată de prezența instabilității versanților la nivelul cetății, prin această teză de doctorat doresc să continui analiza științifică a zonei și să deschid ochii autorităților în a demara proiecte de consolidare a cetății și de stabilizare a versanților din*

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

*zonă. Acțiunea o văd necesară mai ales din prisma faptului că analizele efectuate demonstrează că zona de studiu este afectată de fenomene de instabilitate a versanților.*

*Doresc să apreciez ajutorul și să le mulțumesc d-lui prof. dr. ing. Cristian Mărunțeanu, d-nei conf. dr. ing. Florica Stroia, conf. dr. ing. Mihaela Stanciucu, prof. dr. ing. Daniel Scărădeanu, din cadrul catedrei de geologie inginerească a Facultății de Geologie din București și a Școlii Doctorale de Geologie din București, prof. dr. Iuliana Armaș din cadrul catedrei Facultății de Geografie din București, prof. dr. ing. Nicolae Boțu din cadrul catedrei de construcții civile a Facultății de Construcții și Instalații din Iași. De asemenea mulțumesc companiilor S.C. Formin S.A., S.C. ISPIF S.A., S.C. Proexrom S.R.L., d-lui inspector Aurelian Bădulescu din cadrul Primăriei Municipiului Sighișoara.*

*În final, mulțumesc familiei mele, pentru sprijinul și înțelegerea acordată pe toată perioada studiilor doctorale.*



## **1. Caracteristici fizico-geografice ale zonei Municipiului Sighișoara**

Municipiul Sighișoara a fost atestat pentru prima oară în anul 1280 sub denumirea de "Castrum Sex", însă sub denumirea de Sighișoara localitatea a fost atestată în anul 1435. Numele localității își are originea din limba maghiară. Numele în limba maghiară era "Segesvár", în limba română "Cetatea Segheș". În perioada interbelică Sighișoara a fost reședința județului Târnava Mare.

Municipiul Sighișoara s din punct de vedere geografic la extremitatea sudică a județului Mureș, făcând parte din subunitatea geografică Podișul Târnavelor, unitatea Depresiunea Transilvaniei. Din punct de vedere spațial, municipiul se situează la coordonatele 46°46'40" latitudine nordică și 24°46'40" longitudine estică.

Din punct de vedere hidrografic, principalul râu este Târnava Mare ce străbate orașul în partea sa mediană de la est la vest, prezentând o pantă usoară de 1-1.5 m/km. Târnava Mare, în zona municipiului Sighișoara, are un curs puternic meandrat, ce descrie bucle mari, iar albia sa este încărcată cu aluviuni în cantități ce depășesc puterea de transport a râului.

Din punct de vedere climato-meteorologic zona municipiului Sighișoara se caracterizează printr-un climat temperat-continentat-moderat cu caractere specifice ținuturilor de dealuri și platouri ale Depresiunii Transilvaniei.

## **2. Geologia zonei Municipiului Sighișoara**

Datorită poziționării geografice a Municipiului Sighișoara în cadrul Culoarului Târnavei Mari, zona de studiu se poate caracteriza, din punct de vedere geologic, în funcție de caracteristicile definitorii ale Culoarului Târnavei Mari.

*Cristalinul* din fundamentul preterțiar păstrează o cristalinitate scăzută, fiind reprezentat prin șisturi sericito-cloritoase, cuarțite, micașisturi și rare intercalații de calcare cristaline, din care predomină șisturile sericito-cloritoase, de culoare verzuie-cenușie cu rare lentile de cuarț.

*Depozitele mezozoice* se formează cuvertura sedimentară mezozoică, parte a fundamentului preterțiar, indică o legătură cu sedimentele din Carpații Orientali și cele din Munții Apuseni.

## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

Un principal factor în analiza comportamentului versanților dar și a fenomenului de instabilitate al acestora în zona Municipiului Sighișoara o are relația dintre formațiunea de bază și formațiunea acoperitoare.

În scopul relatării aspectelor geologice ale zonei am utilizat informații puse la dispoziție de către S.C. Formin S.A. Caransebeș și Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Îmbunătățiri Funciare – I.N.C.D.I.F – „ISPIF” București, care ulterior au fost prelucrate pentru a fi adaptate la cerințele editării acestei teze de doctorat (anexa 1). Datele pe care le-am utilizat conțin forajele executate în zona municipiului de către cele două companii și rezultatele încercărilor în laboratorul de geotehnică pe probele prelevate. Astfel, în anii 2010-2011 S.C. Formin S.A. a executat în zona de studiu un număr de 24 de foraje (anexa 1), ale căror date coordonate sunt prezentate în tabelul 2.1.

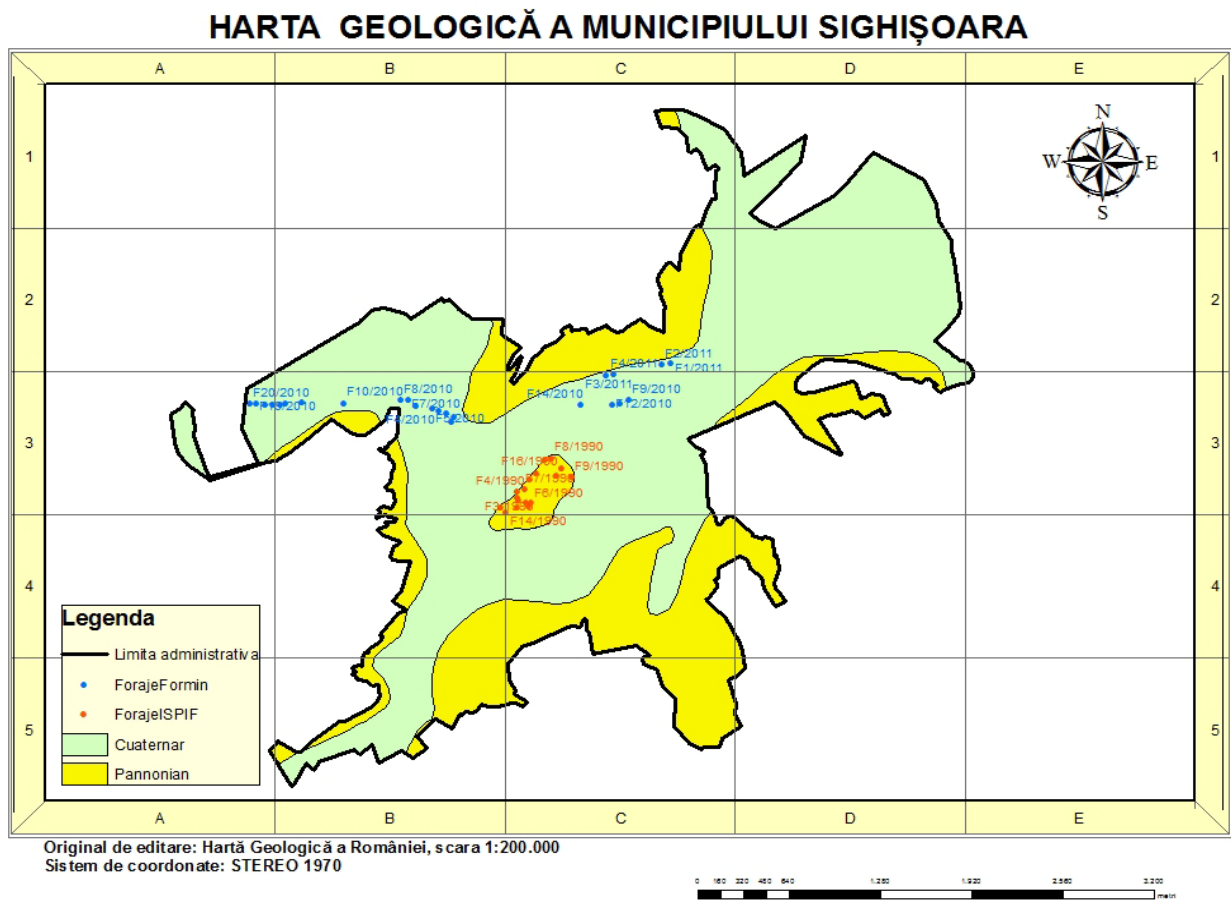


Figura 2.3 Harta geologică a municipiului Sighișoara

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

<b>Cod foraj</b>	<b>Coordonate WGS 84</b>		<b>Coordonate Stereo 1970</b>	
<b>F1/2011</b>	46°13'38,899"N	24°48'10,400"E	x 525328,364	y 484917,875
<b>F2/2011</b>	46°13'38,400"N	24°48'07,300"E	x 525313,094	y 484851,424
<b>F3/2011</b>	46°13'36,100"N	24°47'51,499"E	x 525242,944	y 484512,751
<b>F4/2011</b>	46°13'35,900"N	24°47'49,209"E	x 525236,895	y 484463,661
<b>F1/2010</b>	46°13'26,100"N	24°46'59,300"E	x 524937,197	y 483393,584
<b>F2/2010</b>	46°13'24,900"N	24°46'58,699"E	x 524900,189	y 483380,627
<b>F3/2010</b>	46°13'26,900"N	24°46'56,999"E	x 524962,028	y 483344,373
<b>F4/2010</b>	46°13'27,400"N	24°46'54,200"E	x 524977,628	y 483284,426
<b>F5/2010</b>	46°13'27,899"N	24°46'52,200"E	x 524993,181	y 483241,618
<b>F6/2010</b>	46°13'28,499"N	24°46'46,800"E	x 525012,024	y 483125,975
<b>F7/2010</b>	46°13'29,899"N	24°46'44,400"E	x 525055,385	y 483074,675
<b>F8/2010</b>	46°13'29,900"N	24°46'42,000"E	x 525055,529	y 483023,256
<b>F9/2010</b>	46°13'29,972"N	24°47'56,789"E	x 525053,492	y 484625,599
<b>F10/2010</b>	46°13'29,200"N	24°46'23,000"E	x 525035,075	y 482616,124
<b>F11/2010</b>	46°13'29,375"N	24°47'53,749"E	x 525035,235	y 484560,419
<b>F12/2010</b>	46°13'29,075"N	24°47'51,149"E	x 525026,134	y 484504,688
<b>F13/2010</b>	46°13'29,299"N	24°46'09,399"E	x 525039,004	y 482324,755
<b>F14/2010</b>	46°13'28,878"N	24°47'41,049"E	x 525020,589	y 484288,279
<b>F15/2010</b>	46°13'28,999"N	24°46'04,199"E	x 525030,069	y 482213,319
<b>F16/2010</b>	46°13'28,700"N	24°46'02,599"E	x 525020,909	y 482179,012
<b>F17/2010</b>	46°13'28,800"N	24°46'00,000"E	x 525024,160	y 482123,317
<b>F18/2010</b>	46°13'28,600"N	24°45'57,499"E	x 525018,144	y 482069,736
<b>F19/2010</b>	46°13'28,900"N	24°45'54,699"E	x 525027,583	y 482009,774
<b>F20/2010</b>	46°13'29,000"N	24°45'52,399"E	x 525030,816	y 481960,506

Tabelul 2.1 Coordonatele forajelor executate de către S.C. Formin S.A. în zona municipiului Sighișoara

În anul 1990 Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Îmbunătățiri Funciare – I.N.C.D.I.F – „ISPIF” București a executat în zona de studiu un număr de 17 de foraje (anexa 1), ale căror date coordonate sunt prezentate în tabelul 2.2.

<b>Cod foraj</b>	<b>Coordonate WGS 84</b>		<b>Coordonate Stereo 1970</b>	
<b>F1/1990</b>	46°13'04,706"N	24°47'20,201"E	x 524275,571	y 483839,650
<b>F2/1990</b>	46°13'06,378"N	24°47'20,602"E	x 524327,165	y 483848,381
<b>F3/1990</b>	46°13'07,071"N	24°47'20,229"E	x 524348,596	y 483840,444
<b>F4/1990</b>	46°13'08,383"N	24°47'20,372"E	x 524389,078	y 483843,619
<b>F5/1990</b>	46°13'11,244"N	24°47'24,325"E	x 524477,184	y 483928,550
<b>F6/1990</b>	46°13'05,922"N	24°47'24,605"E	x 524312,878	y 483934,106
<b>F7/1990</b>	46°13'08,928"N	24°47'22,852"E	x 524405,747	y 483896,800

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

<b>F8/1990</b>	46°13'16,374"N	24°47'31,493"E	x 524635,141	y 484082,538
<b>F9/1990</b>	46°13'11,783"N	24°47'37,993"E	x 524493,059	y 484221,444
<b>F10/1990</b>	46°13'12,160"N	24°47'32,842"E	x 524504,966	y 484111,113
<b>F11/1990</b>	46°13'15,805"N	24°47'29,309"E	x 524617,678	y 484035,706
<b>F11bis/1990</b>	46°13'05,765"N	24°47'23,161"E	x 524308,115	y 483903,150
<b>F12/1990</b>	46°13'04,841"N	24°47'23,868"E	x 524279,540	y 483918,231
<b>F13/1990</b>	46°13'12,894"N	24°47'26,282"E	x 524527,984	y 483970,619
<b>F14/1990</b>	46°13'03,560"N	24°47'12,449"E	x 524240,646	y 483673,450
<b>F15/1990</b>	46°13'04,747"N	24°47'14,755"E	x 524277,159	y 483722,968
<b>F16/1990</b>	46°13'14,041"N	24°47'34,836"E	x 524562,909	y 484153,975

Tabelul 2.2 Coordonatele forajelor executate de către S.C. INCDIF-ISPIF S.A. în zona municipiului Sighișoara

Din arhivele celor două companii am selectat informații cu privire la litologia zonei municipiului dar și a Culoarului Târnavei Mari pentru a realiza o analiză geologică în detaliu nu numai a zonei de studiu, dar și a subunității geografice Culoarul Târnavei Mari. Se va putea observa că zona Municipiului Sighișoara, din punct de vedere al comportamentului versanților, este asemănătoare cu cea a Culoarului Târnavei Mari.

