

**UNIVERSITATEA „POLITEHNICA” TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII**

TEZĂ DE DOCTORAT

**MODELAREA HIDROLOGICĂ A ZONELOR UMEDE CA
INFRASTRUCTURĂ PENTRU DEZVOLTAREA RURALĂ
DURABILĂ**

**DOCTORAND,
RECEANU RAMONA GEORGETA**

**CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC,
PROF.DR.ING. MAN TEODOR EUGEN**

TIMIȘOARA, 2011

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- | | |
|------------------------|---------------------------------------------|
| 1. Automatică | 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații |
| 2. Chimie | 8. Inginerie Industrială |
| 3. Energetică | 9. Inginerie Mecanică |
| 4. Ingineria Chimică | 10. Știința Calculatoarelor |
| 5. Inginerie Civilă | 11. Știința și Ingineria Materialelor |
| 6. Inginerie Electrică | |

Universitatea „Politehnica” din Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2006

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității „Politehnica” din Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,
tel. 0256 403823, fax. 0256 403221
e-mail: editura@edipol.upt.ro

Cuvânt înainte

Prezenta temă de cercetare a fost realizată la Facultatea de Hidrotehnica din Timișoara, România și École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) Elveția.

Doresc să mulțumesc celor care mi-au fost alături pe parcursul acestor ani, îndeosebi:

- Prof.dr.ing. Teodor Eugen Man pentru încrederea acordată și acceptul de a dirija teză mea de doctorat.
- Prof.dr.ing. Jacques-André Hertig în calitate de îndrumător la EPFL, pentru sprijinul și înțelegerea acordată pe parcursul studiilor în Elveția.

Mulțumirile mele se îndreaptă și către ceilalți membri ai comisiei de evaluare, care au acceptat să citească și să evalueze această teză: Prof.dr.ing. Lucaci Gheorghe președintele comisiei, Prof.dr.ing. Giurma Ion de la Univ. Gheorghe Asachi, Iași, Prof.dr.ing. Drobot Radu de la Univ. Tehnică de Construcții București și Domnului Prof.dr.ing. Crețu Gheorghe de la Univ. Politehnica Timișoara.

De asemenea, doresc să mulțumesc persoanelor care îmi sunt cele mai apropiate și cele mai dragi: familiei mele. Doresc să mulțumesc părinților mei, pentru toate sacrificiile făcute pentru a-mi oferi tot ce aveam nevoie. În final, țin să-i mulțumesc soțului meu, Mihai, pentru sprijinul și dragostea oferită dar și pentru ajutorul pe care mi l-a acordat.

Timișoara, decembrie 2011

Ing. Ramona Georgeta Receanu

*Pentru părinții mei,
Și cei apropiați mie....*

*cei pentru care "precipitațiile
nu sunt întotdeauna văzute ca
o mână cerească"¹*

Ramona Georgeta Receanu

Modelarea hidrologică a zonelor umede ca infrastructură pentru dezvoltarea rurală durabilă

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 86, Editura Politehnica, 2011, 157 pagini, figuri 128, 16 tabele.

ISSN: 1842-581X

ISBN: 978-606-554-392-8

Cuvinte cheie: Precipitații extreme, viituri, bazin hidrografic, model hidrologic, drenaj.

Rezumat:

Inundația reprezintă riscul cu cel mai mare grad de pericol. La scară mondială se observă o creștere alarmantă a numărului de persoane afectate de inundații.

Protecția împotriva inundațiilor este o problemă vitală în lume și mai ales în România și Elveția, țări bogate în lacuri și munți. De aceea este foarte important să cunoaștem hietogramele precipitațiilor și zonele inundabile pentru a putea asigura protecția împotriva inundațiilor.

Această teză de doctorat prezintă dezvoltarea unui model hidrologic la scară fină, realizat cu scopul de a putea fi un suport de decizie pentru dimensionarea lucrărilor hidraulice. Acest model cuprinde calculul de repartiție spațio-temporală a ploii, modelarea scurgerii apei pe teren și în subteran, infiltrația și exfiltrația, modelarea topirii zăpezii, delimitarea limitelor zonelor umede.

Modelul dezvoltat a fost calibrat și verificat pe mai multe bazine hidrografice din Elveția și din România. Rezultatele obținute arată o bună corelație între evoluția debitului observat și a debitului simulat de modelul nostru, ceea ce indică faptul că modelul este capabil să urmărească fenomenele naturale.

Această teză are în vedere determinarea factorilor care duc la formarea și menținerea zonelor umede.

¹ Jean-Louis Boillat (1999)

CUPRINS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. INTRODUCERE | 1 |
| 1.1 Noțiuni generale | 1 |
| 1.2 Motivație și obiectivele tezei de doctorat | 2 |
| 2. ZONELE UMEDE ȘI HIDROLOGIA LOR | 4 |
| 2.1 Generalități | 4 |
| 2.1.1 Situația geografică și repartitia zonelor umede | 4 |
| 2.1.2 Legislația zonelor umede | 6 |
| 2.1.3 Zonele umede din România..... | 8 |
| 2.1.4 Problematika definirii zonelor umede | 11 |
| 2.2 Clasificarea zonelor umede conform delimitării lor | 14 |
| 2.3 Descrierea și funcționarea hidrologică a zonelor umede | 15 |
| 2.3.1 Conceptul de hidroperioadă | 16 |
| 2.3.2 Bugetul total de apă..... | 16 |
| 2.3.3 Rata de reînnoire | 17 |
| 2.4 Bilanțul global | 17 |
| 2.4.1 Precipitațiile | 17 |
| 2.4.2 Evapotranspirația..... | 18 |
| 2.4.3 Intrările și ieșirile de suprafață | 20 |
| 2.4.4 Apa freatică | 21 |
| 2.4.5 Mareele..... | 21 |
| 2.5 Influența regimului hidrologic | 22 |
| 2.5.1 Influența regimului hidrologic asupra compoziției și bogăției specifice | 22 |
| 2.5.2 Influența regimului hidrologic asupra productivității primare | 22 |
| 2.5.3 Influența regimului hidrologic asupra acumulării și transportului de substanță organică | 23 |
| 2.5.4 Influența regimului hidrologic asupra circuitelor nutrienților..... | 23 |
| 2.6 Reconstrucția zonelor umede | 25 |
| 2.6.1 Metode de abordare a reconstrucției ecologice în zonele umede | 25 |
| 2.6.2 Principii practice pentru reconstrucția ecologică a zonelor umede..... | 27 |
| 2.7 Solurile zonelor umede | 28 |
| 3. PROBLEME GENERALE DE DEZVOLTARE RURALĂ DURABILĂ | 29 |
| 3.1 Introducere | 29 |
| 3.2 Conceptul de dezvoltare durabilă | 30 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3 | Politici și strategii de dezvoltare rurală..... | 31 |
| 3.4 | Priorități de dezvoltare rurală în România | 32 |
| 3.5 | Managementul integrat și dezvoltarea durabilă a zonelor umede | 33 |
| 4. | PRACTICI DE MANAGEMENT DE DRENAJ-AMENAJAREA ZONELOR UMEDE | 35 |
| 4.1 | Istoria de dezvoltare a zonelor umede..... | 35 |
| 4.2 | Definirea termenilor drenaj și amenajare | 35 |
| 4.3 | Descrierea lucrărilor practice de drenaj | 36 |
| 4.4 | Tipurile de drenaj..... | 38 |
| 4.5 | Infrastructura rurală din intravilan, intravilanul extins și extravilanul zonele umede..... | 39 |
| 4.6 | Debitul de drenaj..... | 40 |
| 4.6.1 | Bilanțul apei (probleme generale) | 40 |
| 4.6.2 | Determinarea debitelor de desecare-drenaj din precipitații..... | 43 |
| 5. | ASPECTE TEORETICE ȘI STADIUL CUNOȘTIȘTELOR..... | 50 |
| 5.1 | Stadiul cunoștințelor asupra metodelor PMP–PMF | 50 |
| 5.1.1 | Noțiuni generale | 50 |
| 5.1.2 | Istoria metodei PMP–PMF..... | 50 |
| 5.1.3 | Metoda PMP–PMF în Elveția și în afara Elveției | 51 |
| 5.2 | Stadiul cunoștințelor asupra distribuției spatio-temporala a ploii..... | 55 |
| 5.3 | Stadiul cunoștințelor asupra modelării hidrologice..... | 55 |
| 6. | DEZVOLTAREA MODELULUI HIDROLOGIC | 58 |
| 6.1 | Modelarea spatio-temporală a ploii..... | 59 |
| 6.2 | Modelarea scurgerii apei | 63 |
| 6.2.1 | Modelarea scurgerii apei de suprafață..... | 63 |
| 6.2.2 | Infiltrația..... | 69 |
| 6.2.3 | Modelarea scurgerii subterane | 70 |
| 6.3 | Modelarea topirii zăpezii | 72 |
| 7. | STUDII DE CAZ ÎN ELVEȚIA ȘI ROMÂNIA..... | 76 |
| 7.1 | Alegerea bazinelor hidrografice..... | 76 |
| 7.1.1 | Alegerea bazinelor hidrografice în Elveția..... | 76 |
| 7.1.2 | Alegerea bazinelor hidrografice în România | 79 |

| | | |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.2 | Baza de date disponibile | 84 |
| 7.2.1 | Date disponibile pentru bazinele hidrografice din Elveția | 84 |
| 7.2.2 | Date disponibile pentru bazinele hidrografice din România..... | 85 |
| 7.3 | Calibrarea și verificarea modelului dezvoltat | 87 |
| 7.3.1 | Calibrarea modelului hidrologic pe bazinele din Elveția | 87 |
| 7.3.2 | Calibrarea modelului hidrologic pe bazinul Cernei din România..... | 95 |
| 7.4 | Calculul debitului specific maxim de desecare–drenaj pentru bazinul Allenbach . | 99 |
| 7.5 | Rezultatele aplicării modelului dezvoltat în Romania | 102 |
| 7.5.1 | Bazinul hidrografic al Lacului Secu..... | 102 |
| 7.5.2 | Bazinul hidrografic din N. Oravița. Delimitarea zonele umede..... | 105 |
| 8. | CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PROPUNERI..... | 109 |
| 8.1 | Concluzii generale | 109 |
| 8.2 | Importanța tezei de cercetare..... | 110 |
| 8.3 | Contribuții personale | 111 |
| 8.4 | Direcții de cercetare în viitor..... | 113 |
| 9. | BIBLIOGRAFIE | 114 |
| 10. | ANEXE | 122 |
| A. | Anexa: Interfața modelului dezvoltat..... | 123 |
| B. | Anexa: Harta solurilor - Elveției..... | 124 |
| 10.1.1 | Lista tipurilor de teren | 125 |
| 10.1.2 | Hartă de precipitații de tip PMP o oră pentru bazinul hidrografic Allenbach..... | 127 |
| 10.1.3 | Hartă de precipitații de tip PMP 3 ore bazin Allenbach..... | 128 |
| C. | Anexa : Precipitații maxime jurnalieri–B. Allenbach..... | 129 |
| D. | Anexa : Verificarea modelului utilizând alte metode de calcul | 130 |
| 1. | Prezentarea bazinelor studiate | 130 |
| 2. | Rezultate obținute..... | 132 |
| 3. | Verificare cu alte metode de calcul | 138 |
| PUBLICAȚII: | | 142 |
| ÎNDRUMĂTOR DE LABORATOR: | | 143 |

Listă de Figuri:

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Repartiția zonelor umede la scară mondială conform zonei climatice..... | 4 |
| Figura 1. Repartiția geografică a principalelor zone umede mondiale (Mitsch, 1994 [91]).... | 5 |
| Figura 2. Zone umede [140] | 6 |
| Figura 3. Zone cu exces de umiditate din România [50]..... | 8 |
| Figura 4. Lunca Mureșului [142] | 9 |
| Figura 5. Lacul Techirghiol [140]..... | 10 |
| Figura 6. Complexul piscicol Dumbrăvița [143]..... | 10 |
| Figura 7. Lacul și heleștele Dumbrăvița [143]..... | 11 |
| Figura 8. Localizarea generală a zonelor umede (Mitsch, W. J., Gooselink, J. G., 1987 [90]) | 12 |
| Figura 9. Zone umede longitudinale | 14 |
| Figura 10. Zone umede de exfiltrație | 14 |
| Figura 11. Zone umede situate în amonte de un curs de apă | 14 |
| Figura 12. Principali termeni ai bilanțului hidrologic | 16 |
| Tabel 2. Bilanțul hidrologic anual, pentru câteva zone umede în diferite tipuri de climat. | 17 |
| Figura 13. Traseul apei din precipitație într-o zonă umedă împădurită (Mitsch et al., 1987 [90]) | 18 |
| Figura 14. Estuar (vedere verticală)..... | 22 |
| Figura 15. Zone vulnerabile la nitrați [145] | 24 |
| Figura 16. Zonele vulnerabile la poluarea cu nitrați [145] | 24 |
| Figura 17. Cele trei obiective majore ale dezvoltării rurale (Bruxelles 16 septembrie 2009) | 31 |
| Figura 18. Zonele de desecare din România [50] | 36 |
| Figura 19. Schemă de drenaj și de amenajare agricolă (Sursă: Lesaffre et arlot, 1991 [62]) | 36 |
| Figura 20. Drenaj de suprafața [Man 2010, [86]] | 36 |
| Figura 21. Drenaj subteran | 37 |
| Figura 22. Drenaj controlat..... | 37 |
| Tabel 3. Tipuri de drenaje în zonele umede: | 38 |
| Figura 23. Canal de desecare deschis | 39 |
| Figura 24. Intervalul umidității active..... | 41 |
| Figura 25. Variația log P funcție de log t | 42 |
| Figura 26. Reprezentarea grafică a modului de calcul, a debitului specific din precipitații prin metoda grafică | 44 |
| Figura 28. Detaliu vedere în plan canal absorbant (de ordinul III) de desecare..... | 45 |
| Figura 29. Hidrograful scurgeri pentru un bazin de formă oarecare pentru cazurile..... | 47 |
| Figura 30. Hidrograful debitelor cu asigurările de calcul de 1, 5 și 10 % | 48 |
| Figura 31. Determinarea debitului economic în funcție de costul investiției și debitul instalat | 49 |
| Figura 32. Precipitații maxime probabile (PMP) în Elveția, la sol în mm/h, durata 24h [52] | 54 |
| Figura 33. Valorile PMP calculate de model (în roșu) și precipitațiile extreme cu o perioadă de 500 ani extrapolate plecând de la măsurători în situ (în albastru) [41] | 54 |
| Figura 34. Elementele unui model | 56 |
| Figura 35. Clasificarea modelelor..... | 56 |
| Figura 36. Schema modelului hidrologic dezvoltat [128] | 58 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Figura 37. Distribuția spațială a norilor pe teren</i> | 60 |
| <i>Figura 38. Distribuția spațială a ploii de tip PMP pe teren</i> | 61 |
| <i>Figura 39. Hietograma de tip PMP în jurul unui punct central pe teren (distanță 1km)</i> | 62 |
| <i>Figura 40. Hietograma de tip PMP în jurul unui punct central pe teren (distanță de 25 m)</i> .. | 62 |
| <i>Figura 41. Distribuția apei pentru o celulă a terenului</i> | 63 |
| <i>Figura 42. Rețeaua de drenaj a apei, bazin test Arnensee</i> | 64 |
| <i>Figura 43. Direcția de scurgere a apei în funcție de pantă</i> | 65 |
| <i>Figura 44. Exemplu asupra corecției râului</i> | 66 |
| <i>Tabel 4. Coeficienți de rugozitate:</i> | 66 |
| <i>Sursă (Bartha et Javgureanu, 1998, [7])</i> | 66 |
| <i>Figura 45. Râuri naturale existente în topografia unui bazin</i> | 67 |
| <i>Figura 46. Râuri naturale existente în topografia unui bazin</i> | 67 |
| <i>Figura 47. Influența lățimii râurilor și a rugozității asupra hidrografului de viitură [64]</i> | 68 |
| <i>Tabel 5. Coeficienți de lățime ai râului și coeficienți de rugozitate ai terenului:</i> | 68 |
| <i>Figura 48. Schema modelului hidrologic dezvoltat</i> | 71 |
| <i>Figura 49. Conceptul proceselor de transformare a zăpezii în apă</i> | 73 |
| <i>Tabel 6. Date folosite pentru calculul topirii zăpezii:</i> | 73 |
| <i>Figura 50. Factori incluși în modelul meu dezvoltat</i> | 74 |
| <i>Figura 51. Înălțimea stratului de zăpadă pentru Elveția [130]</i> | 74 |
| <i>Figura 52. Topirea zăpezii, prima etapă (Model dezvoltat)</i> | 75 |
| <i>Figura 53. Topirea zăpezii la sfârșitul simulării (Model dezvoltat)</i> | 75 |
| <i>Figura 54. Amplasarea bazinelor hidrografice studiate în Elveția [124]</i> | 76 |
| <i>Figura 55. Bazinul hidrografic Adelboden [140]</i> | 77 |
| <i>Figura 56. Delimitarea bazinului Adelboden (Manifold [141])</i> | 77 |
| <i>Figura 57. Bazinul hidrografic Sitter [140]</i> | 78 |
| <i>Figura 58. Delimitarea bazinului Sitter (Manifold [141])</i> | 78 |
| <i>Figura 59. Bazinul râului Cerna [140]</i> | 79 |
| <i>Figura 60. Harta înălțimilor în zona bazinului râului Cerna (Model dezvoltat)</i> | 80 |
| <i>Figura 61. Harta pantelor în zona bazinului râului Cerna (Model dezvoltat)</i> | 80 |
| <i>Figura 62. Identificarea zonei de studiu în cadrul județului Caraș – Severin</i> | 81 |
| <i>Figura 63. Bazin Romania în N de Oravița</i> | 81 |
| <i>Figura 64. Harta înălțimilor în zona studiată N Oravița (Model dezvoltat)</i> | 82 |
| <i>Figura 65. Harta pantelor în zona studiată N. Oravița (Model dezvoltat)</i> | 82 |
| <i>Figura 66. Bazinul lacului Secu, județul Caras Severin</i> | 83 |
| <i>Figura 67. Harta înălțimilor în zona studiată a bazinului Secu (Model dezvoltat)</i> | 83 |
| <i>Figura 68. Harta pantelor în zona studiată a bazinului Secu (Model dezvoltat)</i> | 84 |
| <i>Figura 69. ASTER Global DEM [123]</i> | 86 |
| <i>Figura 71. Hietograma intensității ploii (bazin hidrografic Allenbach)</i> | 87 |
| <i>Figura 72. Hietograma intensității ploii (bazin hidrografic Sitter)</i> | 87 |
| <i>Figura 73. DEM 25 x 25 m Allenbach (Program Manifold)</i> | 88 |
| <i>Figura 74. Delimitarea bazinului Allenbach (Model dezvoltat)</i> | 88 |
| <i>Figura 75. DEM 25 x 25 m Sitter (Program Manifold)</i> | 89 |
| <i>Figura 76. Delimitarea bazinului Sitter (Model dezvoltat)</i> | 89 |
| <i>Figura 77. Clase de sol - bazin Allenbach (Model dezvoltat)</i> | 90 |
| <i>Figura 78. Clase de sol - bazin Sitter (Model dezvoltat)</i> | 90 |
| <i>Tabel 7. Clase de sol bazin pentru bazinele Allenbach și Sitter</i> | 91 |
| <i>Figura 79. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 3.</i> | 91 |
| <i>Figura 80. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 12.</i> | 91 |
| <i>Figura 81. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 7.</i> | 92 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 82. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 17. | 92 |
| Figura 83. Rețeaua cursului de apă a bazinului Allenbach (Model dezvoltat) | 92 |
| Figura 84. Rețeaua cursului de apă a bazinului Sitter (Model dezvoltat)..... | 93 |
| Figura 85. Hidrograma ploii și hidrograful viiturii (Bazin hidrografic - Allenbach)..... | 93 |
| Figura 86. Hidrograma ploii și hidrograful viiturii (Bazin hidrografic - Sitter) | 94 |
| Tabel 8. Calibrarea modelului în termeni Nash. | 95 |
| Figura 87. Variația precipitațiilor medii zilnice din anul 2004 Stația Maciuca | 95 |
| Figura 88. Delimitarea bazinului râului Cerna (Model dezvoltat) | 96 |
| Figura 89. Tipuri de sol bazin Cerna (Model dezvoltat) | 96 |
| Figura 90. Capacitate de infiltrație | 97 |
| Figura 91. Efectul exfiltrației asupra hidrografului de viitură..... | 97 |
| Figura 92. Hidrograful viiturii bazinului Cerna afluent al Oltețului | 98 |
| Tabel 9. Calibrarea modelului în termeni Nash | 99 |
| Figura 93. Secțiunea transversală a canalului de desecare drenaj..... | 100 |
| Tabel 10. Etapa 1. Precipitații – Evaporație – curba 1..... | 100 |
| Figura 94. Metoda grafică..... | 101 |
| Figura 95. Debitul specific de drenaj (modelul dezvoltat) | 101 |
| Figura 96. Delimitarea bazinului Secu (cu model hidrologic dezvoltat)..... | 102 |
| Figura 97. Suprafață lac Secu (cu modelul hidrologic dezvoltat) | 103 |
| Figura 98. Contur lac Secu (cu modelul hidrologic dezvoltat)..... | 103 |
| Figura 99. Rețeaua râurilor bazinului Secu (Model dezvoltat) | 104 |
| Figura 100. Hidrograf de viitură bazinului Secu..... | 104 |
| Figura 101. Delimitarea bazinului Nord Oravița (Model dezvoltat)..... | 105 |
| Figura 102. Poziția inițială a norilor pe bazinul hidrografic din Nord de Oravița | 105 |
| Figura 103. Poziția norilor pe bazinul din Nord de Oravița | 106 |
| Figura 104. Poziția norilor pe bazinul din Nord de Oravița | 106 |
| Figura 105. Hidrograf de viitură N Oravița la gura de vărsare | 107 |
| Figura 106. Volum exfiltrație..... | 107 |
| Figura 107. Zone inundabile pentru bazinul din N. de Oravița | 108 |
| Figura 108. Zone cu exces de umiditate pentru bazinul N Oravița | 108 |
| Figure 1. Harta de tip PMP o oră (mm/h) | 127 |
| Tabel 11. Valorile precipitațiilor de tip PMP pentru bazinul hidrografic Allenbach. | 127 |
| Figure 2. Hata de tip PMP 3 ore (mm/h)..... | 128 |
| Tabel 12. Valorile precipitațiilor de tip PMP pentru bazinul hidrografic Allenbach. | 128 |
| Figura 109. Poziția bazinelor hidrologice studiate | 130 |
| Figura 110. Bazin Arnense [147] | 131 |
| Figura 111. Bazin List [148]..... | 131 |
| Figura 112. Harta de tip PMP 1 oră (mm/h) – Bazinul hidrografic Arnensee..... | 132 |
| Figura 113. Harta de tip PMP 1 oră (mm/h) –Bazinul hidrografic List | 132 |
| Figura 114. Hidrograf de viitură, vânt din Nord (la stânga) și vânt din Sud (la dreapta).... | 133 |
| Figura 115. Hidrograf de viitură, vânt din Est (la stânga) și vânt din Vest (la dreapta)..... | 133 |
| Figura 116. Sub-bazin corespunzător gurii de vărsare la intrarea în lac. | 134 |
| Figura 117. Hidrograf de viitura, vânt de Sud (în stânga) și vânt din Est (în dreapta) pentru bazinul Arnensee pe perimetrul lacului. | 135 |
| Figura 118. Hidrograf de viitura, vânt de Sud (în stânga) și vânt din Est (în dreapta) pentru bazinul Arnensee pe perimetrul lacului. | 135 |
| Figura 119. Lac List și orașul Heiden | 136 |
| Figura 120. Bassin hidrografic List (Manifold)..... | 136 |
| Figura 121. Zona inundabilă a orașul Heiden | 136 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Figura 122. Gura de vărsare pentru bazinul List</i> | <i>136</i> |
| <i>Figura 123. Hidrograf de viitura, vânt de Nord (în stânga) și vânt din Sud (în dreapta) pentru bazinul hidrografic List.....</i> | <i>137</i> |
| <i>Figura 124. Hidrograf de viitura, vânt de Sud (în stânga) și vânt din Vest (în dreapta) pentru bazinul hidrografic List.....</i> | <i>137</i> |
| <i>Figura 125. Hidrograf de viitura, vânt de Nord (în stânga) și vânt din Est (în dreapta) pentru bazinul hidrografic List.....</i> | <i>138</i> |
| <i>Figura 126. Hidrograful viiturii pentru bazinul Arnensee.</i> | <i>139</i> |
| <i>Figura 127. Hidrograful viiturii pentru bazinul List</i> | <i>140</i> |
| <i>Figura 128. Debitul specific maximal în lume în comparație cu curba debitului specific maximal în Elveția conform Vischer (1980)</i> | <i>141</i> |

Listă de Tabele:

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Tabel 1. Repartiția zonelor umede la scară mondială conform zonei climatice.....</i> | <i>4</i> |
| <i>Tabel 2. Bilanțul hidrologic anual, pentru câteva zone umede în diferite tipuri de climat.</i> | <i>17</i> |
| <i>Tabel 3. Tipuri de drenaje în zonele umede:.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Tabel 4. Coeficienți de rugozitate:.....</i> | <i>66</i> |
| <i>Tabel 5. Coeficienți de lățime ai râului și coeficienți de rugozitate ai terenului:</i> | <i>68</i> |
| <i>Tabel 6. Date folosite pentru calculul topirii zăpezii:</i> | <i>73</i> |
| <i>Tabel 7. Clase de sol bazin pentru bazinele Allenbach și Sitter</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabel 8. Calibrarea modelului în termeni Nash.</i> | <i>95</i> |
| <i>Tabel 9. Calibrarea modelului în termeni Nash</i> | <i>99</i> |
| <i>Tabel 10. Etapa 1. Precipitații – Evaporație – curba 1.....</i> | <i>100</i> |
| <i>Tabel 11. Valorile precipitațiilor de tip PMP pentru bazinul hidrografic Allenbach.</i> | <i>127</i> |
| <i>Tabel 12. Valorile precipitațiilor de tip PMP pentru bazinul hidrografic Allenbach.</i> | <i>128</i> |
| <i>Tabel 13. Precipitații maxime journaliere pe an la stația Allenbach pentru 30 de ani.....</i> | <i>129</i> |
| <i>Tabel 14. Intensitatea medie și înălțimea apei de tip PMP pentru diferite durate ale ploii : 131</i> | |
| <i>Tabel 15. Determinarea factorilor.....</i> | <i>139</i> |
| <i>Tabel 16. Caracteristicile bazinului Arnensee și List:</i> | <i>139</i> |

Rezumat:

Protecția împotriva inundațiilor este o problemă vitală în lume și mai ales în România, o țară cu lacuri și munți, ceea ce face importantă cunoașterea precipitațiilor extreme pentru a putea asigura o securitate sporită împotriva inundațiilor. Dimensionarea lucrărilor hidrotehnice și hidroameliorative, realizate atât în zonele umede cât și în cazul barajelor este făcută în funcție de gradul de securitate dorit. Alegerea acestui grad de protecție depinde de riscul de pierdere al vieților omenești și a bunurilor materiale.

Cea mai mare dificultate de a estima viitura provine din faptul că aceasta este o manifestare finală a unui lanț complex de elemente, cum sunt: precipitațiile caracterizate prin intensitate, durată și localizare, transferul precipitațiilor pe bazinul hidrografic, comportamentul hidraulic al scurgerilor și al râurilor de pe bazinul hidrografic, deversarea într-o acumulare și manipularea lucrărilor hidraulice de control și evacuare a viiturilor. Astfel, studiul precipitațiilor și al efectelor lor joacă un rol esențial în alegerea și dimensionarea lucrărilor inginerești de apărare (diguri, baraje, drenaje, lucrări de combaterea eroziunii solului, etc.).

Mai multe studii au arătat că încălzirea globală ar putea duce la o creștere a frecvenței precipitațiilor abundente și a inundațiilor în Europa și în multe părți ale globului. De aceea cercetările actuale sunt îndreptate spre modelarea precipitațiilor și a viiturilor la o scară foarte fină.

Scopul acestei teze de doctorat este de a determina hidrografele de viitură și de a identifica zonele inundabile pentru bazine hidrografice din România și Elveția. Pentru a putea realiza acest scop, am dezvoltat un model hidrologic (3D) de tip distribuit. Acest model este alcătuit din trei părți importante. Prima parte aparține modelării distribuției spațio-temporale a ploii la o scară fină (aproximativ 30 m). A doua parte corespunde modelării scurgerii apei de suprafață și subterană, incluzând infiltrația și exfiltrația. Cea de-a treia parte este orientată spre modelarea topirii zăpezii urmărind efectele acesteia asupra hidrografului de viitură.

Modelul dezvoltat a fost calibrat și verificat pe mai multe bazine hidrografice din Elveția și România. Rezultatele obținute arată o bună corelație între debitele măsurate și cele calculate de model, ceea ce înseamnă că acesta este capabil să urmărească și să simuleze foarte bine fenomenele naturale dar și că parametrii aleși la calibrare sunt apropiați de realitate. Zonele umede sau zonele inundabile sunt determinate de către modelul dezvoltat pe baza cantității de apă care rămâne pe teren după un episod de precipitație abundentă.

Estimarea matematică a tuturor acestor factori și modelarea proceselor ce duc la inundații permit dimensionarea corectă a lucrărilor hidrologice și reducerea daunelor provocate de viituri, minimizând atât pagubele materiale cât și pierderea de vieți omenești.

Abstract:

Flood protection is a vital issue in the world and especially in Romania, a country of lakes and mountains, making it important to know the extreme rainfall to ensure greater security against flooding. Sizing hydraulic and hydro-ameliorative works, done both in wetlands and in the case of dams are made according to the desired security level. Choosing this degree of protection depends on the risk of loss of human lives and destruction to material goods.

The greatest difficulty to estimate the flood comes from the fact that this is a final manifestation of a complex chain of factors, such as rainfall characterized by intensity, duration and location, transfer of rainfall to a basin, hydraulic behavior of flows and rivers on the basin, discharge into an accumulation and handling of hydraulic works for flood control and disposal. Thus, the study of precipitation and their effects play a crucial role in choosing and sizing engineering works (dams, drainage works, soil erosion control works, etc.).

Several studies have shown that global warming could lead to an increased frequency of heavy rainfall and floods in Europe and in many parts of the world. Therefore current research is being done to modeling rainfall and flood control to a very fine scale. Therefore current research is aimed to modeling rainfall and flood control to a very fine scale.

The purpose of this thesis is to determine flood hydrographs and identify floodplains for river basins in Romania and Switzerland. To achieve this purpose, we have developed a 3D hydrological model of distributed type. This model consists of three important parts. The first part belongs to modeling temporal and spatial distribution of rain at a fine scale (approximately 30 m). The second part corresponds to modeling flow of surface water and groundwater, including infiltration and exfiltration. The third part is directed towards modeling snow melt and its effects on the flood hydrograph.

The developed model was calibrated and verified on several river basins in Switzerland and Romania. The obtained results show a good correlation between measured and calculated flow model, which signify that it is able to track and simulate natural phenomena very well but also that the calibration parameters are chosen close to reality. Wetlands or floodplains are determined by the developed model based on the amount of water that remains on the ground after a heavy rain episode.

Mathematical estimation of all these factors and modeling of the processes leading to floods permit the proper sizing of hydrological works and reducing the damage caused by floods, minimizing both material damage and the loss of life.

1. INTRODUCERE

1.1 Noțiuni generale

Cunoașterea, cercetarea, ameliorarea și dezvoltarea spațiului rural sunt activități de importanță vitală pentru o țară în continuă dezvoltare cum este România.

Amploarea universului rural a fost și continuă să fie schimbată prin diminuarea suprafeței deținută, cât și prin ponderea populației ocupate în activități productive, de servicii social-culturale, de habitat și de turism. Spațiul rural al Europei reprezintă 85% din suprafața sa totală și afectează, direct sau indirect, mai mult de jumătate din populația europeană (Comisia de agricultură și dezvoltare rurală a Consiliului Europei).

În România suprafața spațiului rural cuprinde, conform datelor statistice, ponderea de 93,7%. Secolul al XX-lea conduce la o urbanizare rapidă, ca urmare a industrializării, însă importanța spațiului rural nu se reduce, ci, dimpotrivă, este din ce în ce mai atent studiată, cercetată și supusă unui proces complex de dezvoltare.

Ponderea populației rurale și a suprafeței ocupate de spațiul rural, precum și importanța vieții rurale pentru o țară, fac ca problema dezvoltării și amenajării rurale să capete dimensiuni și importanță națională și internațională.

Problema dezvoltării și amenajării rurale este una dintre cele mai complexe teme ale contemporaneității, datorită faptului că, în esența sa, presupune realizarea unui echilibru între cerința de conservare a spațiului rural economic, ecologic și social-cultural ale țării, pe de o parte, și tendința de modernizare a vieții rurale, pe de altă parte. În același timp, dezvoltarea și amenajarea rurală se află la confluența dintre tendința de expansiune a urbanului, a dezvoltării agresive a industriei pe seama spațiului rural și cerința de a menține, pe cât este posibil, ruralul la dimensiunile sale actuale.

Dezvoltarea spațiului rural poate fi împiedicată de numeroși factori naturali, cum sunt inundațiile, cutremurele, etc. Studiile realizate în ultimii ani arată că încălzirea globală ar putea fi însoțită de o creștere abundentă a precipitațiilor, conducând la inundații catastrofice atât în România cât și în numeroase regiuni de pe glob [44], [41]. Aceste previziuni conduc la cercetări cât mai detaliate, folosind o scară fină de modelare a precipitațiilor și a viiturilor.

Inundația este un risc natural cu potențial mare de pericol. În lume, este observată o creștere alarmantă a numărului de persoane atinse de inundații și de gradul de afectare economico-social al acesteia.

Protecția împotriva inundațiilor este o problemă vitală în lume și mai ales în România, o țară cu lacuri și munți. Este foarte important să cunoaștem precipitațiile extreme pentru a putea asigura o securitate împotriva inundațiilor. Dimensionarea lucrărilor hidrotehnice realizate atât în zonele umede cât și în cazul barajelor este făcută în funcție de gradul de securitate dorit. Alegerea acestui grad de protecție depinde de riscul de pierdere al vieților omenești și a bunurilor materiale.

Cea mai mare dificultate de a estima viitura provine din faptul că aceasta este o manifestare finală a unui lanț complex de elemente cum sunt: precipitațiile caracterizate prin intensitate, durată și localizare, transferul precipitațiilor pe bazinul hidrografic, comportamentul hidraulic al scurgerilor și al râurilor de pe bazinul hidrografic, deversarea într-o acumulare, și manipularea lucrărilor hidraulice de control și evacuare a viiturilor. Precipitațiile joacă deci un rol esențial pentru o dezvoltare durabilă.

Apariția catastrofelor naturale care nu au putut fi evidențiate prin metode statistice (de exemplu Palagnedra en 1978 Elveția și pe bazinul Bistrița 1993 [14], Roșia Montană 2007 [36]) invită cercetătorii la utilizarea metodelor deterministe de tip PMP–PMF (Probable maximum precipitation–Probable maximum flood). Această metodă nu a fost folosită până la aceste date în Elveția și România.