Formațiunea de bază în cazul Culoarului Târnavei Mari este reprezentată de depozite pannoniene constituite din argile și argile marnoase cenușii și brun-roșcate și nisipuri cu un grad de cimentare mediu, iar pe alocuri apar gresii sub formă de bancuri. Gresii sub formă de bancuri apar în bazinul Târnavei Mari începând din zona localității Daneș și continuând până în dreptul localității Valea Lungă. Bancurile de gresii au fost interceptate de forajele executate de către S.C. Formin S.A (anexa 1).

Formațiunea acoperitoare în cazul zonei aferente municipiului Sighișoara este reprezentată de depozite cuaternare reprezentate prin argile, argile prăfoase, nisipuri, nisipuri prăfoase, nisipuri argiloase, pietrișuri. Grosimea depozitelor variază, fie că provin dintr-o sedimentare naturală, fie că sunt rezultatul activității umane.

Din punct de vedere geotectonic, zona de studiu se află în cadrul Culoarului Târnavei Mari, care la rândul lui se înscrie în Depresiunea Transilvaniei, depresiune molasică post-tectogenică, suprapusă peste două etaje tectonice. Primul etaj este reprezentat de elementele deformatate ale diferitelor segmente care aparțin dacidelor transilvane (Transilvanide). Al doilea etaj reprezintă cuvertura post-tectogenică, care urcă până în Miocenul inferior (Săndulescu M. 1984).

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

Apele subterane apar sub formă de acvifere, sub presiune sau libere, dar și sub formă de infiltrații datorate unor scurgeri din rețeaua hidroedilitară a municipiului. Nivelul hidrostatic al apelor subterane variază în funcție de aportul precipitațiilor anuale. Cu cât media precipitațiilor anuale este mai mare, cu atât nivelul hidrostatic crește, însă un fapt foarte important am reușit să semnalez din analiza datelor de foraj și a observațiilor de teren, că apele subterane sunt cantonate, în majoritate, în nisipurile pannoniene.

### **3. Alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

Alunecările de teren din cadrul zonei de studiu au fost întâlnite fie în versanți alcătuiți din roci moi (Sighișoara-Coșlariu), fie în cazul versanților alcătuiți din roci tari (Sighișoara, Mediaș și Copșa Mică). De asemenea, litologia versanților a fost interceptată prin forajele executate în cadrul proiectului sus menționat și a fost corelată cu alte informații geologice din literatura de specialitate.

În perimetrul Culoarului Târnavei Mari predomină alunecările de teren în valuri și trepte, semistabilizate și active; insecvente (pe capete de strat, respectiv cuate); detrusive; profunde (peste 5 m) formate pe alternanțe de argile, marne și nisipuri. Alunecările vechi sunt profunde, iar cele actuale sunt superficiale și cu o adâncime sub 5 m. În cazul alunecărilor de teren consecvente, translația se face pe orizontală, fără deformări ale masei alunecate, cu deplasare mare față de cornișă, cu aspect de terasă. În ceea ce privește alunecările insecvente, translația este pe verticală, cu deplasare mică față de cornișă, aici putând fi încadrate prăbușirile în urma cărora apare la zi roca.

Factorii declanșatori ai alunecărilor de teren în Culoarul Târnavei Mari sunt naturali și antropici. În ceea ce privește factorii naturali, aceștia sunt în strânsă legătură cu prezența apelor subterane, dar și de suprafață.

Alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara le-am identificat în urma aplicațiilor de teren efectuate și a consultării imaginilor satelitare, arhivelor, cronicilor, revistelor de specialitate, internet, în timpul programului de cercetare. Astfel, în cele ce urmează voi prezenta alunecările de teren identificate în zona municipiului în urma cartării geomorfologice în zonele Dealul Cetății, Valea Saeșului, Dealul Gării, Dealul Viilor și Dealul Stejăriș.

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

**a) Fenomene de instabilitate în zona Dealul Cetății**

1) Alunecare de teren aflată pe versantul sudic al Dealului Cetății (Fig. 3.19), stabilizată, recentă.



Figura 3.19 - Alunecare de teren pe versantul sudic al Dealului Cetății

2) Alunecare de teren pe versantul sudic al Dealului Cetății (Fig. 3.20), recentă, insecventă.



Figura 3.20 - Alunecare de teren pe versantul sudic al Dealului Cetății

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

3) Alunecare de teren în zona sud-estică a Dealului cetății, nedeclanșată încă dar cu vizibile mișcări ale materialului (Fig. 3.21).



Figura 3.21 – Alunecare de teren pe versantul sud-estic al Dealului Cetății

4) Alunecare de teren în zona nord-estică a Dealului Cetății (Fig. 3.22, 3.23), recentă stabilizată, superficială, insecventă, cu un caracter translațional, de dimensiuni mici.



Figura 3.22, 3.23 – Alunecare de teren pe versantul nord-estic al Dealului Cetății

5) Alunecare de teren care a avut loc în anul 2010 pe fondul precipitațiilor abundente coroborată cu litologia existentă în partea nordică a Dealului Cetății (Fig. 3.24).

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

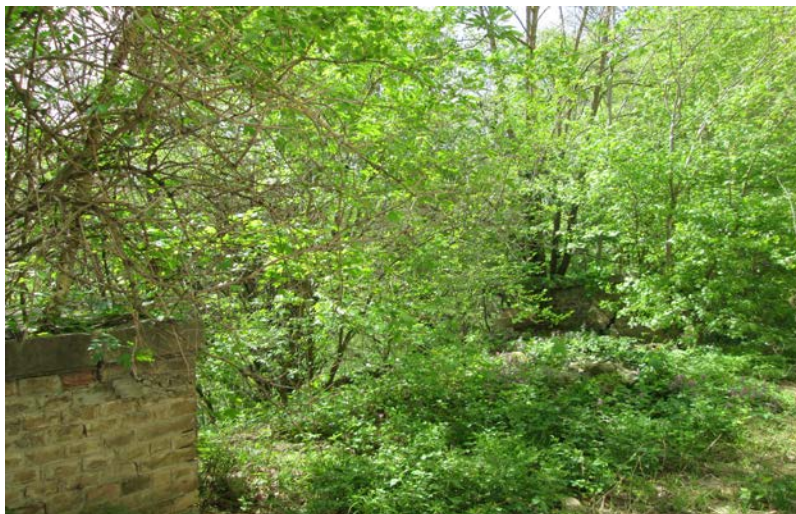


Figura 3.24 – Alunecare de teren pe versantul nordic al Dealului Cetății care a afectat zidul cetății

6) Alunecare de teren insecventă, recentă, inactivă (stabilizată), epuizată, cu un caracter rotațional, pe versantul estic al Dealului Cetății (Fig. 3.25) care a afectat zidul de sprijin din fața primăriei municipiului în anul 2008.



Figura 3.25 – Alunecare de teren pe versantul estic al Dealului Cetății care a afectat zidul cetății

7) Alunecare de teren ce se poate declanșa în viitor în partea nordică a Dealului Cetății (Fig. 3.26).



**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

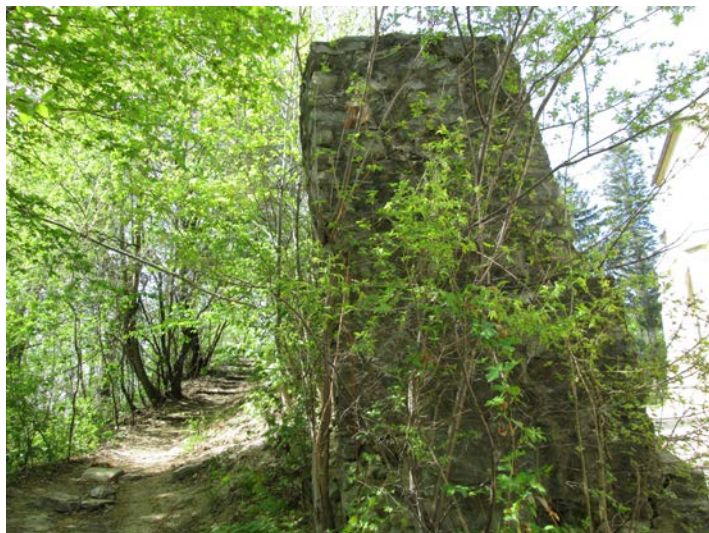


Figura 3.26 – Alunecare de teren pe versantul nordic al Dealului Cetății care poate duce la prăbușirea zidului cetății

**b) Fenomene de instabilitate în zona văii pârâului Saeș**

8) Alunecarea de teren produsă în anul 2008 pe malul drept al pârâului Saeș este printre cele mai reprezentative alunecări de teren din zona municipiului Sighișoara (Fig. 3.27).



Figura 3.27 – Alunecare de teren pe malul drept al pârâului Saeș

9) Alunecare de teren pe malul stâng la pârâului Saeș este o alunecare subsecventă, recentă, activă cu un caracter translațional (Fig. 3.30).

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**



Figura 3.30 – Alunecare de teren pe malul stâng al pârâului Saeș

**10)** Alunecare de teren pe malul drept al pârâului Saeș, insecventă, actuală, activă cu un caracter translațional (Fig. 3.31).



Figura 3.31 – Alunecare de teren pe malul drept al pârâului Saeș

**11)** Alunecare de teren pe malul stâng al pârâului Saeș, insecventă, recentă, activă, cu un caracter rotațional (Fig. 3.32, 3.33).

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**



Figura 3.32, 3.33 – Alunecare de teren pe malul stâng al pârâului Saeș

**12)** Alunecare de teren pe malul stâng al pârâului Saeș declanșată în anul 2008 și reactivată în anul 2010 în urma precipitațiilor abundente (Fig. 3.34, 3.35).



Figura 3.34, 3.35 – Alunecare de teren pe malul stâng al pârâului Saeș care a afectat strada Vasile Lucaci

**c) Fenomene de instabilitate în zona Dealul Gării**

**13)** Alunecare de teren în zona vestică a dealului gării, semistabilizată, subsecventă (Fig. 3.36, 3.37).

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**



Figura 3.36, 3.37 – Alunecare de teren în zona vestică a Dealului Gării

**14) Alunecare de teren în zona sud-vestică a Dealului Gării (Fig. 3.38, 3.39).**



Figura 3.38, 3.39 – Alunecare de teren în zona sud-vestică a Dealului Gării

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

**15)** Alunecare de teren în zona sud-vestică a Dealului Gării (Fig. 3.40).



Figura 3.40– Alunecare de teren în zona sud-vestică a Dealului Gării

**c) Fenomene de instabilitate în zona Dealul Viilor**

**16)** Alunecarea de teren din zona de sud a zonei Viilor (Fig. 3.41) este o alunecare recentă, activă, cu un caracter rotațional.



Figura 3.41 – Alunecare de teren în zona Viilor

**e) Fenomene de instabilitate în zona Dealul Stejăriș**

**17)** În această zonă am identificat doar o alunecare de teren (Fig. 3.44, 3.45), chiar în zona drumului european E 60.

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**



Figura 3.44 – Alunecare de teren în zona Dealului Stejăriș

**f) Fenomene de instabilitate în zona Dealul de Mijloc**

**18)** În această zonă am identificat o alunecare de teren în vecinătatea străzii Cânepii (Fig. 3.46), alunecare recentă, insecventă, în trepte, activă, cu un caracter rotațional.



Figura 3.46 - Versant alcătuit nisipuri și nisipuri argiloase afectat de alunecări de teren pe str. Cânepii

Alunecare de teren	Zona alunecării	Suprafața alunecării (m <sup>2</sup> )	Gradul de înclinare al versantului (°)	Orientare	Tip litologic
1.	Dealul Cetății	10	30	NE	Nisip argilos
2.	Dealul Cetății	10	50	NE	Nisip argilos
3.	Dealul Cetății	25	10	NE	Nisip argilos
4.	Dealul Cetății	5	30	SE	Nisip argilos
5.	Dealul Cetății	50	30	SE	Nisip argilos

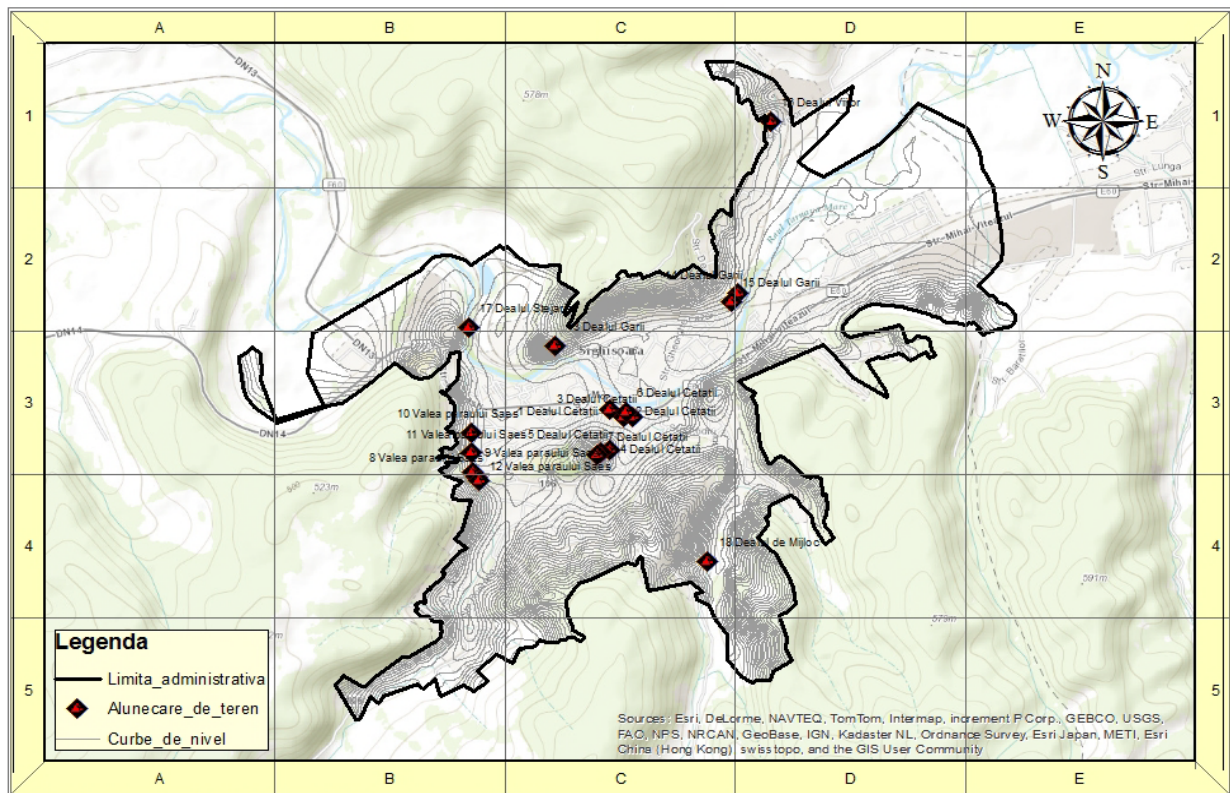
**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

6.	Dealul Cetății	400	80	NE	Argilă cu pietriș
7.	Dealul Cetății	10	30	S	Nisip argilos
8.	Valea Saeș	1800	80	SV	Gresie alterată
9.	Valea Saeș	70	40	NE	Nisip argilos
10.	Valea Saeș	40	30	NE	Nisip argilos
11.	Valea Saeș	20	30	V	Nisip argilos
12.	Valea Saeș	20	30	SV	Nisip argilos
13.	Dealul Gării	160	85	SE	Gresie alterată
14.	Dealul Gării	800	85	SE	Gresie alterată
15.	Dealul Gării	20	80	SE	Gresie alterată
16.	Dealul Viilor	800	15	SE	Nisip argilos
17.	Dealul Stejăriș	800	40	E	Gresie alterată
18.	Dealul de Mijloc	18	20	NV	Nisip argilos

Tabelul nr. 3.3 Caracteristici ale alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara

Este cunoscut că inventarierea alunecărilor de teren este cea mai simplă formă de cartare a acestora (Guzzetti F., 1999). Harta de inventariere a alunecărilor de teren înregistrează locația, tipul alunecării de teren, suprafața terestră afectată și data la care aceasta s-a produs.