Posibilitatea producerii inundațiilor și, respectiv, neasigurarea unor lucrări de amenajare a terenurilor din zonele umede (zonele inundabile), conduc la afectarea majoră a mediului natural și construit.

Acesta este și motivul alegerii prezentei teme pentru lucrarea de doctorat, o temă de mare actualitate și importanță, în condițiile cerute prin directive ale Uniunii Europene, obligatorii pentru toate statele membre.

1.2 Motivație și obiectivele tezei de doctorat

Scopul lucrării constă în cercetarea și identificarea celor mai bune metode, metodologii și tehnici pentru determinarea științifică a lanțului de evenimente, pornind de la binomul ploaie–scurgere, continuând cu generarea hidrografelor caracteristice bazinelor și rețelelor hidrografice, stabilirea valorilor debitelor de viitură, finalizând cu modelarea curgerii apei în râuri și determinarea limitelor zonelor umede (zone inundabile). Toate aceste provocări au condus, pe de o parte, la o viziune de ansamblu a fenomenelor naturale și antropice și, pe de altă parte, la prezentarea unor cazuri atât pentru România cât și Elveția.

Obiectivele principale ale tezei sunt:

- Realizarea unei sinteze bibliografice complexe, actuale și de perspectivă privind zonele umede, precipitația maximă probabilă, viitura maximă probabilă și amenajările de desecare – drenaj;
- Analiza situației zonelor cu exces de umiditate temporar sau permanent din România în conformitate cu legislația europeană;
- Realizarea unui bilanț global al zonelor umede privind precipitațiile, evapotranspirația, intrările și ieșirile de suprafață, apa freatică, marea;
- Influența și reconstrucția zonelor umede;
- Realizarea unui studiu privind problemele de dezvoltare rurală durabilă;
- Definirea practicilor de management de drenaj - amenajarea zonelor umede;
- Descrierea modelului hidrologic dezvoltat;
- Realizarea unei baze de date pluviometrice, debitmetrice și altimetrice;
- Calibrarea și verificarea modelului hidrologic dezvoltat pentru bazine hidrografice din Elveția și din România;
- Delimitarea zonelor umede cu ajutorul modelului hidrologic dezvoltat.

Integrarea acestor părți are în vedere realizarea unui model hidrologic care să fie un suport de decizie pentru dimensionarea lucrărilor hidraulice și de drenaj asigurând o mai bună protecție a populației și a bunurilor materiale.

Teza realizată este structurată pe 10 capitole:

1. Introducere, reprezintă capitolul în care punem în evidență importanța acestui subiect și stabilim principalele obiective ale tezei.
2. Zonele umede și hidrologia lor, prezintă noțiuni generale ale zonelor umede (subcapitol 2.1), clasificarea zonelor umede conform delimitării lor (subcapitolul 2.2), descrierea și funcționarea hidrologică (subcapitol 2.3), bilanțul global (subcapitol 2.4), influența regimului hidrologic (subcapitol 2.5), reconstrucția zonelor umede (subcapitolul 2.6) și solurile zonelor

umede (subcapitol 2.7). Aspectele teoretice ale acestui capitol servesc la dezvoltarea modelului nostru de calcul, privind delimitarea zonelor inundabile de pe un bazin hidrografic.

3. Probleme generale de dezvoltare rurală durabilă. Scopul acestui capitol este de a evidenția prioritățile de dezvoltare rurală în România.

4. Practici de management de drenaj – amenajarea zonelor umede. În acest capitol realizăm o sinteză asupra lucrărilor de drenaj (subcapitolele 4.1 - 4.5) și prezentăm metodele de calcul pentru debitul specific de desecare-drenaj (subcapitol 4.6).

5. Aspecte teoretice, cu rezultatele cercetării privind istoria și calculul metodei PMP–PMF (subcapitolul 5.1), stadiul cunoștințelor asupra distribuției ploii în timp și în spațiu (subcapitol 5.2), și stadiul cunoștințelor asupra modelării hidrologice (subcapitol 5.3). Metodele de calcul prezentate aici sunt baza creării modelului hidrologic dezvoltat.

6. Dezvoltarea modelului hidrologic. Acest capitol explică fiecare componentă a modelului realizat astfel:

a. Modelarea spațio temporală a ploii (subcapitolul 6.1). Metodele prezentate în capitolul de aspecte teoretice sunt integrate în modelul nostru de calcul pentru a avea o distribuție spațio – temporală a ploii. Acest calcul este realizat folosind o ecuație de advecție – difuziune care modelează comportamentul temporal al celor șase nori simulați în model.

b. Modelarea scurgerii apei (subcapitol 6.2). Obiectivul acestui capitol este de a pune în evidență fenomenele reale întâlnite în cazul scurgerii apei pe teren sau în subteran din momentul ajungerii ei pe teren până la gura de vărsare unde determinăm hidrograful de viitură. Această parte include și calculul infiltrației și al exfiltrației apei.

c. Modelarea topirii zăpezii (subcapitol 6.3). În această parte evidențiem cazul cel mai grav întâlnit în realitate și anume cel când topirea zăpezii este cauzată de o ploaie de tip PMP. Această parte este importantă deoarece ploaia este un factor care accelerează topirea zăpezii și amploarea viiturii.

7. Studiu de caz. În acest capitol vorbim despre alegerea bazinelor hidrografice în Elveția și în România (subcapitolul 7.1), realizarea bazei de date necesare modelului dezvoltat (subcapitol 7.2), calibrarea și verificarea modelului (subcapitol 7.3) și delimitarea zonelor inundabile (subcapitol 7.5.2).

8. Concluzii, contribuții originale și propuneri (capitolul 8). Metodologiile dezvoltării acestui model care are în vedere determinarea debitului la gura de vărsare dar și delimitarea zonelor inundabile sunt discutate în capitolul acesta, cu o enumerare a principalelor noastre contribuții.

9. Anexe (capitolul 10). Acest capitol prezintă interfața modelului dezvoltat, harta geotehnică a Elveției, descrierea bazinului Olteț din România și verificarea modelului dezvoltat cu alte metode de calcul.

2. ZONELE UMEDE ȘI HIDROLOGIA LOR

2.1 Generalități

2.1.1 Situația geografică și repartiția zonelor umede

Zonele umede sunt prezente în toate tipurile de climă (Figura 1), primele estimări realizate indicând faptul că ele acoperă 6% din suprafața continentului, sau 8.6 milioane km² (Maltby și Turner, 1983 [76]). Alte evaluări contabilizează 5,26 milioane de km² (Matthews și Fung, 1987 [88]) utilizând o bază de date altimetrică cu un grad de rezoluție de 5.57 km² (Aselmann & Crutzen, 1989 [4]).

Aceste evaluări la nivel mondial au ridicat mari probleme de definire a zonelor umede, acestea fiind detaliate în subcapitolul 3.1.3. O evaluare inițială a întinderii zonelor umede din lume a fost realizată în funcție de tipul de clima (Tabel 1):

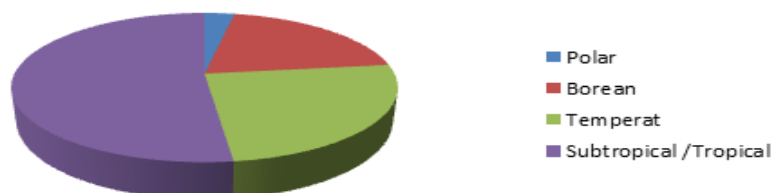
Tabel 1. Repartiția zonelor umede la scară mondială conform zonei climatice.

| Zonă | Climat | Suprafață [km ² *10 ³] | Procent din suprafața continentală |
|--------------|-----------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|
| Polară | umid, semi-umid | 200 | 2.5 |
| Boreală | umid, semi-umid | 2558 | 11 |
| Sub-boreală | umid | 539 | 7.3 |
| | semi-arid | 342 | 4.2 |
| | arid | 136 | 1.9 |
| Subtropicală | umid | 1077 | 17.2 |
| | semi-arid | 629 | 7.6 |
| | arid | 439 | 4.5 |
| Tropicală | umid | 2317 | 8.7 |
| | semi-arid | 221 | 1.4 |
| | arid | 100 | 0.8 |
| TOTAL | | 8558 | 6.4 |

Sursă: după Bazilesvich et al. 1971; Turner, 1983 (tradus de Mitsch, 1994 [91])

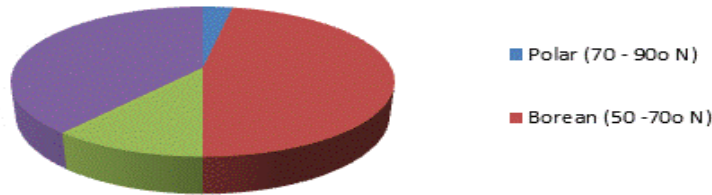
Extinderea zonelor umede a fost estimată de diferiți autori de-a lungul anilor în funcție de climat conform următoarelor clase (Mitsch, 1994 [91]):

1. Maltby și Turner în anul 1983:



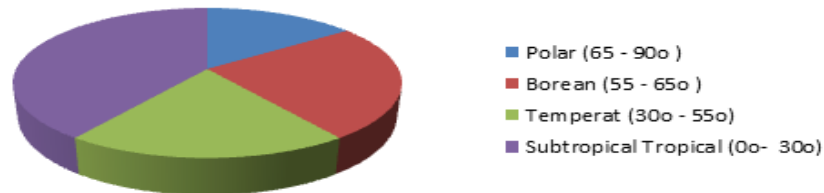
Suprafața Zonelor umede = 8.56 milioane km²

2. Matthews și Fung în anul 1987:



Suprafața Zonelor umede = 5.26 milioane km²

3. Aselmann și Crutzen 1989:



Suprafața Zonelor umede = 5.57 milioane km²

Se constată faptul că zonele umede tropicale și subtropicale reprezintă mai mult de jumătate din total (56%), sau aproximativ 4,8 milioane de km². O listă a principalelor zone umede tropicale în toată lumea arată că acestea sunt distribuite în climate foarte contrastante, variind de la climate semi-aride la climatul tropical umid.

Zonele umede sunt larg distribuite în mediul continental, mai ales în Africa și America Latină, de multe ori asociate cu bazine hidrografice fluviale, în timp ce zonele umede de coastă identificate sunt mai numeroase în Asia și sunt asociate cu zonele de mangrove și delte mari, cum ar fi cea a Gangelui, de exemplu.

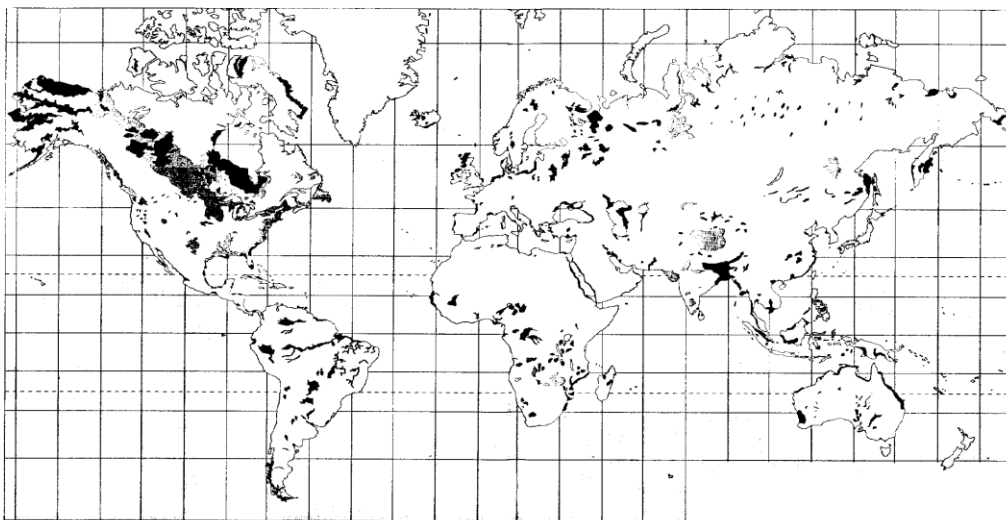


Figura 1. Repartiția geografică a principalelor zone umede mondiale (Mitsch, 1994 [91])

2.1.2 Legislația zonelor umede

Convenția asupra zonelor umede a fost semnată în anul 1971 pe data de 2 februarie în orașul iranian Ramsar de pe coasta Mării Caspice în Iran. Această dată a rămas în istorie ca Ziua Mondială a Zonelor Umede. Prima dată când aceasta a fost sărbătorită este în anul 1997, și de atunci în fiecare an agențiile guvernamentale, organizațiile non-guvernamentale și grupurile sociale din toate nivelele comunității au beneficiat de avantajul de a întreprinde acțiuni cu scopul de a sensibiliza publicul larg asupra valorilor și beneficiilor zonelor umede și a Convenției Ramsar.

Alegerea acestor zone, conform convenției, se bazează pe rolul International din punct de vedere ecologic, botanic, zoologic, limnologic, hidrologic, ținând seama de importanța lor internațională pentru pasările acvatice în toate anotimpurile.

Convenția stabilește pentru statele părți, în primul rând, cerința de a elabora și aplica planurile de amenajare, astfel încât să se favorizeze conservarea acestor zone umede în crearea de rezervații și utilizarea rațională a rezervelor lor.

Documentul se înscrie printre primele mari convenții referitoare la conservarea patrimoniului natural.



Figura 2. Zone umede [140]

România a aderat în anul 1991 la Convenția asupra zonelor umede de importanță internațională prin Legea nr. 5/1991 [125], cunoscută sub denumirea de Convenția RAMSAR. Acest tratat internațional are drept obiectiv major conservarea biodiversității și a resurselor zonelor umede și constituie un real instrument care promovează dezvoltarea durabilă pe planeta noastră.

Misiunea Ramsar este “conservarea și utilizarea înțeleaptă a tuturor zonelor umede prin acțiuni locale, regionale și naționale și cooperare internațională, ca o contribuție la realizarea dezvoltării durabile pe tot cuprinsul globului”.

Până la sfârșitul anului 2005, doar două regiuni din țara noastră au fost declarate zone umede de importanță internațională: Rezervația Biosferei “Delta Dunării” (1991) și Balta Mică a Brăilei (2001) [50].

În acest context, MMGA (Ministerul Mediului și Gospodăririi Apelor) a demarat în cursul anului 2005 procesul de realizare a documentațiilor necesare pentru declararea de noi zone umede, care să fie recunoscute la nivel Internațional. Astfel, au fost completate și transmise Secretariatului Convenției formularele standard pentru 3 arii naturale protejate - Lunca Mureșului, Complexul Piscicol Dumbrăvița, Lacul Techirghiol. Aceste formulare

cuprind coordonatele geografice, caracteristicile fizico-geografice ale zonei propuse, valorile culturale și sociale, numele proprietarilor de terenuri, măsurile de conservare luate, măsurile de conservare propuse, facilități privind cercetarea științifică, conștientizarea publicului și activitățile turistice, autoritatea de management responsabilă.

Ministerul Mediului și Gospodăririi Apelor, în calitate de punct focal National pentru Convenția Ramsar, a transmis aceste formulare și, ca urmare a recunoașterii valorii internaționale a arealelor propuse, au fost primite din partea Secretariatului Convenției Ramsar diplomele prin care acestea sunt declarate zone umede de importanța internațională. Acest lucru a avut loc în anul 2006.

Fiecare țară semnatară trebuie să țină cont de angajamentele sale pe plan internațional pentru conservarea, gestionarea și utilizarea rațională a populațiilor migratoare de păsări și a habitatelor lor. În acest sens, fiecare parte contractantă are dreptul să adauge pe listă alte zone umede situate pe teritoriul său, să le extindă pe cele care sunt deja înscrise sau, pentru motive urgente de interes național, să retragă de pe listă sau să reducă întinderea zonelor umede deja înscrise.

Conform definiției Convenției, zonele umede includ o varietate largă de habitate incluzând toate zonele cu exces de umiditate precum mlaștini, terenuri turboase, zone inundabile, râuri și lacuri, precum și zone costiere (mlaștini de apă sărată, zone cu mangrove și iarbă de mare), recifurile de corali și alte zone marine nu mai adânci de șase metri la reflux, dar și zonele umede create de om precum rezervoarele (de apă dulce) și heleșteiele de tratare a zonelor umede.

Stabilirea momentului în care umiditatea din sol devine excesivă a constituit o problemă în decursul stabilirii raportului: apă-sol-plantă. Concepția modernă, actuală, susține ca excesul de umiditate începe atunci când umiditatea solului depășește capacitatea de câmp (C.C.) a solului pentru apă. Se consideră că nivelul de umiditate corespunzător capacitații de câmp (C.C.), reprezintă limita superioară a umidității optime din sol. Depășirea acestei limite determină excesul de apă, manifestat prin umplerea unui volum de pori important, cu apă.

În funcție de variația climatică anuală, suprafața afectată de exces de apă din România, are o amploare diferită. În anii umezi, suprafața afectată de exces de umiditate însumează 7.470.000 ha, iar în anii normali, din punct de vedere pluviometric suprafața însumează 5.530.000 ha.

Față de suprafața agricolă a țării, excesul de umiditate afectează 42% din aceasta, cu grade de intensitate diferite.

Repartizarea suprafeței cu exces de umiditate pe teritoriul țării noastre este diferită, în funcție de caracteristicile climatice regionale. Raportat la suprafața agricolă, Câmpia de Vest a țării reprezintă 65% din terenurile cu exces de umiditate. Apoi urmează zona de N și zona de munte cu 38%, zona de S care are 37% din terenurile cu exces de umiditate, zona de centru (Podișul Transilvaniei) 28% suferă de exces de umiditate, zona de E cu 25% exces de umiditate și zona de S - E (Bărăganul și Dobrogea) 17% cu exces de umiditate și cu tendința de 35% din suprafața agricolă să se producă ridicarea nivelului freatic la cote care să determine excesul de umiditate.

În Figura 3 sunt prezentate zonele cu exces de umiditate menționate mai sus de pe întreaga suprafață a României.

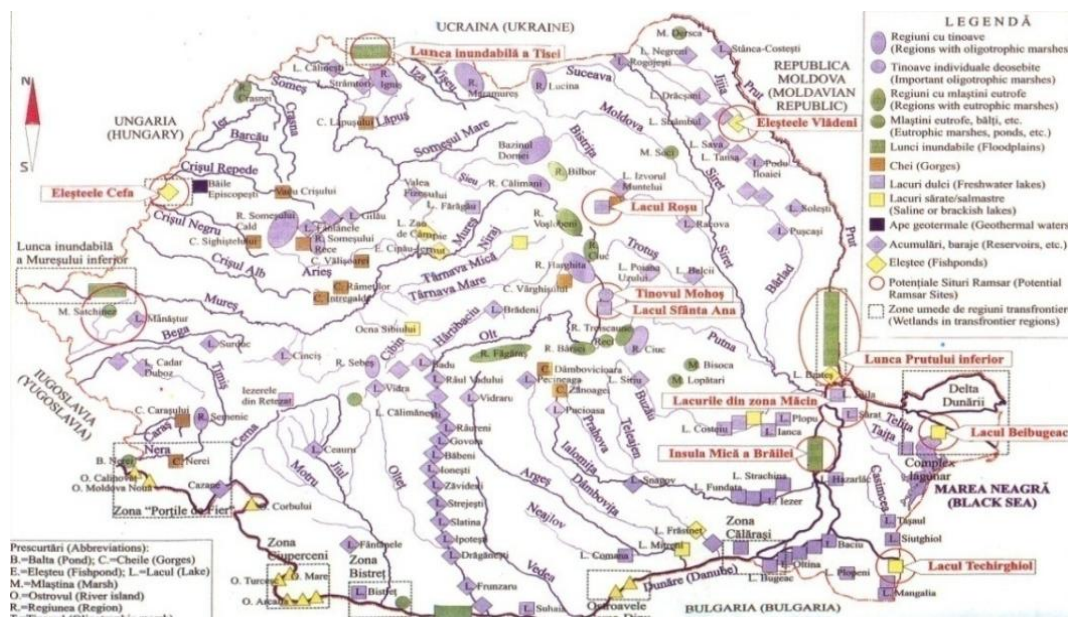


Figura 3. Zone cu exces de umiditate din România [50]

În secțiunea 2.1.3 vom descrie în detaliu zonele umede din România.

2.1.3 Zonele umede din România

Insula Mică a Brăilei este o rezervație complexă, situată în vestul și sud - vestul Bălții Brăilei, între Dunăre la vest și brațul Vâlcu la est fiind parte integrantă a Sistemului Dunării Inferioare. Acest sit este un complex regional de sisteme ecologice ce include: 2 ecoregiuni, 16 tipuri majore de componente (complexe locale), cel puțin 67 tipuri de ecosisteme și 35 compartimente abiotice și module trofodinamice în structura ecosistemelor, ce asigură menținerea a peste 1688 specii de plante și 3.735 specii de animale.

Parcul integrează toate cele 10 ostroave situate între brațele Dunării: Vărsătura, Popa, Cracanel (Chiciul), Orbul, Calia (Lupului), Fundu Mare, Arapu, precum și brațele adiacente ale Dunării. Se poate spune că este o delta interioară pe traseul inferior al Dunării de Jos.

În Legea nr. 5/2000 privind amenajarea teritoriului, secțiunea arii protejate și Ordonanța de Urgență a Guvernului nr. 236/2000 privind regimul ariilor naturale protejate, conservarea habitatelor naturale, a florei și faunei sălbatice, aceasta arie protejată (Insula Mică a Brăilei) este menționată cu o suprafață de 17.529 ha. Conform ultimelor evaluări realizate prin proiectul LIFE 99 NAT/RO/006400 suprafața Parcului Natural Balta Mică a Brăilei este de 21.074 ha (inclusiv brațele Dunării), în diverse forme de proprietate. În ciuda modificărilor survenite, atât în structura sistemelor ecologice integratoare, cât și la nivelul ei, Balta Mică a Brăilei conservă importante valori ecologice, fiind o importantă componentă a Sistemului Dunării Inferioare, situată în amonte de Rezervația Biosferei Delta Dunării.

Datorită atributelor sale - zona umedă în regim hidrologic natural, complex de ecosisteme în diferite stadii succesionale și zona tampon-Balta Mică a Brăilei reprezintă un sistem de referință a fostei delte interioare și bază pentru reconstrucția ecologică în Sistemul Dunării Inferioare. Din suprafață totală, circa 53,6% o ocupă pădurile aluviale, 6% pășunile, 12,84% zonele umede și 27,5% lacurile (iezere, bălți).

Această zonă este bine cunoscută pentru importanța ei ornitologică, deoarece se situează pe cel mai important culoar de migrație a pasărilor din bazinul inferior al Dunării de Jos, la jumătatea rutelor de migrație între locurile de cuibărit din nordul Europei și refugiile de

iernat din Africa. Au fost observate un mare număr de pasări, dintre care 169 specii protejate pe plan internațional, prin Convențiile de la Berna, Bonn și Ramsar, acestea reprezentând jumătate din speciile de pasări migratoare caracteristice României. Pentru ca o mare parte dintre acestea sunt pasări acvatice, în anul 2001 Balta Mică a fost declarată sit Ramsar (poziția 1.074 pe lista Ramsar), al doilea după Delta Dunării.

Este singura zonă rămasă în regim hidrologic natural (zonă inundabilă), după îndiguierea, în proporție de circa 75%, a fostei Bălți a Brăilei și crearea incintei agricole Insula Mare a Brăilei.

Lunca Mureșului (Figura 4), cu o suprafață de 17.166 ha, situată în vestul țării, pe teritoriile județelor Arad și Timiș reprezintă un ecosistem tipic de zonă umedă de mare diversitate, cu ape curgătoare și stătătoare, cu păduri (stejar pedunculat, frasin), galerii de sălcii și plop, zăvoaie și șleauri de câmpie. Există suprafețe unde se întâlnesc plante erbacee rare sau pe cale de dispariție (plevița), un număr destul de mare fac parte din „Lista roșie a plantelor superioare din România” ca specii vulnerabile: forfecuța bălții, inarița, chimenul porcului, stupinița, ștevia de baltă, cornaci. Ihtiofauna se caracterizează printr-o mare diversitate; numai aici, pe Mureș, există cosacul cu bot, morunașul, caracuda, somnul pitic, fusarul mare. Toate cele 6 specii de reptile și 9 de amfibieni identificate până acum sunt specii protejate, inclusiv pe plan Internațional.

Un număr de peste 200 de specii de pasări își află în Parcul Natural Lunca Mureșului loc de cuibărit și de pasaj, aproape toate fiind cuprinse în anexele Convenției de la Berna ca specii ocrotite; acvila țipătoare mică, cormoran mare, stârc de noapte, precum și efective mari de stârci cenușii, pescăruși răzători, stârcul și corcodelul mic, prigorii, cea mai mare colonie de lăstuni de mal de pe întregul curs al râului. Dintre mamifere se remarcă vidra, dar și un număr mare de cerb carpatin, lopătar, căprior, mistreț.



Figura 4. Lunca Mureșului [142]

Lacul Techirghiol, cu o suprafață de 1.462 ha, situat pe teritoriul județului Constanța, a fost declarat, la sfârșitul lunii martie 2006, sit Ramsar, fiind inclus pe Lista zonelor umede de importanță internațională, în special ca habitat al pasărilor de apă.



Figura 5. Lacul Techirghiol [140]

Lacul Techirghiol reprezintă o locație prioritară pentru conservarea a două specii amenințate la nivel global (*Branta ruficollis* și *Oxyura leucocephala*), precum și a altor specii europene. Pe timpul iernii, lacul este utilizat ca loc principal de cuibărit de către *Branta ruficollis*, deoarece apa nu îngheață. Numărul maxim de gâște numărate pe Lacul Techirghiol a fost de 27.000 de exemplare în ianuarie (31% din populația la nivel mondial). În medie, 11.800 de exemplare de astfel de pasări (13,4% din populația la nivel mondial) sunt prezente doar în această locație în luna ianuarie, când populația de gâște se concentrează aici. De asemenea, lacul reprezintă și o zonă importantă de staționare a speciilor migratoare în drumul lor din Rusia către Africa.

Complexul piscicol Dumbrăvița, având o suprafață de 414 ha, situat pe teritoriul județului Brașov a fost declarat sit Ramsar în data de 2 februarie 2006.



Figura 6. Complexul piscicol Dumbrăvița [143]

Importanța acestui sit constă în speciile și populațiile de pasări sălbatice care se întâlnesc aici pe parcursul anului, dar și în peisajele mirifice ce amintesc de un colț al Deltei Dunării. Zona a fost denumită pe bună dreptate "Delta Brașovului" sau "Delta dintre munți". Scopul declarării sale ca arie protejată a fost în primul rând bogăția speciilor de pasări, însă s-

a ținut cont și de alte componente de mediu, precum flora, alte specii de animale, existența unor habitate importante etc.

Această arie naturală protejată se compune din două sectoare principale, care se află în prelungire, respectiv un lac de acumulare și un complex de heleșteie piscicole. Așadar, originea sitului este în mare parte antropică, păstrându-se însă și elemente ale ecosistemelor naturale existente înaintea intervențiilor antropice.

Lacul și heleșteiele Dumbrăvița sunt așezate între partea centrală a Depresiunii Bârsei, în lunca Homorodului Perșanilor (Hamaradia) și au o orientare relativă est-vest. Administrativ, zona aparține comunei Dumbrăvița, județul Brașov.

Atât fauna nevertebrată cât și cea vertebrată sunt bine reprezentate. Dintre nevertebrate se remarcă prezența în număr mare a scoicii de lac (*Anodonta cygnea*). Vertebratele cuprind reprezentanți ai mai multor clase de animale, dintre care cele mai importante sunt pasărilor. Dintre speciile de pasări pentru care zona a fost desemnată ca arie protejată de interes avifaunistic fac parte în primul rând acelea care cuibăresc (buhaiul de baltă, stârcul pitic, stârcul roșu etc.); dintre speciile de pasaj importante sunt: fundacul cu gușa roșie, fundacul polar, egreta mică, egreta mare etc.



Figura 7. Lacul și heleștele Dumbrăvița [143]

Din punct de vedere al vegetației, doar malul vestic este înconjurat de un "brâu" de stuf și papură. În această parte, vegetația se întinde sub formă de fâșii, de suprafețe diferite. În partea nord vestică a lacului s-a format o mlaștină eutrofiată unde trăiesc și specii rare de plante, precum: daria (*Pedicularis sceptrum-carolinum*), trifoiștea (*Menyanthes trifoliata*), șapte degete (*Comarum palustre*), bulbuci (*Troilus europaeus*) etc.

Dintre cele mai importante tipuri de habitate pentru pasări, fac parte: luciul de apă, vegetația emersă inundată (mai ales stufărișul și păpurișul), sectoarele de mal apărute în perioadele recoltării peștelui (în special toamna), fânețele umede și mlaștinile.

2.1.4 Problematika defnirii zonelor umede

Definirea precisă a zonelor umede a fost și rămâne o enigmă pentru cercetători, nu doar din cauza întinderii geografice mari, dar și din cauza mării varietăți de condiții hidrologice aferente. Zonele umede se găsesc de obicei la interfața dintre ecosisteme terestre, cum ar fi pădurile, și ecosisteme acvatice, cum ar fi lacurile adânci și oceanele (Figura 8), dar diferențiindu-se atât de cele terestre cât și de cele acvatice dar fiind dependente de amândouă.

12 Zonele umede și hidrologia lor – 2

Zonele umede prezintă caracteristici atât de ecosistem terestru cât și de ecosistem acvatic, dar nu sunt nici unul nici altul.

Mitsch & Gosselink, 1987 [90], vorbesc despre cele mai frecvente întrebări care se pot pune despre zonele umede și anume: „Ce este o zonă umedă?” sau „Este similară cu o mlaștină?”. Oamenii de știință răspund la aceste întrebări deoarece definițiile și termenii specifici zonelor umede sunt importante atât pentru o înțelegere științifică a acestor sisteme ecologice, cât și pentru dezvoltarea unui management adecvat. Dar definițiile date acestor tipuri de sisteme ecologice nu sunt suficient de clare.

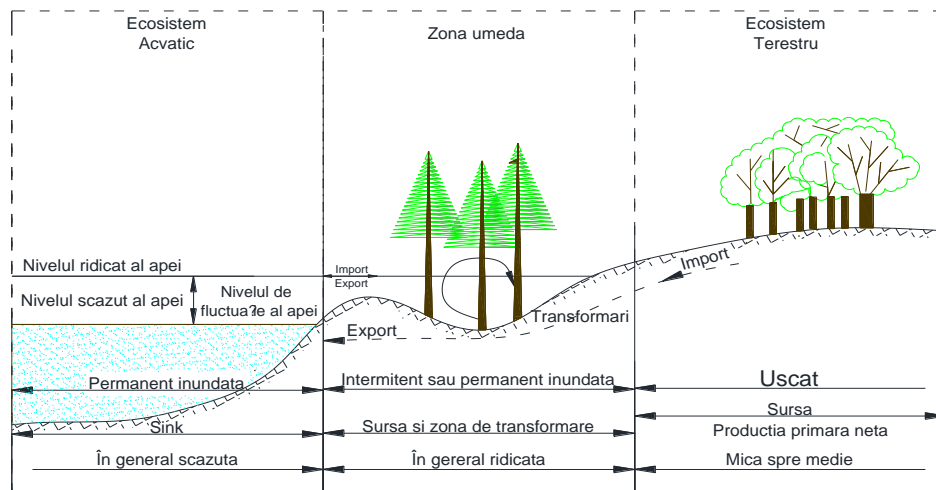


Figura 8. Localizarea generală a zonelor umede (Mitsch, W. J., Gooselink, J. G., 1987 [90])

Cercetători au reușit să prezinte câteva caracteristici definitorii ale zonelor umede care au ajutat la elaborarea unor definiții. Aceste caracteristici sunt:

- Zonele umede sunt caracterizate de prezența apei (freatice sau de inundație), permanentă sau temporară.
- Zonele umede au adesea soluri unice care le diferențiază de ecosistemele adiacente.
- Zonele umede susțin o vegetație adaptată la condiții de umiditate (specii hidrofile) și nu includ specii intolerante la inundații.
- Deși apa este prezentă doar o perioadă de timp, amploarea și durata inundației variază semnificativ de la o zonă umedă la alta.
- Zonele umede sunt localizate de cele mai multe ori la granița dintre ecosisteme terestre și acvatice și sunt influențate de ambele tipuri de ecosisteme.
- Zonele umede variază foarte mult în ceea ce privește dimensiunile, mergând de la mlaștinile mici de câmpie de câteva hectare, până la zonele umede extinse care măsoară sute de kilometri pătrați (diversitate la toate nivelurile ierarhice).
- Localizarea zonelor umede poate varia foarte mult, de la zone continentale până la zone costiere, de la regiuni rurale la regiuni urbane.
- Condițiile zonelor umede sau gradul în care sunt influențate de activitatea umană variază foarte mult de la regiune la regiune și de la zonă umedă la zonă umedă.

Pe baza acestor caracteristici, cea mai simplă definiție dată zonelor umede se rezumă la caracterizarea acestora ca zone de tranziție între ecosistemele terestre și cele acvatice. Majoritatea celorlalte definiții caută să precizeze calitativ și cantitativ aceste caracteristici de tranziție și să le delimiteze în cadrul unui gradient între uscat și apă.

Cele mai mari dificultăți în definirea zonelor umede sunt legate de două atribute:

- Hidrologic
- Vegetație

Din punct de vedere hidrologic, întrebările frecvente sunt: care este adâncimea zonelor inundabile?, și care sunt caracteristicile regimului de inundație (amploare, durată, perioadă, frecvență)?. În cazul vegetației întrebările sunt: ce tip de vegetație-ierboasă, tufăriș, pădure?, ce proporție au hidrofitele și xerofitele?.

Definițiile zonelor umede sunt necesare pentru două grupuri de interese distincte, cercetătorii și managerii zonelor umede. Cercetătorii sunt interesați de o definiție flexibilă și riguroasă care să faciliteze clasificarea, inventarierea și cercetarea, iar managerii sunt interesați de o definiție care să evidențieze clar regulile pentru prevenirea și controlul modificărilor de stare ecologică, dar fundamentate legal. Diferite definiții au fost elaborate de ambele grupuri:

- Una dintre cele mai timpurii definiții ale zonelor umede este dată de circulara 39 a US Fish and Wildlife Service (1956, [110]). Termenul de zonă umedă se referă la zone joase acoperite cu apă puțin adâncă și inundate temporar sau intermitent. Cuprind mlaștini, turbării, lunci, lacuri puțin adânci, heleșteie dominate de vegetație. Nu includ cursuri de apă permanente, lacuri de acumulare, lacuri adânci ape temporare fără vegetație de sol umed. Această definiție subliniază valoarea de habitat a acestor zone. Ea este utilă managerilor și mai puțin oamenilor de știință.

- Cea de-a doua definiție importantă a zonelor umede este dată în cadrul convenției RAMSAR, în Art.1.1. [144]:

„Sunt zone de mlaștină, turbării, bălți, care pot fi naturale sau artificiale, permanente sau temporare, cu apă stătătoare sau curgătoare, dulce, salmastră sau sărată, inclusiv zone marine a căror adâncime (la flux) nu depășește 6m.”

Convenția stipulează în Art. 2.1 că zonele umede „pot include zone cipariene și de coastă adiacente față de zonele umede și insule sau ape marine a căror adâncime nu depășește 6m la flux, aflate în cadrul zonelor umede”. Astfel, Convenția s-a extins către o mare varietate de tipuri de habitat, incluzând râuri, lacuri, lagune costiere, mangrove, turbării și chiar recife coralieri. Există de asemenea numeroase zone umede artificiale ca heleșteie pentru exploatarea piscicole, zone agricole irigate, canale, etc. Există o multitudine de zone umede dar din păcate nu se cunoaște cu exactitate suprafața totală ocupată de acestea.

- Definiția canadiană (1979): Zonele umede sunt definite ca „terenuri dominate de sol umed ce au nivelul apei freatică în apropierea sau peste suprafața solului pentru cea mai mare parte a sezonului dezghețat și care susțin o vegetație hidrofila și activități biologice adaptate mediului umed”.

- US Fish and Wildlife Service (1979, [21]): Zonele umede sunt terenuri de tranziție între sistemele terestre și cele acvatice unde nivelul apei este de obicei la sau aproape de suprafață sau terenul este acoperit de apă puțin adâncă. Ele trebuie să îndeplinească cel puțin unul dintre următoarele atribute:

- susține vegetația hidrofita cel puțin periodic;
- substratul este predominant sol hidric nedresat;
- substratul este saturat sau acoperit de apă puțin adâncă o anumită perioadă a sezonului de vegetație a fiecărui an.

În 1985 Howard-Williams definește zonele umede ca fiind biotopi cu nivelul apei freatică la suprafața solului, sau aproape de ea, care sunt inundate un timp suficient de lung în fiecare an pentru a cauza formarea de soluri hidrice și creșterea vegetației acvatice dominată de plante emerse (Howard-Williams, 1985 [55]).

În concluzie, nici o definiție a zonelor umede, nu este universal recunoscută. Acest lucru cauzează confuzie și inconsecvență în managementul, clasificarea și inventarierea sistemelor ecologice de zona umedă.

2.2 Clasificarea zonelor umede conform delimitării lor

Zonele umede sunt împărțite în trei categorii conform localizării pe suprafața bazinului:

Zone umede longitudinale care sunt situate în lungul cursului de apă (aceste zone sunt cele mai cunoscute);

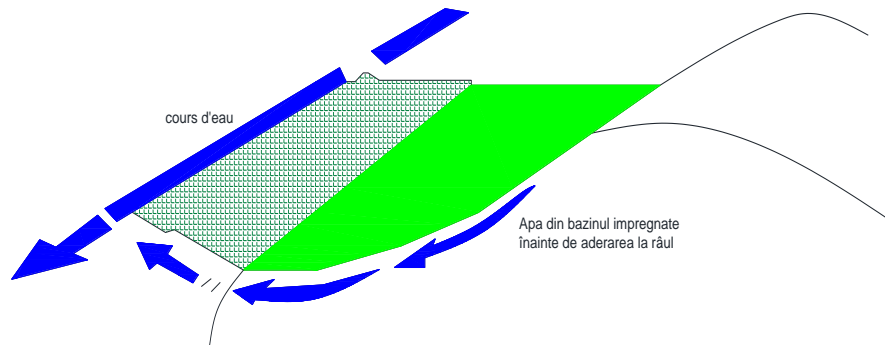


Figura 9. Zone umede longitudinale

Zone umede de exfiltrație, sunt legate de fenomenul de exfiltrație al pânzei freactice, ele sunt îndepărtate de râu dar sunt aproape de pânza freatică;

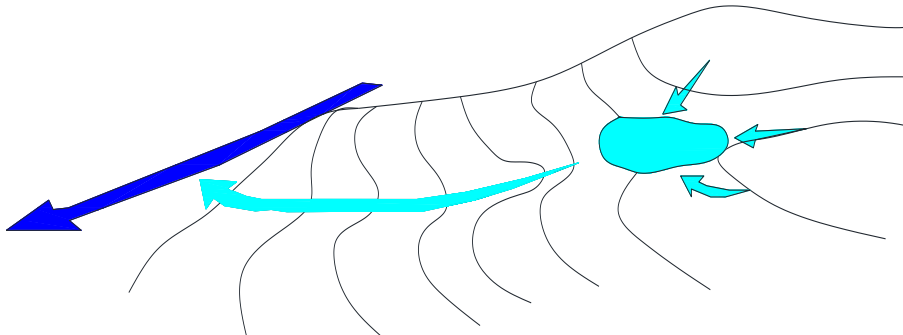


Figura 10. Zone umede de exfiltrație

Zone umede situate în amonte de un curs de apă, acestea constituie o zonă sursă la formarea cursului de apă. Ele corespund zonelor plate (deci fără scurgere) și / sau zonelor unde solul este permeabil.

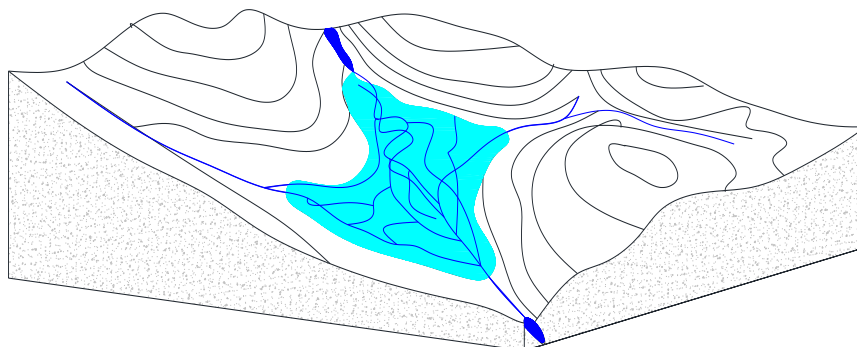


Figura 11. Zone umede situate în amonte de un curs de apă

Delimitarea zonelor umede poate fi realizată în funcție de documentația disponibilă. Această documentație poate fi la scară bazinală sau la scară zonei umede.

La scară bazinală documentele folosite pot fi următoarele:

- Hărțile geografice: acestea permit localizarea în spațiu și o viziune asupra terenului. Acestea sunt utilizate pentru a localiza o parte a rețelei hidrografice și potențial pentru zonele umede adiacente acestora.

- Planuri cadastrale: acestea oferă în principal limitele și mărimea zone umede.

- Fotografii aeriene: ele permit distingerea cursurilor de apă și a zonelor umede care ar putea fi în apropiere datorită unui câmp cu o ocupație privilegiată. Folosirea acestor fotografii pot da o idee generală deoarece acestea nu sunt întotdeauna recente.

- Fotografii aeriene care au fost tratate pentru a elimina deformările datorate reliefului. Aceste fotografii au o calitate metrică (adică fotografie pe care se pot face măsurători) astfel spus, sunt perfect suprapuse pe o hartă. Pentru a face această ajustare, se poate utiliza un model numeric de altitudine (MNA) sau un model numeric de teren (MNT), obținut cu ajutorul curbilor de nivel sau a punctelor din altitudine.

- Hărți ale solurilor: acestea permit să localizeze tipurile de sol, dar aceste hărți nu sunt întotdeauna efectuate pe teritoriul de studiu.

- Teledetecția: este procesul de captare de la distanță mare a semnalelor emise sau remise de către obiecte și procese și de descifrare a acestor semnale pentru obținerea de informații despre obiectele și procesele respective.

- Model numeric de teren (MNT) vezi capitolul (7.2.1)

La scara zonei umede exista trei metode de determinare:

- Metoda de caracterizare a solului: această metoda a fost aplicată la solurile din Masivul Armorican (1998), ea permite caracterizarea solurilor după hidromorfie și adâncime. Clasa solurilor hidromorfe cuprinde solurile intrazonale formate în condițiile unui exces permanent sau temporar de umiditate.

- Ghiduri botanice, ele pot ajuta la recunoașterea de specii.

- Metoda bazată pe HGMU: (Hydrogeomorphic Unit sau unități hidromorfologice): O metodă în curs de validare a fost dezvoltată de B. Clément (UMR Ecobio, Universitatea Rennes Franța) pentru a caracteriza și delimita zonele umede conform tipului de vegetație prezent.

2.3 Descrierea și funcționarea hidrologică a zonelor umede

Hidrologia zonelor umede se situează în condiții fizico - chimice particulare, care conferă acestor ecosisteme proprietăți diferite de cele ale altor sisteme acvatice și ale bazinelor bine drenate.

Precipitațiile, nivelul apei, durata și frecvența inundațiilor, drenajele, marea sunt parametri rezultanți din intrările și ieșirile în sistemul hidrologic care conferă acestor ecosisteme proprietățile specifice zonelor umede. Astfel, hidrologia este domeniul cel mai important în stabilirea și permanența caracteristicilor specifice ale zonelor umede și ale funcționării lor. Parametrii hidrologici vor condiționa proprietăți fizico - chimice directe ale apei, disponibilitatea de substanțe nutritive, oxigenul, salinitatea substratului, chimia sedimentelor și pH-ul.

Răspunsul biologic al sistemului și productivitatea sa vor fi prin urmare direct legate de fluxul apei. Astfel, pentru un eveniment hidrologic asemănător de la un an la altul, ne putem aștepta la o structură și o funcționare stabilă într-o zonă umedă (Mitsch și Gooselink,

1987 [90]). Această afirmație nu mai este valabilă în mediul tropical unde există o mare variabilitate spațială și temporală a precipitațiilor (Manton și Bonell, 1993 [87]).

2.3.1 Conceptul de hidroperiodă

Acest concept este utilizat pentru a defini "semnătura hidrologică" pentru fiecare tip de zonă umedă, la scară sezonieră sau anuală. Hidroperioda reprezintă rezultatul tuturor intrărilor și ieșirilor de apă. De asemenea, hidroperioda descrie creșterea și scăderea apei de suprafață și a apei subterane din zona umedă respectivă. Este specifică fiecărui tip de zonă umedă și constanța ei de la an la an asigură o stabilitate rezonabilă a zonei umede. Pentru o descriere calitativă a hidroperiodei se folosesc mai mulți termeni:

- durata de inundație* în cazul zonelor umede care nu sunt permanent inundate;
- frecvența inundației* pentru numărul mediu de inundații pe o anumită perioadă.

Ambii termeni sunt utilizați pentru descrierea zonelor umede periodic inundate cum ar fi: mlaștinile costiere de apă sărată și zonele umede ripariene.

2.3.2 Bugetul total de apă

Hidroperioda sau starea hidrologică a unei zone umede poate fi considerată ca fiind rezultatul însumării următorilor factorii:

- bilanțul dintre intrările și ieșirile de apă
- conturul de suprafață a complexului de ecosisteme
- sedimentul, condițiile geologice și apă subterană.

Primul factor definește bugetul de apă al zonei respective iar următorii doi definesc capacitatea zonei de a acumula apă. Bugetul total de apă este descris astfel:

$$V = P_n + S_i + G_i - ET - S_o - G_o \pm T \quad (1)$$

unde:

V = volumul de apă stocat în zonele umede, ΔV = modificările ce intervin în volumul de apă stocată, P_n = precipitațiile nete, S_i = intrările de suprafață datorate inundațiilor râurilor, G_i = intrările în apa freatică, ET = evapotranspirația, S_o = intrările de suprafață, G_o = ieșirile din apa freatică, T = fluxurile (+) sau refluxurile (-).

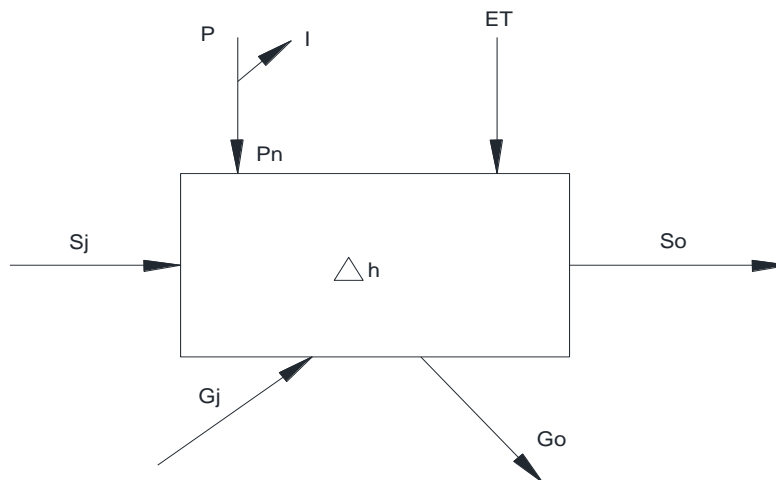


Figura 12. Principali termeni ai bilanțului hidrologic

Figura 12 prezintă schematic bilanțul hidrologic cum este el prezentat în literatură. Acest bilanț este fundamental pentru înțelegerea funcționării zonelor umede și permite adăugarea unor informații complementare pentru a caracteriza aceste zone.

Cu toate acestea, măsurătorile pe teren sunt adesea greu de realizat, și niciodată nu dispunem de toți termenii bilanțului. În plus unii termeni pot avea o variabilitate temporală importantă.

Tabel 2. Bilanțul hidrologic anual, pentru câteva zone umede în diferite tipuri de climat.

| | P | Pn | I | Si | Gi | ET | So | Go | T | DELTA H |
|-------|------|-----|-----|-------|------|------|-------|-----|------|---------|
| a | 1050 | 740 | 310 | 2290 | 220 | 720 | 2320 | 210 | | 0 |
| b | 380 | | | 5760 | cu T | 670 | 6530 | | 1310 | 250 |
| c | 1210 | | | | | 1080 | 900 | 280 | 510 | -540 |
| d | 370 | | | 400 | | 640 | | 180 | | -50 |
| e | 1310 | | | cu Gi | 390 | 930 | 730 | 40 | | 0 |
| f | 1020 | | | cu Gi | 380 | 490 | 1000 | | | -90 |
| g min | 890 | | | | | 860 | 50 | 50 | | -70 |
| g max | 1800 | | | | | 990 | 790 | 60 | | -40 |
| h | 1450 | | | | | 1020 | cu Go | 240 | | 190 |

unde:

a: mlaștinile din Taxodium, Sudul Illinois (Mitsch, 1987 [90]);

b: coasta Marsh Lake Erie, Ohio, din martie-septembrie 1988, an uscat (Mitsch 1987 [90]);

c: mlaștinile mangrovelor albe, Florida (Twilley, 1982, citat de Brown, 1990);

d: mlaștinile ierboase de câmpie, Dakota de Nord (Shjeflo, 1968);

e: zona umeda Okefenokee (Georgia, Rykiel, 1984);

f: mlaștina la nord de Țara Galilor (Gilman, 1982);

g: Green Swamp, Florida (Pride et al, 1966, citat de Carter et al, 1979);

h: Bog lui Thoreau, Concord, Massachusetts (Hemond 1980, citat de Brown 1990)

2.3.3 Rata de reînnoire

Conceptul este definit prin raportul dintre fluxul care traversează zona umedă și volumul de apă din interiorul sistemului.

$$t^{-1} = \frac{Q_t}{V} \quad (2)$$

unde: t^{-1} = rata de reînnoire în $1/t$; Q_t = rata totală a intrărilor; V = volumul mediu de apă stocat în zonele umede.

Proprietățile chimice și biologice sunt adesea determinate de deschiderea sistemului iar rata de reînnoire este un indicator al acestora deoarece arată cât de repede este înlocuită apa din sistem. Opusul ratei de reînnoire este timpul de staționare care este un indicator al timpului mediu în care apa rămâne în zona umedă. Se consideră că timpul de staționare este o variabilă importantă atunci când zonele umede sunt proiectate ca sisteme de tratare a apelor reziduale.

2.4 Bilanțul global

2.4.1 Precipitațiile

Zonele umede se găsesc în regiunile unde precipitațiile care includ ploile și ninsorile, sunt în exces față de pierderile prin evapotranspirație sau scurgerile de suprafață. Precipitațiile au fost definite în general prin modele anuale deși variația lor de la an la an poate fi mare.

Când o parte din precipitații este reținută de covorul vegetal, în special în zonele umede împădurite, cantitățile de precipitații care în cele din urmă trec în apă sau în stratul următor, se numesc precipitații neinterceptate. Cantitatea de precipitații interceptată depinde de mai mulți factori, inclusiv de cantitatea totală de precipitații și stadiul de dezvoltare al vegetației. Bilanțul total al precipitațiilor poate fi calculat cu următoarea formulă:

$$P = I + TF + SF \quad (3)$$

unde:

P = cantitatea totală de precipitații;

I = cantitatea de precipitații interceptată de către covorul arboreal;

TF = cantitatea de precipitații căzută direct în apă sau în nivelul următor;

SF = cantitatea de precipitații scursă pe tulpini.

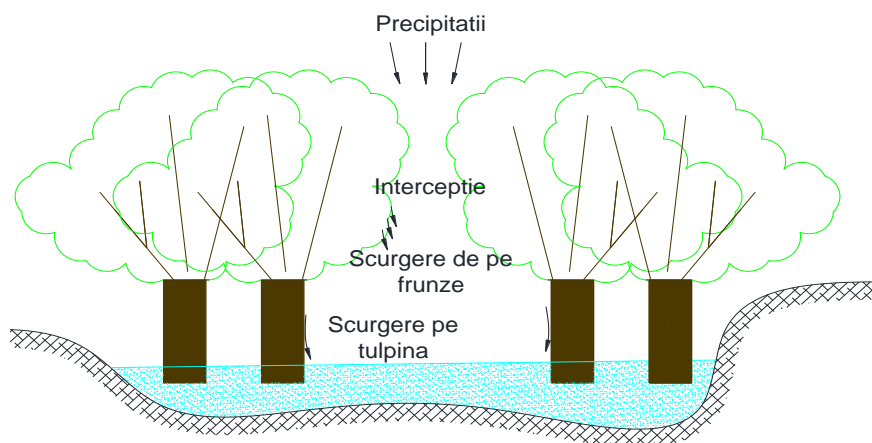


Figura 13. Traseul apei din precipitație într-o zonă umedă împădurită (Mitsch et al., 1987 [90])

Cantitatea totală care ajunge în apă sau în nivelul următor reprezintă precipitația netă și este definită astfel:

$$P_n = P - I \quad (4)$$

Prin combinarea celor două ecuații se obține ecuația cea mai des utilizată pentru estimarea precipitațiilor nete din zonele umede:

$$P_n = TF + SF \quad (5)$$

2.4.2 Evapotranspirația

Evaporația este formată din apa care se evaporă din zonele umede împreună cu apa eliminată de plantele vasculare în atmosferă (transpirație). Factorii meteorologici care determină evaporarea și transpirația nu se modifică atâta timp cât există o umiditate suficientă. Rata de evapotranspirație este proporțională cu diferența dintre presiunea vaporilor de la suprafața apei (sau de la suprafața vegetației) și presiunea vaporilor de apă din aerul înconjurător. Această rată este descrisă de legea lui Dalton:

$$E = C(ew - ea) \quad (6)$$

unde:

E = rata de evapotranspirație;

C = coeficientul care adesea include viteza vântului;

ew = presiunea vaporilor de apă de la suprafață sau presiunea de saturație a vaporilor de apă deasupra suprafețelor umede;

ea = presiunea vaporilor de apă din aerul înconjurător.

Evaporarea și transpirația sunt influențate de condițiile meteorologice care măresc valoarea presiunii vaporilor de apă la suprafața de evaporare (de exemplu: radiația solară, temperatura) sau de factori care scad presiunea vaporilor de apă din aerul înconjurător (de exemplu: umiditatea scăzută, viteza mare a vântului). Această ecuație presupune o rezervă de apă adecvată pentru mișcarea capilară a apei din sol sau pentru accesul apei în rădăcinile plantelor. Când rezerva de apă este limitată (lucru rar întâlnit în zonele umede) evapotranspirația este limitată. Evapotranspirația poate fi de asemenea limitată din punct de vedere fiziologic de către anumite plante prin închiderea stomatelor din frunze în ciuda umidității adecvate.

Evapotranspirația poate fi determinată cu ajutorul unor ecuații empirice care folosesc variabile meteorologice ușor de măsurat. O ecuație empirică cel mai frecvent folosită pentru determinarea evapotranspirației din ecosistemele terestre și care a fost aplicată cu succes și pentru zonele umede este ecuația Thornthwaite pentru evapotranspirația potențială.

$$ET_i = 16(10T_i/I)a \quad (7)$$

unde:

ET_i = evapotranspirația potențială în mm/lună;

T_i = temperatura medie lunară în °C.

$$I = \sum(T_i/5)^{1.5/4} \quad (8)$$

I = indicele de încălzire locală

$$a = (0,675 \cdot I^3 - 77,1^3 \cdot I^2 + 17,920 \cdot I^2 + 497,390) \cdot 10^{-6}$$

O altă relație empirică folosită pentru descrierea evapotranspirației din timpul verii a fost descrisă de Hammer și Kadlec (1983). Ecuația a fost folosită în particular pentru salcie, liliac și papură:

$$ET = \alpha + \delta C + \gamma D + \lambda E \quad (9)$$

unde:

α , β , δ , γ , λ = coeficienți de corelație;

B = radiația incidentă;

C = temperatura aerului;

D = umiditatea relativă;

E = viteza vântului;

Lee admite în 1980, că nu există o relație simplă pentru a determina evapotranspirația reală (ETR) în zonele umede, plecând de la datele meteorologice, sau date ale evapotranspirației potențiale. Afirmatia lui este bazată pe faptul că există o multitudine de factori care afectează evapotranspirația și nici una din ecuațiile empirice nu sunt pe deplin satisfăcătoare pentru estimarea evapotranspirației din zonele umede.

Aceste ecuații empirice oferă totuși o primă estimare eficientă din punct de vedere a costului. De asemenea ele pot fi mai apropiate de realitate atunci când sunt aplicate pentru zonele umede care sunt rar lipsite de o rezervă de apă, decât atunci când sunt aplicate pentru zonele terestre unde evapotranspirația poate fi limitată datorită lipsei apei din sol.

Evaporația poate fi calculată și pe baza măsurătorilor creșterii umidității aerului care traversează incinte cu vegetație și pe baza informațiilor rezultate din observarea ciclului diurn al apei freatice sau al apei de suprafață din zonele umede. În cazul în care aceste măsurători există, evapotranspirația poate fi calculată astfel:

$$ET = S_y (24h \pm s) \quad (10)$$

unde:

ET= evapotranspirația în mm/zi;

Sy= randamentul specific al acviferului (adimensional);

Sy= 10 pentru zonele umede cu apă stătătoare;

Sy< 10 pentru zonele umede fără apă de suprafață;

h = creșterea nivelului apei din oră în oră, de la ora 24 până la ora 4;

s = creșterea (+) sau descreșterea (-) nivelului apei freatice sau al apei de suprafață într-o singură zi.

Metoda poate fi folosită doar în cazul în care presupunem o pompare activă a apei de către vegetație în timpul zilei și o rată a reîncărcare constantă de la ora 24 până la ora 4. Metoda presupune de asemenea că evapotranspirația este neglijabilă în jurul orei 24 și că nivelul apei freatice în jurul acestei ore aproximează media zilnică. De obicei nivelul apei este la sau lângă zona rădăcinilor în majoritatea zonelor umede, ceea ce reprezintă o condiție necesară pentru acuratețea măsurării evapotranspirației prin intermediul acestei metode.

2.4.3 Intrările și ieșirile de suprafață

Zonele joase ale zonelor umede sunt supuse la două tipuri de intrare și anume: *fluxuri dinspre terestru, necanalizate*, care au loc de obicei în timpul sau după ploile torențiale, dezghețurile de primăvară sau după marea în cazul zonelor umede costiere și *fluxuri dinspre sistemul acvatic, canalizate*, atunci când zona umedă este influențată de un bazin colector mare.

Adesea zonele umede sunt parte integrată a unui fluviu sau râu și pot fi mlaștini ripariene de apă dulce. Zonele umede care se formează în aceste extinderi puțin adânci ale canalului sunt foarte mult influențate de tiparele de curgere ale râurilor. Zonele umede costiere sunt foarte mult influențate de scurgerea de suprafață, de scurgerile din amonte și de fluxurile datorate mareelor, toate contribuind la cantitatea de nutrienți și energia adusă și adesea influențând salinitatea și oxigenarea solului.

Scurgerile de suprafață de la un bazin colector spre o zonă umedă sunt dificil de estimat fără un număr mare de informații. Aceste scurgeri de suprafață constituie una dintre cele mai importante surse de apă din bugetul de apă al zonelor umede. Scurgerea directă, ca o componentă a curgerii râului se referă la precipitațiile din timpul unei furtuni care determină o creștere imediată a nivelului apei. O estimare a cantității de precipitații care rezultă din scurgerea directă de la o singură furtună poate fi realizată cu ajutorul următoarei relații:

$$S = R_p \cdot P \cdot A_w$$

unde:

S= scurgerea de suprafață directă în m³/ furtună;

R_p= coeficientul de răspuns hidrologic;

P= precipitații medii căzute în bazin;

A_w= suprafața bazinului care se drenează în zona umedă în m²;

Această ecuație arată că scurgerea este proporțională cu volumul precipitațiilor căzute pe cursul de apă care alimentează zona umedă respectivă.

Scurgerile de suprafață se efectuează în principiu prin canale sau drenuri. Calculul volumelor extrase pot fi realizate folosind formulele clasice de hidraulică, cum ar fi formula lui Manning care necesită cunoașterea geometriei canalului, și de asemenea a pantei lamei de apă. Obținerea acestor date se face prin măsurători.

2.4.4 Apa freatică

Apa freatică are o influență mică sau chiar nulă asupra zonelor umede. Intrările subterane se realizează atunci când nivelul apei de suprafață este mai jos decât nivelul apei freactice al ecosistemelor din jur. Când nivelul apei freactice dintr-o zonă umedă este mai mare decât nivelul apei freactice al ecosistemelor din jur, apa freatică va curge afară din zona umedă. Într-o zonă umedă pot exista atât intrări cât și ieșiri de apă freatică. Acest tip de zonă umedă poate funcționa ca izvor dacă transmite fluxuri în aval. Când o zonă umedă este cu mult deasupra stratului de apă freatică, aceasta este considerată a fi o zonă umedă înaltă. Alte zone umede pot avea un strat de apă freatică ce nu atinge niciodată suprafața.

Curgerea apei freactice în, prin și din zona umedă este descrisă de ecuația numită legea lui Darcy. Această lege arată că curgerea apei freactice este proporțională cu: panta apei freactice sau gradientul hidraulic și cu conductivitatea hidraulică sau permeabilitatea, capacitatea solului de a conduce apa.

$$Q = K \cdot a \cdot s \quad (12)$$

$$V = K \cdot S \quad (13)$$

unde:

V= viteza de curgere a apei freactice;

K= conductivitatea sau permeabilitatea apei (lungime/unitatea de timp);

a= secțiunea transversală a zonei;

s= gradientul hidraulic (panta pânzei freactice).

În ciuda importanței pe care o are apa freatică în bugetul de apă al zonelor umede, se cunosc foarte puține lucruri despre particularitățile hidrologice ale apei freactice, mai ales la acele zone umede cu soluri organice.

Apa freatică intrată în zonele umede reprezintă o sursă importantă de nutrienți și minerale dizolvate. Acest lucru este valabil mai ales pentru stadiile timpurii de dezvoltare ale turbării și pentru multe mlaștini de coastă. Apa freatică dulce poate de asemenea să influențeze zonele umede de coastă prin scăderea salinității, mai ales la limitele zonelor umede către malul terestru.

2.4.5 Mareele

Mareele pot avea o importanță preponderentă prin marea cantitate de apă oceanică care poate fi adusă în fiecare zi în mlaștini.

Fenomenul periodic al mării și fazele de inundare ale zonelor umede din apropierea coastei pot fi împărțite în două tipuri de efecte observate (Bellesort et Migniot, 1972 [9]):

- debitul de apă sărată, cu variația nivelului apei și deplasarea masei de apă, "Contactul" dintre apa dulce și apa sărată a mării este în general efectuată prin efectul "pene de apă sărată" ale estuarului (Figura 14);

- variațiile nivelului apei fără circulația masei apei, corespunde propagării unei unde de variație a înălțimilor;

O tipologie se poate baza pe două descrieri cheie pentru clasificarea mareelor:

- proprietăți geografice: în funcție de zona de pe glob, ele sunt diurne sau semi-diurne. Amplitudinile sunt, de asemenea, foarte variabile (0,5 la 12 metri);

- proprietăți temporale: în plus ciclului de aproape 12 ore, trebuie menționate variațiile de pericol de 14 zile.

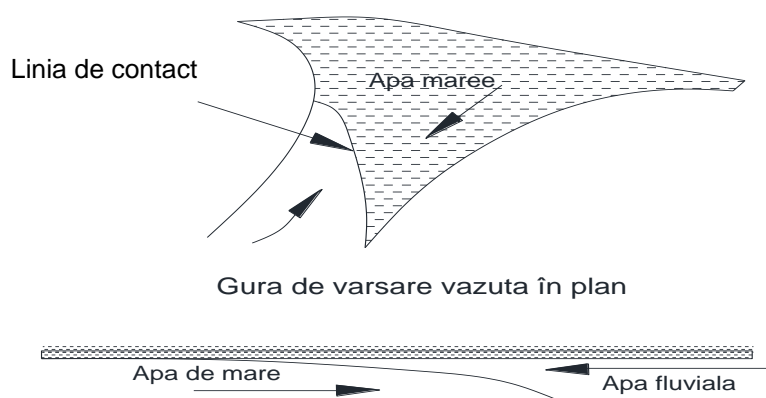


Figura 14. Estuar (vedere verticală)

2.5 Influența regimului hidrologic

Regimul hidrologic are influențe asupra compoziției și bogăției specifice, productivității primare, acumulării și transportului de substanță, circuitelor nutrienților

2.5.1 Influența regimului hidrologic asupra compoziției și bogăției specifice

Influența regimului hidrologic asupra compoziției și bogăției specifice a zonelor umede este foarte mare. Regimul hidrologic exercită o acțiune atât limitativă, cât și stimulatorie asupra diversității specifice depinzând de hidroperiodă și de energia inundației. De asemenea regimul hidrologic are un efect selectiv față de toleranța plantelor la apă dulce sau la apă sărată. Din cele 1000 de specii de plante vasculare care există, doar un număr mic de plante s-a adaptat la solurile saturate. Deși este dificil de generalizat, multe zone umede cu perioade lungi de inundare au o bogăție specifică mică față de zonele umede la care frecvența inundării este mai mică. Solurile saturate și modificările ulterioare ce intervin în conținutul de oxigen, împreună cu alte condiții chimice limitează semnificativ numărul și tipul plantelor rădăcinoase care pot supraviețui în acest mediu.

S-a observat că cu cât se merge de la lunci mai umede către lunci mai uscate diversitatea asociațiilor de specii crește.

Regimul hidrologic stimulează de asemenea bogăția specifică atunci când acțiunea apei și a sedimentelor transportate creează o heterogenitate spațială dând naștere unor nișe ecologice suplimentare. Când râurile inundă zonele umede ripariene sau când mările inundă mlaștinile costiere, eroziunea, spălarea solului și depunerea sedimentelor creează uneori nișe care permit ca diferite habitate să se dezvolte.

2.5.2 Influența regimului hidrologic asupra productivității primare

Unul dintre cei mai importanți factori care afectează productivitatea primară este fenomenul de "deschidere" a unei zone umede la procesele regimului hidrologic.

Mai multe studii au arătat că zonele umede cu apă stagnantă au o productivitate primară mică în timp ce zonele umede care au scurgeri de apă lente sau sunt deschise la inundarea râurilor prezintă o productivitate primară mare. Datele rezultate din aceste studii au dus la concluzii cu privire la producția netă de biomasă din zonele umede de apă dulce, și au arătat cu certitudine că zonele umede cu apă curgătoare sunt cele mai productive.

Relațiile dintre regimul hidrologic și productivitatea primară au fost studiate de unii cercetători ai zonelor umede și în urma acestor studii s-a dovedit că productivitatea este redusă în condiții de inundare continuă și în condiții de secetă. În ciuda evidenței influenței a regimului hidrologic asupra zonelor umede, unii cercetători pledează împotriva atribuirii unei legături directe între regimul hidrologic și productivitatea zonelor umede.

Richardson (1979 [74]) specifică următorul lucru: "o afirmație definitivă despre influența nivelului de apă asupra productivității primare nete pentru toate tipurile de zone umede este imposibilă deoarece răspunsurile speciilor la fluctuațiile regimului de apă sunt foarte variate". Oricum, fluctuațiile volumului apei nu sunt neapărat raportate la volumul de apă care traversează zona umedă, la nutrienți asociați sau la energie. Mai mult, deși răspunsul speciilor la nivelul apei și la regimul hidrologic este foarte diferit, răspunsul la nivelul ecosistemului este mult mai important.

2.5.3 Influența regimului hidrologic asupra acumulării și transportului de substanță organică

Zonele umede pot acumula excesul de substanță fie ca rezultat al creșterii productivității primare, fie ca rezultat al descompunerii și exportului. Efectele regimului hidrologic asupra cailor de descompunere sunt mai puțin înțelese decât efectele asupra productivității primare. Durata și frecvența inundației nu influențează direct rata de descompunere, dar alternarea perioadelor umede cu cele uscate poate conduce la rate optime de descompunere a litierii, în timp ce condițiile anaerobe complete datorate inundației totale și constante sunt cele mai nefavorabile pentru descompunere.

Ratele de descompunere ale litierii au fost determinate pentru mai multe zone umede, dar rezultatele nu au susținut întotdeauna acest punct de vedere. S-a observat că frunzele plantelor din zonele costiere de apă dulce se descompun mai repede atunci când sunt permanent sub apă decât atunci când inundația se produce periodic sau neregulat (Heywood, 1978, [53]). Acest proces se poate datora următoarelor: detritivorii au un acces mai bun și mai rapid în apă; un mediu mai constant pentru descompunători: bacterii și fungi; disponibilitate mai mare a nutrienților dizolvați; un mediu ce oferă condiții de percolare mai favorabile.

Alți cercetători au afirmat că „inundarea periodică sau chiar constantă a suprafeței solului, caracteristică zonelor umede, conduce la o scădere a activității faunei din sol” ceea ce face ca descompunerea anaerobă să fie dominantă.

Importanța regimului hidrologic asupra exportului organic este evidentă. O rată de descompunere mai ridicată este de așteptat din partea zonelor umede „deschise” la inundații. Zonele umede ripariene, adesea, contribuie cu mari cantități de detritus organic deversate în râuri, inclusiv macrodetritus cum ar fi copaci întregi.

Mlaștinile de apă sărată și mlaștinile de mangrove exportă un procent mare din producția lor primară, în timp ce turbăriile exportă o cantitate mică de materie organică.

2.5.4 Influența regimului hidrologic asupra circuitelor nutrienților

Nutrienții ajung în zonele umede prin intermediul mai multor procese: precipitații, inundații, marea, intrări de suprafața și subterane. Ieșirile de nutrienți sunt controlate în special de ieșirile de apă. Aceste fluxuri hidrologice de nutrienți, sunt de asemenea foarte importante, chiar determinante pentru productivitatea și descompunerea din zonele umede. De asemenea, productivitatea și descompunerea au un rol foarte important pentru circuitele din interiorul sistemului ale nutrienților. Când ratele productivității și descompunerii sunt mari, circulația nutrienților este accelerată. Când productivitatea și descompunerea sunt reduse ca intensitate, circuitul nutrienților este de asemenea încetinit.