**HARTA DE INVENTARIERE A ALUNECĂRILOR DE TEREN ÎN ZONA MUNICIPIULUI SIGHIȘOARA**



Original de editare: Hartă Topografică României, scara 1:25.000  
Sistem de coordonate: STEREO 1970



Figura 3.49 – Harta de inventariere a alunecărilor de teren în zona municipiului Sighișoara

## **4. Analiza fenomenului de instabilitate a versanților din zona municipiului Sighișoara**

Scopul acestei teze de doctorat este de a cuantifica și analiza fenomenele de instabilitate din cadrul arealului municipiului Sighișoara. Astfel, analiza stabilității versanților ocupă un spațiu important în managementul fenomenelor de instabilitate din zonă.

Problemele de instabilitate din zona municipiului Sighișoara sunt materializate prin alunecările de teren identificate, cartate și inventariate în capitolul 3. Astfel, am identificat alunecări de teren în zonele Dealul Cetății, valea pârâului Saeș, Dealul Gării, Dealul Viilor, Dealul Stejăriș, Dealul de Mijloc. În total am identificat 18 alunecări de teren și zone cu instabilitate a versanților.

În zona municipiului Sighișoara am identificat două complexe de roci moi, rocile moi coezive și rocile moi necoezive, și un complex de roci tari. De asemenea, în anexa 4.1 sunt prezentate rezultatele analizelor de laborator pentru probele prelevate în urma execuției forajelor de către S.C. Formin S.A. Încercările de laborator au fost efectuate în cadrul laboratorului GTF de gradul II al S.C. Search Corporation S.R.L și în laboratorul GTF de gradul II al S.C. INDIF-ISPIF S.A.. Acordul folosirii datelor a fost posibil cu ajutorul Italferr Spa și al S.C. INDIF-ISPIF S.A..

Fenomenul de instabilitate a versanților din zona Dealului Cetății din municipiul Sighișoara au fost semnalate încă din anul 2008. Pe fondul precipitațiilor abundente, al geologiei zonei și al urbanizării, versanții din această zonă au fost și sunt afectați de alunecări de teren. În tabelul 4.10 am prezentat, în urma vizitelor de cartare a alunecărilor de teren din zonă, că versanții orientați spre est sunt cei mai predispuși la alunecări de teren.

<b>Alunecare de teren</b>	<b>Zona</b>	<b>Coordonate WGS 84</b>	<b>Coordonate Stereo 1970</b>	<b>Suprafața alunecării (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Gradul de înclinare al versantului (°)</b>	<b>Orientare</b>	<b>Tip litologic</b>
<b>1</b>	<b>Dealul Cetății</b>	45° 13' 37,00" N; 24° 47' 18,90" E	x 524563,377; y 484093,426	10	30	NE	Nisip argilos
<b>2</b>	<b>Dealul Cetății</b>	46° 13' 12,10" N; 24° 47' 37,10" E	x 524502,865; y 484202,327	10	50	NE	Nisip argilos



**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

3	<b>Dealul Cetății</b>	46° 13' 12,10" N; 24° 47' 39,90" E	x 524502,710; y 484262,321	25	10	NE	Nisip argilos
4	<b>Dealul Cetății</b>	46° 13' 04,30" N; 24° 47' 32,10" E	x 524262,361; y 484094,566	5	30	SE	Nisip argilos
5	<b>Dealul Cetății</b>	46° 13' 03,50" N; 24° 47' 29,30" E	x 524237,822; y 484034,505	50	30	SE	Nisip argilos
6	<b>Dealul Cetății</b>	45° 51' 26,01" N; 25° 18' 52,61" E	x 524547,906; y 484214,398	400	80	NE	Argilă cu pietriș
7	<b>Dealul Cetății</b>	46° 13' 03,00" N; 24° 47' 27,80" E	x 524222,471; y 484002,324	10	30	S	Nisip argilos

Tabelul 4.10 Alunecările de teren din zona Dealul Cetății

Zona dealului Cetății din municipiul Sighișoara este reprezentată, din punct de vedere geologic, de depozite de vârstă cuaternară (deluvii de pantă, umpluturi, argile, nisipuri și pietrișuri) și de depozite de vârstă pannoniană (argile, argile marnoase, nisipuri, pietrișuri). Tipurile litologice sunt variate și fiecare prezintă un set distinct de indici geotehnici.

Fenomenele de instabilitate la nivelul zonei Dealul Cetății sunt și vor fi un pericol în stabilitatea și integritatea cetății Sighișoarei. În cele ce urmează voi analiza, din punct de vedere al stabilității versanților probabilitatea producerii unor alunecări de teren în zonă. În capitolul 3 am prezentat faptul că zona este predispusă la alunecări de teren de suprafață dar și de adâncime pe baza inventarierii fenomenelor de instabilitate. De aceea consider necesară efectuarea unei analize de stabilitate la nivelul versanților din zonă. Pentru acest lucru, pe baza datelor din forajele executate în 1990 de către S.C. INCDIF-ISPIF S.A. în zonă am stabilit patru profiluri transversale pentru analiza de stabilitate (Fig. 4.9, anexa 5). Astfel în figurile 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 și 4.17 prezint cele 8 profiluri geologice.



**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

**2) Alegerea unui software pentru analiza stabilității versanților din zona de studiu**

Analiza de stabilitate a versanților din zona Dealului Cetății am ales să o efectuez cu programul GEOSLOPE, cu ajutorul funcției SLOPE/W. Programul a fost introdus pe piața de profil din anul 1977 de către profesorul D. G. Fredlund de la universitatea din Saskatchewan. În timp, în funcție de avansarea tehnologiei informaticii, programul a suferit adaptări numeroase.

**3) Modelarea celor opt profiluri geologice într-un software de analiză de stabilitate**

Modelarea celor opt profiluri geologice în programul SLOPE/W a implicat salvarea lor din AutoCAD în format dxf. Formatul de fișier dxf. (drawing interchange format) este singura cale de tranferare a datelor între cele două programe.

**4) Introducerea valorilor indicilor geotehnici caracteristici tipurilor litologice în programul de calcul**

<b>PROFILUL 1</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Umplură	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	20,40	12,30	45
Nisip prăfos	20,20	25,44	39
Nisip argilos	19,10	30,00	10
Argilă nisipoasă	21,00	5,20	63
<b>PROFILUL 2</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Umplură	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	21,00	37,00	18
Nisip argilos	19,10	30,00	10
<b>PROFILUL 3</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Umplură	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	21,00	37,00	18
Nisip prăfos	20,20	25,44	39
Nisip argilos	19,10	30,00	10
<b>PROFILUL 4</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Umplură	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	21,00	37,00	18
Nisip argilos	19,10	30,00	10

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

<b>PROFILUL 5</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Sol vegetal (Umplutură)	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	19,70	29,27	8
Nisip prăfos	20,20	25,44	39
<b>PROFILUL 6</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Umplutură	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	21,00	37,00	18
Nisip prăfos	20,20	25,44	39
Argilă nisipoasă	20,10	14,59	44
<b>PROFILUL 7</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Umplutură	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	21,00	37,00	18
Nisip prăfos	20,20	25,44	39
Nisip argilos	19,10	30,00	10
<b>PROFILUL 8</b>			
Tip litologic	Greutatea volumică în stare naturală $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Unghiul de frecare interioară $\Phi$ [°]	Coeziunea c [kPa]
Umplutură	19,10	30,00	10
Argilă prăfoasă	21,00	37,00	18
Nisip prăfos	20,20	25,44	39

Tabelul 4.12 Valorile indicilor geotehnici pentru analiza stabilității profilelor stabilite (date obținute cu acordul S.C.

I.N.C.D.I.F-ISPIF S.A., anexa 14 a)

### 5) Stabilirea ipotezelor de lucru pentru estimarea factorului de stabilitate

Am stabilit patru ipoteze în cadrul analizei de stabilitate și anume:

- Ipoteza 1: versant în stare naturală;
- Ipoteza 2: versant cu nivelul apei subterane la adâncimea de – 1 m;
- Ipoteza 3: versant cu încărcări transmise de construcții;
- Ipoteza 4: versant cu încărcări transmise de construcții și cu nivelul apei subterane la adâncimea de – 1 m.

### 6) Calculul factorilor de stabilitate ai versanților din zonele stabilite

Calculul factorilor de stabilitate reprezintă ultima etapă din cadrul analizei de stabilitate a versanților din zona Dealului Cetății. Zona este predispusă la alunecări de teren, dovadă fiind

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

alunecările de teren din zonă identificate, cartografiate și analizate de Mărunțeanu C. în 2005.

Valorile de calcul ale încărcărilor transmise de construcțiile existente în teren le-am stabilit ca fiind de 65 kN/m<sup>2</sup> pentru încărcări transmise de drumurile existente și de 120 kN/m<sup>2</sup> pentru încărcările transmise în teren de imobilele existente. Acest lucru, după cum se va putea observa, a dus la scăderea valorilor factorului de stabilitate în cadrul ipotezelor 3 și 4 față de ipotezele 1 și 2.

Factorul de stabilitate admisibil, conform STAS 2914-84, trebuie să îndeplinească următoarea condiție:

$$F_{Sefectiv} \geq F_{Sadmisibil} \quad [4.1]$$

Unde:

-  $F_{Sadmisibil}$  – factorul de stabilitate admisibil indicat și prescris în funcție de anumte considerente de normele tehnice în vigoare;

-  $F_{Sefectiv}$  – factorul de stabilitate efectiv estimat prin diferite metode de calcul.

Astfel, conform STAS 2914-84, factorul de stabilitate pentru terasamentele de drumuri are valori cuprinse în intervalul  $F_{Sadmisibil} = 1,30 \dots 1,50$ . Deci în cazul analizei la stabilitate în cazul zonelor de versant cu încărcări din drumuri, conform prevederilor tehnice prezentate mai sus, am considerat că  $F_{Sefectiv} \geq 1,30$ . În cazul zonelor de versant cu încărcări din imobile am considerat  $F_{Sefectiv} \geq F_{Sadmisibil} \geq 1,25$ .