Un efect important asupra transformărilor nutrienților și asupra disponibilității lor pentru plante îl are hidroperioada zonelor umede.

Disponibilitatea nutrienților din zonele umede, este afectată de condițiile reducătoare care există în solurile saturate. Deasupra zonelor anaerobe existente în solul zonelor umede se dezvoltă un strat oxidat subțire ceea ce determină o combinație a etapelor din circuitul azotului (nitrificare, denitrificare) care poate duce la o eliminare importantă de azot în atmosfera. Azotul amoniacal se acumulează în solul zonelor umede deoarece mediul anaerob favorizează formele ionice reduse în dauna azotului prezent de obicei în solurile agricole.

Inundarea solurilor zonelor umede duce la modificarea pH-ului și potențialului redox ale solului, influențează de asemenea și disponibilitatea nutrienților. Atât solurile acide cât și cele alcaline tind spre valoarea pH=7 când acestea sunt inundate.

Zonele vulnerabile la poluarea cu nitrați sunt suprafețele de teren agricol de pe teritoriul țării prin care se drenează scurgerile difuze în apele poluate sau expuse poluării cu nitrați din surse agricole și care contribuie la poluarea acestor ape.

Identificarea zonelor vulnerabile s-a realizat de către „Institutul Național Cercetare - Dezvoltare pentru Pedologie și Agrochimie și Protecția Mediului” pe baza evaluării condițiilor naturale (sol, teren, clima, hidrologie, hidrogeologie) ale arealelor cu potențial de transmitere a nitraților din sistemul agricol către corpurile de apă de suprafață și subterane. În Figura 15 sunt reprezentate zonele vulnerabile la nitrați de pe teritoriul României conforma planul național de management aferent porțiunii naționale a bazinului hidrografic internațional al fluviului Dunărea.

Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Pedologie, Agrochimie și Protecția Mediului ([145]) a grupat localitățile care prezintă vulnerabilitate la poluarea cu nitrați în 42 de zone vulnerabile (Figura 16) stabilite în funcție de similaritățile condițiilor naturale și socio-economice și de încadrare în perimetrul unei Direcții de Apă.

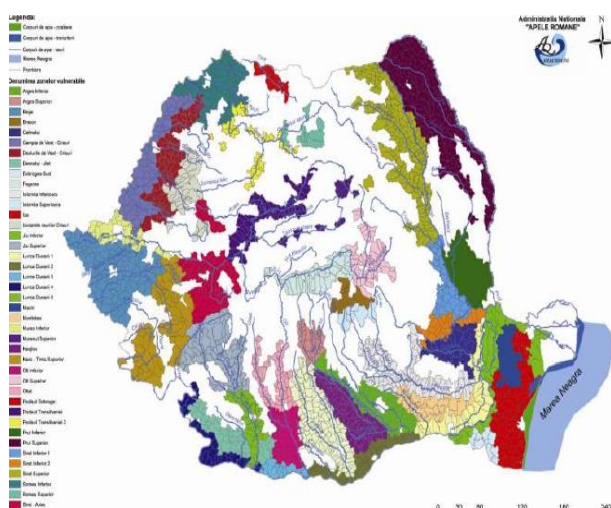


Figura 15. Zone vulnerabile la nitrați [145]

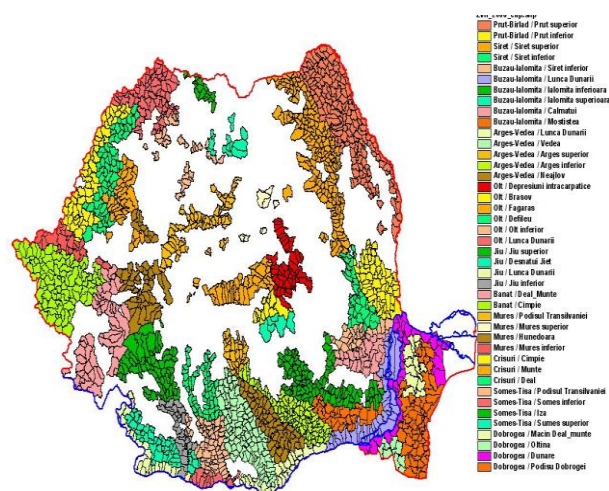


Figura 16. Zone vulnerabile la poluarea cu nitrați

[145]

2.6 Reconstrucția zonelor umede

2.6.1 Metode de abordare a reconstrucției ecologice în zonele umede

Reconstrucția ecologică reprezintă activitatea voluntară care inițiază sau accelerează refacerea unui ecosistem în ceea ce privește integritatea și funcționalitatea lui. În mod frecvent ecosistemul care necesită lucrări de reconstrucție ecologică a fost deteriorat, degradat, transformat sau distrus în totalitate de rezultatele directe sau indirecte ale activităților antropice.

În ultimele două decade a fost dată o multitudine de definiții pentru reconstrucția ecologică. Cele mai multe stipulau că reconstrucția ecologică constituie o acțiune reparatorie a daunelor aduse de intervenția antropică unui sistem natural. Pentru a defini termenii în mod adecvat și util, Society of Wetland Scientists (Societatea cercetătorilor cu activitate în domeniul zonelor umede), consideră că există următoarele elemente cheie (SWS 2000):

Reconstrucția ecologică reprezintă reluarea proceselor ecologice cheie.

Procesele fundamentale care guvernează zonele umede sunt hidrologia, structura geomorfologică, procesele fizice, cele biologice și cele biogeochimice. Toate acestea interacționează pentru a determina funcțiile ecologice și a conduce la structurile pe care în mod obișnuit le asimilăm cu o zonă umedă. Cum unii autori consideră că reintroducerea componentelor biotice nu este întotdeauna necesară (sau adecvată (Zedler, 1996 [120]) pentru refacerea funcțiilor ecosistemului, factorii cheie trebuie considerați cei dintâi. National Reserch Council (NRC 1992) exemplifică aceste aspecte în abordarea reconstrucției ecologice a sistemelor fluviale prin favorizarea / restabilirea / declanșarea regimului de inundare natural, urmate de lucrări de dragaj numai dacă regimul hidrologic refăcut nu duce la o refacere și a structurii fizice iar în final o introducere a componentelor biotice numai dacă acțiunile anterioare nu au condus deja la aceasta.

Reconstrucția ecologică trebuie să se integreze specificului zonei

Un proiect de reconstrucție ecologică, pentru a fi considerat un succes, trebuie să se integreze și să țină cont de valențele naturale ale zonei, precum și de factorii cheie care guvernează sistemul și care împreună, conduc la formarea și evoluția pe termen lung sistemului refăcut (Brinson, 1993 [18]; Bedford, 1996 [8]). Proiectele de reconstrucție ecologică care au în vedere combaterea efectelor rezultate din activitatea antropică, în mod ideal ar trebui să se preocupe de îndepărtarea cauzelor degradării, și nu a efectelor acesteia.

Obiectivul reconstrucției ecologice este un sistem persistent și adaptat

Conceptul de sistem persistent câștigă consistență prin dezvoltarea domeniului ingineriei ecologice în care un obiectiv principal de proiectare și construcție a ecosistemelor este acela de a produce un sistem care nu este static ci mai degrabă are nemodificate suficiente procese fizice și biologice, pentru a putea răspunde la perturbări fără intervenție umană (Mitch, 1987 [90]).

Realitățile practice de implementare a lucrărilor de reconstrucție ecologică în lumea modernă adesea necesită implicarea omului în a menține funcțiile naturale ale unui ecosistem (de exemplu înlăturarea / combaterea speciilor alohtone / invazive). În plus, punerea în aplicare a unui management adaptativ determină o îmbunătățire a metodelor de reconstrucție ecologică și necesită un management activ pentru monitorizarea zonei. Scopul final al

reconstrucției ecologice ar trebui să fie un sistem dinamic care să poată funcționa fără intervenția omului (să fie un sistem autoreglabil).

Reconstrucția ecologică trebuie să aibă ca rezultat tipul istoric de zonă umedă dar care nu întotdeauna rezultă din existența aceleiași structuri și comunități biologice

Importanța menținerii diversității istorice a zonelor umede impune, de asemenea, ca regimurile geomorfologice și hidrologice să fie asemănătoare celor existente înainte de degradarea antropică (Wilcox și Whillans, 1999 [117], [118]). Oricum, refacerea tipului de zonă umedă inițial nu va duce întotdeauna la reinstalarea structurilor biologice inițiale sau specifice.

În timp ce în esența reconstrucției ecologice a zonelor umede este aducerea la forma inițială, o mare varietate de factori (de exemplu starea succesională, banca de semințe, degradări ireversibile, etc.) pot împiedica crearea de comunități și structuri biologice prezente înainte de degradarea antropică, chiar și atunci când procesele au fost restaurate.

Planificarea lucrărilor de reconstrucție trebuie să cuprindă dezvoltarea de obiective structurale și funcționale și crearea de standarde pentru a cuantifica îndeplinirea obiectivelor.

Procesul de planificare, în care obiectivele de performanță și standardele de realizare a acestora sunt stabilite pe baza managementului adaptativ. Este vital ca noi să învățăm din succese și eșecuri, în special în domeniul relativ nou al reconstrucției ecologice a zonelor umede.

În mod teoretic reconstrucția ecologică își propune să readucă un ecosistem la situația istorică de dinainte de intervenția antropică. În acest context, condițiile istorice reprezintă punctul ideal de referință pentru proiectarea activităților de reconstrucție ecologică.

Experiența a arătat însă că reconstrucția sau crearea unei zone umede care să reproducă exact o zonă deja existentă, este imposibilă (EPA, 1999 [133]).

Având în vedere constrângerile actuale și condițiile concrete care i-au alterat evoluția, ecosistemul reconstruit nu va reface în mod absolut necesar forma sa inițială (Kentula 2000 [60]). Evoluția istorică a ecosistemelor drastic afectate ar putea fi dificilă sau chiar imposibil de determinat.

Reconstrucția ecologică reprezintă, prin obiectivele sale generale, o opțiune pe termen lung, care implică decizie, angajament, resurse de toate tipurile, naturale, umane, financiare.

După ce decizia de reconstrucție ecologică a fost luată, proiectul necesită o planificare sistematică și atentă precum și un sistem eficient de monitorizare a derulării lui și a rezultatelor obținute, bazate pe indicatori care pot fi identificați în mod obiectiv.

Intervențiile și măsurile implicate de fiecare proiect de reconstrucție ecologică diferă într-o gamă foarte largă de la un proiect la altul, depinzând printre altele de durata și intensitatea deteriorărilor la care a fost supus ecosistemul, condițiile concrete – naturale, culturale și sociale – și oportunitățile și constrângerile actuale.

Dacă am analiza cea mai simplă posibilitate, reconstrucția ecologică ar însemna îndepărtarea / rectificarea factorului distrugător și prin acesta facilitarea reluării proceselor ecologice inițiale. De exemplu înlăturarea unui dig, sau executarea de breșe în acesta ar determina întoarcerea la situația inițială de inundare și deci ar facilita refacerea regimului hidrologic.

În circumstanțe mai complexe, reconstrucția ecologică poate implica reintroducerea speciilor autohtone și îndepărtarea / controlul celor alohtone.

De asemenea, în mod frecvent, degradarea ecosistemului a avut surse multiple, care au determinat chiar și pierderea sau deteriorarea iremediabilă a unor factori, ceea ce determină o abordare specifică a procesului de reconstrucție ecologică, prin stabilirea unor obiective adaptate situației concrete.

Atunci când obiectivul de reconstrucție ecologică a fost atins, ecosistemul refăcut ar putea să fie autoreglabil și să nu mai necesite intervenții externe ulterioare, caz ideal, în care reconstrucția este considerată completă (Longcore, Mattoni et al. 1997, [63]).

În practică însă, ecosistemul reconstruit necesită un management activ, pentru reducerea sau evitarea impactului diferitelor activități antropice, compensarea efectelor schimbărilor climatice etc. (Thom, 2000 [116]; Hackney, 2000 [48]; Steyer și Llewellyn, 2000 [102]; Zedler și Callaway, 2000 [120]). Din acest punct de vedere, un ecosistem reconstruit este identic cu unul natural de același tip, ambele necesitând uneori măsuri de management în vederea conservării lor. În acest mod se realizează legătura dintre reconstrucția ecologică și managementul ecologic, prima având drept obiectiv refacerea ecosistemului iar cea de a doua conservarea ecosistemului reconstruit.

Din păcate, reconstrucția ecologică este încă într-o măsură foarte însemnată dependentă de obiectivele proprietarilor / administratorilor terenurilor și mai puțin atașată nevoilor reale de refacere, pe baze științifice, a ecosistemelor degradate (Kentula, 2000 [60]).

2.6.2 Principii practice pentru reconstrucția ecologică a zonelor umede

Reconstrucția ecologică, privită ca o reîntoarcere a unui ecosistem degradat la o stare cât mai apropiată de starea sa inițială (NRC 1992), a constituit subiectul multor proiecte implementate, uneori cu rezultatele așteptate, alteori fiind soldate cu eșecuri.

Din proiectele analizate s-au desprins concluzii valoroase, care pot influența în mod pozitiv derularea proiectelor de reconstrucție ecologică din fazele de planificare a lor până la monitoringul postproiect. Aceste principii se concentrează pe aspectele științifice și tehnice dar ca în toate proiectele de mediu, importanța opiniilor și valorilor comunităților locale nu trebuie subestimată. Prezența sau absența suportului publicului pentru un proiect de reconstrucție ecologică poate face diferența între o reușită și un eșec. Aceste principii sunt (USEPA 2000):

- protecția și conservarea zonelor umede;
- reconstrucția integrității ecologice;
- reconstrucția structurii naturale;
- refacerea funcțiilor naturale;
- integrarea în context;
- înțelegerea potențialului natural;
- identificarea cauzelor persistente ale degradării;
- fixarea de obiective de reconstrucție clare,
- realizabile și cuantificabile;
- concentrarea pe fezabilitate;
- utilizarea unei zone de referință;
- anticiparea modificărilor ulterioare;
- utilizarea unei echipe multidisciplinare;
- proiectarea unui sistem autoreglabil;
- reconstrucția speciilor autohtone și evitarea celor alohtone;
- monitorizarea și adaptarea măsurilor, acolo unde schimbările sunt necesare.

2.7 Solurile zonelor umede

Solul zonelor umede reprezintă atât mediul în care au loc majoritatea transformărilor chimice, cât și rezervorul primar de stocare a substanțelor chimice disponibile pentru majoritatea plantelor din zonele umede. Adesea, acest sol este descris ca un sol hidric definit ca solul în care în condiții de nedrenare este saturat / inundat suficient de mult în timpul sezonului de vegetație astfel încât să stimuleze condițiile anaerobe care favorizează creșterea și regenerarea vegetației hidrofile. În general, solul zonelor umede poate fi de două feluri:

- sol mineral (atunci când solul conține mai puțin de 20-35% materie organică).
- sol organic sau solul turbăriilor (numit și histosol).

Solurile organice și substanțele conținute de acestea au fost definite în una din următoarele două condiții de saturare:

- 1) Sunt saturate cu apă pentru perioade de timp mari sau sunt artificial drenate (excluzând rădăcinile vii) dacă:
 - au 18% carbon organic sau chiar mai mult dacă fracția minerală este 60% sau are multă argilă,
 - au 12% sau mai mult carbon organic dacă fracția minerală nu conține argilă,
 - au un conținut de carbon organic între 12-18% dacă conținutul în argilă al fracției minerale este între 0-6%;
- 2) Nu sunt niciodată saturate cu apă pentru mai mult de câteva zile și au 20% sau mai mult carbon organic.

Deși definiția de mai sus se poate aplica la mai multe tipuri de zone umede, de obicei turba nu este definită atât de strict. De exemplu, unii pedologi afirmă că solurile de turbă conțin mai puțin de 20% materie organică care nu arde (prin urmare conțin mai mult de 40% carbon organic), dar alți pedologi acceptă până la 35% materie anorganică necalcinabilă. Orice sol care este definit ca mai sus este considerat ca fiind un sol mineral. Solurile întâlnite în zonele umede au un profil alcătuit din straturi. Stratul superior al solurilor minerale din zonele umede sunt adesea reprezentate de turbă organică formate din plante parțial descompuse.

Diferențe existente între solurile organice și solurile minerale:

a) Solurile organice au o densitate mai mică și o capacitate de reținere a apei mai mare decât o au solurile minerale. Densitatea, definită ca greutatea uscată a substanțelor din sol / unitate de volum, este în general 0,2 - 0,3 g/cm³ când solul este bine descompus, deși solurile turbăriilor acoperite cu mușchi au o densitate între 0,02 - 0,04 g/cm³. În opoziție cu solurile organice, solurile minerale au o densitate care fluctuează între 1 - 2 g/cm³. Densitatea este mai mică în solurile organice datorită porozității mari a solului. Porii ocupă în solurile turboase până la 80% din spațiu și ca urmare conțin apă 80% din volum când sunt inundate. Solurile minerale au de obicei 45-50% din spațiu acoperit cu pori indiferent de cantitatea de argilă sau textură.

b) Solurile minerale, cu excepția argilelor, au o conductivitate hidraulică mai mare decât cea a solurilor organice, deși solurile organice prezintă o conductivitate hidraulică mai cuprinzătoare. Astfel, deși solurile organice rețin o cantitate mai mare de apă, apa trece mai repede prin solurile minerale aflate în aceleași condiții hidraulice.

c) În general, solurile au mai multe substanțe minerale nedisponibile pentru plante decât solurile minerale.

d) Solurile organice au o capacitate mai mare de schimb a cationilor, definită ca suma cationilor schimbați pe care un sol îi poate reține. Creșterea conținutului organic duce la creșterea procentului și cantității de ioni de hidrogen schimbați.

3. PROBLEME GENERALE DE DEZVOLTARE RURALĂ DURABILĂ

3.1 Introducere

Cu cât schimbările mondiale sunt supuse tot mai mult globalizării, cu atât mai mult viitorul zonelor umede sunt direct legat de o dezvoltare durabilă.

Conceptul de dezvoltare durabilă a fost abordat încă din anul 1972 la Conferința de la Stockholm, când oamenii au început să realizeze faptul că degradarea mediului înconjurător este dependentă de bunăstarea omenirii și creșterea economică în general.

Dezvoltare durabilă desemnează totalitatea formelor și metodelor de dezvoltare socio-economică, al căror fundament îl reprezintă în primul rând asigurarea unui echilibru între aceste sisteme socio-economice și elementele capitalului natural. Durabilitatea pleacă de la ideea că activitățile umane sunt dependente de mediul înconjurător și de resurse. Acest concept trebuie să nu redea un proces care să stopeze creșterea economică, așa cum se preconiză în primul raport al Clubului de la Roma și nici să absolutizeze rolul mediului precum o fac asociațiile și partidele ecologiste.

După ce noțiunea de dezvoltare durabilă a fost acceptată pe plan mondial, mesajul ei a fost preluat de Conferința de la Rio-de-Janeiro din 1992. În cadrul acestei conferințe, pentru prima dată s-a angajat o negociere planetară față de schimbările climatice care au loc, pe bază de rațiuni științifice aprig disputate.

Conform Raportului Brundtland prezentat în cadrul Comisiei Internaționale a Mediului și Dezvoltării (U.C.E.D.) în 1987 [136], dezvoltarea durabilă „este cea care satisface cerințele prezentului fără a compromite posibilitățile generațiilor viitoare de a răspunde propriilor nevoi“. Acest tip de dezvoltare include, deci, criteriul de protejare a ecosistemelor, a solului, a aerului și a apei și de conservare a diversității biologice având în vedere necesitățile generațiilor viitoare.

În cadrul unei dezvoltări durabile, cerințele minime care trebuie îndeplinite sunt:

- redimensionarea creșterii economice, având în vedere o folosire cât mai eficientă și mai echitabilă a resurselor astfel încât să se obțină produse de calitate cu deșeuri minime și netoxice;
- creșterea calității vieții oamenilor în condițiile satisfacerii nevoilor esențiale și prin reducerea creșterii demografice necontrolate;
- conservarea calității mediului și a resurselor naturale;
- participare mai fermă a organismelor de guvernare în luarea deciziilor privind economia și mediul.

În urma îndeplinirii acestor cerințe, am putea spune că dezvoltarea durabilă presupune asigurarea unui echilibru între creșterea economică și protecția mediului și, pe această bază, satisfacerea cerințelor nu numai prezente, dar și de perspectivă ale dezvoltării sociale.

Dezvoltarea durabilă urmărește și încearcă să găsească un cadru teoretic stabil pentru luarea deciziilor în orice situație în care se regăsește un raport de tipul om/mediu, fie ca e vorba de mediu înconjurător, economic sau social.

În România există două planuri de dezvoltare și anume: Planul Național de Dezvoltare (PND) 2007-2013 și Planul de dezvoltare pentru agricultura durabilă (PNADR).

3.2 Conceptul de dezvoltare durabilă

În cea ce privește conceptul de dezvoltare rurală durabilă, acesta pune în centrul atenției sale două axe: pe de o parte, dezvoltarea sectorului agricol conform exigențelor de competitivitate, pe de altă parte dezvoltarea spațiului rural ca un cadru coerent și durabil, care să răspundă necesităților variate ale lumii rurale și imperativelor mediului înconjurător. De aceea, politica europeană de susținere a dezvoltării rurale, acordă atenție atât măsurilor de susținere a piețelor agricole cât și măsurilor care vin să întărească coeziunea teritorială, economică și socială.

Definiția generală a conceptului de dezvoltare durabilă are în vedere ca obiectiv general, găsirea optimului interacțiunii dintre cele 4 sisteme: *economic, tehnologic, ambiental* și *uman*. Se impune aici precizarea, că nivelul optim corespunde acelei dezvoltări de lungă durată, care poate fi susținută de cele 4 sisteme menționate anterior.

Cerințele iminime pentru realizarea unei dezvoltări durabile sunt: redimensionarea creșterii economice, având în vedere o distribuție mai echitabilă a resurselor și accentuarea laturilor calitative ale producției; eliminarea sărăciei în condițiile satisfacerii nevoilor sociale pentru locurile de muncă, hrană, energie, locuință, sănătate etc; asigurarea creșterii populației la un nivel acceptabil; întreținerea activității ecosistemelor, supravegherea importanței economice asupra mediului; reorientarea tehnică și punerea sub control a resurselor; descentralizarea formelor de guvernare; creșterea gradului de guvernare la luarea deciziilor privind mediul și dezvoltarea pe plan regional și National.

Conceptul de dezvoltare durabilă a fost adaptat în funcție de specificul fiecărei țări în ultimul deceniu, astfel că în literatura tehnică de specialitate sunt menționate 4 concepte:

1. Conceptul de dezvoltare durabilă;
2. Conceptul de dezvoltare sustenabilă;
3. Dezvoltarea integrată;
4. Dezvoltare spațială.

În România, activitățile economice, pe lângă ancorarea lor în zona durabilului sunt grevate de imperativul integrării economice europene, ceea ce determină conceperea unei strategii de dezvoltare complexă, care să răspundă cerințelor simplist menționate astfel :

- modernizarea infrastructurii;
- dezvoltarea – rurală – urbană;
- dezvoltarea de forme de energie durabilă (energia apei, solară, eoliană, biomasa, etc.) și de tehnologii nepoluante.

Conceptul de dezvoltare durabilă presupune atingerea performanțelor pe următoarele planuri:

1) Pe plan economic, prin creșterea gradului de exploatare și valorificare a resurselor. Prin resurse naturale se înțelege, totalitatea elementelor naturale ale mediului înconjurător ce pot fi folosite în activitatea umană: resurse neregenerabile; resurse regenerabile: aer, apă, sol, floră, fauna sălbatică; resurse permanente: energia solară, eoliană, geotermală, a valurilor.

2) Pe plan ecologic, prin reciclarea deșeurilor, evitarea degradării mediului și reducerea scoaterii terenurilor din spațiul agricol, depozite ecologice de deșeuri.

3) Pe plan social, prin creșterea numărului locurilor de muncă, practicarea unor meserii tradiționale și atragerea populației în păstrarea mediului.

3.3 Politici și strategii de dezvoltare rurală

Principalele norme care reglementează politică de dezvoltare rurală pentru perioada 2007-2013, precum și măsurile politice de care dispun statele membre și regiunile, sunt prevăzute în Regulamentul (CE) nr. 1698/2005 al Consiliului [135].

În baza acestui act, politica de dezvoltare rurală pentru perioada 2007-2013 se concentrează pe trei teme (cunoscute sub numele de „axe tematice”). Acestea sunt:

- Axa 1: ameliorarea competitivității agriculturii și silviculturii prin susținerea restricțiilor, inovării și dezvoltării;
- Axa 2: îmbunătățirea mediului înconjurător a zonelor rurale prin intermediul sprijinului pentru managementul terenurilor (inclusiv acțiunile de dezvoltare rurală legate de programul Natura 2000);
- Axa 3: îmbunătățirea calității vieții în zonele rurale și promovarea diversificării activităților economice prin măsuri care au ca obiectiv sectorul agricol și alte zone rurale (cunoscută și sub numele de dezvoltare rurală extinsă).

Pentru o abordare echilibrată a politicii, statele membre și regiunile au obligația de a aloca finanțarea disponibilă pentru dezvoltarea rurală în funcție de aceste trei axe tematice.

O cerință suplimentară constă în faptul că o parte din finanțare trebuie să sprijine proiecte bazate pe experiența dobândită prin inițiativele de comunitate Leader (Figura 17).

„Abordarea Leader” în domeniul dezvoltării durabile, implică proiecte extrem de individualizate, elaborate și puse în practică de parteneriate locale, în vederea soluționării problemelor locale specifice.

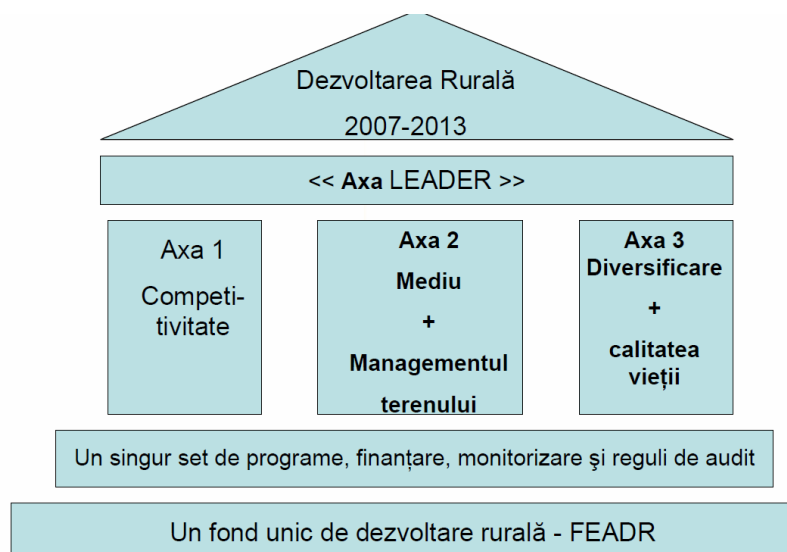


Figura 17. Cele trei obiective majore ale dezvoltării rurale (Bruxelles 16 septembrie 2009)

La fel ca înainte de 2007, toate statele membre (sau regiunile, în cazul în care puterile sunt delegate la nivel regional) trebuie să stabilească un program de dezvoltare rurală, care să precizeze în mod clar care sunt măsurile care vor fi finanțate în perioada 2007-2013.

Pentru această perioadă, se pune și mai mult accentul pe existența unei strategii coerente pentru dezvoltarea rurală la nivelul UE. Aceasta se realizează cu ajutorul planurilor naționale strategice care trebuie să se bazeze pe orientările strategice ale UE.

Strategia României în protecția mediului (PM) și a dezvoltării durabile, este un proiect comun, al guvernului României prin Ministerul Mediului și al Dezvoltării Durabile și al

programei Națiunilor Unite prin centrul CNDD aprobat de Guvern prin HG 305 din 15.04.1999 [146].

Strategia PM a fost elaborată și aprobată în 1995, fiind publicată în cadrul programului PHARE, mai târziu în 1999 Guvernul României a aprobat strategia pentru dezvoltare durabilă.

În 2001, programul de guvernare stipulează măsuri și acțiuni concrete, care vizează ocrotirea și asigurarea unui mediu curat și sănătos pentru toți locuitorii, respectându-se în principal obiective din programul Național pentru PM.

Modificările care au intervenit în evoluția calității factorilor de mediu, modificările survenite în starea economico - socială a țării în ultimii ani, activitățile de elaborare a unor strategii sectoriale, noile convenții și acorduri internaționale la care România a luat parte, documentele și reglementările pe plan regional și internațional pe probleme de mediu au făcut necesară an de an actualizarea strategiei naționale de PM în România. Astfel, strategia națională de PM, ca și alte strategii are un caracter dinamic.

Principiile generale care au stat la baza elaborării strategiei de PM în România sunt:

- conservarea și îmbunătățirea condițiilor de sănătate ale oamenilor;
- dezvoltarea durabilă;
- evitarea poluării prin măsuri preventive;
- conservarea diversității biologice și reconstrucția ecologică a sistemelor deteriorate;
- conservarea moștenirii valorilor culturale și istorice;
- principiul „poluatorul plătește“;
- stimularea activității de redresare a mediului.

3.4 Priorități de dezvoltare rurală în România

Din punct de vedere al perspectivei europene, dezvoltarea rurală în România, trebuie condusă în acord cu politica europeană în domeniu, cu accent pe promovarea potențialelor locale și a avantajului competitiv și dezvoltarea performanțelor economice ale „actorilor implicați”.

Dezvoltarea rurală în România a fost împărțită pe categorii de prioritate, pe termen scurt, mediu și lung.

Prioritatea politici agricole pe termen scurt, se bazează pe „focalizarea politicii economice, în speță a politicii agricole, pe crearea și consolidarea determinantilor fundamentali ai competitivității”[33]. Asta înseamnă adoptarea unor măsuri de ameliorare a mediului concurențial, a potențialului economic și a comportamentului agenților economici, pe două axe de acțiune și anume:

- mutarea accentului de la politicile intervenționiste la cele structurale, pentru formarea și dezvoltarea piețelor concurențiale;
- transferarea accentului de la o politică exclusiv agricolă la adoptarea unei politici de dezvoltare rurală reală, care să ducă la dezvoltarea spațiului rural ca alternativă socio-cultural-economică viabilă a spațiului urban.

Prioritățile pe termen mediu și lung au în vedere transformarea și modernizarea sectoarelor de producție și de prelucrare în agricultură și silvicultură, menținerea și consolidarea calității mediului rural și asigurarea unor condiții economice și sociale adecvate pentru populația rurală.

3.5 Managementul integrat și dezvoltarea durabilă a zonelor umede

Un **sistem integrat de management** reprezintă o abordare managerială logică și sistematică ceea ce permite luarea de decizii strategice și operaționale optime care iau în considerare toate aspectele esențiale ce conduc la funcționarea eficientă unei organizații, atât din punct de vedere al calității cât și al mediului sau siguranței și sănătății ocupaționale etc.

În ultimul secol managementul apei din mediul rural s-a axat aproape exclusiv pentru irigații—acolo unde culturile agricole erau în lipsă de apă și pentru drenaj în cazul terenurilor afectate de exces de umiditate.

Specialiști din domeniu, din țări aflate în diferite stadii de dezvoltare, au avut și încă mai au viziuni diverse în ceea ce privește dezvoltarea resurselor hidrologice și a managementul apei (ICID, Publ. 95/2008).

Ca urmare, încă de la începutul actualului secol, s-au diversificat și globalizat o serie de acțiuni și programe care au ca direcție centrală apa - apă pentru viață, apă pentru dezvoltarea omenirii, apă pentru sănătatea oamenilor și a mediului înconjurător.

Organizația Națiunilor Unite—ONU a adoptat ca deceniul 2005—2015 să fie „Deceniul internațional de acțiune Apa pentru viață”, în prezent fiind în plină desfășurare.

Pentru managementul integrat al resurselor de apă comunitatea internațională a recomandat guvernelor aplicarea următoarelor principii:

- principiul bazinal—resursele de apă se formează și se gospodăresc în bazine hidrografice;
- principiul gospodăririi unitare cantitate-calitate—cele două laturi ale gospodăririi apelor fiind în strânsă legătură, apare ca necesară o abordare unitară care să conducă la soluții tehnico—economice optime pentru ambele aspecte;
- principiul solidarității - planificarea și dezvoltarea resurselor de apă presupune colaborarea tuturor factorilor implicați în sectorul apelor: statul, comunitățile locale, utilizatorii, ONG-urile;
- principiul "poluatorul plătește" – toate cheltuielile legate de o poluare produsă diverșilor utilizatori de apă și mediu este suportată de cel care a produs poluarea;
- principiul economic - beneficiarul plătește – apa are o valoare economică în toate formele ei de utilizare și trebuie să fie recunoscută ca un bun economic;
- principiul accesului la apă – în virtutea acestui principiu, este vital să recunoaștem că dreptul fundamental al ființei umane este de a avea acces la apă curată și suficientă, la un preț adecvat.

Toate aceste principii fundamentează conceptul de management integrat al resurselor de apă care îmbină problemele de utilizare a apei cu cele de protecție a ecosistemelor naturale prin integrarea la nivel bazinal a folosințelor de apă.

Conceptul de management integrat al resurselor de apă presupune, în contrast cu gospodărirea tradițională a resurselor de apă, o abordare integrată a acestora atât la nivel fizic și tehnic cât și la nivel de planificare și management. Nivelul de integrare este bazinul hidrografic, unitatea naturală de formare a resurselor de apă.

Cele mai importante aspecte ale dezvoltării sistemului resurselor de apă sunt următoarele:

- durabilitatea aspectelor fizice – ceea ce înseamnă menținerea circuitului natural al apei și a nutrienților;

- durabilitatea mediului – „toleranța zero” pentru poluarea care depășește capacitatea de autoepurare a mediului. Nu există efecte pe termen lung sau efecte ireversibile asupra mediului;
- durabilitatea socială – menținerea cerințelor de apă precum și a dorinței de a plăti serviciile de asigurare a resurselor de apă;
- durabilitatea economică – susținerea economică a măsurilor care asigură un standard ridicat de viață din punct de vedere al apelor pentru toți cetățenii;
- durabilitatea instituțională – menținerea capacității de a planifica, gestiona și opera sistemul resurselor de apă.

Managementul integrat al resurselor de apă presupune: integrarea sistemului resurselor naturale de apă; integrarea infrastructurii de gospodărire a resurselor de apă în capitalul natural; Integrarea folosințelor de apă; integrarea amonte – aval; integrarea resurselor de apă în politicile de planificare.

Managementul integrat al resurselor de apă are la bază, în conformitate cu prevederile Directivei Cadru 2000/60 a Uniunii Europene, Planul de Management al bazinului hidrografic. Pe baza cunoașterii stării corpurilor de apă, acest Plan stabilește obiectivele țintă pe o durată de șase ani și propune la nivel de bazin hidrografic măsuri pentru atingerea stării bune a apelor în vederea utilizării durabile a acestora.

4. PRACTICI DE MANAGEMENT DE DRENAJ-AMENAJAREA ZONELOR UMEDE

4.1 Istoria de dezvoltare a zonelor umede

Zonele umede rezultă din umplerea de golfurilor, de depresiunilor și a lucrărilor de îndiguire. Pentru mlaștinile sărate, îndiguirile au fost realizate încă din Evul Mediu. Mlaștinile au constituit obiectul de îndiguire colectiv doar după secolul al XV-lea.

Zonele umede au fost desecate pentru motive:

- Economice: câștig de teren exploatabil;
- Practice: diminuarea dificultăților de traversare;
- Control al bolilor: malaria;
- Fiziologic: lipsa de cunoaștere a zonele umede au dus la perceperea lor ca fiind terenuri ostile, fiind subiectul unor legende malefice și a numeroase mituri.

Primele lucrări de desecare au fost realizate între secolele VIII–XVII. În general, aceste lucrări erau efectuate sub impulsul mănăstirilor care căutau resurse suplimentare (cereale, pești, carne, lemn, etc.).

Studiile de caz realizate de către OCDE (Royaume.Uni compus de Marea Britanie și Irlanda de Nord, Statele–Unite, Franța și Spania) subliniază dispariția continuă a zonelor umede datorită lucrărilor de desecare pentru a face loc lucrărilor agricole, dar și datorită urbanizării.

În România, lucrările de drenaj fac parte din lucrărilor de îmbunătățiri funciare. Îmbunătățirile funciare sau ameliorațiile agricole sau hidroameliorațiile reprezintă știința care are ca obiect studierea teoretică și aplicarea în practică a ansamblului de proceduri tehnice și biologice, de măsurători complexe, lucrări și intervenții tehnice adecvate pentru valorificarea în folosul agriculturii a unor terenuri impropriei sau slab productive pentru crearea sau menținerea unui raport favorabil între apă, sol și culturi pe terenuri cu deficit sau exces de apă precum și prevenirea și combaterea erodării solului în vederea conservării sale.

Lucrările de drenaj ocupă un loc deosebit prin implicațiile pe care le are asupra evoluției și calității solurilor. Suprafața amenajată cu lucrări de desecare din administrația ANIF (Administrația Națională a Îmbunătățirilor Funciare) a țării noastre este de 3.085.895 ha [131]. Figura 18 prezintă zonele de desecare de pe teritoriul României.

4.2 Definirea termenilor drenaj și amenajare

Termenul de drenaj și de amenajare nu au aceeași semnificație pentru fiecare țară. Englezi folosesc pentru amenajarea agricolă și drenaj termenul de "drainage".

A) *Amenajare agricolă ("areal drainage" în engleză)*

Amenajarea agricolă este definită ca fiind o acumulare de apă grupată natural sau ca urmare a drenajului, până la rețeaua hidrografică naturală.

B) *Drenajul ("field drainage" în engleză)*

Desecare și drenajul, au drept scop prevenirea și înlăturarea excesului de umiditate de la suprafața terenului din sol, în vederea asigurării condițiilor favorabile de utilizare a

terenurilor. Aceste amenajări cuprind lucrări de colectare, de transport și de evacuare în emisar a apei în exces, conform legii 137/2004 [139].

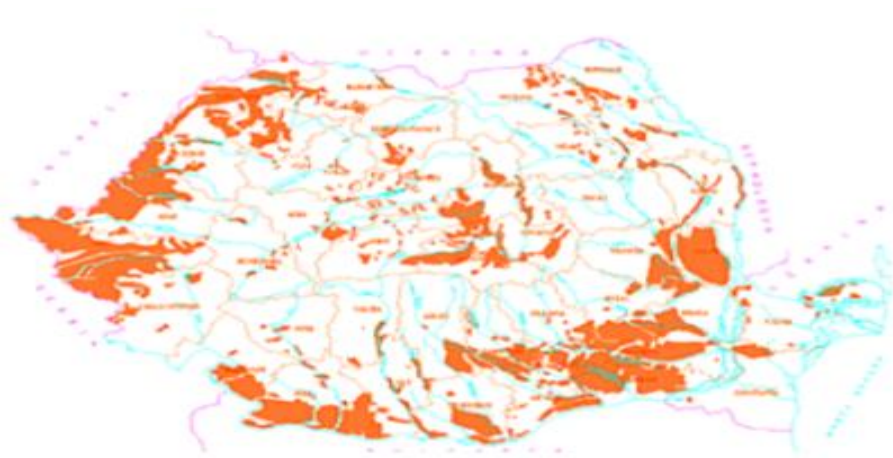


Figura 18. Zonele de desecare din România [50]

Drenajul agricol în sine cuprinde toate lucrările efectuate pe o parcelă agricolă (drenuri), în timp ce amenajarea agricolă are în vedere doar lucrările de transfer de apă de pe o parcelă la emisar (canale, cursuri de apă, rigole) (Figura 19).

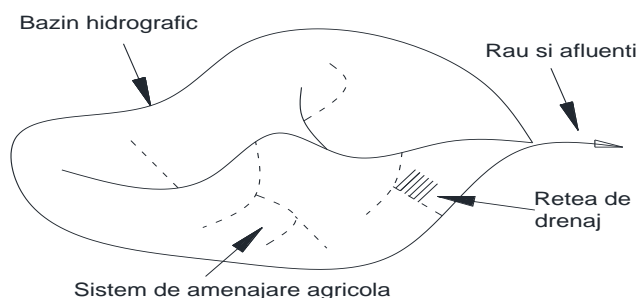


Figura 19. Schemă de drenaj și de amenajare agricolă (Sursă: Lesaffre et arlot, 1991 [62])

4.3 Descrierea lucrărilor practice de drenaj

Tehnicile de drenaj cuprind drenajul de suprafață, drenajul subteran și drenajul controlat:

a) Drenaj de suprafață se ocupă cu evacuarea excesului de umiditate de pe suprafața terenului și în stratul superficial de sol. Acest tip de drenaj se realizează printr-o rețea de canale deschise de colectare și evacuare, prin lucrări de nivelare în pantă sau de modelare a terenului, prin drenaj cârțiță, prin lucrări agrotehnice adecvate și prin adâncirea rețelei hidrografice de colectarea a apelor. Acest tip de drenaj consistă de asemenea în limitarea infiltrației apei de ploaie. Figura 20 prezintă schema drenajului de suprafață.

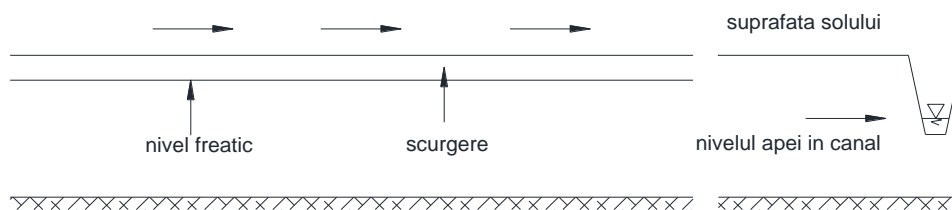


Figura 20. Drenaj de suprafață [Man 2010, [86]]

b) Drenaj subteran cuprinde lucrări având drept scop controlul nivelului apei freatice sau excesul de apă din profilul de sol, folosind cu precădere tuburi perforate, îngropate, numite drenuri. Nivelul apei freatice poate fi coborât până la o adâncime care să nu influențeze în mod negativ dezvoltarea plantelor și evoluția solurilor. Figura 21 prezintă schema drenajului subteran.

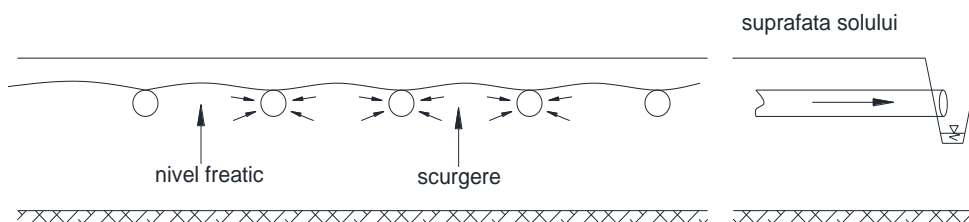


Figura 21. Drenaj subteran

În funcție de modul de captare, conducere și evacuare a apei în exces, drenajul subteran se clasifică în:

- drenaj orizontal – constă într-o rețea de drenuri absorbante și colectoare care preiau și transportă apa gravitațional în canale deschise de evacuare sau direct în emisar, drenurile absorbante pot fi înlocuite cu o rețea de canale deschise;
- drenajul vertical sau prin puțuri – se compune dintr-o serie de puțuri absorbante și colectoare, care asigură coborârea nivelului apei freatice din raza de acțiune prin colectarea și evacuarea apei în exces gravitațional (în straturi acvifere libere, profunde) sau prin pompare; coborârea nivelului apei freatice se poate utiliza numai atunci când apa pompată se folosește la irigații, când înălțimea de pompare nu este mare, iar debitul stratului acvifer este ridicat;
- drenajul mixt – reprezintă o combinație între drenajul orizontal și cel vertical, aplicând fiecare tip pe suprafețele cele mai favorabile, în funcție de eficacitate și costurile de execuție și exploatare.

c) Drenajul controlat regularizează nivelul freatic prin mijloace de pompare, stăvilare, drenuri de control ale acestora prin menținerea nivelului freatic la o adâncime corespunzătoare favorabilă dezvoltării culturilor. Figura 22 prezintă schema drenajului controlat.

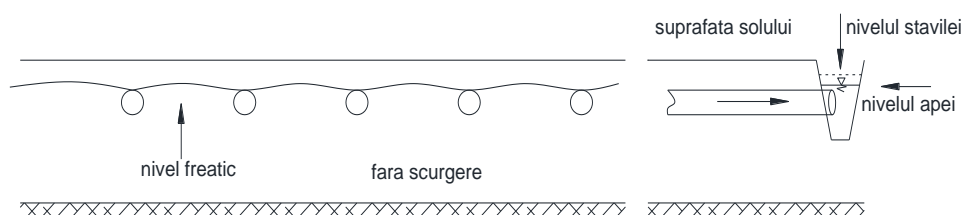


Figura 22. Drenaj controlat

Această clasificare descrie diferitele aspecte ale unui sistem de control al nivelului freatic. Acesta se instalează pentru a îmbunătăți condițiile din profilul de sol în vederea creșterii plantelor, a îmbunătățirii calității apei, regularizarea și managementul apelor pentru irigații și drenaje, îmbunătățirea eficienței apelor din precipitații, reducerea necesarului de apă pentru irigații, reducerea scurgerilor de apă dulce către zonele cu salinitate mare, etc.

Prin aplicarea acestor lucrări asupra nivelului freatic, el poate fi coborât sub zona rădăcinilor pe durata perioadelor umede (drenaj), de asemenea poate fi menținut la o anumită adâncime (drenaj controlat), și ridicat pe durata perioadelor secetoase (prin procesul de

subirigație). Operațiile de dirijare a apelor oferă o adâncime variabilă între valorile maxime respectiv minime admise și valoarea dorită de către beneficiari.

Conform tipului de zonă umedă, practicile de drenaj sunt diferite astfel:

- terasele mlăștinoase se caracterizează prin soluri neconsolidate, aceste nu sunt drenate deoarece solul prezintă o stabilitate foarte mică;
- tipurile de marea amenajate printr-o rețea de drenaj de suprafață, cu ajutorul rigolelor. Aceste marea sunt caracterizate de soluri foarte sodice sau de soluri organice de tip mlăștinos; problemele tehnice observate sunt în cazul amplasării tuburilor îngropate în aceste soluri.

Pentru aceste tehnici de drenaj în 2007 (Man et al., [84]) au realizat un îndrumător cu probleme de drenaje, calcul și experimente.

4.4 Tipurile de drenaj

Tipurile de drenaj sunt diferite în funcție de zonele umede. Absența datelor statistice nu ne permite determinarea importanței relative.

În funcție de informațiile obținute în urma unor anchete făcute de către agricultori, cercetători, consilieri agricoli și protectori ai naturii am putut estima distribuția tipurilor de drenaj conform tipului de zonă umedă.

Tabel 3. Tipuri de drenaje în zonele umede:

| ZONE UMEDE | Pedologie | Tip de drenaj | |
|------------------------|-------------------------------------|---------------|--------------------|
| | | Rigole | Conducte îngropate |
| Marine și de coastă | | | |
| - Terasele mlăștinoase | Soluri minerale brute | 0 | 0 |
| - Poldere | Soluri cu formațiuni de gresie | + | +++ |
| ○ Mlaștini drenate | Argile în medie sodice | ++ | +++ |
| | Argile foarte sodice | +++ | + |
| | | +++ | ++ |
| ○ Mlaștini umede | Soluri organice foarte puțin saline | | |
| Continentală | | | |
| - Aluviale | Terase de aluviuni impermeabile | + | +++ |
| | | +++ | + |
| - Lacustre | Soluri organice | 0 | ++ |
| | Soluri minerale impermeabile | | |

Legendă: 0 – reprezintă numărul de lucrări efectuate în zona umedă,
+, ++, +++ reprezintă frecvența de apariție a tipului de drenaj.

Zonele umede care sunt cel mai mult supuse lucrărilor de drenaj subteran sunt polderele, mlaștinile drenate, mlaștinile aluviale, și din ce în ce mai mult mlaștinile lacustre.

4.5 Infrastructura rurală din intravilan, intravilanul extins și extravilanul zonele umede

Infrastructura rurală din intravilan și extravilanul zonelor cu exces de umiditate (zone umede) poate fi clasificată în funcție de originea excesului de umiditate, în lucrări de suprafață, de subsuprafață și de adâncime.

În cazul zonelor de suprafață pot fi realizate canale deschise, lucrări de afânare, modelare sau nivelare;

Tipurile de canale deschise, schema rețelei de canale de desecare deschise și amplasarea acestora depind de mărimea suprafeței cu exces de umiditate, sursă și mărimea excesului, de relieful terenului supus desecării, de folosința și organizarea teritoriului, și când este cazul, de rețeaua de irigație.

În funcție de sursa excesului de umiditate, rețeaua de canale de desecare deschise (Figura 23) este alcătuită din rețea de colectare și evacuare a apelor în exces provenite din precipitațiile căzute pe suprafața de desecat, rețeaua de colectare a apelor din scurgeri de suprafață de pe terenurile învecinate mai înalte, rețeaua de colectare a apelor în exces provenite din irigații, rețeaua de colectare a apelor de infiltrație prin diguri și pe sub diguri, rețeaua de colectare a apelor în exces provenite de la amenajările piscicole.

Evacuarea apelor în exces provenite din precipitații poate fi desecată folosind o rețea de colectare alcătuită din canale terțiare, canale secundare, principale și canale colectoare de evacuare, care au în general secțiunea transversală trapezoidală și nu sunt impermeabile.

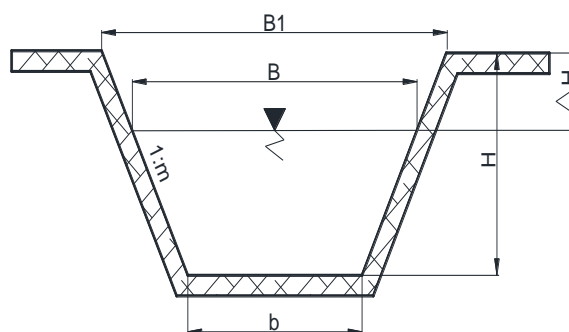


Figura 23. Canal de desecare deschis

Lucrările de afânare sunt lucrări agricole în urma cărora spațiile lacunare (intergranulare) ale solului se măresc, acestea căpătând o stare fizică ce permite circulația aerului și a apei printre particulele componente. Afânarea este produsă fie pe cale naturală, prin activitatea faunei, fie de către om, cu unelte și mașini agricole. Un rol important în creșterea gradului de afânare a solului îl joacă râma (*Lumbricus terrestris*), care contribuie pe această cale la intensificarea proceselor biologice din sol și implicit la sporirea fertilității lui. Lucrările de afânare pot fi clasificate în funcție de natura excesului de umiditate și anume:

- de adâncime, atunci când este determinat de prezența apei freactice în profilul de sol sau imediat sub acesta;
- de suprafață, când este determinat de stagnarea temporară a apei din precipitații în stratul superior al solului, sau chiar la suprafața acestuia, ca urmare a prezentei în profilul solului a unui strat compact și mai puțin permeabil;
- de inundație, fiind datorat revărsării diferitelor cursuri de apă sau acumulării de apă din scurgerile de pe versanți.

Cele trei forme menționate pot fi întâlnite separat, asociate sau combinate între ele, în raport cu factorii locali care le determină. Pe terenurile neinundabile, excesul combinat de umiditate poate fi estimat dacă se cunoaște folosința, adâncimea apei freatică și intensitatea excesului de umiditate de suprafață.

În cazul terenurilor cu risc de inundație estimarea excesului de umiditate se poate efectua printr-o regulă de pedotransfer simplă, dacă se cunoaște forma de relief, intensitatea sau frecvența posibilelor inundații și intensitatea excesului de umiditate combinat (de adâncime și suprafață).

În zonele de subsuprafață se pot realiza drenaje cârțiță, drenaje cârțiță plus afânare adâncă;

Zonele de adâncime, cuprind: drenajul orizontal închis cu tuburi de ceramică sau plastic, drenajul încrucișat și drenajul vertical.

Sistemele de desecare - drenaj cuprind: totalitatea rețelelor închise sau deschise (de regularizare, colectare și evacuare), a construcțiilor, instalațiilor și rețelelor de drumuri, care realizează:

- reglarea regimului aero-hidro-termic;
- colectarea, conducerea și evacuarea apelor de suprafață în exces;
- împiedicarea apelor externe de suprafață și adâncime să pătrundă în zonele desecate;
- asigurarea funcționării căilor de acces și de exploatare hidrotehnică și agricolă a suprafețelor amenajate.

În cadrul zonelor umede, lucrările hidrotehnice și hidroameliorative care pot fi realizate sunt cele de control al apei. Una din aceste lucrări este aceea de reglare a debitului cu ajutorul stăvilarelor. Proiectarea unei astfel de lucrări trebuie făcută ținând cont de următorii factori:

- culturile existente deoarece ele influențează norma de drenaj și implicit modul de evacuare a excesului de apă;
- înălțimile zonelor joase care influențează nivelul maxim al apei care poate fi tolerat pe durata bilanțului apei;
- înălțimile zonelor înalte care influențează nivelul minim al apei.

Debitul stăvilărilor se calculează conform ecuației următoare[50]:

$$Q = CLH^{3/2} \quad (14)$$

unde:

Q reprezintă capacitatea stăvilărilor în m³/s;

L reprezintă lungimea stăvilărilor în m;

H reprezintă înălțimea lamei de apă deasupra crestei stăvilărilor măsurată într-un punct la minim 4H în amonte de stăvilărilor;

C reprezintă coeficientul pentru scurgerea în stăvilărilor.

Pe lângă aceste lucrări mai pot fi realizate drumuri, diguri, stații de pompare care au în vedere dezvoltarea durabilă a acestor zone.

4.6 Debitul de drenaj

4.6.1 Bilanțul apei (probleme generale)

Determinarea debitului specific (q_{sp}) are în vedere întocmirea bilanțului apei în sol. Calculul realizat se face la o asigurare de 5% stabilindu-se pierderile de recoltă în funcție de numărul de zile de inundație [86].

Bilanțul apei în sol se calculează pe un șir de 20–25 de ani, cuprinzând perioade anuale de exces de umiditate (2–3 luni/an). Calculul constă în evaluarea volumului de apă în exces care trebuie evacuat. Mărimea excesului de apă și perioadele din an în care el se produce pot fi determinate prin metoda bilanțului apei, atunci când se dispune de date pe o perioadă îndelungată de timp.

Ecuția de calcul a bilanțului apei este următoarea:

$$V_e = R_i + IOP + A_f + A_s - \Sigma(e + t) \quad (15)$$

unde:

V_e – cantitatea de apă în exces ce trebuie evacuată prin sistemul de desecare, în m^3/ha ;

R_i – rezerva de apă în sol la începutul perioadei considerate în m^3/ha ;

P – precipitațiile căzute în perioada considerată în mm;

A_f – alimentarea stratului activ al solului cu apă freatică în m^3/ha ;

A_s – afluxul de ape străine în m^3/ha ;

$\Sigma(e+t)$ – consumul de apă prin evapotranspirația în m^3/ha ;

Bilanțul apei se întocmește lunar pentru fiecare an și decadal pe perioada de vegetație.

Frecvența apariției a excesului de umiditate se calculează pentru fiecare lună din șirul de ani analizați, reținând cazurile când în stratul activ al solului se realizează valori ale umidității mai mari decât capacitatea de câmp pentru apă. (Figura 24).

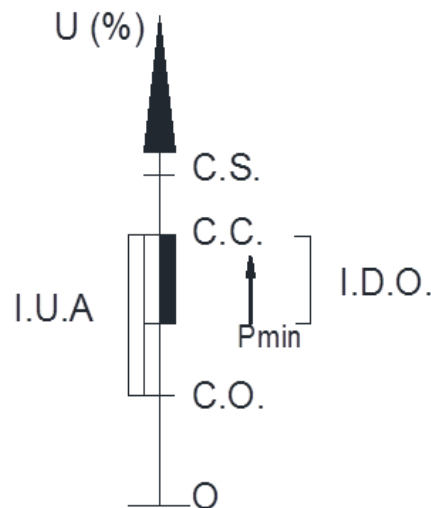


Figura 24. Intervalul umidității active

unde:

C.S. – capacitate de saturație;

C.C. – capacitate de câmp;

P_{min} – intervalul de dezvoltare optim;

C.O. – coeficient de ofilire;

I.U.A. – interval de umiditate activ.

De asemenea, se calculează durata intervalelor cu exces de umiditate și mărimea acestora, precum și valorile de o anumită asigurare (50 %, 10 %, 5 %, 3 % și 1 %). Din curba de asigurare se alege valoarea V_e (cantitatea de apă în exces ce trebuie evacuată prin sistemul de desecare) pentru drenaj corespunzător asigurării de 5 %.

În cazul în care nu dispunem de datele necesare din anuarele hidro-meteorologice pe ultimii 25 de ani, calculul se poate face printr-o metodă simplificată pe baza relației:

$$V_e = 10 \cdot P \cdot \sigma \quad (16)$$

unde:

P – precipitațiile în mm;

σ – coeficient de scurgere în funcție de modul de folosință al terenului, panta generală a acestuia, și textura solului.

Valorile coeficientului σ pot fi calculate și cu relația:

$$\sigma = \frac{P - (F + z)}{P} \quad (17)$$

unde:

F – este cantitatea de apă infiltrată în sol în timpul procesului de scurgere în mm;

z – este apa reținută la suprafața solului în mm;

P – ploaia de calcul care se poate determina cu relația în mm;

$$P = a t^b \quad (18)$$

unde:

t – durata ploii;

a și b – coeficienți care depind de caracterul climatic al zonei;

Se observă că relația lui $P = a t^b$ reprezintă corelația dintre P (mm) și durata t în (ore, zile), corelație care se numește și probabilitate climatică. Valorile a și b pot fi determinate ca fiind variația $\log P$ în funcție de t (Figura 25).

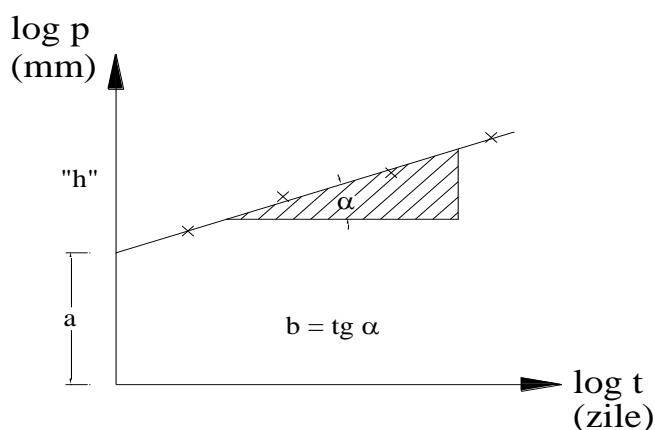


Figura 25. Variația $\log P$ funcție de $\log t$

Metoda standard din țara noastră, pentru determinarea debitului de desecare, constă în însumarea debitelor provenite din cele șapte surse și anume:

- Debitul specific provenit din precipitații;
- Debitul specific provenit din precipitațiile căzute în zona înaltă limitrofă;
- Debitul specific provenit din stratul freatic aflat la mică adâncime;
- Debitul specific al afluxului subteran din versanții limitrofi;
- Debitul de evacuat din sistemele de irigații;
- Debitul provenit din infiltrații prin și pe sub dig în zonele apărate;
- Debitul de evacuare din amenajărilor stuficole și piscicole aferente.

În cadrul acestei teze descriem doar debitelor de desecare - drenaj din precipitații. În subcapitolul următor explicăm metodele de calcul ale debitului de desecare – drenaj și calculul economic al acestuia.

4.6.2 Determinarea debitelor de desecare-drenaj din precipitații

Pentru a determina debitul sistemelor de desecare – drenaj este necesară cunoașterea planului de situație al terenului ce urmează a fi amenajat, orografia acestuia, datele hidrologice, vecinătățile. Prima etapă în vederea determinării debitului de desecare drenaj din precipitații implică calculul rezervei de apă din sol (R_u) la umiditatea U (%). Aceasta se calculează cu relația:

$$R_u = 10000 \cdot H \cdot \gamma_v \cdot \frac{U(\%)}{100} \quad (19)$$

unde:

- R_u – rezerva de apă în m^3/ha ;
- H – adâncimea stratului activ de sol în m;
- γ_v – greutatea specifică a solului în t/m^3 ;
- $10000 H \cdot \gamma_v$ - greutatea volumului de sol considerat;

Rezultă:

$$R_u = 10000 \cdot H \cdot \gamma_v \cdot U \quad (20)$$

În România conform legislației, metode de calcul a debitului specific de desecare-drenaj din precipitații se poate realiza conform a două metode:

- Prin metoda capacității de absorbție a apei în sol și de înmagazinare a apei în canalul de desecare (Metoda grafică) - pentru canalele de desecare de ultimul ordin (denumite și terțiare sau de ordinul III);
- Prin metoda dinamicii scurgerii - pentru canale de evacuare, principale (de ordinul I) și secundare (de ordinul II).

1) Metoda capacității de absorbție a apei în sol și de înmagazinare a apei în canalul de desecare (Metoda grafică)

Este specifică la dimensionarea canalelor de ultim ordin (III) sau denumite canale terțiare amplasate la o densitate medie de 400 m, având lungimea între 1000 – 1500 de metri. Suprafața desecată este între 40 și 60 de hectare.

Această metoda presupune că volumul precipitațiilor ce cad peste capacitatea de absorbție și înmagazinare a apei se va scurge pe suprafața solului către canalul de desecare, numai cantitatea rămasă după satisfacerea capacității de absorbție și înmagazinare a apei în sol.

Pentru aplicarea metodei este necesară cunoașterea capacității de înmagazinare a apei în sol, și a precipitațiilor maxime înregistrate în cinci zile consecutive cu asigurarea de 5 %.

Capacitatea de înmagazinare a apei în sol (C_i) poate fi determinată cu relația:

$$C_i = 100 \cdot \gamma_v \cdot H \cdot (C_s - p_{min}) \quad (21)$$

unde:

C_s – capacitate de saturație a solului;

Având în vedere că din precipitațiile maxime căzute în intervalul de cinci zile consecutive, o parte se pierde prin evaporație la suprafața solului, astfel se pleacă de la cunoașterea diferenței dintre precipitații și evaporație ($P-E$)

Pentru determinarea debitului maxim conform acestei metode, trebuie parcurse următoarele etape de calcul:

1. se reprezintă grafic dependența $P - E = f(t)$ folosind informațiile oferite de datele de bază, obținând astfel în graficul din Figura 26 curba 1;

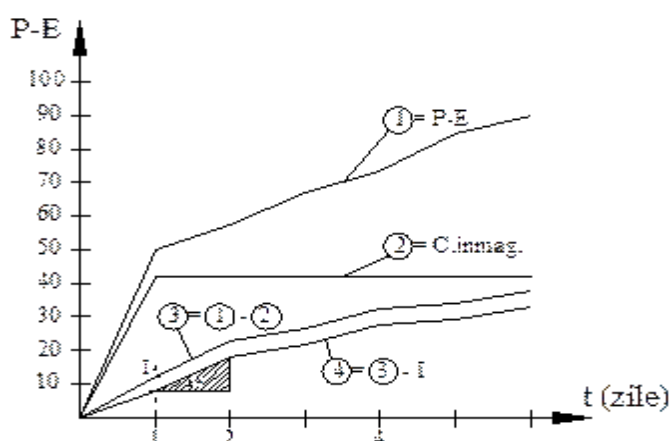


Figura 26. Reprezentarea grafică a modului de calcul, a debitului specific din precipitații prin metoda grafică.

2. considerându-se că solul ajunge la capacitatea de înmagazinare (la umiditatea corespunzătoare C_s) la începutul zilei a doua, se reprezintă pe grafic curba 2.;

3. cantitatea de apă care se scurge la suprafața solului este reprezentată de diferența dintre P-E și apa înmagazinată în sol. Pe grafic această cantitate va fi reprezentată prin curba 3 obținută prin scăderea valorilor curbei 2 din valorile curbei 1;

4. din cantitatea de apă ajunsă în canalul de desecare considerat, o parte este înmagazinată în secțiunea canalului și numai cantitatea rămasă este evacuată către canalele de ordin superior și apoi către emisar;

Cunoscându-se elementele secțiunii trapezoidale ale canalului de desecare considerat (Figura 27), se determină suprafața în transversală din secțiune în care se înmagazinează apa:

- înălțimea de înmagazinare a apei

$$H_{\text{înmag}} = N_{\text{max}} - N_{\text{min}} \quad (22)$$

unde:

N_{min} – nivelul minim de drenaj;

N_{max} – nivelul maxim de înmagazinare a apei;

Nivelul maxim de desecare corespunde capacității totale de evacuare a canalului C_{Te} mai puțin garda de siguranță Δh , care este de aproximativ 30 cm.

$$N_{\text{max}} = C_{Te} - \Delta h \quad (\Delta h \sim 0,3 \text{ m})$$

unde:

C_{Te} – cota terenului;

ΔH – înălțimea de siguranță (garda canalului).

Nivelul minim al suprafeței de înmagazinare a apei este dat de capacitatea de transport inițială a canalului care asigură norma de drenaj a drenurilor absorbante cu descărcare în canal:

$$N_{\text{min}} = C_{Ti} - (z + h + iB + 0.1) \quad (24)$$

unde:

C_{Ti} – cota nivelului asigurării capacității de transport inițială (la nivelul minim de drenaj);

h – pierderea de sarcină la mișcarea apei prin sol către drenul absorbant sau colector;

z – norma de drenaj care depinde ca valoare de cultura din zonă;

B – lungimea drenului;

i – panta longitudinală a drenului

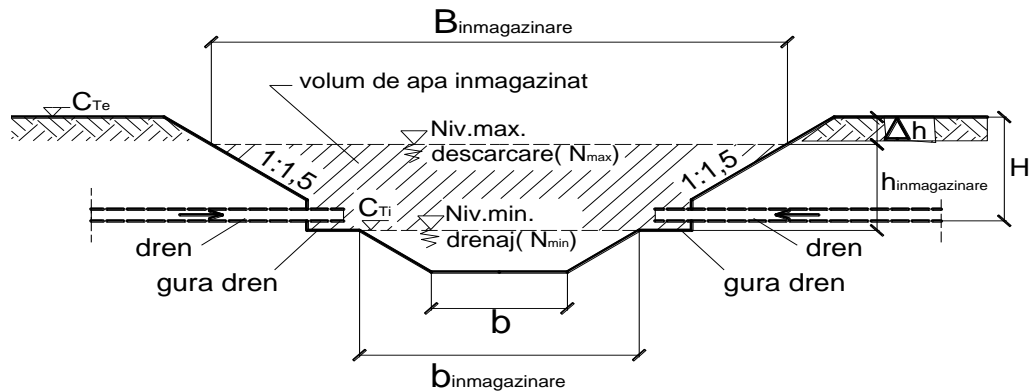


Figura 27. Secțiunea transversală prin canalul de desecare cu evidențierea ariei și volumului de înmagazinare.

Aria de înmagazinare a apei în secțiunea canalului (în m^2) este:

$$\omega_{inmag} = \frac{(b_i + B_i)h_i}{2} \quad (25)$$

unde:

b_i – baza mică, corespunzătoare nivelului minim N_{min} ;

B_i – baza mare, corespunzătoare nivelului maxim N_{max} ;

h_i – înălțimea trapezului secțiunii de înmagazinare, $h_i = N_{max} - N_{min}$;

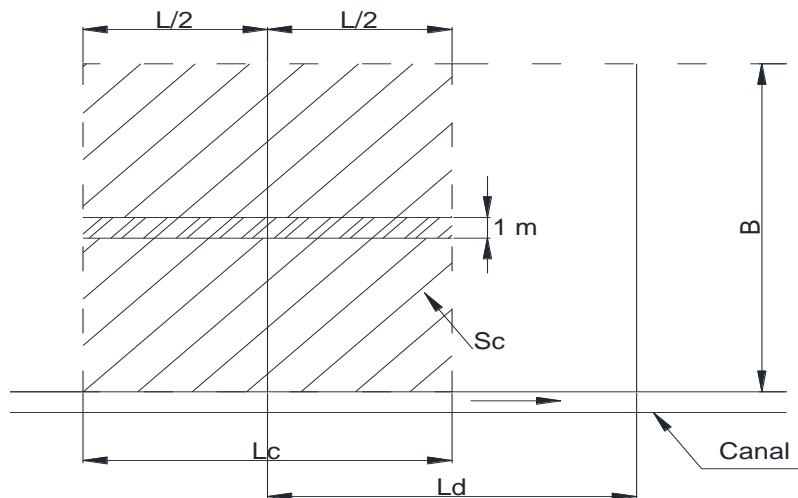


Figura 28. Detaliu vedere în plan canal absorbant (de ordinul III) de desecare.

Dacă luăm în considerare o lungime de canal $\Delta B = 1$ m, volumul de apă înmagazinat pe lungimea de 1 m de canal este reprezentat de aria de înmagazinare:

$$V_{inmag} = \omega_{inmag} \cdot \Delta \quad (26)$$

Unde: V_{inmag} - volum de înmagazinare în m^3 .

Pentru a putea reprezenta grafic volumul de apă înmagazinat în secțiunea canalului este necesară transformarea acestui volum din m^3 în mm strat de apă care se scurge spre canal (Figura 28).

Suprafața deservită de un canal terțiar S_c este:

$$S_c = B L_c \quad (27)$$

unde:

S_c – suprafața deservită în m^2 ;

B – lungimea canalului în m ;

L_c – lățimea suprafeței deservite de un canal sau distanța dintre canale în m .