Rezultatele analizei de stabilitate în zona Dealului Cetății:

Ipoteză de calcul	Metodă	Valorile factorului de stabilitate $F_S$
1	Fellenius	6,450
	Bishop	6,551
	Janbu	6,393
2	Fellenius	5,693
	Bishop	6,018
	Janbu	5,611
3	Fellenius	1,089
	Bishop	1,289
	Janbu	1,133
4	Fellenius	1,089
	Bishop	1,289
	Janbu	1,133

Tabelul 4.13 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona

Dealul Cetății – Profil 1

Ipoteză de calcul	Metodă	Valorile factorului de stabilitate $F_S$
1	Fellenius	6,870
	Bishop	7,831
	Janbu	6,617
2	Fellenius	5,492
	Bishop	6,005
	Janbu	5,416
3	Fellenius	0,920
	Bishop	1,047
	Janbu	0,944
4	Fellenius	0,881
	Bishop	1,051
	Janbu	0,916

Tabelul 4.14 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona

Dealul Cetății – Profil 2

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

<b>Ipoteză de calcul</b>	<b>Metodă</b>	<b>Valorile factorului de stabilitate <math>F_S</math></b>
<b>1</b>	Fellenius	<b>6,480</b>
	Bishop	<b>6,511</b>
	Janbu	<b>6,224</b>
<b>2</b>	Fellenius	<b>5,778</b>
	Bishop	<b>5,924</b>
	Janbu	<b>5,730</b>
<b>3</b>	Fellenius	<b>1,016</b>
	Bishop	<b>1,168</b>
	Janbu	<b>1,057</b>
<b>4</b>	Fellenius	<b>0,997</b>
	Bishop	<b>1,145</b>
	Janbu	<b>1,039</b>

Tabelul 4.15 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona

Dealul Cetății – Profil 3

<b>Ipoteză de calcul</b>	<b>Metodă</b>	<b>Valorile factorului de stabilitate <math>F_S</math></b>
<b>1</b>	Fellenius	<b>6,555</b>
	Bishop	<b>6,807</b>
	Janbu	<b>6,193</b>
<b>2</b>	Fellenius	<b>5,089</b>
	Bishop	<b>5,785</b>
	Janbu	<b>4,949</b>
<b>3</b>	Fellenius	<b>1,593</b>
	Bishop	<b>1,830</b>
	Janbu	<b>1,645</b>
<b>4</b>	Fellenius	<b>1,593</b>
	Bishop	<b>1,830</b>
	Janbu	<b>1,645</b>

Tabelul 4.18 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona

Dealul Cetății – Profil 6

<b>Ipoteză de calcul</b>	<b>Metodă</b>	<b>Valorile factorului de stabilitate <math>F_S</math></b>
<b>1</b>	Fellenius	<b>4,397</b>
	Bishop	<b>4,484</b>
	Janbu	<b>4,353</b>
<b>2</b>	Fellenius	<b>3,997</b>
	Bishop	<b>4,084</b>
	Janbu	<b>3,969</b>
<b>3</b>	Fellenius	<b>0,969</b>
	Bishop	<b>1,099</b>
	Janbu	<b>1,071</b>
<b>4</b>	Fellenius	<b>0,978</b>
	Bishop	<b>1,107</b>
	Janbu	<b>1,001</b>

Tabelul 4.16 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona

Dealul Cetății – Profil 4

<b>Ipoteză de calcul</b>	<b>Metodă</b>	<b>Valorile factorului de stabilitate <math>F_S</math></b>
<b>1</b>	Fellenius	<b>3,851</b>
	Bishop	<b>4,115</b>
	Janbu	<b>3,758</b>
<b>2</b>	Fellenius	<b>2,784</b>
	Bishop	<b>3,052</b>
	Janbu	<b>2,795</b>
<b>3</b>	Fellenius	<b>0,935</b>
	Bishop	<b>1,047</b>
	Janbu	<b>0,953</b>
<b>4</b>	Fellenius	<b>0,895</b>
	Bishop	<b>1,005</b>
	Janbu	<b>0,913</b>

Tabelul 4.19 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona

Dealul Cetății – Profil 7

<b>Ipoteză de calcul</b>	<b>Metodă</b>	<b>Valorile factorului de stabilitate <math>F_S</math></b>
<b>1</b>	Fellenius	<b>4,812</b>
	Bishop	<b>4,942</b>
	Janbu	<b>4,772</b>
<b>2</b>	Fellenius	<b>3,207</b>
	Bishop	<b>3,657</b>
	Janbu	<b>3,290</b>

Tabelul 4.17 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona

Dealul Cetății – Profil 5

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

Ipoteză de calcul	Metodă	Valorile factorului de stabilitate $F_S$
1	Fellenius	6,137
	Bishop	6,573
	Janbu	5,919
2	Fellenius	4,900
	Bishop	5,338
	Janbu	4,834
3	Fellenius	1,254

4	Bishop	1,425
	Janbu	1,259
	Fellenius	1,248
	Bishop	1,422
	Janbu	1,252

Tabelul 4.20 Valorile factorilor de stabilitate rezultați în urma analizei de stabilitate a versanților din zona Dealul Cetății – Profil 8

## 5. Analiza susceptibilității la alunecări de teren în zona Municipiului Sighișoara

Susceptibilitatea la alunecări de teren reprezintă posibilitatea producerii unei alunecări de teren într-o zonă, luând în considerare condițiile de teren din acea zonă (Brabb, 1984). Metodologia utilizată în aplicarea metodei bivariante prin ponderi de importanță are la bază harta de distribuție a alunecărilor de teren (harta de inventariere a alunecărilor de teren) din arealul de studiu și hărțile parametru.

Metoda bivariată permite cuantificarea predicției susceptibilității la alunecări de teren prin intermediul ponderilor, chiar și în zonele în care nu au fost identificate alunecări de teren (S. KUNDU , D. C. SHARMA , A. K. SAHA , C. C. PANT and J. MATHEW, 2011). Formula care stă la baza metodei este reprezentată prin logaritmul natural al fracției dintre densitatea alunecărilor de teren dintr-o clasă și densitatea alunecărilor de teren a întregii zone de studiu:

$$w_i = \ln\left(\frac{Densclas}{Densmap}\right) = \ln\left(\frac{Npix(S_i) / Npix(N_i)}{\sum_{i=1}^n Npix(S_i) / \sum_{i=1}^n Npix(N_i)}\right) \quad [5.1]$$

Unde :

- $w_i$  – ponderea dată unei clase dintr-un strat tematic;
- $Densclas$  – densitatea alunecărilor de teren dintr-o clasă tematică;
- $Densmap$  – densitatea alunecărilor de teren din întregul strat tematic;
- $Npix(S_i)$  – numărul de pixeli ai alunecărilor de teren dintr-o clasă tematică;
- $Npix(N_i)$  – numărul total de pixeli dintr-o clasă tematică;
- $n$  – numărul de clase dintr-o hartă tematică.

## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

Harta susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara reprezintă probabilitatea producerii unor alunecări de teren într-o anumit areal, fapt ce nu depinde de timp. Următorul pas în analiză este de a combina harta distribuției alunecărilor de teren din zona de studiu cu fiecare hartă parametru. Acest lucru presupune patru pași metodologici:

- 1) Crearea unui tabel comun prin intersectarea hărților;
- 2) Crearea de noi coloane ale densității alunecărilor de teren;
  - a) Stabilirea suprafețelor cu alunecări de teren active pentru fiecare clasă;
  - b) Calcularea suprafeței totale pentru fiecare clasă de intervale;
  - c) Calcularea suprafeței cu alunecări de teren active din fiecare clasă;
  - d) Calcularea suprafeței totale a hărții;
  - e) Calcularea suprafeței totale afectată de alunecări de teren;
  - f) Calcularea densității alunecărilor de teren pentru fiecare clasă;
  - g) Calcularea densității alunecărilor de teren pe întreaga hartă;
- 3) Crearea unui tabel simplificat și acordarea ponderilor de importanță;
  - a) Calcularea suprafeței totale pentru fiecare clasă;
  - b) Calcularea suprafeței cu alunecări de teren active din cadrul fiecărei clase;
  - c) Calcularea densității alunecărilor de teren pentru fiecare clasă;
  - d) Calcularea ponderii importanței.
- 4) Realizarea hărții finale.

În această etapă am utilizat pentru combinarea hărților și acordarea ponderilor software-ul ILWIS. Pentru fiecare combinare a hărții de distribuție a alunecărilor de teren cu o hartă parametru, fiecare hartă rezultată va fi una de susceptibilitate la alunecări de teren. Aceasta va prezenta susceptibilitatea în funcție de factorul luat în calcul. După ce toate hărțile de susceptibilitate pentru fiecare factor în parte vor fi finalizate acestea vor fi însumate prin formula 5.2, rezultând harta finală a susceptibilității la alunecări de teren în zona de studiu.

$$S_f = S_{f1} + S_{f2} + S_{f3} + S_{f4} + S_{f5} \quad [5.2]$$

Unde :

- $S_f$  – susceptibilitate la alunecări de teren finală, în funcție de cei cinci factori;
- $S_{f1}$  – susceptibilitate la alunecări de teren în funcție de factorul înclinării versanților;
- $S_{f2}$  – susceptibilitate la alunecări de teren în funcție de factorul orientării versanților;



## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

- $S_{f3}$  – susceptibilitate la alunecări de teren în funcție de factorul geologic;
- $S_{f4}$  – susceptibilitate la alunecări de teren în funcție de factorul distanței față de rețeaua hidrografică;
- $S_{f5}$  – susceptibilitate la alunecări de teren în funcție de factorul distanței față de zonele urbane.

Pentru reprezentarea susceptibilității la alunecări de teren am ales crearea a trei clase, după cum urmează:

- susceptibilitate mică;
- susceptibilitate medie;
- susceptibilitate mare.

### HARTA SUSCEPTIBILITĂȚII LA ALUNECĂRI DE TEREN ÎN ZONA MUNICIPIULUI SIGHIȘOARA

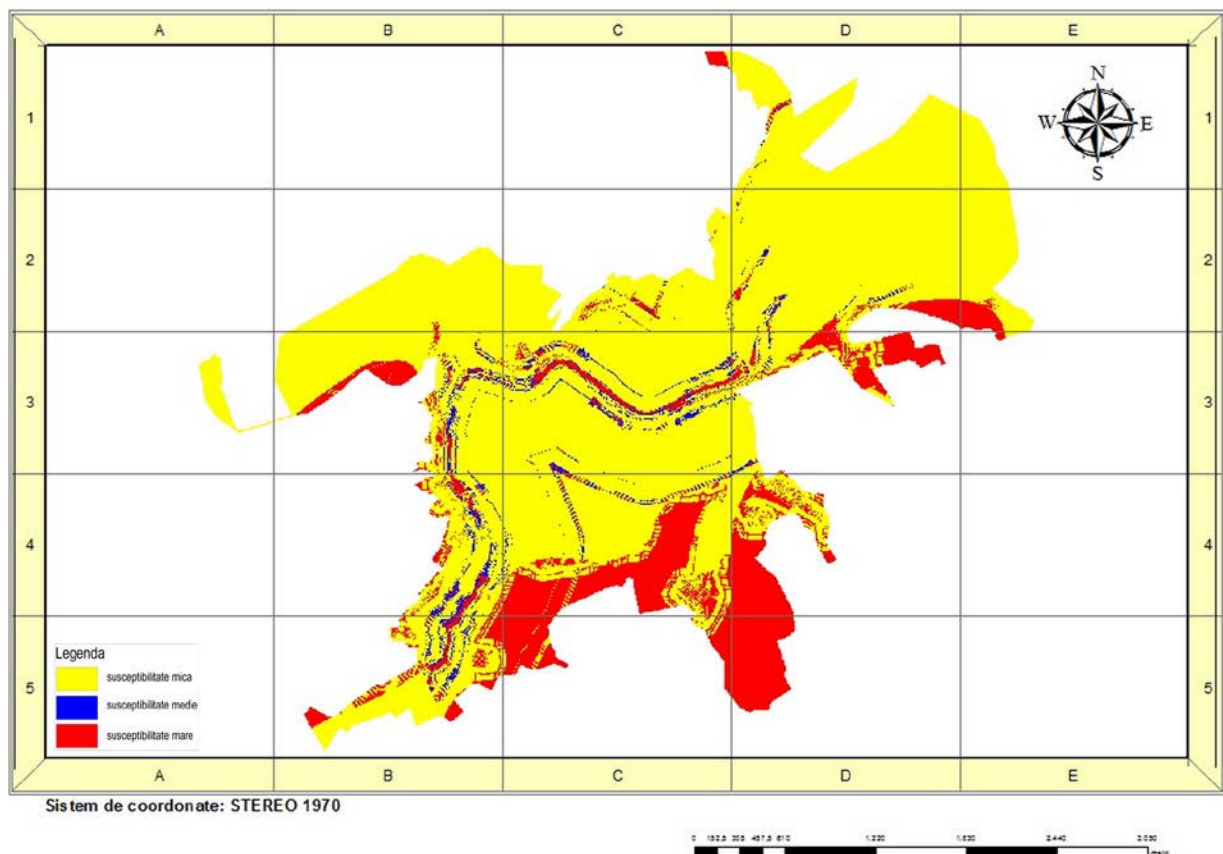


Figura 5.14 Harta susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara

## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

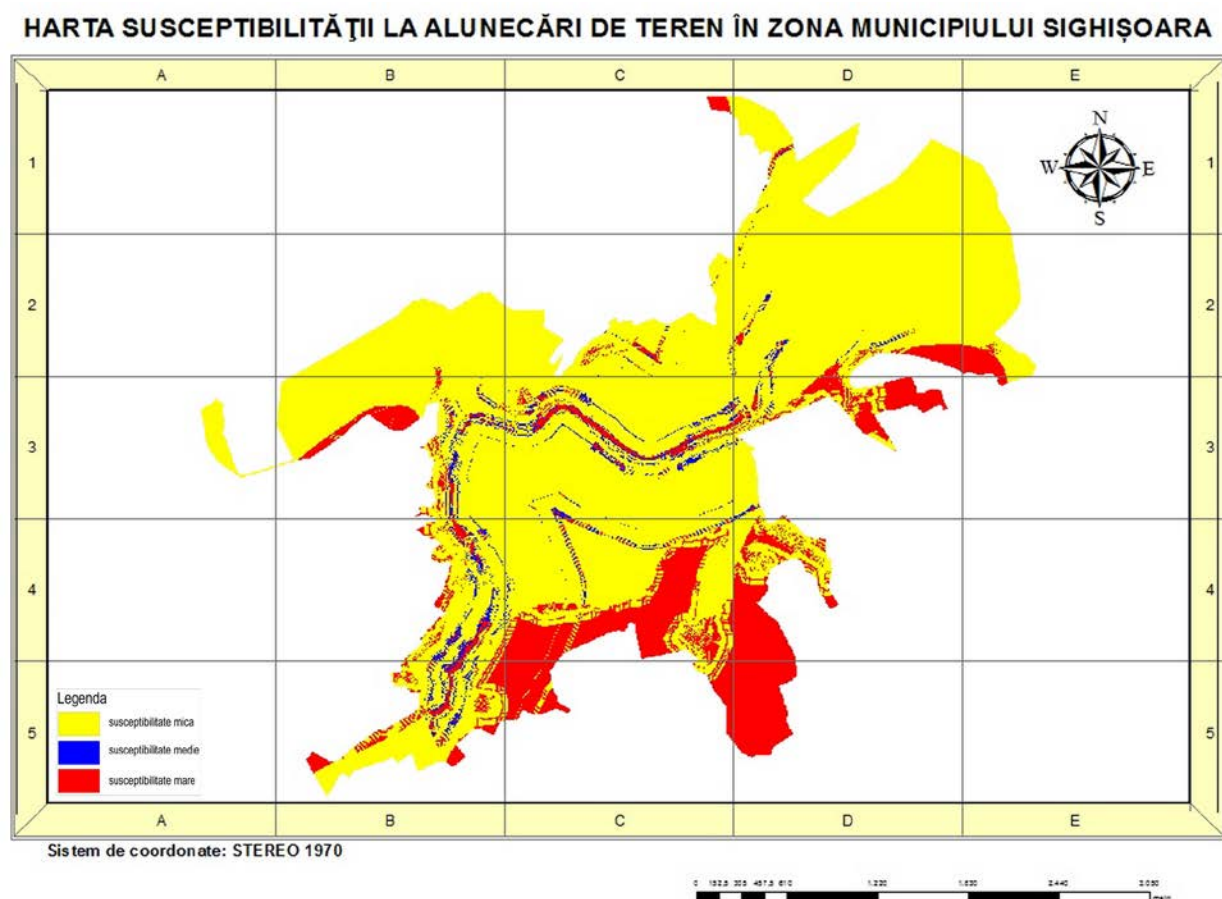


Figura 5.14 Harta susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara

Metoda deterministă în analiza susceptibilității la alunecări de teren a unei zone de studiu presupune estimarea susceptibilității pe baza factorilor de stabilitate a versanților. Susceptibilitatea la alunecări de teren în cadrul acestei metode este influențată de condiția de echilibru al a unui versant, adică  $F_s \geq 1,00$ . Una din condițiile de aplicare a metodei este ca litologia versantului să fie omogenă (van Westen, 1996). De asemenea, modelul deterministic luat în calcul este unidimensional și este dependent de hidrogeologia, morfologia și caracteristicile geotehnice ale versantului (van Westen, 1996). În aplicarea metodei am urmărit metodologia propusă de van Westen în cadrul ITC – Școala pentru Managementul Geo-informatic al Dezastrelor. Astfel, factorii care influențează susceptibilitatea la alunecări de teren sunt:

- morfologia versantului;

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

- înclinarea și elevația versantului;
- b) litologia versantului;
- c) hidrogeologia versantului;
  - prezența/absența apei subterane;
  - adâncimea nivelului apei subterane;
- d) adâncimea planului de alunecare;
- e) caracteristicile geotehnice ale versantului:
  - coeziune;
  - unghiul de frecare interioară;
  - greutatea volumică a rocilor;
  - greutatea volumică a apei;

Având în vedere factorii care influențează susceptibilitatea la alunecări de teren enumerați mai sus, aplicarea metodei are la bază formula:

$$F_s = \frac{c + (\gamma - m \cdot \gamma_w \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \varphi)}{\gamma \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad [5.3]$$

Unde :

- $F_s$  – factorul de stabilitate al versantului;
- $c$  – coeziunea [Pa];
- $\gamma$  – greutatea volumică a rocii [ $\text{N}/\text{m}^3$ ];
- $\gamma_w$  – greutatea volumică a apei [ $\text{N}/\text{m}^3$ ];
- $\beta$  – unghiul de înclinare al versantului [ $^\circ$ ];
- $\varphi$  – unghiul de frecare interioară [ $^\circ$ ];

$$- m = \frac{z_w}{z} \quad [5.4]$$

Unde :

- $z$  – adâncimea suprafeței de alunecare [m];
- $z_w$  – adâncimea nivelului apei subterane [m].

Pașii metodologici în aplicarea metodei deterministe a versantului infinit sunt:

- 1) Crearea hărții înclinării versanților în zona de studiu;
- 2) Crearea hărții adâncimii planului de alunecare în zona de studiu;

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

- 3) Crearea hărții sinusului înclinării versanților în zona de studiu;
- 4) Crearea hărții cosinusului înclinării versanților în zona de studiu;
- 5) Crearea hărții cosinusului la pătrat a înclinării versanților în zona de studiu;
- 6) Crearea hărții intermediare a susceptibilității la alunecări de teren în zona de studiu prin aplicarea formulei 5.3;
- 7) Crearea hărții finale a susceptibilității la alunecări de teren în zona de studiu prin reclasificarea hărții intermediare.

Harta susceptibilității la alunecări de teren prin metoda deterministă (versant infinit) am creat-o utilizând software-ul ILWIS. Astfel, în prima fază am creat harta intermediară prin aplicarea formulei 5.3. Având la dispoziție hărțile necunoscutelor create anterior, pasul următor constă în stabilirea valorilor de calcul pentru indicii geotehnici prezenți în formulă. Valorile acestor indici le-am stabilit în concordanță cu informațiile din capitolul 4, precum că versanții au o componentă litologică prezentată în capitolul 2. Astfel, pentru ca analiza susceptibilității la alunecări de teren în zona de studiu să poată fi coroborată cu analiza de stabilitate pentru interpretările de rigoare, am considerat că planurile de alunecare ale versanților au adâncimi mici cuprinse în intervalul de 0 – 5 m. În acest interval, din punct de vedere litologic, versanții sunt alcătuiți din umpluturi și nisipuri argiloase. Acest caz este real doar în zona Dealului Cetății, confirmat de investigațiile geotehnice efectuate. Neavând la dispoziție astfel de informații în celelalte zone de versant ale municipiului Sighișoara, pe baza unor aflorimente identificate și cartate în teren, am considerat că pe intervale de adâncimi mici componenta litologică a versanților este asemănătoare cu cea din cadrul Dealului Cetății. În tabelul 5.6 sunt prezentate valorile parametrilor din formula 5.3.

Parametru	Simbol	Unitate de măsură	Valoare
Unghiul înclinării versanților	$\beta$	°	Harta înclinării versanților
Adâncimea planului de alunecare	$z$	m	Harta adâncimii planului de alunecare
Sinusul înclinării versanților	$\sin\beta$	-	Harta sinusului înclinării versanților
Cosinusul înclinării versanților	$\cos\beta$	-	Harta cosinusului înclinării versanților
Cosinusul la pătrat a înclinării versanților	$\cos^2\beta$	-	Harta cosinusului la pătrat a înclinării versanților
Greutatea volumică a	$\gamma_w$	N/m <sup>3</sup>	10000

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

<b>apei</b>			
<b>Grautatea volumică a rocii</b>	$\gamma$	$N/m^3$	19100
<b>Unghiul de frecare interioară</b>	$\varphi$	°	30
<b>Coeziunea</b>	$c$	Pa	30000
<b>Tangenta unghiului de frecare interioară</b>	$\tan\varphi$	-	0,577
<b>Nivelul apei subterane</b>	$m$	$m$	0... - 1

Tabelul 5.3 Valorile parametrilor formulei 5.3

Valorile parametrilor formulei 5.3 au fost stabiliți. Astfel, aplicarea formulei am efectuat-o pentru două cazuri ipotetice care să scoată în evidență susceptibilitatea la alunecări de teren a versanților, după cum urmează:

- 1) Cazul 1: nivelul apei subterane este la o adâncime mai mare de - 5 m (fără acvifer);
- 2) Cazul 2: nivelul apei subterane se află la o adâncime de - 1 m (cu acvifer).

Astfel, pentru primul caz a rezultat o hartă, iar pentru al doilea o altă hartă. Hărțile le-am clasificat utilizând clasele:

<b>Clasă</b>	<b>Intervale valori ale factorului de stabilitate <math>F_s</math></b>
<b>Susceptibilitate mare</b>	0 - 1
<b>Susceptibilitate medie</b>	1 - 1,25
<b>Susceptibilitate mică</b>	1,25 - 100

Tabelul 5.4 Clasele de intervale de valori ale factorului de stabilitate  $F_s$

După clasificarea hărților conform tabelului 5.4 a rezultat harta susceptibilității la alunecări de teren pentru cazul 1 (Fig. 5.18, anexa 31) și harta susceptibilității la alunecări de teren pentru cazul 2 (Fig. 5.19, anexa 32).

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

**HARTA SUSCEPTIBILITĂȚII LA ALUNECĂRI DE TEREN ÎN ZONA MUNICIPIULUI SIGHIȘOARA - FĂRĂ ACVIFER**

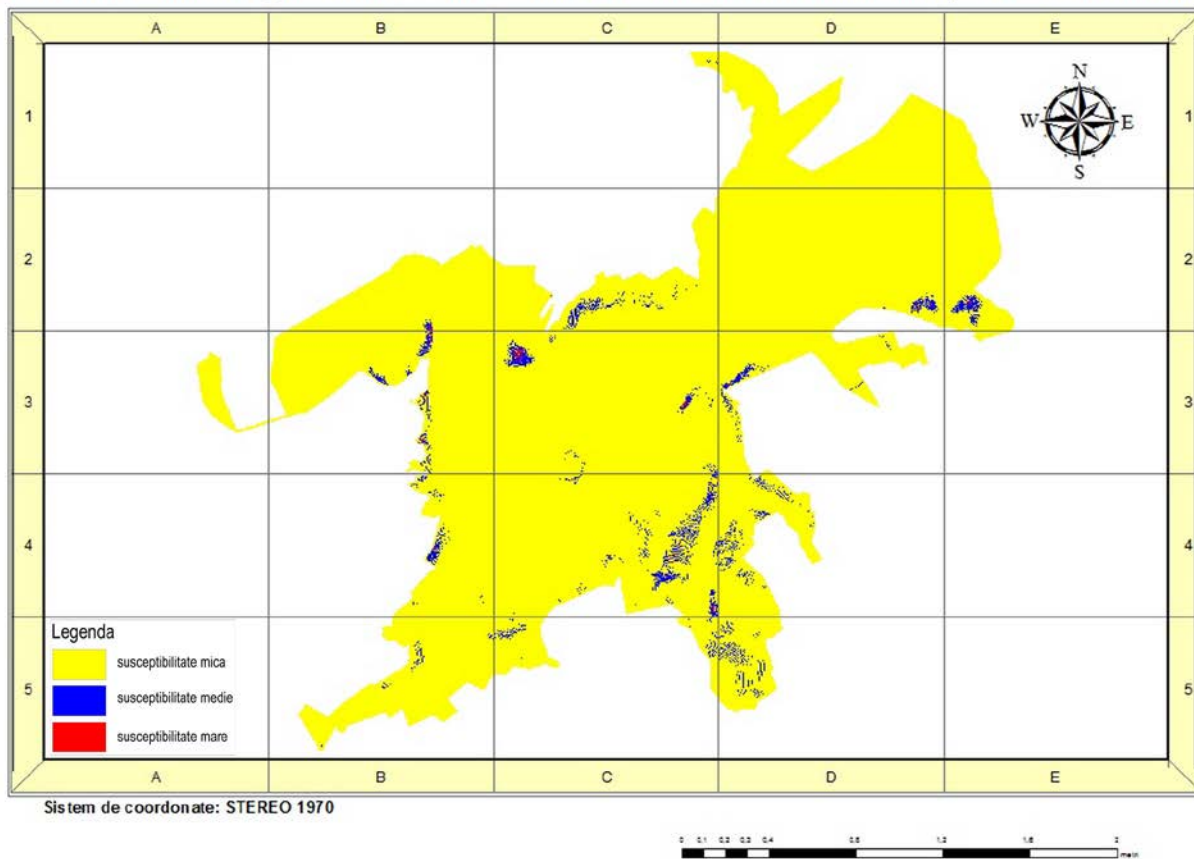


Figura 5.18 Harta susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara – fără acvifer

## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

HARTA SUSCEPTIBILITĂȚII LA ALUNECĂRI DE TEREN ÎN ZONA MUNICIPIULUI SIGHIȘOARA - CU ACVIFER

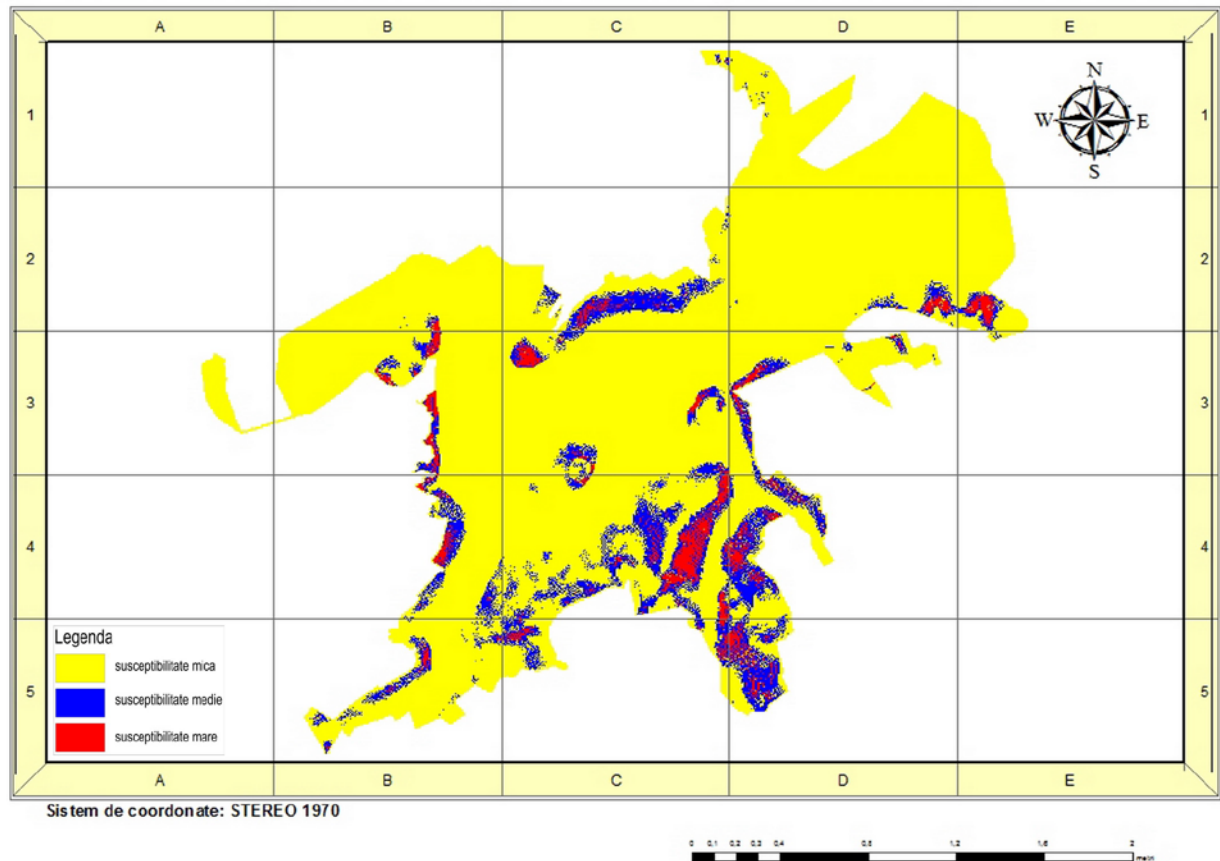


Figura 5.19 Harta susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara – cu acvifer