Volumul de apă înmagazinat într-un metru lungime de canal se colectează de pe suprafața S :

$$Sc = L_c \cdot \Delta B \quad (28)$$

Înălțimea medie a stratului de apă ce se scurge către canal I în m , pe această suprafață se obține cu relația:

$$I = \frac{V_i}{S} \quad (29)$$

5. debitul de apă ce trebuie evacuat de canalul terțiar este reprezentat în Figura 26 prin curba 4, obținută prin scăderea din curba 3 a înălțimii de apă I , exprimată în mm , înmagazinată în secțiunea canalului;

Calculul debitului specific maxim de desecare se calculează folosind tangenta unghiului de pantă pentru curba 4 în ziua a doua a precipitațiilor:

$$q_{max} = tga \cdot \frac{\Delta(P - E - C_S - I)}{\Delta t} \quad (30)$$

Debitul maxim de desecare de pe suprafața deservită de canalul considerat se calculează cu relația:

$$Q_{max} = q_{min} \cdot S_{ci} \quad (31)$$

2) Metoda dinamicii scurgerii apelor

Metoda dinamicii scurgerii este specifică dimensionării canalelor de ordin superior I și II (principale și secundare), fiind propusă de Kosteakov. Metoda ia în considerare hidrograful debitelor (Figura 29) într-o secțiune de formă oarecare, considerată suficient pentru dimensionarea canalelor de desecare, situație particulară în care durata ploii (t) este egală cu durata scurgerii (τ) rezultând:

Pentru o amenajare de desecare, la dimensionarea rețelei de canale de desecare, se iau în considerare secțiunile caracteristice de pe traseul cel mai lung (Man, 2010 [86]). Durata scurgerii (τ) pe parcursul cel mai lung al bazinului hidrografic (sistemul de desecare) se poate calcula cu relația:

$$T = T_o + \sum T_c \quad (32)$$

unde:

τ_o - durata scurgerii pe suprafața terenului;

$\sum \tau_c$ – durata totală a scurgerii pe canale pe traseul celui mai lung parcurs;

$$T_o = \frac{L_o}{v_o} \quad (33)$$

unde:

L_o reprezintă lungimea traseului de scurgere a apei către canal;

v_o este viteza de scurgere pe suprafața terenului;

$$v_o = C_o \sqrt{\sigma \cdot P \cdot I_o}; \quad (34)$$

unde:

I_0 – panta medie a terenului L_0 ;

C_0 – coeficient de rugozitate cu valori între 5 și 40.

Durata totală a scurgerii apei pe canale, pe traseul cel mai lung se obține prin însumare:

$$\sum T_c = \frac{L_1}{v_1} + \frac{L_2}{v_2} + \dots + \frac{L_n}{v_n} \quad (35)$$

unde:

L_1, L_2, \dots, L_n – lungimile tronsoanelor de canal cuprinse între secțiunile de calcul pe parcursul cel mai lung;

v_1, v_2, \dots, v_n – vitezele scurgerii pe tronsoanele L_1, L_2, \dots, L_n [m/s].

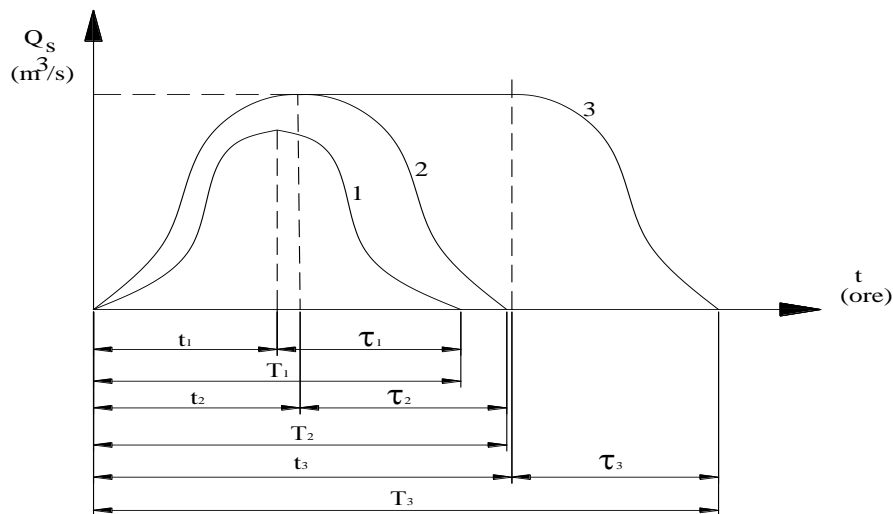


Figura 29. Hidrograful scurgerii pentru un bazin de formă oarecare pentru cazurile

Pentru a obține debitul specific mediu se pleacă de la ipoteza că durata ploii este egală cu durata scurgerii:

Debitul specific maxim se calculează cu ecuația următoare (Man, 2010,[86]):

$$q_{max} = \frac{2,8K_1\sigma P}{\frac{t}{\sqrt[3]{S}}} \quad (36)$$

unde:

K_1 este o valoare ce depinde de forma hidrografului scurgerii;

K_2 este coeficient de întârziere a scurgerii apei $K_2 = \frac{t}{\sqrt[3]{S}}$;

Pentru aceeași suprafață și aceleași condiții de scurgere a apei pe canale, numărătorul este constant:

$$C = 2,8 \cdot \frac{\sigma P}{t} K_1 \quad (37)$$

Cu notația din relația (36) relația de calcul a debitului specific maxim în (l/s și ha) devine:

$$q_{max} = \frac{C}{\sqrt[3]{S}} \quad (38)$$

unde: C și x sunt coeficienți constanți care țin seama de forma și mărimea bazinului

Pentru fiecare bazin hidrografic în care va fi amplasat sistemul de desecare trebuie calculate valorile lui C și x pentru a determina astfel debitul specific maxim de desecare-drenaj (Sabău N.C [86]). Coeficientul C se determină cu relația (37) Valoarea x se determină scriind tangenta unghiului de pantă α a dreptei din graficul în scară dublu logaritmică:

$$x = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta q}{\Delta S} \quad (39)$$

Debitul maxim pentru dimensionarea hidraulică a secțiunilor de control amplasate pe traseul canalelor de diferite ordine se determină cu relațiile:

$$Q_{\max 1} = q_1 S_1; Q_{\max 2} = q_2 S_2; Q_{\max 3} = q_3 S_3; \dots \dots \dots Q_n = q_n S_n$$

unde:

S_n – suprafața totală amenajată [ha];

3) Determinarea debitului economic

Debitul economic se refera la debitul de dimensionare a lucrărilor hidrotehnice, necesar captării apelor de suprafață și freactice aflate în exces pentru care să realizează un optim tehnico-economic. Prin optim tehnico-economic se înțelege minimul sumei dintre pagubele produse (P) și investițiile necesare realizării lucrărilor de desecare – drenaj (I).

Calculul debitului economic constă în stabilirea unei asigurări de calcul, pentru acesta care să înregistreze valorile $P + I$ minime. Dacă luăm în considerare hidrograful debitelor, $Q = f(t)$ cu diferite asigurări de calcul, de 1, 5 și 10 %, folosite frecvent pentru dimensionarea rețelei de canale de desecare, se remarcă faptul că pentru debitele cu cea mai mare asigurare de 10 %, rețeaua de canale va avea secțiunea direct proporțională cu mărimea debitului (Figura 30).

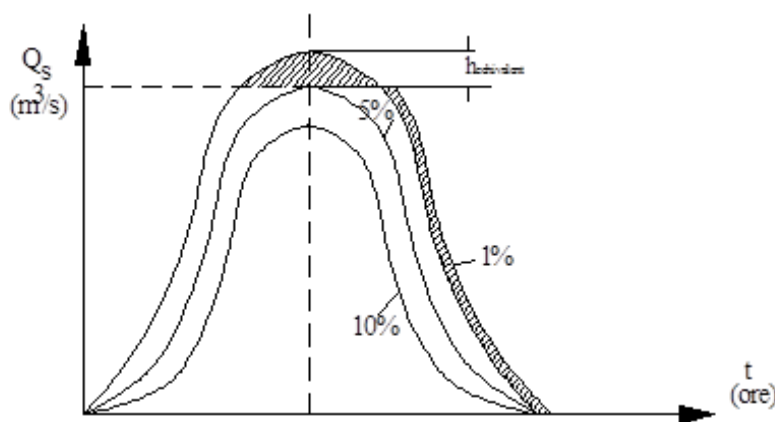


Figura 30. Hidrograful debitelor cu asigurările de calcul de 1, 5 și 10 %.

Reducerea debitului, prin creșterea asigurării la 5 și respectiv 10 %, conduce la reduceri corespunzătoare ale secțiunilor transversale ale canalelor, la o rețea de canale mai puțin densă, având avantajul unor investiții I mai mici, și respectiv la prelungirea perioadei de evacuare a apei în exces, cu dezavantajul producerii unor pagube (P) mai mari ale producțiilor agricole.

Dacă se reprezintă grafic evoluția investiției I în funcție de asigurarea debitelor de dimensionare se observă că acestea sunt mici pentru debitul cu asigurarea de 10 %, însă cresc pentru debitul cu asigurarea de 5 % și au cele mai mari valori pentru debitele cu asigurarea de 1 % (Figura 31).

În cazul dimensionării rețelei de canale de desecare la debitul cu asigurarea de 5% o parte din debitul corespunzător diferenței dintre debitul cu asigurarea de 1 % și cel cu asigurarea de 5 %, corespunzător înălțimii hidrografului debitelor, va fi descărcat de rețeaua

de canale proiectată, dar va duce la prelungirea perioadei t , necesară pentru evacuarea excesului de umiditate. (Figura 31).

La orice lucrare de desecare – drenaj se impune calculul indicatorilor tehnico-economici. Cei mai importanți indicatori sunt investiția specifică și timpul de recuperare a investiției.

Investiția specifică reprezintă raportul dintre investiția necesară pentru amenajarea cu lucrări de desecare a întregii suprafețe amenajate și suprafața totală amenajată.

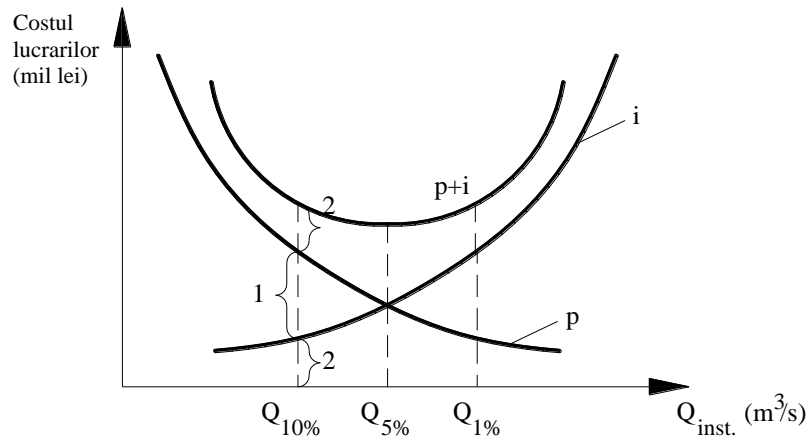


Figura 31. Determinarea debitului economic în funcție de costul investiției și debitul instalat

Investiția specifică se calculează cu relația următoare:

$$I_s = \frac{I}{S}$$

unde:

I_s – investiția specifică în lei/ha;

I – investiția totală pentru amenajarea unei suprafețe cu lucrări de captare, transport și evacuare a apei în exces în lei;

S – suprafața totală amenajată în ha.

Timpul de recuperare a investiției reprezintă timpul exprimat în ani în care cheltuielile de amenajare sunt acoperite prin efectele economice produse de sistemul de desecare.

$$T_r = \frac{I_s}{E}$$

unde:

T_r – timpul de recuperare al investiției în ani;

E – efectul economic realizat de sistemul de desecare în lei/ha și an.

Efectul economic se poate calcula pentru fiecare an după amenajare cu relația următoare:

$$E = V_a - V_i$$

unde:

E – efectul economic;

V_a – venitul anual realizat din producția agricolă obținută după amenajare, mai puțin cheltuielile de producție în lei/ha și an;

V_i – venitul anual realizat din producția agricolă, mai puțin cheltuielile de producție, înainte de amenajare în lei/ha și an.

O investiție se consideră corespunzătoare pentru amenajări de desecare – drenaj dacă timpul de recuperare T_r este de 2 – 3 ani.

5. ASPECTE TEORETICE ȘI STADIUL CUNOȘTIȚELOR

5.1 Stadiul cunoștințelor asupra metodelor PMP–PMF

5.1.1 Noțiuni generale

Metodele deterministe tind să explice fenomene hidrologice prin analiza mecanismului fizic real al sistemului considerat, de exemplu, formarea unei ploii și transformarea ei în scurgere.

Aplicată pe scară largă în țările anglo-saxone, metoda PMP–PMF (Probable Maximum Precipitation - Probable Maximum Flood, în traducere precipitație maximă probabilă, viitură maximă probabilă) poate oferi o alternativă metodelor statistice sau stocastice utilizate în Europa. Peste o sută de articole cu privire la PMP–PMF au fost publicate, din care patruzeci tratează tema PMP. Aceste articole provin dintr-o bază de date europene precum și mondiale ca: ESA, NASA, Delft Hydro, Mathsci. Principalele surse electronice cu privire la PMP sunt:

- American Society of Civil Engineers (ASCE)
- National Weather Service American (NWS)
- Biroul de cercetare american (USBR)
- Instituția inginerilor din Australia (IEA)
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK)

Alte surse de informație există și sunt menționate în bibliografie, câteva articole sunt recente, atât în Statele Unite cât și în Europa, cea ce arată că interesul continuu pentru metodele de tip PMP–PMF.

5.1.2 Istoria metodei PMP–PMF

Înainte de ani 1930, analizele hidrologice pentru dimensionarea evacuatoarelor de viitură se bazau în mod esențial pe:

- formule empirice;
- analiza statistică a datelor disponibile cu privire la viiturii;
- luarea în considerare a viiturii maxime istorice înmulțită cu un factor determinat.

Apariția catastrofelor naturale provocate de precipitații extreme au arătat limitele acestor metode (Stallings et al., 1986 [114]). În mijlocul anilor 1930, comunitatea științifică a început să realizeze necesitatea unei noi metode pentru a determina în mod rezonabil potențialul viiturilor într-un bazin hidrografic.

Hidrograma unitară de tip Sherman și metode Horton pentru calculul infiltrației au permis dezvoltarea metodelor deterministe din hidrologie. O organizație federală din Statele Unite a dezvoltat o metodă numită Probable Maximum Precipitation (Precipitații maxime probabile) care determină o limită superioară a precipitațiilor provocatoare de inundații. Această organizație a dezvoltat o metodă pentru estimarea cantității maxime de precipitație rezonabilă posibilă pentru o regiune dată, și anume ploaia maximă probabilă (PMP). De-a lungul anilor această metodă a fost îmbunătățită datorită numărului mare de observații disponibile și a utilizării tot mai frecvent.

Metoda PMP–PMF presupune existența unei limite fizice a cantității de precipitație susceptibilă care poate ajunge pe un bazin hidrografic. Sub această ipoteză, viitura obținută admite de asemenea o limită superioară (Probable Maximum Flood - PMF). În acest sens, metoda PMP–PMF se opune conceptului de legi statistice nelimitate, utilizate pentru determinarea viiturilor cu o perioadă de retur de 10000 ani sau mai mult (Berod și al., [10] [11]). PMP–PMF este o metodă deterministă ce permite calcularea viiturilor maxime susceptibile produse într-un bazin hidrografic.

Conceptele de PMP-PMF au evoluat de-a lungul timpului, în funcție de nevoi și de necesități. Cele mai recente definiții sunt citate mai jos:

PMP este dată de Hansen (Hansen et al., 1982 [49]):

Teoretic, cea mai mare înălțime de precipitație pe o anumită durată, care este fizic posibilă pe o suprafață dată într-un loc geografic particular, la o anumită perioadă a anului.

PMF a fost propusă de Birou of Reclamation (1987 [20]):

Hidrograful de viitură PMF reprezintă condițiile de scurgere maxime rezultate prin combinația cea mai severă a condițiilor hidrologice și meteorologice considerate ca rezonabile posibile pentru un bazin hidrografic studiat.

5.1.3 Metoda PMP–PMF în Elveția și în afara Elveției

PMP a fost cunoscută pentru prima dată în Elveția ca fiind precipitația maximă posibilă MMP (Maximal possible precipitation). MMP corespunde calculului cantității de apă precipitată conținută într-o masă de aer. Această definiție este foarte atrăgătoare pentru un model determinist deoarece permite definirea celor mai înalte precipitații posibile de pe un anumit bazin. Abordarea MMP corespunde unei abordări de tip fizic conectat la cantitatea totală de precipitație conținută în aer. Este vorba de a calcula integrala cantității de apă conținută într-o masă de aer situată deasupra topografiei.

Pentru a ilustra această metodă și pentru a arata limitele ei, calculul cantității de apă precipitată conținută într-o masă de aer situată deasupra Elveției a fost realizat prin trei metode:

Prima metodă constă în a calcula cantitatea de apă conținută în masa de aer presupusă imobilă, situată deasupra fiecărui punct al Elveției. Ipoteza asociată este că, printr-o mișcare a tuturor maselor de aer, apa condensează și precipită. Este vorba de o precipitație datorată celulelor convective de talie mare. A fost demonstrat printr-o analiză de sensibilitate că cantitatea de apă precipitată crește cu temperatura masei de aer și cu diminuarea presiunii barometrice. Calculul ține cont de stabilitatea masei de aer. Acest calcul arată și că în cazul precipitațiilor extreme apa precipitată depinde de temperatură și de presiunea atmosferică.

A doua metodă consistă în a considera că o masă de aer saturată traversează Alpii și este ridicată în întregime de către relief. De asemenea există ipoteza ca toată apa dintr-o coloană de aer precipită doar într-un punct considerat. În această ipoteză totul se întâmplă ca și cum am pleca de la un teren plat, relieful fiind format prin ridicarea solului cu masa de aer situată dedesubt. Precipitațiile calculate cu această metodă sunt foarte importante dedesubtul reliefului, ele depinzând doar de altitudine iar pe platou sunt nule.

A treia metodă constă în ridicarea masei de aer în lungul traiectoriei topografice. Aceasta se întâmplă când vitezele vântului sunt constante pe toată înălțimea masei de aer. Este vorba de o metodă de calcul a precipitațiilor orografice numite stabile. În acest caz precipitațiile sunt în funcție de viteza masei de aer, de temperatura inițială a masei de aer și de conținutul său în apă, sub formă de picături.

Aceste metode au permis obținerea unor valori ale precipitațiilor de 3 ori mai mari decât valorile cele mai mari calculate prin analize statistice ale ploii măsurată. Datorită

acestei supraestimări, aceste metode au fost abandonate pentru o nouă metoda numită PMP-PMF.

Metoda PMP-PMF a fost studiată în Elveția în două mari proiecte de cercetare. Primul a fost finanțat de Comisia de încurajare a cercetării științifice (CERS), executat de Institutul de Hidrologie și Amenajări (HYDRAM) Lausanne, Institutul de amenajări de teren și apă (IATE) de la Facultatea "Politehnica" Lausanne (EPFL) în colaborare cu două birouri private: Bonnard&Gardel Inginerii consultanți SA și SA Biroul de inginerie MAGGIA Locarno Elveția. Scopul acestei cercetări a fost de a aplica metoda PMP-PMF pe mai multe bazine hidrografice elvețiene. Rezultatele acestor studii sunt detaliate în (Delley, 1992 [32]) și (Deved și al., 1991 [40]).

Al doilea studiu a fost realizat în cadrul unui mare proiect de cercetare CRUEX. Scopul său a fost de a dezvolta programe deterministe care permit estimarea PMF adaptate la condiții elvețiene. Acest studiu a fost finanțat de OFEEN (Oficiul federal al energiei și mediului), și realizat de trei institute de cercetare de la EPFL (Politehnica Lausanne).

PMP depinde de caracteristicile reliefului și de limitele impuse de fizica atmosferei asupra vânturilor extreme și asupra precipitațiilor. În același timp acești factori sunt în funcție de temperatură, umiditate, presiunea maselor de aer ale norilor și de microfizica norilor. Toți acești factori au fost luați în calcul pentru dezvoltarea modelelor.

Pentru obținerea hidrografului de viitură PMF, este necesar de a se lua în considerare relieful bazinelor hidrografice, saturația în apă, scurgerea de suprafață și subterană, de asemenea rezervoarele naturale și artificiale.

Pentru obținerea precipitațiilor maxime probabile (PMP), două modele au fost folosite, un model de vânt pentru topografia alpină și un model pentru precipitații. Aceste calcule au fost realizate cu ajutorul programelor *Faitou* și *Routing System*, programe create în timpul programului de cercetare CRUEX. Dezvoltarea și metodele utilizate se bazează pe o aproximare teoretică cât și pe diferite studii practice. Această metodologie a fost aplicată în Elveția și în străinătate. În Elveția studiile au fost realizate de către echipa CRUEX pe bazinele Mattmark, Reuss, Oberalp, Mauvoisin, Toules și în bazine situate în afara Alpilor, cazul barajelor Derier în Turcia și Krasnodar în Rusia. Rezultatele simulărilor numerice au fost validate prin măsurători de debite pe bazinele menționate. O prezentare detaliată a acestor studii figurează în (Dubois și Boillat, 2000 [38]) și (Dubois și Piroton, 2002 [39]).

Rezultatul acestor cercetări asupra metodei PMP-PMF a permis în Elveția stabilirea unor hărți de precipitații extreme de tip PMP. Valorile numerice ale precipitațiilor au fost calculate mai întâi la o scară cu o rezoluție orizontală de 5 km, pentru durate de timp de 3, 6 și 24 ore. Aceste hărți de precipitații extreme au început să fie un ajutor important în procesul de decizie pentru Oficiul Federal al energiei și al mediului.

Precipitațiile maxime probabile (PMP) pot fi determinate cu ajutorul unor modele meteorologice unde parametrii sunt maximizați. În 2004–2005 diverse lucrări au fost efectuate pentru realizarea de noi hărți de precipitații, utilizând un model de teren la o scară cu o rezoluție orizontală de 2 km pentru durate ale aversei de 3, 6, 9, 12 și 24 ore. Extracția de date numerice ale câmpului de precipitații a fost făcută cu ajutorul unui program dezvoltat în acea perioadă. Rezultatele au fost confruntate cu precipitații extreme măsurate în diferite regiuni ale țării.

În 2006–2007 au apărut noile hărți PMP pentru durate ale aversei de 1, 6, 9, 12 și 18 ore, respectând condițiile IDF (Curbe de intensitate durată frecvență) (Hertig și Audouard, 2005 [52]), definite pentru hărțile de 3 și 24 ore.

Curbele IDF sunt stabilite pe baza observațiilor (măsurători de precipitații) de la stațiile de măsură. Ele permit estimarea debitelor de viitură și determinarea ploii pentru modelare (Audouard și Hertig, 2006 [3]).

În Figura 32 este prezentată o hartă a precipitațiilor maxime probabile de tip PMP pentru Elveția cu o durată a aversei de 24 ore.

Ploaia maxima probabilă (PMP) pentru o durată de 24 ore a fost confruntată cu precipitațiile zilnice extreme estimate pentru o perioadă de retur de 500 de ani folosind analiza Gumbel asupra seriilor de măsurători pluviometrice de la 425 locuri din Elveția, pentru perioada 1961–2008. Analiza Gumbel constituie una dintre cele mai utilizate metode statistice în meteorologie pentru determinarea valorilor extreme ale vânturilor (Fallot et Hertig, 2009 [43]) și ale precipitațiilor. Această analiză permite ajustarea unei curbe de regresie în funcție de frecvența de apariție a evenimentelor din trecut și prevede probabilitatea de apariție a evenimentelor de mare amploare pentru o perioadă de retur mai lungă decât seria măsurătorilor disponibile. Această ajustare se face plecând de la dubla lege exponențială, conform metodei descrise în (Gumbel, 1958 [47]).

Valorile PMP calculate de model au fost estimate pe baza punctelor măsurate în 425 stații. Figura 33 arată ca aceste valori ale PMP extrase din modelul de calcul sunt mai mari decât precipitațiile zilnice extreme estimate pentru o perioadă de retur de 500 de ani plecând de la analiza Gumbel. Raportul mediu obținut este de 1.9 pentru ansamblul stațiilor fiind un raport mai mare ca cel normal observat de 1.5 pentru precipitațiile cu o perioadă de retur de 10'000 ani (PMP).

Modelul tinde să supra-estimeze precipitațiile extreme în câteva locuri ale Elveției, mai ales pe vârfurile Alpilor. Dar de asemenea modelul tinde a sub-estima precipitațiile extreme în alte locuri ale țării mai ales în Sud de Alpi, regiunea cea mai expusă precipitațiilor abundente după măsurătorile în situ.

Hidrografal viiturii (PMF) este determinat în aceeași manieră, maximizând parametrii unui model hidrologic care au ca intrare o ploaie de tip PMP. Aceste estimări sunt de o importanță considerabilă pentru calculul capacității deversoarelor barajelor, având ca obiectiv principal evitarea unei catastrofe provocată de distrugerea barajului.

Începând cu anul 2007 metoda PMP–PMF a fost aplicată pe mai multe bazine hidrografice elvețiene (Receanu, 2009 [64]).

Metoda PMP–PMF este foarte utilizată în Statele Unite, însă în Europa a fost aplicată în câteva studii experimentale în țări precum: Marea Britanie la Institutul de Hidrologie în 1975, Germania în 1983, Austria în 1990, Elveția, Franța și România 1983 (Berdon et al., 1992 [11]), (Desurone et al., 1993 [34]).

În 2007 metoda PMP–PMF a fost folosită pentru estimarea precipitațiilor extreme cu o rezoluție de 1000 km² pentru o durată de 24 ore 46 în Suedia (Stan et al., [113]).

Diferențele observate în ultimi ani în România au determinat cercetători să ia în considerare pentru dimensionarea anumitor lucrări hidraulice ploaia de tip PMP.

Metoda PMP–PMF a fost folosită pentru prima dată în România pentru bazinul hidrografic Bistra în anul 1993 [14]. În cazul acestui proiect precipitația maximă probabilă a fost extrapolată plecând de la date de ploaie de la două stații pluviometrice și anume Țarcu și Cuntu.

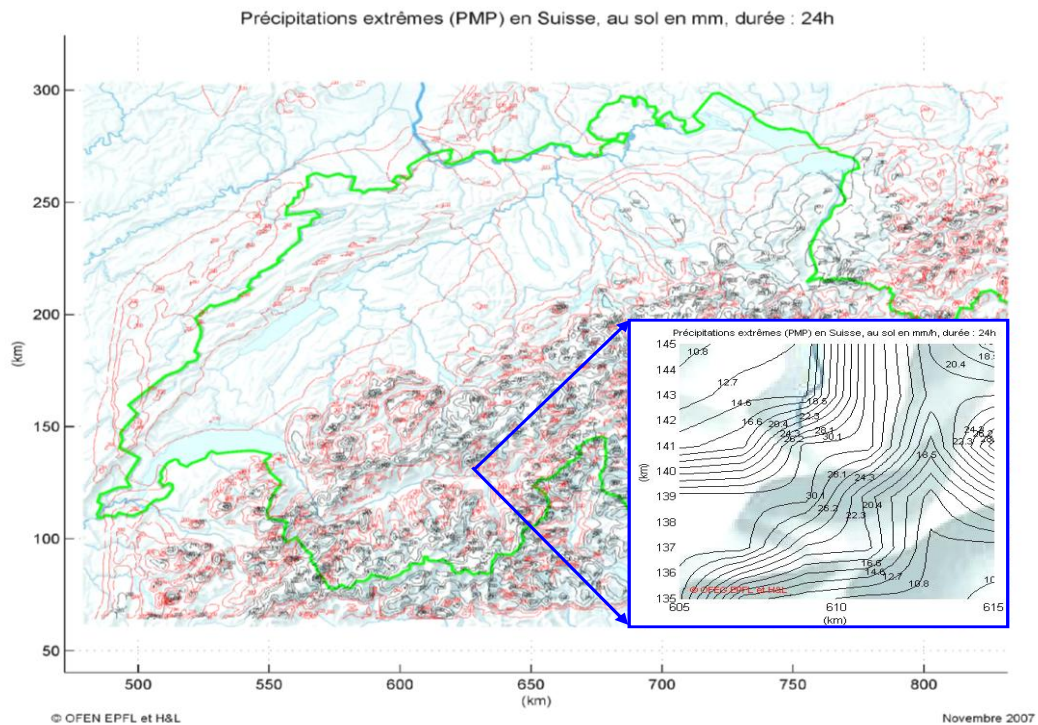


Figura 32. Precipitații maxime probabile (PMP) în Elveția, la sol în mm/h, durata 24h [52]

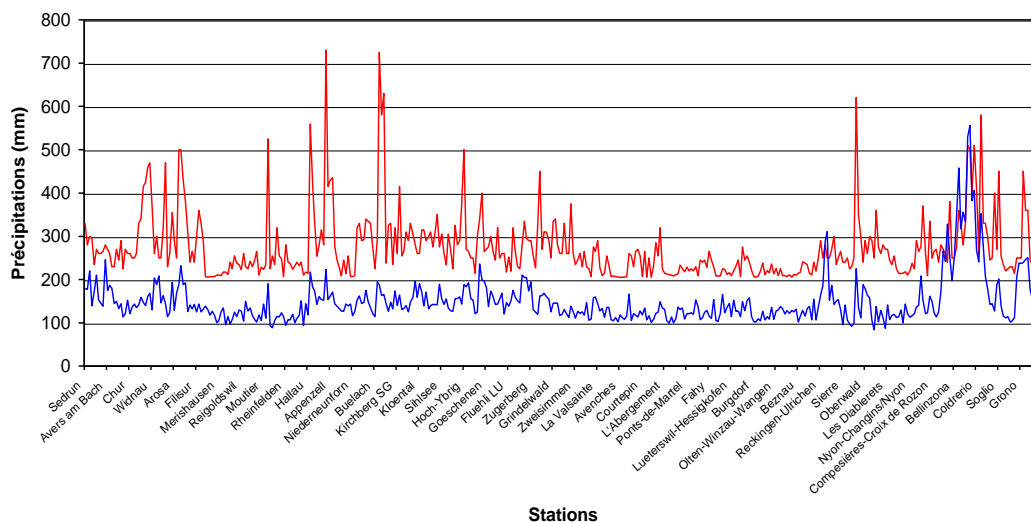


Figura 33. Valorile PMP calculate de model (în roșu) și precipitațiile extreme cu o perioadă de 500 ani extrapolate plecând de la măsurători în situ (în albastru) [41]

În 2007 R. Drobot [36] studiază precipitațiile maxime probabile pentru regiunea Roșia Montană în România. PMP poate fi studiată pentru toate bazinele unde există date. Procedura lui Hershfield este una dintre abordările cele mai frecvent utilizată pentru determinare PMP. PMP a fost calculată în mod separat pentru perioada rece și cea caldă a anului.

5.2 Stadiul cunoștințelor asupra distribuției spatio-temporale a ploii

Distribuția în spațiu și în timp a ploii a fost studiată încă din secolul trecut. Studiile s-au bazat pe reducerea riscului de sub- sau supraestimare a scurgerilor produse de acest fenomen non-uniform al ploii.

În 1993 apare o primă ecuație de advecție-difuziune folosită la distribuția unui volum de ploaie în spațiu și în timp (Jinno et. al., [59]). Mai târziu Smith și al. 1994, [121] au pus în evidență influența direcției vântului asupra evoluției câmpului de ploaie în timp și spațiu analizând evenimente de precipitații extreme. Nunes et al. 2006 [96] au făcut o analiză similară, dar ținând cont doar de direcțiile aval-amonte și amonte-aval ale vântului.

Jinno și Berntsson au dezvoltat un model de previziune pentru expansiunea și disiparea hidrogramei de precipitații, stabilind intensitatea, viteza și direcția. Aceste valori sunt obținute plecând de la o soluție non liniară a ecuației de advecție-difuziune (Jinno et al. 1993 [59], Berntsson et. al. 1994 [13]).

În 2006 – 2007 un nou model a fost dezvoltat pentru calculul hidrografului de tip PMF (Brena, [12]). Acesta a ameliorat modelul de ploaie care a fost utilizat în proiectul de cercetare CRUEX, și anume programul Faitou (Dubois et al., 1998 [35]) asupra distribuției ploii folosind o ecuație de advecție-difuziune stocastică. Începând cu a doua jumătate a anului 2007 modelul dezvoltat a fost reactualizat având în vedere deplasarea norilor pe mai multe direcții ale vântului și eliminarea parametrului stocastic din ecuația de advecție-difuzie deoarece acesta provoca o incertitudine în rezultatul final.

5.3 Stadiul cunoștințelor asupra modelării hidrologice

În literatura de specialitate, numeroase studii au fost consacrate identificării proceselor de scurgere a apei pentru diferite mărimi ale bazinelor hidrografice. De asemenea o progresie importantă a fost înregistrată în înțelegerea comportamentului hidrologic al bazinelor hidrografice.

Cea mai veche metodă de calcul a debitului este metoda rațională. Aceasta folosește o metodă simplă de transformare a ploii (descrisă prin intensitatea sa), considerată uniformă și constantă în timp pentru a obține debitul instantaneu maximal la gura de vărsare pe un bazin hidrografic. Această metodă a fost frecvent utilizată la sfârșitul secolului 19 și începutul celui de al 20-lea.

În anul 1932 Sherman a introdus conceptul de hidrograf, și mai particular cel de hidrograf unitar, care reprezintă evoluția în timp a reacției de creștere și descreștere a debitului cursului de apă pentru o aversă de referință, sau pentru o ploaie cu o intensitate constantă pentru o durată dată (Sherman, 1932 [111]).

Mai recent, modelarea comportamentului hidrologic al bazinelor hidrografice a fost clasificată de mai mulți autori (Singh, 1995 [108] și Ambroise, 1999 [1]).

În 1996 Refsgaard și Strom [72] au clasificat modelele hidrologice în trei categorii:

- modele empirice;
- modele conceptuale;
- modele bazate pe distribuția fizică (modele distribuite [31]).

Potrivit Rafsaard 1997 [73] modele hidrologice pot fi clasificate în funcție de descrierea proceselor fizice ale bazinelor hidrografice, fiind globale sau distribuite. În același an Chocat [26] a propus o clasificare a modelele hidrologice în funcție de tipul de utilizare și de tipul de abordare (fizice, deterministe / probabilistice (stocastice), etc. [31]).

Un model poate fi caracterizat conform Figura 34 realizată de Singh (1995, [108]).