## 6. Soluții tehnice pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților în zona municipiului Sighișoara

Zona municipiului Sighișoara a fost, este și va fi afectată de fenomenele de instabilitate a versanților materializate prin producerea de alunecări de teren. Din inventarul alunecărilor de teren în zonă prezentat în cadrul capitolului 3 se poate concluziona că toate zonele municipiului sunt afectate de aceste fenomene. În cadrul capitolelor 4 și 5 am aplicat diferite metode de analiză în scopul cuantificării producerii acestor fenomene și gradul influenței remodelării geomorfologice a reliefului din zona de studiu. Astfel, zonele cu o susceptibilitate ridicată la alunecări de teren de interes turistic și urbanistic care necesită luarea unor măsuri în legătură cu remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților sunt zona Dealul

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

Cetății, zona văii pârâului Saeș și zona Dealul Gării. În urma analizei de stabilitate asupra versanților din zona Dealul Cetății a rezultat o clară prezență a fenomenelor. Factorii de stabilitate rezultați în urma analizei scot la lumină situația existentă în această zonă. Deși în trecut în această zonă s-au înregistrat numeroase probleme de instabilitate la nivelul versanților, analiza demonstrează că fenomenul de instabilitate este actual. Efectele acestui fenomen se pot produce doar în cazul în care factorii de influență își măresc ponderea. În zona Dealul Cetății cel mai influent factor de producere a fenomenelor de instabilitate a versanților este prezența apei subterane. Acest factor important este, la rândul lui, influențat de doi factori intermediari și anume cantitatea de precipitații și pierderile de apă din rețelele hidroedilitare. Cazul ipotetic luat în calcul în cadrul analizei de stabilitate precum că nivelul apei subterane s-ar afla la adâncimea de – 1,00 m poate deveni real datorită componenței litologice a versanților. Din informațiile obținute din forajele executate în zonă reiese că în intervalul de adâncime 0,00...- 15,00 m nu există un strat de argilă impermeabilă care să oprească fluctuațiile nivelului apei subterane pe adâncime.

După cum se poate observa în urma analizei stabilității versanților din zonă, dacă factorul reprezentat prin apa subterană este coroborat cu factorul încărcărilor transmise în teren de construcțiile existente, zona devine instabilă. Deci factorul cu influența cea mai ridicată în declanșarea fenomenului de instabilitate a versanților în această zonă este reprezentat prin prezența apei subterane. În acest scop pentru stoparea producerii fenomenului este necesară implementarea unor soluții tehnice (Fig. 6.1, anexa 33).





## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

perioadele cu precipitații abundente când se formează viituri. Însă și caracteristicile geotehnice slabe ale depozitelor versanților reprezintă un factor de luat în seamă.

Conform analizei susceptibilității la alunecări de teren prin metode calitative (metoda bivariată) pe care am efectuat-o în capitolul 5, zona văii pârâului Saeș s-a încadrat în clasele de susceptibilitate medie spre mare la alunecări de teren. Având în vedere situația existentă rezultatele metodei se verifică și astfel se impune luarea anumitor măsuri cu privire la remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților.

Situația din zona văii pârâului Saeș a fost identificată și analizată și de către S.C. ISPIF S.A., care în anul 2004 a întocmit un studiu de fezabilitate cu privire la „Investigarea și combaterea calamităților naturale (alunecări de teren și inundații) produse în municipiul Sighișoara – județul Mureș”. În cadrul acestui studiu, ca principal factor al producerii de alunecări de teren a fost identificată eroziunea de la baza versanților. Astfel, defrișările de arbori și arbuști au dus la slăbirea protecției împotriva eroziunii. De asemenea, prin corectarea neadecvată a cursului pârâului s-au executat volume de terasamente în debleu, la baza versanților, provocând coborârea nivelului de bază a eroziunii.

Soluțiile tehnice pe care le recomand pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților în zona văii pârâului Saeș constau în:

- amenajarea și calibrarea albiei pârâului;
- consolidarea zonelor afectate de eroziune prin ziduri de sprijin din beton armat cu barbacane sau din gabioane;
- consolidarea biologică cu plante cu rădăcini adânci astfel încât să fie înlăturată eroziunea de adâncime mică;
- proiectarea și execuția unui sistem elaborat de rigole care să faciliteze scurgerea apei de pe versanți în pârâu.

Soluțiile recomandate (Fig. 6.2, anexa 34) vor înlătura efectele eroziunii de la baza versanților în zona văii pârâului Saeș dar și ale inundațiilor frecvente.

## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

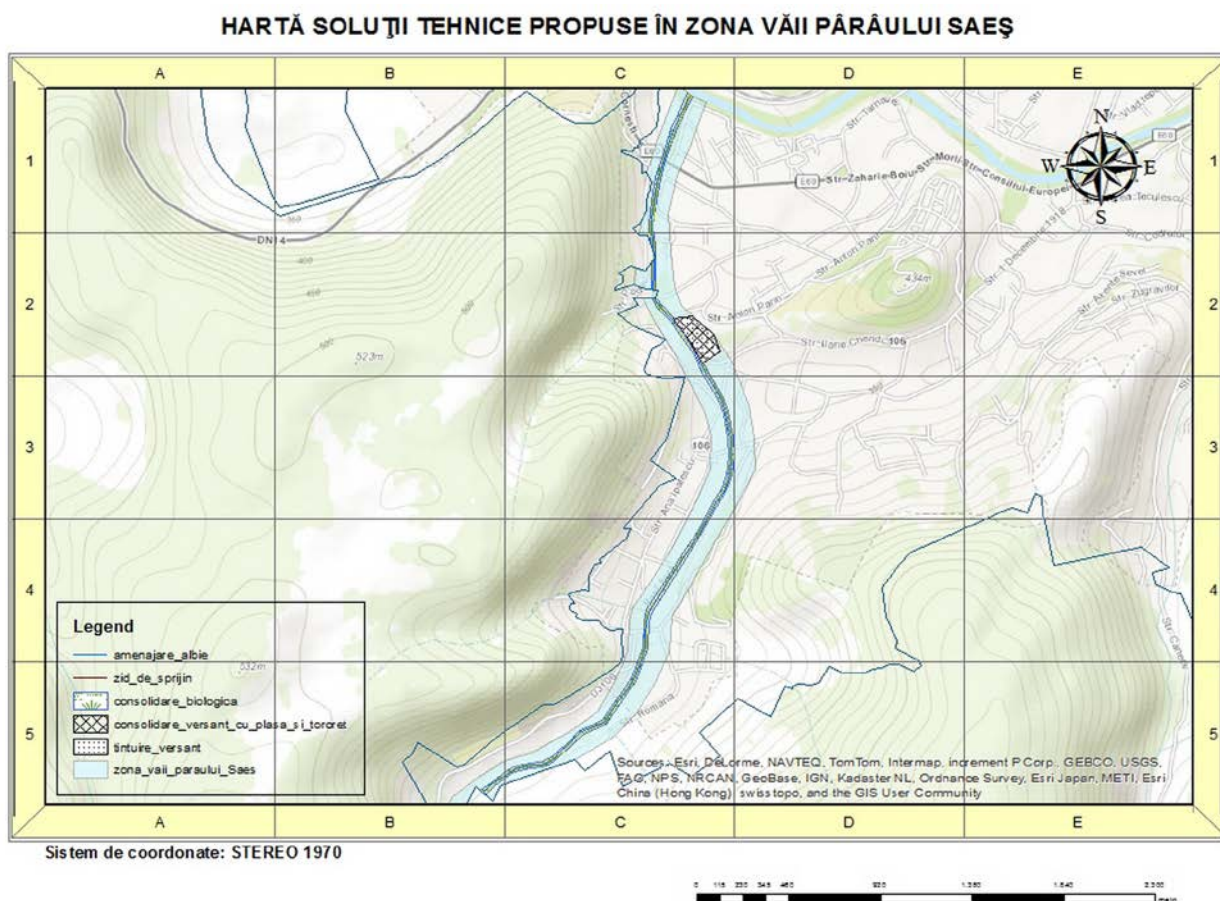


Figura 6.2 Hartă soluții tehnice propuse în zona văii pârâului Saeș

Zona Dealul Gării este o zonă intens afectată de fenomene de instabilitate a versanților. În această zonă, pentru realizarea construcțiilor de imobile s-au executat excavații în versantul dealului, fapt ce a dus la producerea în timp a numeroase probleme de instabilitate. Versantul în cauză (zona strada Primăverii, strada Ștefan cel Mare) este alcătuit în majoritate de depozite de nisipuri consolidate, pe alocuri gresii. Baza versantului este sistematizată în două trepte: prima constă dintr-un aliniament de imobile iar a doua de rețeaua de cale ferată a gării Sighișoara. În general versantul este consolidat biologic prin prezența unei păduri. La baza versantului, în zona căii ferate sunt executate ziduri de sprijin din beton armat. Situația însă nu este prezentă și în cazul treptei cu imobile. Ziduri de sprijin pentru protecția construcțiilor sunt prezente sporadic, acestea fiind executate de către localnici. În mare parte peretele debleului este liber și adesea, datorită componenței litologice, sunt înregistrate căderi de roci (fragmemnte de gresie) sau

## Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara

curgeri de nisip. În perioadele cu precipitații abundente caracteristicile geotehnice ale nisipurilor devin slabe iar gradul de consolidare scade. Astfel, versantul suferă de o instabilitate accentuată, înlăturată uneori de către localnici prin diferite improvizații constructive. Versantul în această zonă are pante cu înclinări de până la 80°. Deasupra depozitelor de nisipuri consolidate (grezoase) se află un depozit de deluvii de pantă nisipos-argiloase.

Soluțiile tehnice pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților în această zonă sunt (Fig. 6.3, anexa 35):

- refacerea zidului de sprijin de la baza primei trepte a versantului prin execuția unor fundații mai adânci și ridicarea acestuia la o înălțime mai mare decât cea actuală;
- țintuirea versantului cu ancoraje, instalarea de plase de oprire a materialului desprins și torcretarea suprafeței versantului;
- realizarea unei rețele de rigole la baza zidului de sprijin.

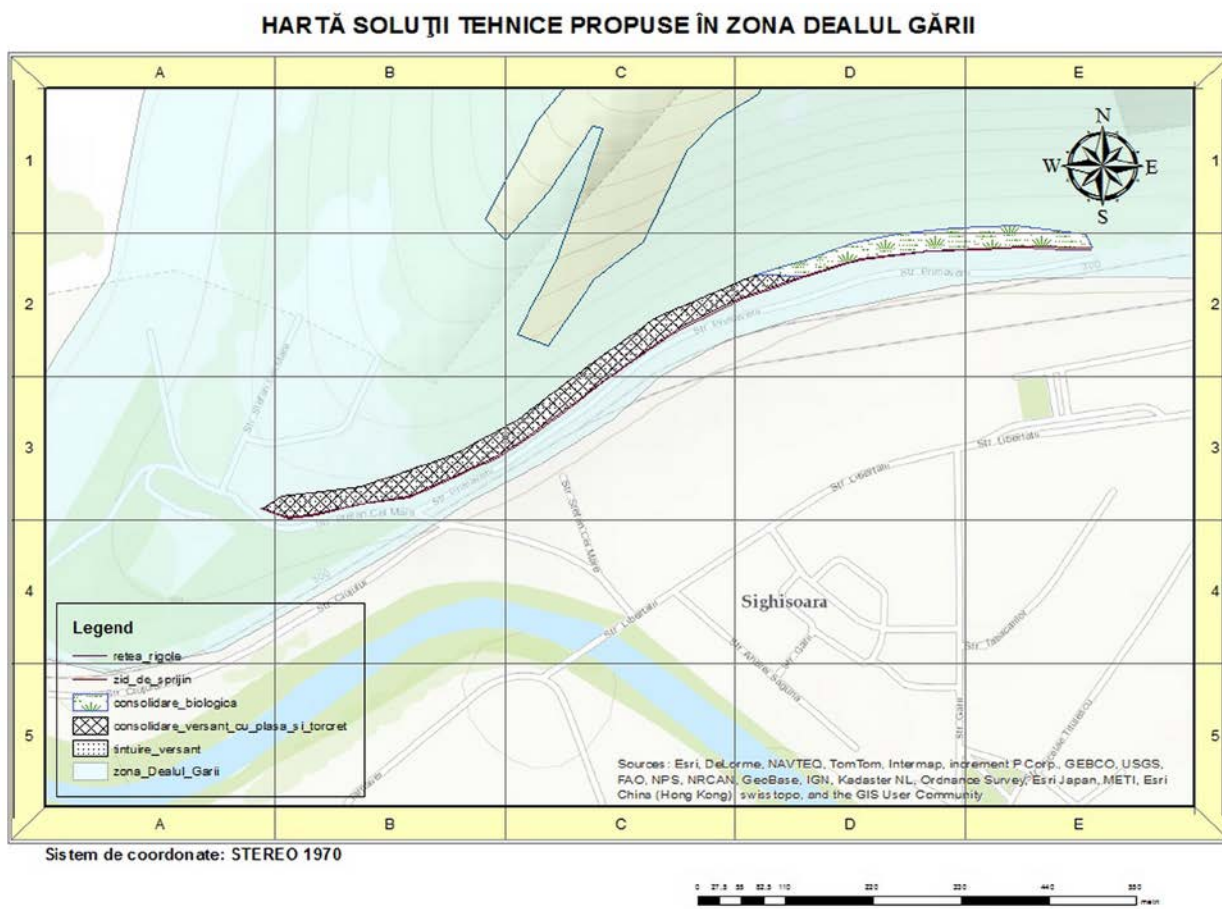


Figura 6.3 Hartă soluții tehnice propuse în zona Dealul Gării

## **7. Concluzii și contribuții personale**

Zona municipiului Sighișoara este influențată din punct de vedere geomorfologic, geologic și geotehnic de prezența fenomenelor de instabilitate a versanților. Fenomenul este prezent aproximativ pe toată suprafața versanților afectând nu numai aspectul geomorfologic al reliefului, dar și mediul urbanistic al municipiului. În decursul anilor 2000 o serie de alunecări de teren au remodelat aspectul versanților afectând o serie de imobile și drumuri. Printre zonele afectate se numără și zona Dealul Cetății unde se află Cetatea Medievală Sighișoara, parte a patrimoniului UNESCO. Alte zone afectate, dar cu o importanță urbanistică, sunt zona Dealul Gării, zona văii Pârâului Saeș.