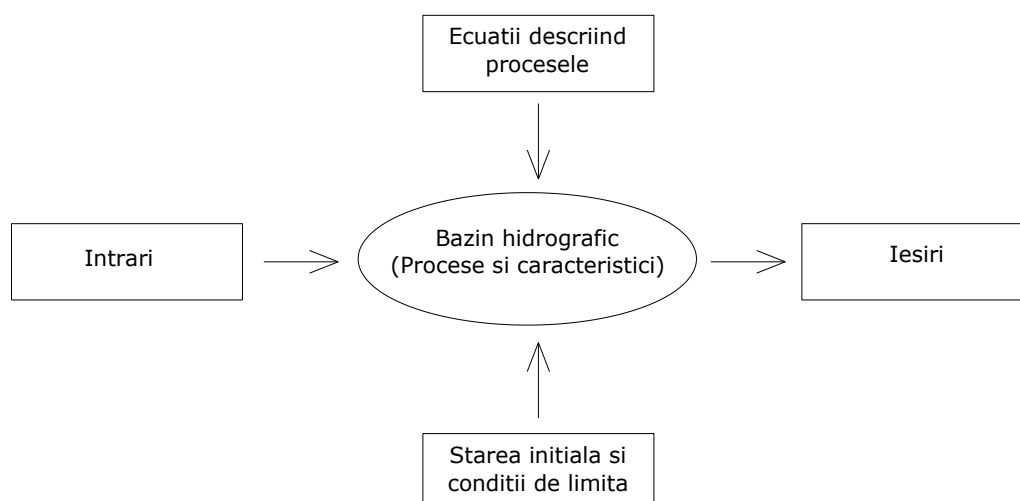


Figura 34. Elementele unui model

În 1995 Singh [108], a propus trei criterii pentru a clasifica modele hidrologice, ele sunt: descrierea procesului, scară spațială și temporală, și metoda utilizată pentru a rezolva ecuațiile. Folosind aceste criterii modelele pot fi clasificate după cum urmează:

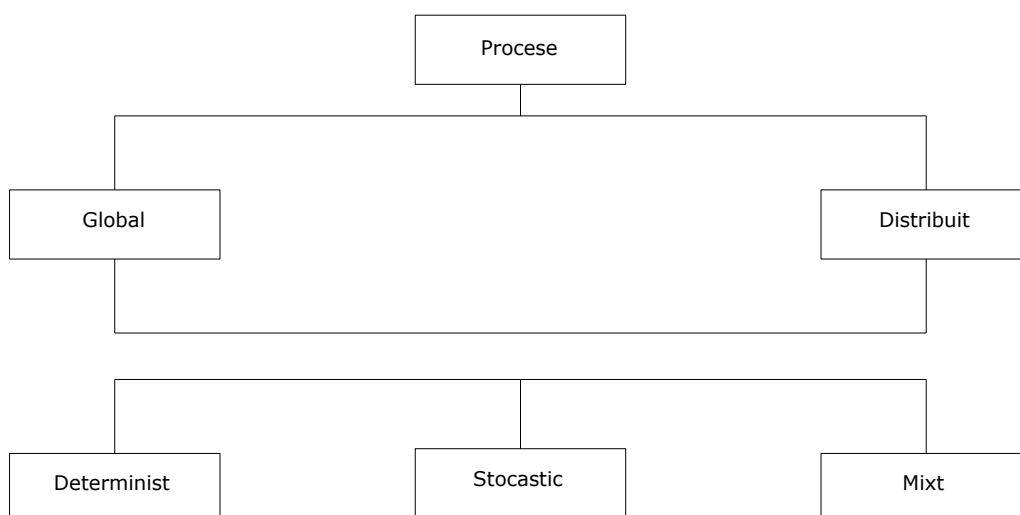


Figura 35. Clasificarea modelelor

În conformitate cu această clasificare a modelelor hidrologice și a relației cu caracteristicile bazinului hidrografic, modelul poate fi global sau distribuit, determinist sau stocastic, sau mixt.

Un model global este definit ca fiind o cutie neagră, bazinul este considerat o singură entitate. Relațiile empirice fac legătura între intrări și ieșiri, fără a încerca abordarea unei legi fizice. Ecuațiile folosite nu țin cont de variabilitatea spațială, intrări, condiții de limită sau de caracteristicile geometrice ale bazinului. Ecuațiile folosite de către un model global sunt bine descrise într-o formă simplificată (Singh, 1995 [108]). Un exemplu de model global din literatură de specialitate este: HEC-1 (Hydrologic Engineering Center, 1981 [129]).

Un model distribuit ia în considerare în mod explicit variația spațială a proceselor, variabilele de intrare, condițiile de limită și caracteristicile bazinului hidrografic. Ecuațiile pot ține cont de probabilități. În realitate, volumul datelor necesare pentru punerea în aplicare a acestui tip de model este prea mare și, în general depășesc datele disponibile referitoare la

bazinul de aplicare, ceea ce face acest tip de model mai puțin operațional. Studiile făcute cu ajutorul unui model determinist au arătat că aceste modele oferă avantaje, și anume, ele pot capta mai bine variabilitatea spatio-temporală a componentelor ciclului apei. Ele permit studierea consecințelor schimbării scării bazinului, de asemenea pot aborda problema evoluției sistemului sau de a studia efectul de variabilitate spațială a intrărilor și ieșirilor. Un exemplu de acest tip de model este SHE (Sisteme hidrologice europene , [128]).

Folosirea unui model determinist necesită cunoștințe geografice și fizice detaliate ale bazinului hidrografic. Un ajutor foarte mare în privința accesului la aceste informații a fost dat de SIG (Sistem informațional geografic), prin intermediul căruia putându-se gestiona și exploata date în cadrul unui bazin hidrografic.

Datorită lipsei de date într-un bazin hidrografic, modelele folosite nu sunt în totalitate distribuite. Un astfel de modele poate fi cita și anume Topmodel (Deng et al, 2008 [33]).

Modele pot fi de asemenea, deterministe, stocastice și mixte (Singh, 1995 [108]) prezentate în Figura 35. Într-un model determinist variabilele de intrare și parametrii de intrare ai sistemului sunt determinate sau determinabile. Pe de alta parte într-un model stocastic sunt mai degrabă distribuții de probabilitate care sunt asociate acestor cantități.

6. DEZVOLTAREA MODELULUI HIDROLOGIC

Studiile realizate în ultimi ani au arătat că încălzirea globală a climei ar putea fi acompaniată de creșterea frecvenței precipitațiilor, deci a viiturilor pentru numeroase regiuni ale globului (Frei et al., 2000 [44]; Fallot, 2000 [41]). Aceasta face ca cercetările actuale să se concentreze asupra modelării ploii și a viiturilor la o scară mult mai fină.

Vechile metode pentru determinarea debitului sunt simple, folosesc ecuații empirice și o ploaie uniformă. Aceste metode de calcul și-au arătat limitele în cazul catastrofelor naturale cauzate de precipitații extreme. Astfel, o nouă metodă a fost propusă pentru a estima de manieră rezonabilă viiturile probabile pentru un bazin hidrografic, și anume metoda PMP–PMF.

Așa cum am arătat metoda PMP–PMF este folosită în Elveția pentru dimensionarea evacuatoarelor de viitură, asigurând o mai bună protecție împotriva inundațiilor. Pentru o mai bună utilizare, PMP este reprezentată sub forma unor hărți având o rezoluție orizontală de 2 km.

Metoda PMP–PMF prezintă avantaje dar de asemenea ea poate supraestima rezultatele dacă acesta nu este aplicată corespunzător.

În cadrul acestei teze am dezvoltat un model hidrologic distribuit pentru a putea estima corect viitura maximă probabilă și evitarea pagubelor produse de aceasta [66]. Modelul dezvoltat include trei părți principale, și anume: modelarea distribuției spațio-temporală a ploii (1), modelarea scurgerii apei pe teren (2), modelarea scurgerii apei în sub-sol (2') incluzând infiltrația și exfiltrația apei. Figura 36 prezintă modelul hidrologic dezvoltat.

Scopul acestui model este de-a putea determina efectele provocate de un eveniment de tipul PMP–PMF și de-a evidenția zonele inundate. Este important ca ploaia de tip PMP să fie distribuită la o scară fină în calculul viiturilor extreme. Pentru aceasta este necesar folosirea unui model hidrologic, deoarece metodele clasice pot antrena o supraestimare a debitului de viitură, mai ales pentru marile bazine și regiunile muntoase, provocând costuri importante.

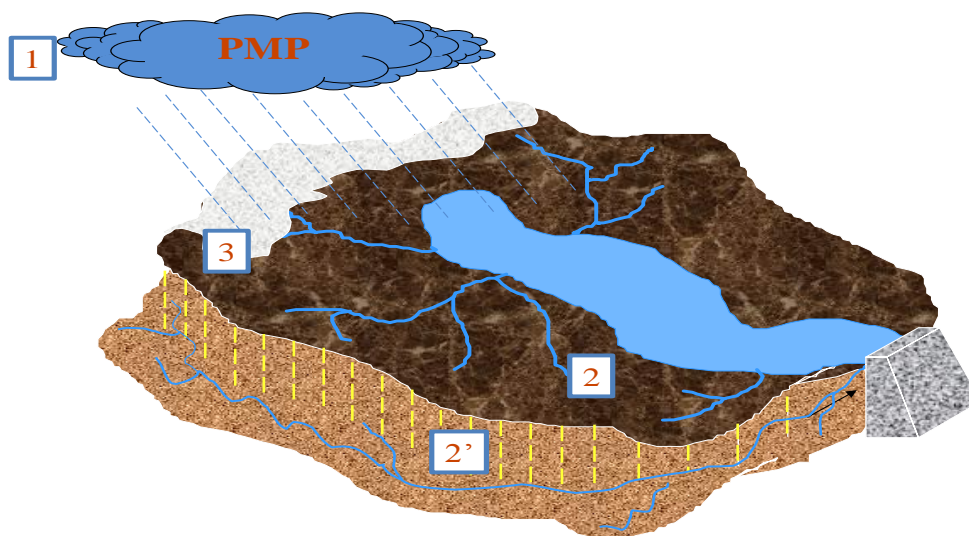


Figura 36. Schema modelului hidrologic dezvoltat [128]

În secțiunile următoare o să prezentăm fiecare parte a modelului hidrologic dezvoltat.

6.1 Modelarea spatio-temporală a ploii

În proiectul meu, un model cu proprietăți de advecție-difuzie a fost creat pentru a descrie o serie de nori, care oferă un volum de apă echivalent valorilor punctuale ale PMP. Principala mea contribuție în dezvoltarea modelului, spre deosebire de cele existente, care țin cont de o singură structură a ploii fără variația spațio-temporală, este că fiecare punct sau pixel din domeniul considerat are o structură diferită a ploii și o repartiție fină (la fiecare pixel, și anume 25x25 m) în spațiu și timp.

În centrul modelului se găsește o ecuație de advecție – difuzie, care specifică procesul de advecție, esențial pentru formarea unor nori de tip orografic. Soluția non-lineară a acestei ecuații este data de Brutsaert în 1974, [10]. Această ecuație a fost adaptată modelului dezvoltat luând în considerare diferitele direcții de deplasare a norilor [64].

$$P(x,y,t) = \frac{I}{4\pi(D_x D_y)^{1/2}(t-t_0)} \exp\left\{ -\frac{[x-x_0-v_{tx}(t-t_0)]^2}{4D_x(t-t_0)} - \frac{[y-y_0-v_{ty}(t-t_0)]^2}{4D_y(t-t_0)} - \lambda(t-t_0) \right\}$$

unde:

I este PMP în m³/min;

x, y și t sunt coordonatele în spațiu și timp în m;

D_x și D_y sunt coeficienții de difuzie în m²/min;

v este viteza în m/min;

λ este coeficientul de dezvoltare/disipare al intensității în min⁻¹.

Evoluția temporală a norilor urmează o distribuție gaussiană cu o fază de disipare influențată de v, D_x, D_y et λ.

Datele folosite în dezvoltarea modelului sunt: harta de valori PMP (ploaia maximă probabilă) stabilită pentru Elveția la o scară de 2 km, corespunzătoare unei durate critice de 1 oră. Spre deosebire de harta de precipitații, topografia are o rezoluție mai fină de 25 x 25 m pentru fiecare pixel. Pentru a folosi aceeași scară în modelul de calcul, o interpolare spațială a valorilor PMP a fost necesară pentru toate punctele terenului. Volumul de apă obținut a fost repartizat în echivalentul a 6 nori care se deplasează deasupra suprafeței terenului distribuind volumul ploii în spațiu la o anumită perioadă de timp.

Acest model de repartiție spațio-temporală a ploii de tip PMP include de asemenea și deplasarea norilor în mai multe direcții spre deosebire de modelele anterioare unde direcțiile de deplasare ale norilor erau limitare (Berndtsson et al., 1994 [13] și Jinno et. al., 1993 [59]). Pentru simulare, 8 direcții de deplasare ale norilor au fost modelate: N, NE, E, SE, S, SW, W și NW.

Durata ploii de tip PMP luată în considerare este de 1 oră. Volumul acestei ploii este distribuit în 6 nori cu formă circulară. Aceasta este prima ipoteză făcută în repartiția spațială a cantităților de precipitații.

Evoluția spațială a norilor pe suprafața unui bazin este reprezentată în Figura 37 [64].

Cei 6 nori sunt inițial plasați după cum urmează: patru nori plasați pe colțurile domeniului de calcul ale terenului și doi în mijloc (Figura 37). Norii sunt deplasați pe teren în funcție de direcția vântului, și pot fi chiar scoși de pe teren. În acest caz, o a doua ipoteză a fost făcută și anume că, în momentul în care un nor iese de pe teren, un alt nor identic intră pe teren în partea opusă înlocuind norul care a ieșit (condiție de margine ciclică).

Ecuația de advecție-difuzie modelează comportamentul temporal al fiecărui nor, adică, variația temporală de formare a norilor și evoluția temporală. La începutul ploii, fiecare nor

are o talie relativ redusă și intensitatea locală a ploii este mare, dar concentrată pe o suprafață redusă în jurul norului. În timp ce norul avansează, împins de vânt, se mărește și în același timp intensitatea locală a ploii se diminuează, dar ploaia este distribuită pe o suprafață mai mare.

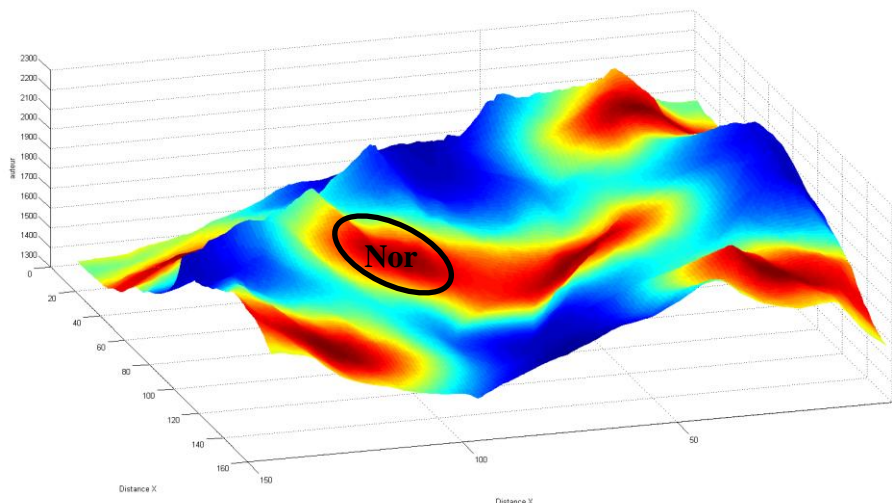


Figura 37. Distribuția spațială a norilor pe teren

Figura 38 ilustrează comportamentul temporal al norilor dat de către ecuația de advecție-difuzie. Distribuția ploii se face la un interval de 3 minute. În prima figură norii sunt în poziția inițială de deplasare $t = 3$ minute, în a doua $t = 15$ minute și în ultima figură $t = 30$ minute. Pe aceste imagini putem observa reducerea vârfului norilor de la o intensitate de 350 mm/h la 310 mm/h și la sfârșit 280 mm/h, cauzată de difuzie.

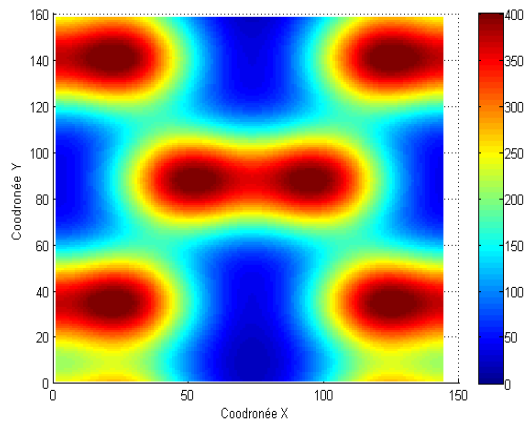
Numărul norilor prezenți pe teren poate fi schimbat, aceasta este doar o ipoteză folosită pentru acest exemplu. De asemenea forma norului, pasul de timp și poziția pe teren pot fi schimbate în funcție de bazinul studiat. În secțiunea de rezultate o să prezentăm o altă structură a norilor pe teren.

Ploaia pentru fiecare punct al terenului este structurată în așa fel încât să garanteze coerența fizică a volumului dat de către PMP în timp și în spațiu. Deci modelul dezvoltat este bine spațializat.

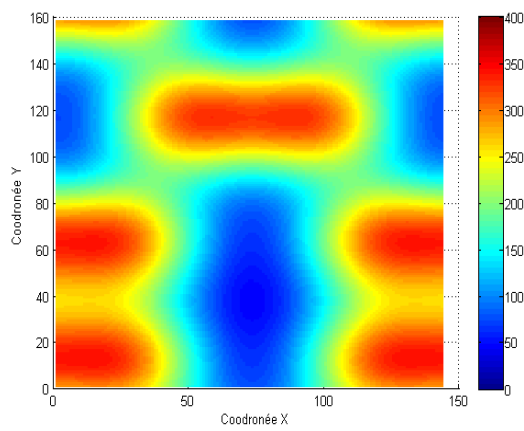
Conceptul de nor garantează coerența spațială iar deplasarea norului evoluția temporală, aceasta poate fi observat în cele două cazuri.

În primul caz (Figura 38) punctele pentru care prezentăm hietogramele sunt îndepărtate pentru a arăta variația spațială a ploii pe teren, iar în al doilea caz punctele sunt apropiate pentru a evidenția variația locală între puncte.

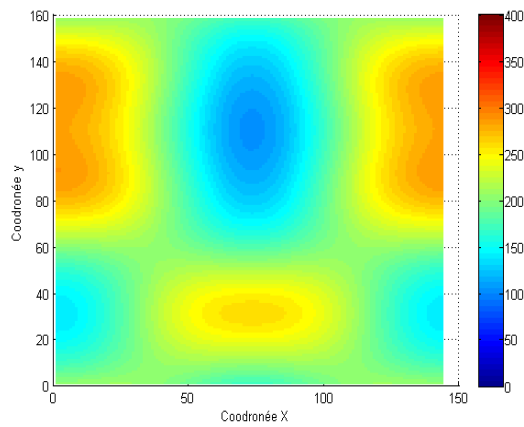
Figura 39 reprezintă primul caz pentru care reprezentăm hietogramele a 9 puncte cu o rezoluție a MNT (Model numeric de teren) de 25 m x 25 m și cu o distanță între puncte de 1 km. Pe aceste grafice putem urmări deplasarea norilor din nord în sud cum este reprezentat în acest caz. Centrul norilor este reprezentat de către vârfurile hietogramei. Pentru a da un exemplu, pe ultima coloană putem urmări evoluția norilor dintr-o imagine în alta. Vârful ajunge cu o întârziere temporală în imaginea de mai jos ceea ce semnifică că norul care intră în nordul terenului ajunge mai târziu în centru și mai târziu în sudul terenului. Intensitatea maximă este redusă de la 240 mm/h la 230 mm/h și în final la 220 mm/h în timp de 15 minute.



Etapa 1



Etapa 2



Etapa 3

Figura 38. Distribuția spațială a ploii de tip PMP pe teren

Figura 40 reprezintă al doilea caz unde cele 9 puncte sunt vecine. Distanța între puncte este de 25 m față de un punct central. Prin aceste figuri se demonstrează că variațiile locale sunt reduse.

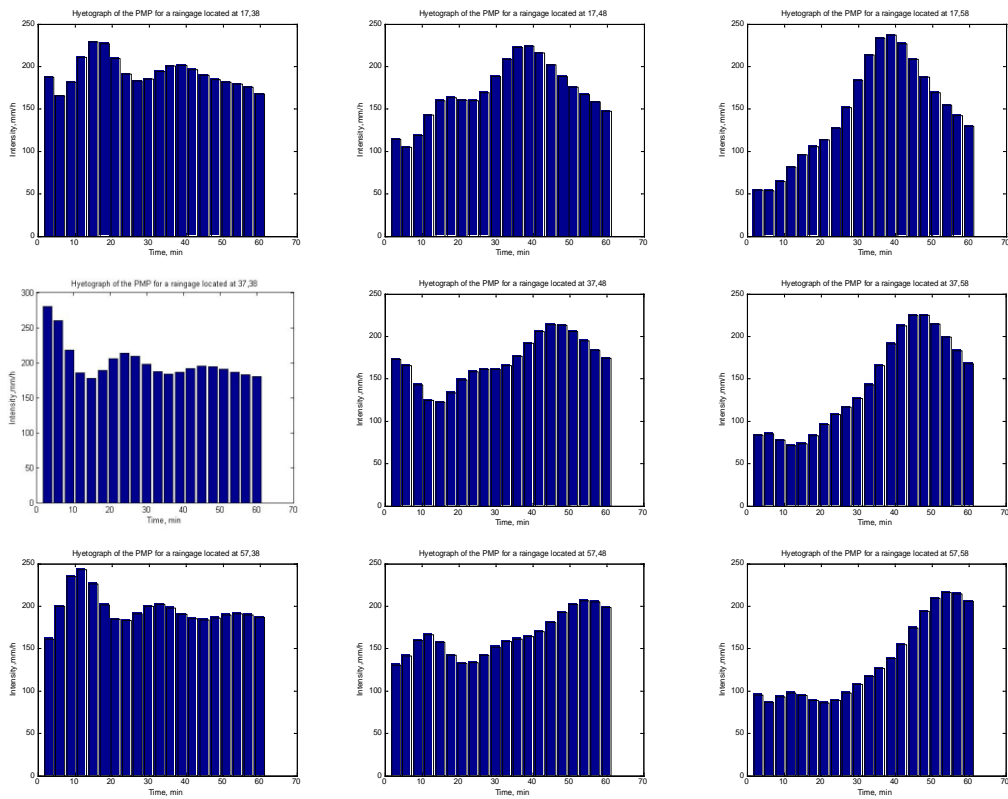


Figura 39. Hietograma de tip PMP în jurul unui punct central pe teren (distanță 1km)

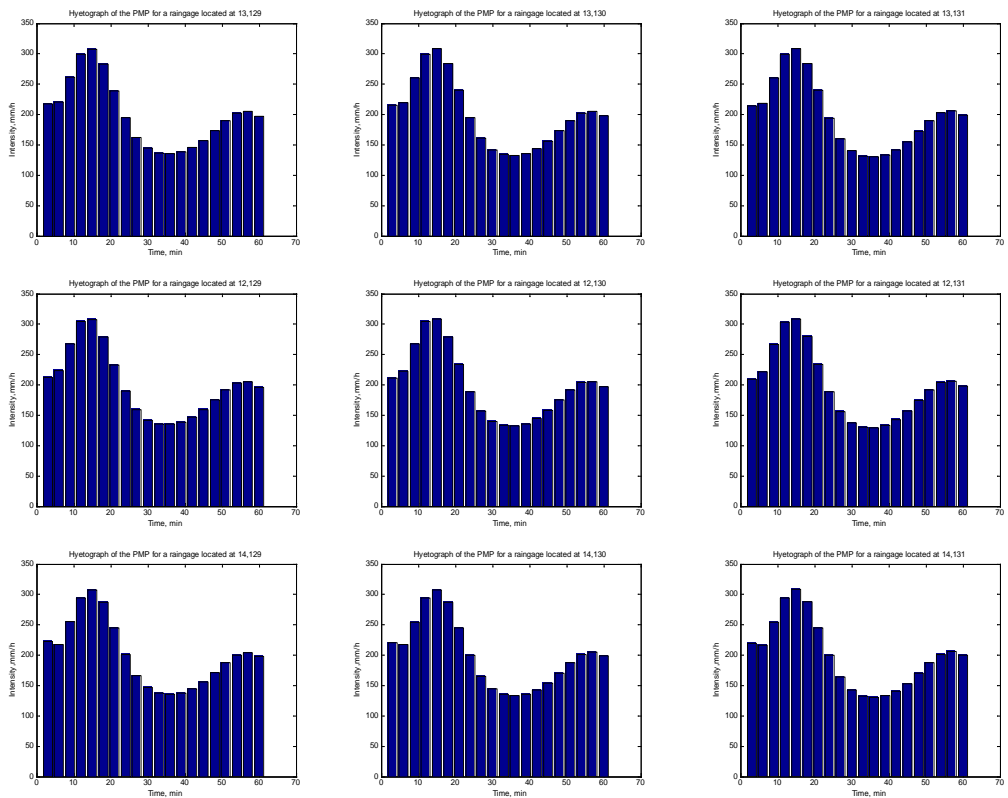


Figura 40. Hietograma de tip PMP în jurul unui punct central pe teren (distanță de 25 m)

6.2 Modelarea scurgerii apei

Acest capitol este consacrat celei de-a doua părți a modelului și anume modelării scurgerii apei de suprafață și a apei subterane, incluzând infiltrația și exfiltrația.

6.2.1 Modelarea scurgerii apei de suprafață

Dezvoltarea modelului pentru calculul scurgerii libere a apei de suprafață se bazează pe mai multe ipoteze, care au fost aplicate de-a lungul procesului de modelare. O primă ipoteză se referă la starea terenului și anume că solul este saturat, deci toată cantitatea de apă ajunsă pe suprafața solului se scurge înspre gura de vărsare a bazinului.

Modelarea scurgerii de suprafață este realizată plecând de la un model numeric de teren (MNT), care oferă o reprezentare discretă a suprafeței presupusă a fi continuă. MNT are o rezoluție spațială, cu o dimensiune a caroiajului de 25x25 m. Această modelare se face printr-o procedură iterativă calculând volumul de apă pe suprafața terenului. Acest volum se propagă dintr-o celulă în alta pe tot terenul bazinului. Gura de vărsare este determinată la sfârșit, ca punctul (celula sau pixelul) cu cel mai mare volum de apă, deci unde debitul este maxim.

Scurgerea se face către toate celulele cu o altitudine mai mică decât cea din mijloc. Fiecare celulă poate da sau primi un volum de apă în funcție de pantă și viteză (Figura 41). Volumul de apă dat la celulele din aval este proporțional cu panta, astfel încât celulele cu o pantă mai mare vor primi o cantitate mai mare de apă.

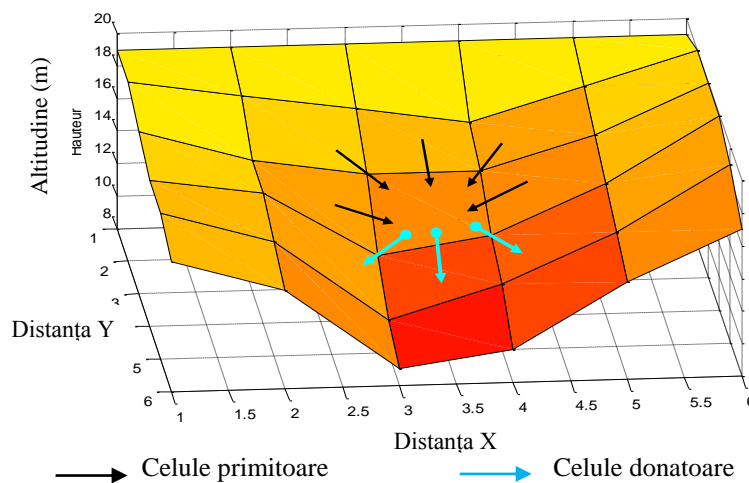


Figura 41. Distribuția apei pentru o celulă a terenului

În cazul scurgerii apei pe teren există opt posibilități de deplasare a apei în funcție de panta terenului, dar există și posibilitatea ca nici un vecin să nu prezinte o altitudine mai joasă decât celula centrală. Acest lucru corespunde absenței scurgerii și în acest caz putem considera apariția unei zone inundabile. Calculul pantei este dat de raportul dintre denivelarea a două celule și distanța acestora: distanța se calculează după cum urmează:

$$d = \sqrt{(x_c - x_v)^2 + (y_c - y_v)^2 + (H_c - H_v)^2} \quad (45)$$

unde:

d este distanța între o celulă și celulele vecine în m;
 x_c, y_c – coordonatele celulelor;

xv, yv – coordonatele celulelor vecine;

Hc și Hv - înălțimea dintre celule și vecinii celulei.

Deci panta este dată de sinusul unghiului între celule:

$$e = \sin\alpha \cdot \frac{Hv - Hc}{d} \quad (46)$$

unde:

e reprezintă panta terenului.

α reprezintă unghiul dintre suprafața terenului și orizontală

Această metodă de calcul a fost aleasă deoarece este adaptată caracteristicilor pe care dorim să le estimăm și prezintă avantajul unui calcul simplu și ușor de înțeles în circuitul apei pe teren. Plecând de la pantă determinăm debitul la gura de vărsare.

În Figura 42 reprezintă rețeaua de drenaj obținută pentru un bazin test și anume bazinul Arnensee cu ajutorul modelului dezvoltat. Cursul apei ține cont de panta terenului, rugozitate și de viteza de scurgere. Culoarea maro reprezintă râurile care se formează pe teren, iar albastru închis topografia.

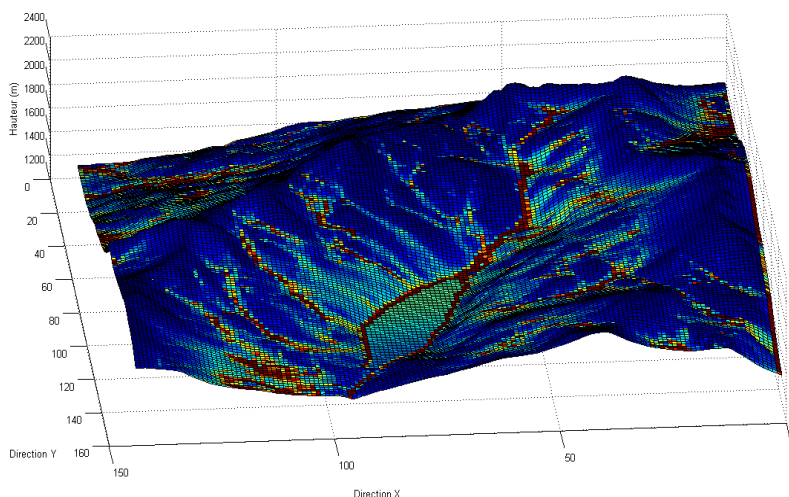


Figura 42. Rețeaua de drenaj a apei, bazin test Arnensee

Acest exemplu a fost test cu ajutorul programului Manifold care determină direcția de scurgere în funcție de curbele de nivel și de pantă.

Calculul vitezelor de scurgere a fost realizat făcând următoarele ipoteze:

În partea superioară în amonte de bazin, în primii 10 m până la 100 m avem un regim de scurgere laminar. Pe versanți regimul de scurgere este concentrat, iar unde panta este foarte mică regimul de scurgere este cel în râu.

Timpul de tranzit în cazul regimului laminar poate fi estimat folosind următoarea ecuație (SCS, 1986 și Brena, 2007 [12]).

$$t_{sheet} = \frac{0.007(NL)^{0.8}}{P_2^{1/2} S^{0.4}} \quad (47)$$

unde:

N este un coeficient de rugozitate pentru scurgerea de suprafață (valorile care pot fi atribuite sunt, în funcție de teren, între 0,011 și 0,8);

L este distanța parcursă de apă până ce devine o scurgere concentrată în m;

P_2 este înălțimea ploii în timp de 24 ore pentru o perioadă de retur de 2 ani;

S este panta terenului.

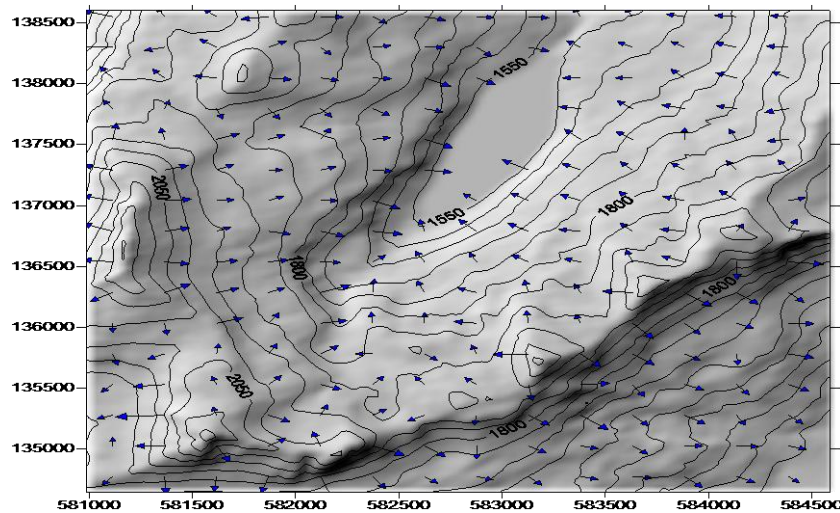


Figura 43. Direcția de scurgere a apei în funcție de pantă

Regimul de scurgere concentrat (tranziție) și cel în râu au fost determinate utilizând ecuația Manning descrisă mai jos:

$$v = \frac{1}{n} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (48)$$

unde:

v este viteza în regimul de scurgere concentrat în m/s;

R_h este raza hidraulică în m;

n este coeficientul de rugozitate în $s/m^{1/3}$;

S este panta celulelor.

Secțiunea transversală pentru a determina raza hidraulică a fost aleasă sub formă unui dreptunghi. Raza hidraulică este raportul dintre suprafața udată și perimetrul ud.

$$R_h = A/P \quad (49)$$

Pentru o secțiune transversală dreptunghiulară suprafața și perimetrul sunt calculate conform ecuațiilor următoare:

$$\begin{aligned} A &= h * L \\ P &= 2h + L \end{aligned} \quad (50)$$

Scurgerea laminară devine concentrată (tranziție), după 100 m.

În realitate în timpul unei inundații, lățimea râurilor este mai mică de un pixel (25 m), deci trebuie să corectăm această lățime. Corecția se face cu ajutorul unui coeficient de corecție care poate avea valori între 0.1 și 1 [70]:

$$L = C_c * d \quad (51)$$

unde:

L este noua lățimea corectată a râului în m;

C_c este coeficientul de corecție;

d este lățimea unui pixel în m;

h este înălțimea apei pe teren în m.

Figura 44 prezintă forma aproximativă a unui râu luând în considerare ipoteza făcută asupra lățimii râului:

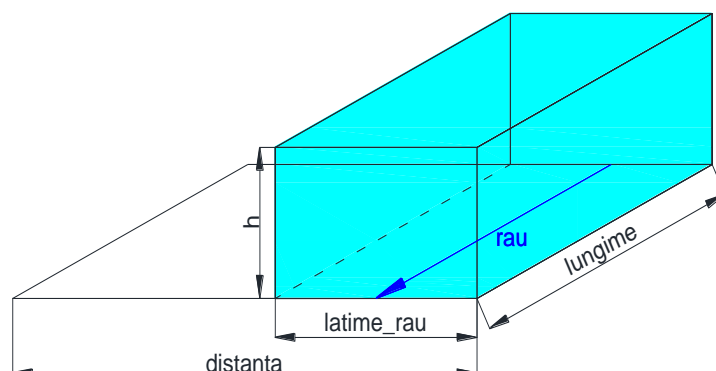


Figura 44. Exemplu asupra corecției râului

Înălțimea apei este calculată plecând de la un volum cunoscut, acest volum este dat de ploaie și transferat ei la fiecare pas de timp.

$$h = \frac{V}{lungime \cdot C_c \cdot d} \quad (52)$$

unde:

V este volumul la fiecare pas de timp exprimat în m^3 ;
lungime este lungimea râului exprimată în m.