Din punct de vedere geologic în cadrul municipiului Sighișoara se întâlnesc depozite de vârstă cuaternară și depozite de vârstă pannoniană. Depozitele de vârstă cuaternară sunt reprezentate de deluvii de pantă argiloase-nisipoase în zonele de versant, nisipuri și pietrișuri în zonele de terasă a rețelei hidrografice. Depozitele de vârstă pannoniană sunt reprezentate de nisipuri consolidate (gresificate), argile și argile marnoase și, pe alocuri, gresii sub formă de bancuri. Fenomene de instabilitate a versanților am identificat la nivelul depozitelor nisipoase (nisipuri argiloase, nisipuri prăfoase și nisipuri), fie de vârstă cuaternară, fie de vârstă pannoniană. Deci ocurența alunecărilor de teren în zona de studiu este complexă având în vedere depozitele geologice în care s-au produs.

Din punct de vedere hidrogeologic zona de studiu are un caracter activ mai ales în timpul perioadelor cu precipitații abundente. În timpul acestor perioade nivelul apei subterane tinde spre o adâncime foarte mică influențând stabilitatea versanților. De asemenea, având la dispoziție fișele forajelor executate în zonă dar și din analiza de teren a aflorimentelor deschise fie prin excavații, fie prin producerea de alunecări de teren, existența unor strate de argile impermeabile este aproape inexistentă. Acest fapt permite ridicarea nivelului apei subterane la adâncimi mici. Apa subterană este drenată gravitațional spre colectorul principal al zonei, râul Târnava Mare. Acest drenaj gravitațional permite antrenarea în apa subterană a fracțiunilor granulometrice foarte mici din cadrul depozitelor geologice. Astfel, depozitele suferă o remodelare granulometrică constantă. Acest lucru se resimte și la scară mai mare prin influențe asupra stabilității versanților.

Din punct de vedere geotehnic depozitele geologice ale zonei de studiu prezintă variații ale caracteristicilor pe intervale de valori diferite. Caracteristicile geotehnice ale depozitelor au

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

fost determinate în laboratorul de geotehnică din analiza probelor prelevate din forajele executate în zona de studiu și influențează în mod direct comportamentul versanților. Din rezultatele analizelor în laboratorul de geotehnică am observat că depozitele de deluvii de pantă reprezentate prin nisipuri argiloase, nisipuri prăfoase și umpluturi au caracteristici geotehnice slabe. Parametrii de forfecare ai acestora influențează stabilitatea versanților în a căror componență se disting. De asemenea, pot concluziona caracterul lichefiabil al nisipurilor argiloase din zona Dealul Cetății dar și din celelalte zone de versant pe baza caracteristicilor geotehnice slabe ale acestor roci. Acest caracter are o pondere notabilă în prezența fenomenelor de instabilitate în zona de studiu.

Caracteristicile zonei de studiu au fost definite, următorul pas fiind reprezentat de identificarea, cartarea și descrierea alunecărilor de teren din zona de studiu. Din experiența mea profesională în cadrul proiectului „*Studiul geotehnic privind reabilitarea liniei de cale ferată Brașov-Simeria, parte componentă a coridorului IV Pan European, pentru circulația trenurilor cu viteza maximă de 160 km/h, tronsonul Sighișoara-Coșlariu*” am observat o predispunere la fenomene de instabilitate a versanților Culoarului Târnavei Mari. În cadrul proiectului am identificat o serie de alunecări de teren care mi-au trezit interesul științific pentru această zonă. De aceea nu am avut niciun semn de întrebare în legătură cu stabilitatea versanților din zona municipiului Sighișoara. În concluzie toți versanții din cadrul Culoarului Târnavei Mari suferă remodelări geomorfologice datorită producerii de alunecări de teren. Aceeași situație se pare că este prezentă și în cazul versanților din zona văii râului Târnavă Mică.

Identificarea, cartarea și descrierea alunecărilor de teren se concretizează în inventarul alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara. Astfel, în urma vizitelor în zona de studiu, am identificat un număr de 18 alunecări de teren. Dimensiunile alunecărilor de teren variază de la câțiva metri pătrați în zona Dealul Cetății până la sute de metri pătrați în zona văii pârâului Saeș. Astfel cea mai mare alunecare de teren am identificat-o în zona văii pârâului Saeș, mai exact în apropierea străzii Vasile Lucaci. Cea mai devastatoare alunecare de teren a avut loc în anul 2008 în zona Dealul Cetății, aceasta afectând zidul de sprijin din zona esplanadei primăriei municipiului. Zona a fost stabilizată prin reconstruirea unui nou zid de sprijin.

În zona Dealul Gării, mai exact în apropierea străzii Primaverii și străzii Ștefan cel Mare, pentru urbanizarea zonei, baza versantului a fost amenajată prin debleiere în două trepte. O treapta o reprezintă strada Primăverii și imobilele aferente, iar a doua de platforma de cale ferată

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

a gării Sighișoara. Debleierea a lăsat la lumină un taluz cu înclinarea pantei de aproximativ 80° alcătuit, din punct de vedere geologic, din depozite de vârstă pannoniană reprezentate prin nisipuri și nisipuri consolidate (gresificate). Deasupra depozitelor pannoniene se află o pătură subțire de depozite cuaternare reprezentate prin deluvii de pantă. Datorită eroziunii și alterării materialului din alcătuirea taluzului, frecvent se produc alunecări de teren reprezentate de curgeri și prăbușiri din pereții taluzului.

Alunecări de teren am identificat și în celalate zone ale municipiului, cum ar fi Dealul Viilor, Dealul de Mijloc, Dealul Stejăriș. Inventarul alunecărilor de teren din zona de studiu a fost o fază premergătoare a întocmirii hărții de inventariere a alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara. În cadrul hărții se pot observa modul distribuției și ocurența alunecărilor de teren. Pe baza hărții de inventariere am concluzionat că zona trebuie analizată din punct de vedere al stabilității versanților și a susceptibilității la alunecări de teren.

Analiza stabilității versanților am efectuat-o doar pentru zona Dealul Cetății datorită datelor disponibile din acea zonă. Zona Dealul Cetății este singura zonă din cadrul municipiului Sighișoara în care datele geologice și geotehnice rezultate în urma acordului primit din partea S.C. ISPIF S.A., au permis efectuarea analizei. Forajele executate de către companie au asigurat întocmirea unor secțiuni transversale geologice pentru analiză. Forajele executate de către S.C. FORMIN S.A. în zona municipiului Sighișoara sunt în zona de terasă a râului Târnava Mare și nu am putut să le utilizez în întocmirea unor secțiuni transversale. Având la dispoziție poziționarea geografică în coordonate am stabilit un număr de 8 secțiuni în zona de versant a Dealului Cetății. Fiecare secțiune transversală geologică am întocmit-o având în vedere litologia indicată de forajele executate, cu unele mici modificări în ceea ce privește continuitatea stratigrafică a stratelor de roci. Apoi am modelat secțiunile în format 2D cu ajutorul software-ului SLOPE/W, software cu ajutorului căruia am efectuat și analiza de stabilitate. Am stabilit ca metodele de analiză a stabilității să fie metoda Fellenius, metoda Bishop și metoda Janbu. Pentru fiecare metodă în parte am stabilit patru ipoteze de calcul a factorului de stabilitate: (1) ipoteza 1 - versant în stare naturală; (2) ipoteza 2 - versant cu nivelul apei subterane la adâncimea de – 1 m; (3) ipoteza 3 - versant cu încărcări transmise de construcții; (4) ipoteza 4 - versant cu încărcări transmise de construcții și cu nivelul apei subterane la adâncimea de – 1 m. Astfel pentru fiecare secțiune geologică am obținut 12 valori ale factorului de stabilitate. Rezultatele obținute în urma

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

analizei denotă o clară problemă la nivelul stabilității versanților în zona Dealul Cetății. Astfel, în cazul secțiunilor transversale 2 și 7 în ipoteza cu numărul 4, valorile factorului de stabilitate nu satisfac condiția de stabilitate ( $F_s \geq 1$ ). Pentru celelalte secțiuni valorile factorului de stabilitate în cazul ipotezei 4 sunt puțin peste condiția de stabilitate. Ipoteza 4 reprezintă cazul real al situației din teren în timpul perioadelor cu precipitații abundente. În acest caz nivelul apei subterane poate ajunge la cota de - 1,00 m, având în vedere că în zonă sunt pierderi din rețeaua hidroedilitară. În comparație cu ipoteza 4, celelalte ipoteze sunt niste cazuri fictive luate în calcul pentru a demonstra comportamentul versantului în funcție de anumiți factori (înclinare, litologie, caracteristici geotehnice, apă subterană, încărcări). Pierderea stării de echilibru al versanților survine și datorită caracteristicilor geotehnice ale rocilor. Deși suprafețele analizate sunt acoperite, în general, de deluvii de pantă și umpluturi reprezentate în special de nisipuri argiloase, nu în cazul tuturor secțiunilor valorile factorilor de stabilitate sunt mai mici de valoarea 1. Astfel factorul constituit din încărcările transmise în teren de construcțiile existente este decisiv. Concluzia pe care o trag în urma efectuării și obținerii rezultatelor analizei de stabilitate a versanților din zona Dealul Cetății este că versanții din zonă sunt într-o stare de semi-echilibru. Starea versanților se poate îmbunătăți sau ameliora în funcție de ponderea de influență a factorului reprezentat prin cantitățile de precipitații și pierderile din rețelele hidroedilitare coroborate cu ridicarea nivelului apei subterane.

Analiza susceptibilității la alunecări de teren am ales să o fac din două puncte de vedere: (1) calitativ și (2) cantitativ. Din punct de vedere calitativ am ales metoda bivariată (bicriterială), o metodă geo-spațială care se pretează pe areale mai mari și care nu necesită un volum de date foarte mare. Metoda presupune alegerea unor factori de influență a producerii alunecărilor de teren pe un areal de studiu. Aplicarea și afișarea rezultatelor metodei le-am efectuat cu ajutorul software-lor ILWIS și respectiv ArcGIS. Ponderea de importanță a factorilor de influență are la bază distribuția alunecărilor de teren pe arealul de studiu concretizată prin harta de distribuție a alunecărilor de teren derivată din inventarul alunecărilor de teren în zona de studiu. Am luat în calcul doar alunecările de teren active și semistabilizate. Astfel, pentru fiecare factor în parte am creat o hartă parametru cu ponderea de importanță a factorului în funcție de distribuția alunecărilor de teren. Factorii luați în calcul în această analiză au fost: (1) înclinarea versantului, (2) orientarea versantului, (3) geologia versantului, (4) distanța față de rețeaua hidrografică și (5)



## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

distanța față de zonele urbane. Ponderile date fiecărui factor le-am realizat la nivel de pixel prin formula 5.1 care reprezintă logaritmul natural al raportului dintre densitatea alunecărilor de teren pe hartă și densitatea hărții. Astfel, pentru fiecare dintre cei 5 factori am creat o hartă parametru, iar cu ajutorul formulei 5.2 am creat harta de susceptibilitate la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara. În funcție de valorile pentru fiecare pixel în parte ale rezultatelor formulei 5.1 am clasificat harta rezultând un număr de 3 clase: (1) susceptibilitate mică, (2) susceptibilitate medie și (3) susceptibilitate mare. Rezultatul final denotă o susceptibilitate ridicată la alunecări de teren în zona văii pârâului Saeș, zona dintre prima și a doua terasă a râului Târnavă Mare, zona Dealul Cetății și zona Dealul Galben cu susceptibilități medii spre mari. Deși este o metodă geografică-geomorfologică, rezultatele analizei sunt conforme cu realitatea din teren, mai ales în zona văii pârâului Saeș unde eroziunea de la baza versanților este destul de accentuată datorită lipsei amenajării albiei.

Analiza susceptibilității la alunecări de teren din punct de vedere cantitativ am efectuat-o utilizând metoda deterministă, o metodă geologică inginerescă care se pretează mult mai bine pentru obiectul acestei teze de doctorat. Metoda presupune că versantul tinde spre infinit iar clasificarea susceptibilității se realizează în funcție de valorile factorului de stabilitate al versantului ( $F_s$ ). Deasemeni și în cazul acestei metode am utilizat inventarul alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara. Formula care stă la baza metodei a fost formula de calcul a factorului de stabilitate în condiții statice (formula 5.3). Pentru aplicarea formulei, pentru fiecare necunoscută a fost necesară stabilirea unor valori. Astfel aceste valori au fost de natură cartografică și numerică. Parametrii de natură cartografică au fost concretizați printr-un set de hărți create pe baza înclinării versanților și anume: (1) unghiul înclinării versanților ( $\beta$ ), (2) sinusul înclinării versanților ( $\sin\beta$ ), (3) cosinusul înclinării versanților ( $\cos\beta$ ) și (4) cosinusul la pătrat al înclinării versanților ( $\cos^2\beta$ ). Un alt parametru cartografic al formulei a fost adâncimea planului de alunecare. Astfel, în zona Dealul Cetății am utilizat datele rezultate din analiza stabilității versanților, iar în restul arealului municipiului Sighișoara am aproximat adâncimile planurilor de alunecare pe baza observațiilor din teren. De asemenea, ca și în cazul analizei de stabilitate și în acest caz am efectuat analiza pentru probabilitatea producerii alunecărilor de teren de adâncimi mici (cu planuri de alunecare situate până la adâncimea de maxim – 5,00 m). Valorile parametrilor numerici le-am stabilit în funcție de rezultatele analizelor în laboratorul de

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

geotehnică pe probele prelevate din forajele executate în zona de studiu. Astfel am stabilit valori pentru: (1) greutatea volumică a rocii ( $\gamma$ ), (2) unghiul de frecare interioară ( $\phi$ ), (3) coeziunea ( $c$ ) și (4) tangenta unghiului de frecare interioară ( $\text{tg}\phi$ ). Am stabilit două cazuri în cadrul acestei analize: (1) fără acvifer și (2) cu acvifer la adâncimea de – 1,00 m. Rezultatele analizei susceptibilității la alunecări de teren prin metoda deterministă, în zona de studiu, au fost clasificate ca și în cazul metodei bivariate, însă nu în funcție de valorile ponderilor de importanță, ci în funcție de valorile factorului de stabilitate al versanților. Astfel, au rezultat două hărți de susceptibilitate la alunecări de teren pentru ambele cazuri. Analiza și reprezentarea le-am realizat tot la nivel de pixel. Rezultatele analizei deterministe sunt mult mai concludente decât cele ale analizei bivariate. Dezavantajul metodei este că nu se pot utiliza mai multe valori ale indicilor geotehnici. Astfel, metoda se pretează pentru areale mai mici, iar dacă valorile indicilor geotehnici variază, ar trebui stabilite zone de variație ale indicilor și pentru fiecare zonă aplicată metoda.

Aplicarea celor două metode ale susceptibilității la alunecări de teren am efectuat-o pentru a scoate în evidență aplicabilitatea și calitatea rezultatelor. Analiza comparativă a rezultatelor celor două metode scoate în evidență faptul că analiza deterministă este mult mai reprezentativă în cazul domeniului geologiei inginerești. Rezultatele sunt mult mai precise și mai realiste decât în cazul metodei bivariate. Însă în cazul tezei mele de doctorat, din cadrul analizei bivariate, am utilizat doar rezultatele din zona văii pârâului Saeș, fapt datorat prezenței în această zonă a eroziunii bazei versanților. Acest factor în zonă are un caracter semi-permanent și nu poate fi identificat și cuantificat prin metode geologice inginerești.

Aplicabilitatea celor două metode de analiză la susceptibilitate la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara este ridicată, iar concluzii asupra fenomenului se pot trage analizând rezultatele ambelor analize. În acest mod am procedat în cazul propunerii unor soluții de remediere și înlăturare a efectelor fenomenelor de instabilitate a versanților din zonă. Având la dispoziție hărțile de susceptibilitate la alunecări de teren rezultate prin aplicarea ambelor metode am identificat zonele cu susceptibilitate ridicată din zona municipiului și anume: (1) zona Dealul Cetății, (2) zona văii pârâului Saeș și (3) zona Dealul Gării. Astfel, soluțiile propuse constau în proiectarea și execuția unor sisteme de drenaj în zona Dealul Cetății pentru înlăturarea factorului cu cea mai mare influență în această zonă reprezentat prin prezența apei subterane. În zona văii

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

pârâului Saeș sunt necesare proiectarea și execuția amenajării și calibrării albiei pârâului, consolidarea zonelor afectate de eroziune prin ziduri de sprijin din beton armat cu barbacane sau din gabioane, consolidarea biologică cu plante cu rădăcini adânci astfel încât să fie înlăturată eroziunea de adâncime mică, un sistem elaborat de rigole care să faciliteze scurgerea apei de pe versanți în pârâu. În zona Dealul Gării soluțiile tehnice pe care le recomand constau în refacerea zidului de sprijin de la baza primei trepte a versantului prin execuția unor fundații mai adânci și ridicarea acestuia la o înălțime mai mare decât cea actuală, ținutirea versantului cu ancoraje, instalarea de plase de oprire a materialului desprins și torcretarea suprafeței versantului; realizarea unei rețele de rigole la baza zidului de sprijin.

Soluțiile tehnice pe care le recomand vor asigura stabilitatea versanților afectați de fenomene de instabilitate dar și a înlăturării producerii inundațiilor în zona pârâului Saeș.

Contribuții personale:

1. Inventarul alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara – în urma observațiilor din teren am întocmit inventarul de alunecări de teren. Vizitele le-am efectuat în vara anului 2011 înainte de a începe programul de pregătire al tezei de doctorat, în vara anului 2012 și în vara anului 2013. Cu informațiile culese din teren coroborate cu imaginile satelitare, ortofotoplanuri, hărți topografice literatura din domeniu și informațiile de pe internet am întocmit harta de inventariere a alunecărilor de teren din zona municipiului Sighișoara.

2. Analiza stabilității versanților din zona Dealul Cetății – având la dispoziție informațiile din forajele executate în zonă obținute cu acordul S.C. ISPIF S.A. am stabilit 8 secțiuni transversale geologice pentru care am calculat factorii de stabilitate utilizând trei metode internaționale în cadrul a patru ipoteze de calcul.

3. Analiza susceptibilității la alunecări de teren în zona municipiului Sighișoara – efectuată prin două metode, metoda bivariată (calitativă) și metoda deterministă (cantitativă). Acestea au scos în evidență susceptibilitatea la alunecări de teren a zonei de studiu prin aplicarea a două formule complexe de calcul care au la bază o serie de factori cartografici dar și o serie de factori numerici (indici geotehnici). În cadrul analizelor am creat 15 hărți intermediare și 3 hărți finale.

## **Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

4. Propunerea de soluții tehnice pentru remedierea și înlăturarea efectelor fenomenelor de instabilitate în zona municipiului Sighișoara – în urma analizelor de stabilitate a versanților și a susceptibilității la alunecări de teren am identificat și stabilit zonele cu o vulnerabilitate ridicată a producerii alunecărilor de teren, iar pentru fiecare dintre acestea am propus soluții tehnice care vor asigura stabilitatea versanților din zona de studiu pe termen scurt, mediu și lung dar și înlăturarea posibilității de inundații în zonele vulnerabile.

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

**Bibliografie:**

1. Alperen Seyfi., (2007) - *Liquefaction Analysis in Grenoble Basin by In Situ and Laboratory Tests*;
2. Armaș Iuliana., (2008) - *Riscuri naturale (Cultura riscului)*, Suport de curs, [http://www.geodinamic.ro/curs/Sinteze\\_curs.pdf](http://www.geodinamic.ro/curs/Sinteze_curs.pdf);
3. Armaș, Iuliana, (2010) - *Weights of evidence method for landslide susceptibility mapping. Prahova Subcarpathians, Romania*, Natural Hazards, Volume 60, Number 3, 937-950, DOI: 10.1007/s11069-011-9879-4;
4. \*\*\*\*\*, (2008) – *Potențialul turistic al Municipiului Sighișoara*;
5. Brabb E.E., (1984) - *Innovative approaches to landslide hazard mapping*. Proceedings 4<sup>th</sup> International Symposium on Landslides, Toronto, 1: 307-324;
6. Braja M. Das, (2008) - *Advanced soil mechanics: third edition*, Taylor & Francis, New York;
7. Brunnsden D., (1993) - *Mass movements; the research frontier and beyond: a geomorphological approach*. Geomorphology, 7: 85-128;
8. Ciupagea D., Păucă M., Ichim Tr., (1970) - *Geologia Depresiunii Transilvaniei*, Ed. Academiei Republicii Socialiste România;
9. Conforth H. D., (2005) - *Landslides in practice*, John Wiley & Sons, New Jersey, S.U.A.;
10. Costea Mărioara, (2007) - *Characteristics of the relief from central-eastern part of the Târnavelor Plateau, with reference to present modelling and the associate geomorphologic risk (Transylvania, Romania)*, Transylv. Rev. Syst. Ecol. Res. 4, "The Saxon Villages Region of southeast Transylvania", pag. 7 – 22;
11. Dahal R.K., et al., (2008) - *Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence*, Geomorphology (2008), doi:10.1016/j.geomorph.2008.05.041;
12. Dahal R. K., Hasegawa S., Bhandary N. P., Poudel P. P., Nonomura A., Yatabe R., (2012) - *A replication of landslide hazard mapping at catchment scale*, Geomatics, Natural Hazards and Risk, EFirst version DOI:10.1080/19475705.2011.629007;
13. Dobre R., (2011) - *Use a GIS techniques to identify areas to consider when designing the Comarnic – Sinaia motorway sector so as to meet sustainable development*

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

- requirements*, Comunicări de Geografie, Vol. XIII, Ed. Universității, București;
14. Florea M. N., (1979) - *Alunecări de teren și taluze*, Ed. Tehnică, București;
  15. Filipescu S., Krezsek C., Săsăran E., Silye L., Wanek F., Beldean C., (2009) - 3<sup>rd</sup> International Workshop Neogene of Central and South---Eastern Europe, Cluj-Napoca, May 20-24 2009. Field Trip Guide. 35 p;
  16. Galli M., Ardizzone F., Cardinali M., Guzzetti F., Reichenbach P., (2008) – *Comparing landslide inventory maps*. *Geomorphology* 94, 268-289;
  17. Grecu Florina, (2008) - *Geomorfologie dinamică*, Ed. Credis, București
  18. Guzzetti F, Cardinali M, Reichenbach P, Carrara A., (1999) – *Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River Basin, central Italy*, *Environmental Management*, 25: 247-363;
  19. Guzzetti F., Reichenbach P., Cardinali M., Galli M. and Ardizzone F. (2005a) - *Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines*. *Geomorphology*;
  20. Josan N., (1979) - *Dealurile Târnavei Mici : studiu geomorfologic*, Editura Academiei R.S.R.;
  21. Krahn J., (2004) – *Stability modeling with SLOPE/W: An engineering methodology*, GEO-SLOPE/W International LTD, Calgary, Alberta, Canada;
  22. Kundu S., Sharma D. C., Saha A. K., Pant C. C. and Mathew J., (2011) - *Gis based statistical landslide susceptibility zonation: a case study in Ganeshganga watershed, the Himalayas*, 12th Esri India User Conference 2011;
  23. Malamud B.D., Turcotte D.L., Guzzetti F., Reichenbach P., (2004b) – *Landslide inventories and their statistical properties*. *Earth Surface Processes and Landforms* 29 (6), 687-711;
  24. Matei L., (1983) – *Argilele panoniene din Transilvania*, Ed. Academiei Române, București
  25. Mărunțeanu C., Coman M., (2005) - *Landslide Hazard and Mitigation Measures in the Area of Medieval Citadel of Sighișoara, Romania*. *LANDSLIDES*, Springer BerlinHeidelberg, p. 351-356;
  26. Mircea N. M., (1983) - *Mecanica rocilor*, Editura Tehnică, București;
  27. Morariu T., Donisă I. (1968) - *Teresele fluviatile din România*, St. și cerc. geol., geof. și geogr., Seria geogr. XV, 1;

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

28. Municipiul Sighișoara, (2008) – *Strategia de dezvoltare economico-socială a municipiului Sighișoara pentru perioada 2008-2013*;
29. Muntean O.L., (2004) - *Impactul antropic asupra mediului înconjurător în Culoarul Târnavei Mari (sectorul Vânători-Micăsasa). Studiu de evaluare și planificare a mediului înconjurător*, Ed. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca (209 pg) (ISBN-973-686-614-9);
30. Mutihac V., Stratulat Iuliana Maria, Fechet Magdalena Roxana, (2004) - *Geologia României*, Ed. Didactică și Pedagogică, București;
31. S.C. Formin S.A., (2011) - *Studiul geotehnic privind reabilitarea liniei de cale ferată Brașov-Simeria, parte componentă a coridorului IV Pan European, pentru circulația trenurilor cu viteza maximă de 160 km/h, tronsonul Sighișoara-Coșlariu*;
32. S.C. ISPIF S.A., (2004) - *Investigarea și combaterea calamităților naturale (alunecări de teren și inundații) produse în municipiul Sighișoara – județul Mureș*;
33. S.C. ISPIF S.A., (2004) – *Studiu de fezabilitate: Investigarea și combaterea calamităților naturale (alunecări de teren și inundații) produse în municipiul Sighișoara, județul Mureș*;
34. Salvati P., Balducci V., Bianchi C., Guzzetti F., Tonelli G., (2009) – *A WebGIS for the dissemination of information on historical landslides and floods in Umbria, Italy*. *Geoinformatica* 13, 305-322;
35. Săndulescu M., (1984) - *Geotectonica României*, Ed. Tehnică, București;
36. Stanciu A., Lungu Irina (2006) - *Fundații: Fizica și mecanica pământurilor*, Ed. Tehnică, București;
37. STAS 2914-84 - *Lucrări de drumuri. Terasamente. Condiții tehnice generale de calitate*;
38. *Strategia de dezvoltare economico-socială a municipiului Sighișoara pentru perioada 2008-2013*;
39. Stroia Florica, (2000) - *Mecanica rocilor: roci argiloase nisipoase, proprietăți mecanice*, Editura Universității din București;
40. US Army Corps Of Engineers, (2003) - *Slope Stability Department of the Army*, Washington DC;
41. Western C.J. (2002) - *Use of weights of evidence modeling for landslide susceptibility mapping*, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation (ITC), The Netherlands;

**Managementul riscului asociat fenomenului de instabilitate a versanților: alunecările de teren din zona municipiului Sighișoara**

42. Westen C.J. & Terlien, T.J., (1996) - *An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia)*, Earth Surface Process and Landforms 21: 853–868;
43. [www.geoportal.ancpi.ro](http://www.geoportal.ancpi.ro);
44. [www.arcgis.com](http://www.arcgis.com);
45. [www.esri.ro](http://www.esri.ro);
46. [www.regielive.ro](http://www.regielive.ro);
47. [www.zborpestetransilvania.ro](http://www.zborpestetransilvania.ro).