În acest moment toate valorile sunt cunoscute și se poate calcula raza hidraulică. Rugozitatea este estimată în funcție de natura solului (Tabel 4):

Tabel 4. Coeficienți de rugozitate:

| Natura solului | n |
|--------------------------|---------------|
| Sol natural foarte neted | 0,020 |
| Sol natural foarte rugos | 0,030 la 0,05 |
| Sol natural cu vegetație | 0,05 la 0,1 |

Sursă (Bartha et Javgureanu, 1998, [7])

Rugozitatea este un factor foarte important în determinarea vitezelor de scurgere. În urma unor teste făcute folosind o rugozitate diferită pentru fiecare tip de scurgere (concentrată și în râu), am observat că rezultatele sunt mult mai realiste (Figura 47). Din acest motiv modelul elaborat folosește rugozități diferite pentru fiecare tip de scurgere a apei.

Figurile următoare confirmă ipotezele făcute asupra lățimii râului, adică pe un bazin hidrografic râurile au o lățime mai mică de 25 m. Topografia de 25x25m conține geometria râurilor pe teren, dar nu descrie în detaliu calea scurgerii de pe suprafața terenului. Utilizarea coeficientului de lățime a râului ne ajută să calculăm debitul fără a fi necesară crearea unei rețele de râuri.



Figura 45. Râuri naturale existente în topografia unui bazin



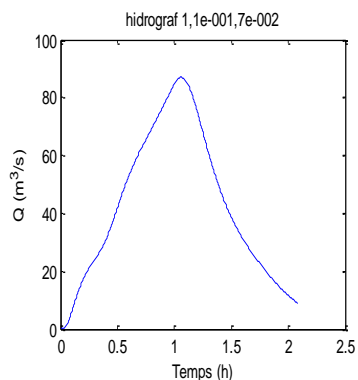
Figura 46. Râuri naturale existente în topografia unui bazin

Figurile următoare prezintă influența rugozității și a lățimii râurilor asupra hidrografului de viitură.

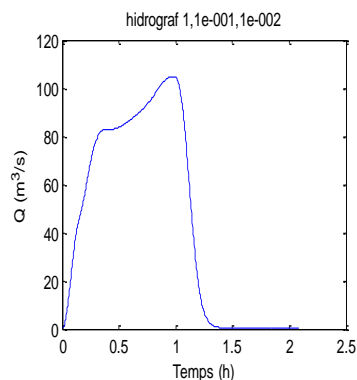
Notați: $Cc1$ – coeficient de corecție a lățimii râului, pentru scurgerea în râu;

n – rugozitate;

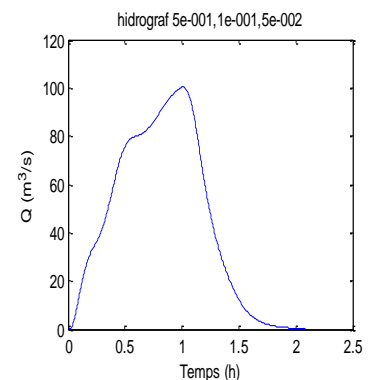
$Cc2$ – coeficient de corecție a lățimii râului, pentru scurgerea concentrată.



$Cc1 = 1; Cc2 = 0.1; n = 0.1$



$Cc1 = 1; Cc2 = 0.1; n = 0.01$



$Cc1 = 0.5; Cc2 = 0.1; n = 0.05$

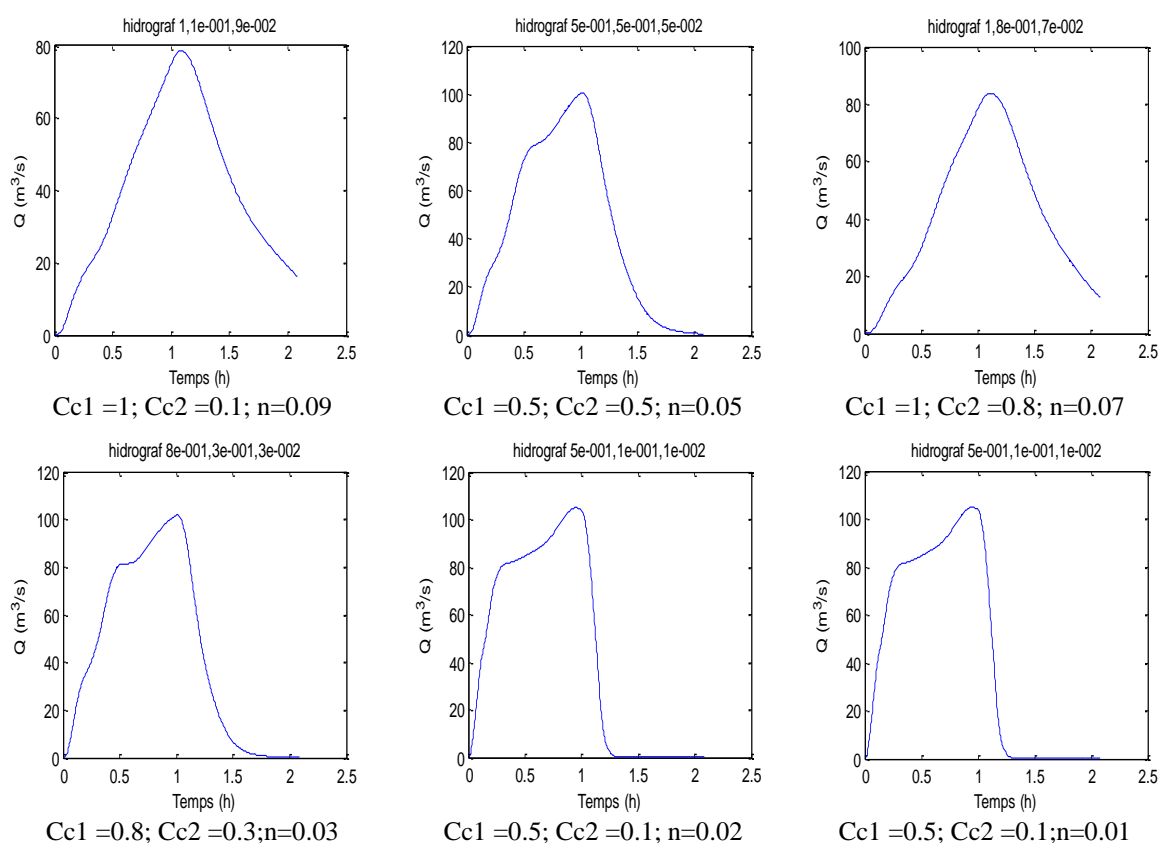


Figura 47. Influența lățimii râurilor și a rugozității asupra hidrografului de viitură [64]

Forma hidrografului de viitură în funcție de timp este dată de viteza de scurgere și rugozitate. Dacă viteza de scurgere în râu este mare se observă pe hidrograf apariția a două vârfuri și o durată de o oră pentru timpul de concentrare al bazinului. În mod contrar, dacă se reduce viteza de scurgere (considerând o rugozitate ridicată), se obține un singur vârf al hidrografului și un timp de concentrare mai mare de o oră.

După toate aceste teste am observat că asupra hidrografului de viitură lățimea râurilor și rugozitatea au o mare influență. Un al doilea calcul a fost făcut cu o rugozitate specifică pentru fiecare tip de scurgere, cea în râu și concentrată. Pentru fiecare bazin este important să se găsească coeficienții de rugozitate și de corecție ai râului astfel încât calculul să fie cât mai apropiat de realitate. Coeficienții folosiți sunt prezentați în tabelul de mai jos:

Tabel 5. Coeficienți de lățime ai râului și coeficienți de rugozitate ai terenului:

| Tipul de scurgere | Coeficienți de lățime ai râu | Rugozitate |
|-------------------------------------|------------------------------|------------|
| Scurgere de tranziție (concentrată) | 0,1 | 0,09 |
| Scurgere în râu | 0,5 | 0,05 |

Influența acestor parametri este prezentată în secțiunea de rezultate, pentru diferite direcții ale vântului.

Ipoteze asupra scurgerii apei:

Toate celulele din bazin sunt susceptibile la scurgere. Fiecare celulă a terenului oferă o anumită cantitate de apă celei vecine în aval și în același timp ea primește un volum de apă

de la vecinii săi din amonte, la care se adaugă volumul ploii (PMP). Volumul dat de către o celulă la un anumit timp t este calculat cu ecuația următoare:

$$V_{dat}(x, y, t) = \left[V_{acumulat}(x, y, t) + V_{ploaie}(x, y, t) \right] \cdot \frac{v \cdot \Delta t}{d}$$

unde:

$V_{acumulat}$ este volumul de apă existent pe o celulă în m^3 ;

V_{ploaie} este volumul de apă provenit din ploaie (PMP) pe celulă, în m^3 ;

v este viteza de scurgere (una dintre cele trei tipuri) în m/s ;

Δt este pasul de timp ;

d este distanța între celule și vecini săi în m .

Acest volum este distribuit celulelor vecine în aval în funcție de pantă, conform ecuației următoare:

$$V_{primit}(x \pm 1, y \pm 1, t) = V_{dat}(x, y, t) \cdot \frac{panta}{\sum pante}$$

Panta este normalizată prin suma pantelor între celulă și vecini săi în aval. Aceasta face ca volumul apei să fie distribuit proporțional pantei. Deci celulele asociate unei pante mari, primesc o cantitate de apă mai mare ca celelalte cu o pantă mai mică. Normalizarea pantelor asigură că volumul de apă dat este egal cu cel primit.

6.2.2 Infiltrația

Infiltrația este definită ca fiind procesul prin care apa trece de pe suprafața solului în interior. Acesta este un proces natural vital: fără infiltrație, puțurile și izvoarele ar fi uscate, creșterea vegetației s-ar opri, etc. Infiltrația are un rol important pe suprafața pământului, ea provoacă un debit mai mare în cazul în care solul este impermeabil sau contrar va fi redus în cazul în care solul este permeabil. Acest lucru poate fi de asemenea observat în modelul nostru de calcul.

În hidrologie, solul este format din materiale granulare, care poate varia de la cea mai fină argilă la pietriș grosier. Grosimea stratului variază între 0,3 la câteva sute de metri. Apa se deplasează prin porii solului sub acțiunea gravitației și forței capilare. Relația dintre debitul apei penetrat de-a lungul suprafeței solului și debitul ploii se numește rată de infiltrație. Rata de infiltrație este o funcție de timp, care determină curba de infiltrație.

Forța capilară este mai mare atunci când solul este uscat, deci rata de infiltrație este mai mare imediat după începerea unei ploii torențiale. Dar, așa cum apa pătrunde în sol pentru a ajunge la o anumită adâncime, rezistența cauzată de forțele care acționează asupra apei crește și rata de infiltrație este redusă. În cazul în care disponibilitatea apei de la suprafață nu ridică probleme, rata maximă de infiltrație poate fi atinsă. Această rată se numește capacitatea de infiltrație sau rata potențială de infiltrație.

Modelarea infiltrației poate fi realizată cu ajutorul relațiilor empirice ca: Horton [54] și Kostiakov [61] sau relațiilor bazate pe o abordare fizică, cum ar fi: Philip Green și Ampt.

Calculul infiltrației în cadrul programului nostru a fost realizat cu ajutorul a mai multor ipoteze cu privire la capacitatea de infiltrație și folosind ecuația empirică Horton. Această ecuație este una dintre cele mai utilizate, pentru a estima evoluția în timp a capacității de infiltrație a apei din sol.

Modelul matematic propus de Horton este următorul:

$$i(t) = i_f + (i_0 - i_f) \cdot e^{-\gamma t} \quad (55)$$

unde:

$i(t)$ este capacitatea de infiltrare la momentul t în mm/h;

i_0 este capacitatea de infiltrare inițială, diferită în funcție de tipul de sol în mm/h;

i_f este capacitatea de infiltrare finală în mm/h;

t este timpul de scurgere de la începutul aversei în h;

γ este constanta empirică în funcție de natura solului în min^{-1} .

Ecuția lui Horton se bazează pe conceptul de depășire a capacității de infiltrare a solurilor. Conceptul acestui mecanism este după cum urmează: atâta timp cât capacitatea de infiltrare a solului nu este depășită, toată apa de ploaie se infiltră dar deîndată ce intensitatea pluviometrică depășește această capacitate, surplusul de apă începe să se scurgă la suprafață. Această formă de scurgere formează scurgerea rapidă a viiturii. Apa infiltrată contribuie mult mai lent la reîncărcarea pânzei freatice susținând un debit de bază.

Ecuția arată o descreștere exponențială a capacității de infiltrare în timp și, în consecință, o reducere a permeabilității solului. După o anumită perioadă, solul ajunge la saturare și nu mai acceptă apă. Apa se scurge pe teren și nu se mai infiltră. Pentru bazinele în studiu am definit valorile capacităților inițiale și finale conform Musgrave 1995.

Geologia solului a fost reconstituită plecând de la o hartă simplificată geotehnică conținând 30 clase de sol. Ea se bazează pe harta geotehnică a Elveției (1:200000 scară), publicată de către Comisia Geotehnică elvețiană. Această hartă este compusă din 60 de clase (tipuri de sol) care au fost grupate în 30 (Anexa nr.B) cu condiția să se comporte în mod similar, în ceea ce privește procesele de geomorfologie.

Această hartă aparține Oficiului Federal al mediului, pădurilor și al peisajului și de asemenea Oficiului Federal de apă și geologie (Anexa B)

6.2.3 Modelarea scurgerii subterane

Scurgerea apelor subterane a avut nevoie de mai mulți ani ca hidrologii să recunoască contribuția sa asupra hidrografului de viitură. Aceasta este probabil datorită faptului că mecanismele de transfer al apei în sol sunt mult mai greu de explicat și de identificat (Musy și Soutter, 1991 [95])

Multe studii au fost făcute în literatură (Ogunkopa et Jenkins, 1993 [97]) asupra scurgerii apei subterane. Rezultatele obținute au arătat ca debitul subteran diminuează hidrograful de viitură și mai ales vârful lui. Această reducere a debitul total duce la o creșterea a timpului de concentrare.

Integrarea debitului apelor subterane în modelul nostru a fost realizat menținând aceleași principii ca în cazul scurgerii de suprafață. Caroiajul (celule de 25x25 m) topografiei de suprafață a fost păstrat, topografia subterană fiind doar decalată cu o grosime constantă paralelă față de suprafață. Transferul apei este realizat în funcție de pantă și diferența volumelor de apă între celule.

Ca și în cazul scurgerii apei de suprafață modelarea scurgerii apei subterane este bazată pe o serie de ipoteze. O prima ipoteză a fost făcută pentru grosimea solului considerată constantă pe suprafața bazinului. Modelul dezvoltat poate gestiona și grosimi diferite pentru fiecare punct al terenului în funcție de fiecare clasă de sol.

În subteran viteza de scurgere este mai mică ca cea de suprafață, ea fiind calculată cu ajutorul ecuației Darcy (Darcy, 1992 [29]).

$$q = -K (dh / dx) \quad (56)$$

unde:

q este fluxul volumetric exprimat în m/s;

h este nivelul piezometric exprimat în m;

x este distanța în direcția x exprimată în m;

K este conductivitatea hidraulică exprimată în m/s.

Modelul elaborat se bazează pe presupunerea că, inițial, solul nu este saturat. În funcție de infiltrație și scurgerea subterană, solul devine saturat după o anumită perioadă de timp.

În cazul în care terenul este saturat, apa de ploaie curge pe suprafața terenului, deci este vorba de scurgerea de suprafață. Această scurgere este influențată și adiționată de apariția fenomenului de exfiltrație când solul devine saturat.

Algoritmul folosit pentru modelarea scurgerii subterane este următorul:

$$V_{dat_subteran}(x,y,t) = \left[V_{acumulat_subteran}(x,y,t) + V_{infiltrat}(x,y,t) \right] \cdot \frac{v \cdot \Delta t}{d}$$

unde:

$V_{acumulat_subteran}$ este volumul de apă prezent pe o celulă în subteran în m^3 ;

$V_{infiltrat}$ este volumul infiltrat pe o celulă, calculat cu ecuația Horton în m^3 ;

v este viteza dată de ecuația Darcy în m/s;

Δt este pasul de timp, și d distanța între celule în m.

Acest volum este distribuit celulelor vecine în aval în funcție de pantă conform ecuației următoare:

$$V_{primit_subteran}(x \pm 1, y \pm 1, t) = V_{dat_subteran}(x, y, t) \cdot \frac{panta}{\sum pante}$$

unde $panta$ este normalizată prin suma pantelor între celule și vecini săi în aval ca și pentru scurgerea de suprafață.

Cursul apei în modelul dezvoltat este reprezentat în Figura 48:

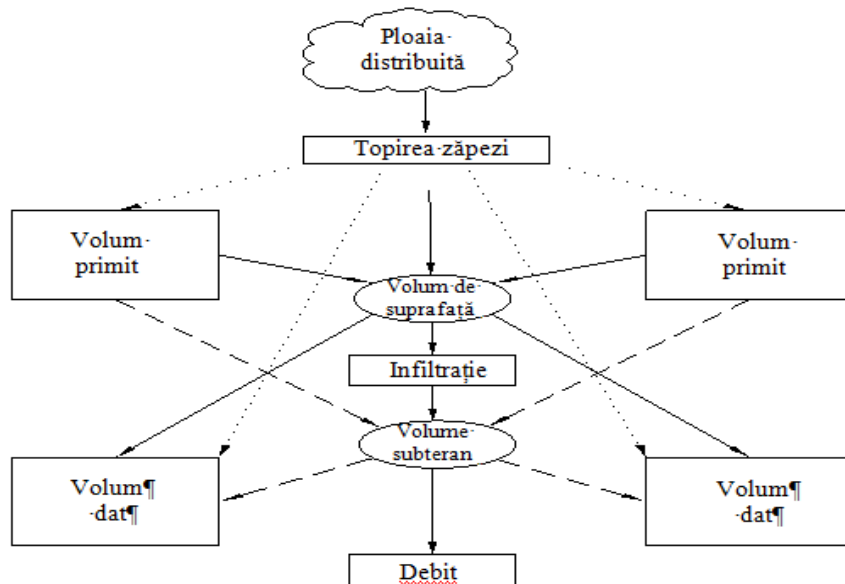


Figura 48. Schema modelului hidrologic dezvoltat

Legendă:

- Volumul de apă primit și dat pentru o celulă de suprafață;
- Volumul de apă primit și dat pentru o celulă în subteran,;
- Volumul de apă primit și dat pentru fiecare celulă provenit din topirea zăpezii;
- Celulele terenului cu o rezoluție de 25 x 25 m

După cum se observa în această figură dar și în ecuațiile dezvoltate, scurgerea apei subterane are un drum paralel cu cea din suprafață, cu diferența că viteza de scurgere în subteran este mult mai mică. Ca și în scurgerea de suprafață, fiecare celulă în subteran primește un volum de apă provenind de la vecinii din amonte care se adaugă apei existente deja. În plus, la acest volum, am adăugat de asemenea infiltrația locală, care joacă în sol același rol ca și precipitațiile pentru scurgerea de suprafață. În final, o parte din acest volum total de apă va fi redirecționat celulelor în aval în funcție de pantă și de diferența între înălțimea apei pe fiecare celulă.

În secțiunea din anexa D prezent rezultatele simulării numerice, arătând influența infiltrației și a scurgerii subterane asupra scurgerii de suprafață și în special, asupra debitului la gura de vărsare. Trebuie desigur cunoscută geometria stratului subteran și compoziția fină a solului. Deoarece aceste date sunt insuficiente, am definit ca zona nesaturată să aibă o topografie paralelă cu cea de suprafață. Această ipoteză este într-adevăr valabilă pentru scurgeri care au loc în zona de suprafață cu o adâncime care ajunge la 20-30 cm.

6.3 Modelarea topirii zăpezii

Topirea zăpezii este procesul unui transfer energetic, pentru a descrie topirea zăpezii din punct de vedere fizic, este necesar stabilirea bilanțului energetic a diferitelor surse de căldură la care stratul de zăpadă este supus. Acest bilanț este:

$$H_f = H_r + H_a + H_s + H_p \quad (59)$$

unde: H_f este căldura echivalentă topirii zăpezii; H_r radiația solară; H_a este căldura transmisă de aer; H_s căldura transmisă de sol; H_p este aportul de căldură dat de apa din ploaie.

Acest bilanț influențează transformarea zăpezii din momentul în care ea se acumulează pe suprafața solului până la topire. Apa provenită de la topirea zăpezii se scurge pe sol spre rețeaua de drenaj a bazinului hidrografic. Această apă contribuie împreună cu precipitațiile lichide la producerea debitului.

Anctil et al., 2005 [2] descrie procesele de topire a zăpezii folosind schema din Figura 49. Această schema conține toate elementele bilanțului energetic. Sursele de căldură necesare topirii zăpezii sunt radiația solară, căldura solului, a aerului și a apei care se scurge pe teren. În general acești factori acționează lent înafara de apa de ploaie și cea care se scurge pe teren.

Modelul pe care l-am dezvoltat are o structură simplificată dar care pune foarte bine în evidență efectul topirii zăpezii asupra hidrografului de viitură. Principală sursă de topire a zăpezii este apa provenită din precipitații. În cazul unei ploii de tip PMP, acesta are o foarte mare influență asupra topirii zăpezii.

În practică este foarte dificil determinarea tuturor elementelor care compun bilanțul energetic, de aceea modelul meu de calcul pentru topirea zăpezii a fost ales în funcție de datele disponibile și realizarea unor ipoteze care vor fi prezentate mai jos.

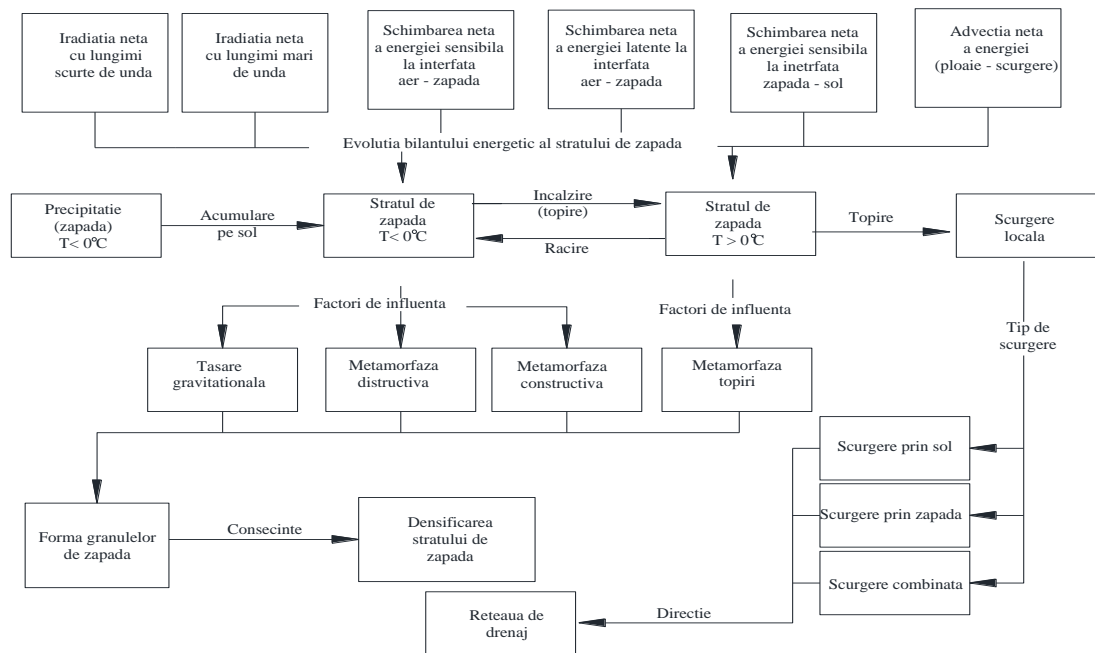


Figura 49. Conceptul proceselor de transformare a zăpezii în apă

Figura 50 prezintă elementele incluse în modelul nostru ținând cont de schema realizată de Anctil. Cercurile reprezintă modelul existent cu ipotezele sale iar romburile reprezintă etape care nu vor fi incluse în model pe viitor [68].

Ipotezele făcute sunt asupra parametrilor ca și înălțimea stratului de zăpadă, volumul precipitație, temperatura ploi. În tabelul următor sunt prezentate datele folosite în calculul topirii zăpezii.

Tabel 6. Date folosite pentru calculul topirii zăpezii:

| Căldura latentă a zăpezii [kJ/kg] | Căldura specifică [kJ/(kg·K)] | Densitate a zăpezii | Temperatura zăpezii [°C] | Temperatura ploi [°C] | Înălțimea zăpezii [m] |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 330 | 4.18 | 0.35 | 0 | 5 | 0.20 |

Înălțimea stratului de zăpadă a fost fixată la 20 cm, fiind constantă pe toată suprafața bazinul hidrografic. Această înălțime a fost aleasă în funcție de harta din Figura 51.

Temperatura zăpezii (T_{neige}) la 0°C, și temperatura apei de ploaie (T_{pluie}) la 5°C.

După ce bilanțul energetic a fost stabilit, cantitatea de apă provenită din topirea zăpezii ($Q_{eauneige}$) este calculată cu ecuația următoare:

$$Q_{topit} = \frac{E_{calorică}}{\rho \cdot C_{latzăpadă} + (C_p \cdot T_{zăpadă})} \quad (60)$$

unde:

Q_{topit} este cantitate de apă provenită din topirea zăpezii exprimată în m³;

$C_{latzăpadă}$ este căldura latentă a zăpezii exprimată în kJ/kg;

$E_{calorică}$ este energia calorică a apei exprimată în kJ;

ρ este densitatea apei exprimată în kg/m³;

T_{neige} este temperatura zăpezii exprimată în °C.

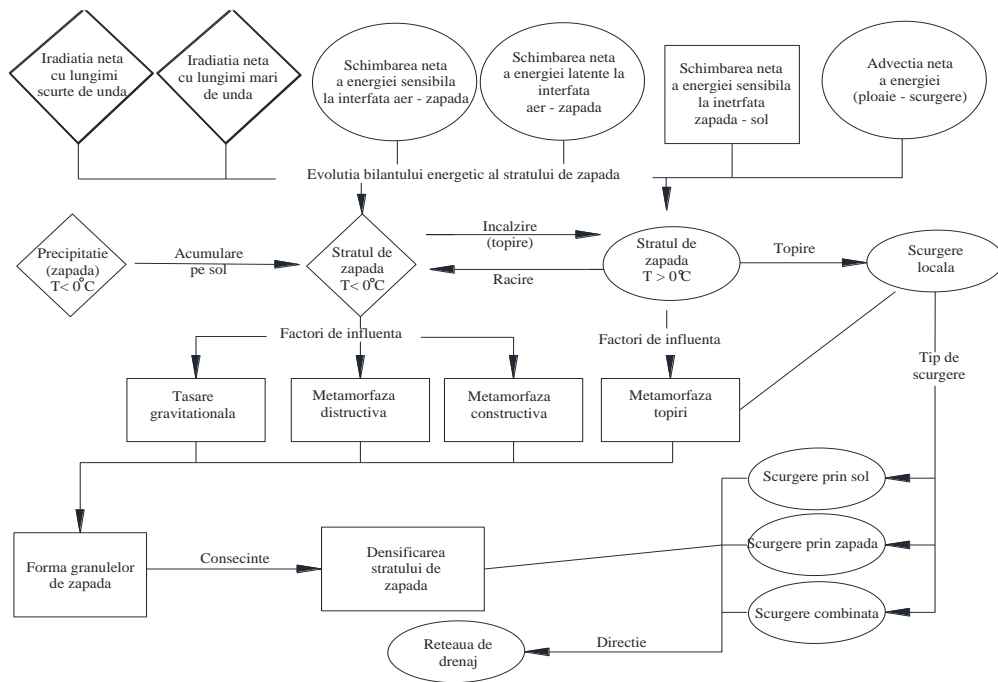


Figura 50. Factori incluși în modelul meu dezvoltat

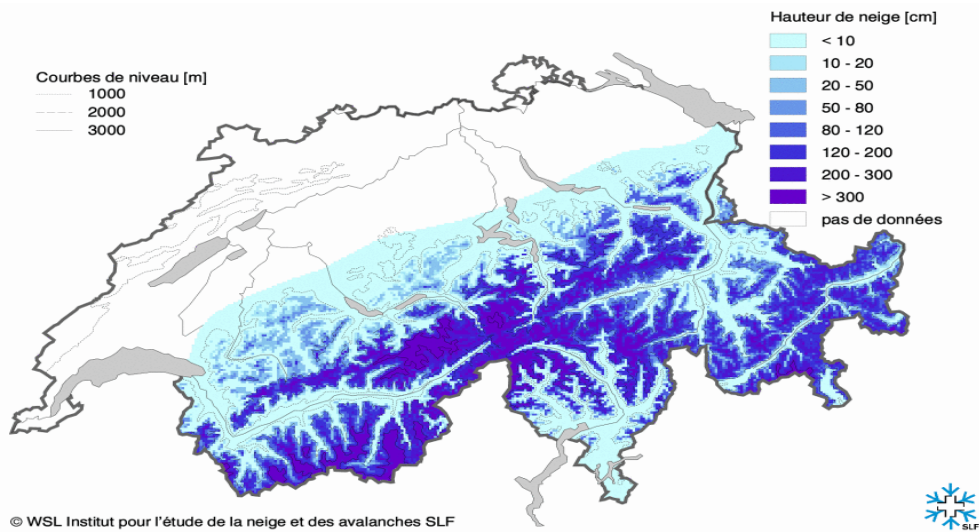


Figura 51. Înălțimea stratului de zăpadă pentru Elveția [130]

Cantitatea de căldură dată de un volum de apă este:

$$E_{calorică} = \rho \cdot V_{ploaie} \cdot C_p \cdot (T_{ploaie} - T_{zăpadă}) \quad (61)$$

unde:

C_p este căldura specifică exprimată în kJ/(kg*K);

T_{ploaie} este temperatura apei de ploaie exprimată în °C.

Aceste două ecuații descriu procesele calorimetrice pentru topirea zăpezii folosite în modelul meu. În figurile următoare prezentăm un exemplu de topire a zăpezii pentru bazinul hidrografic Arnensee (bazin test prezentat în anexe). Culoarea roșie reprezintă zăpada iar în albastru zonele unde zăpada s-a topit (Figura 52). În prima figură topirea zăpezii este mai pronunțată în zonele de influență a râurilor, acolo unde este mai multă apă. Aceste râuri

acelerează topirea zăpezii și antrenează apa topită spre gura de vărsare. Deci topirea zăpezii este mai rapidă în jurul lacului și mai lentă pe culmea bazinului (Figura 53).

La sfârșitul simulării putem observa pe suprafața bazinului hidrografic zăpada rămasă. Aceasta poate fi explicată prin faptul că cantitatea de apă care ajunge în partea superioară a bazinului este mult mai mică decât cea din josul bazinului, ceea ce face ca topirea să fie mult mai lentă.

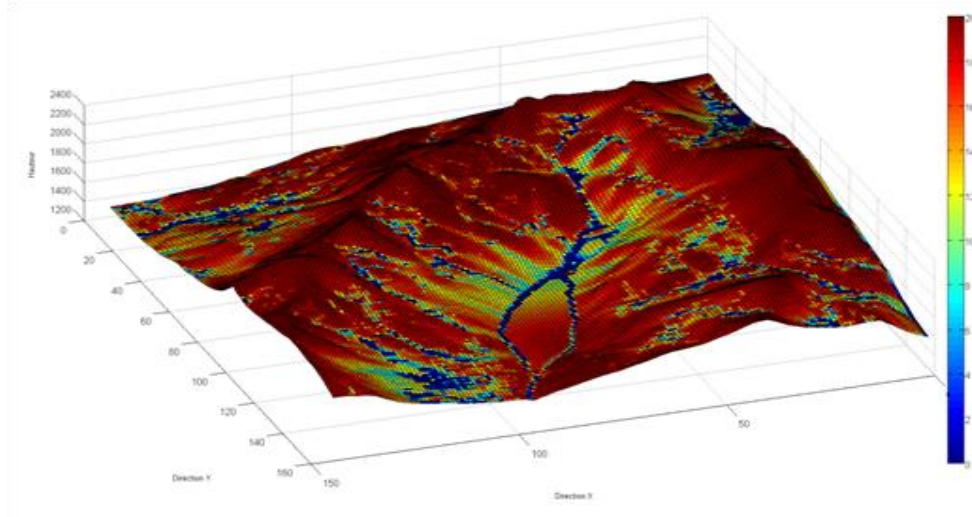


Figura 52. Topirea zăpezii, prima etapă (Model dezvoltat)

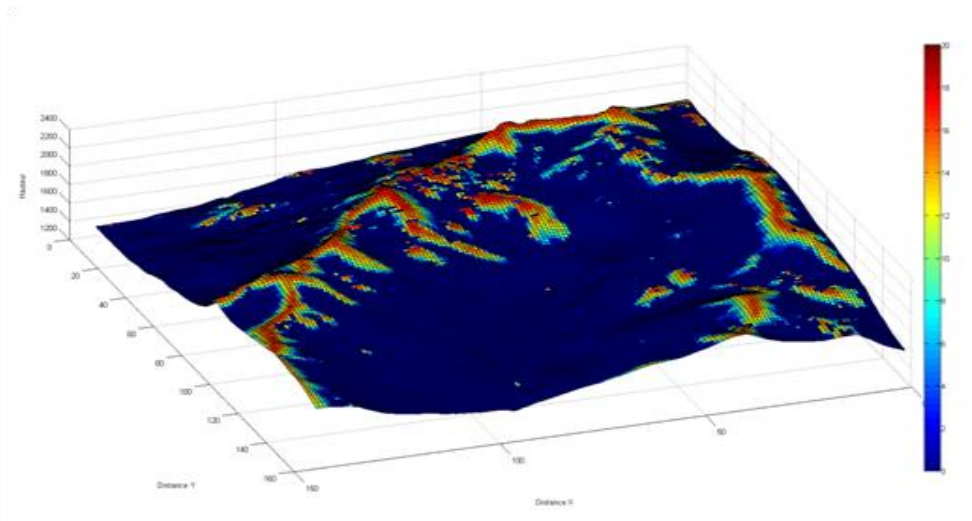


Figura 53. Topirea zăpezii la sfârșitul simulării (Model dezvoltat)

Rezultatele topirii zăpezii sunt prezentate în Anexa D pentru bazinul test Arnensee.

7. STUDII DE CAZ ÎN ELVEȚIA ȘI ROMÂNIA

7.1 Alegerea bazinelor hidrografice

7.1.1 Alegerea bazinelor hidrografice în Elveția

Studiul practic al acestei teze a fost realizat pe mai multe bazine hidrografice din Elveția. Figura 54 prezintă situația geografică a fiecărui bazin hidrografic studiat.

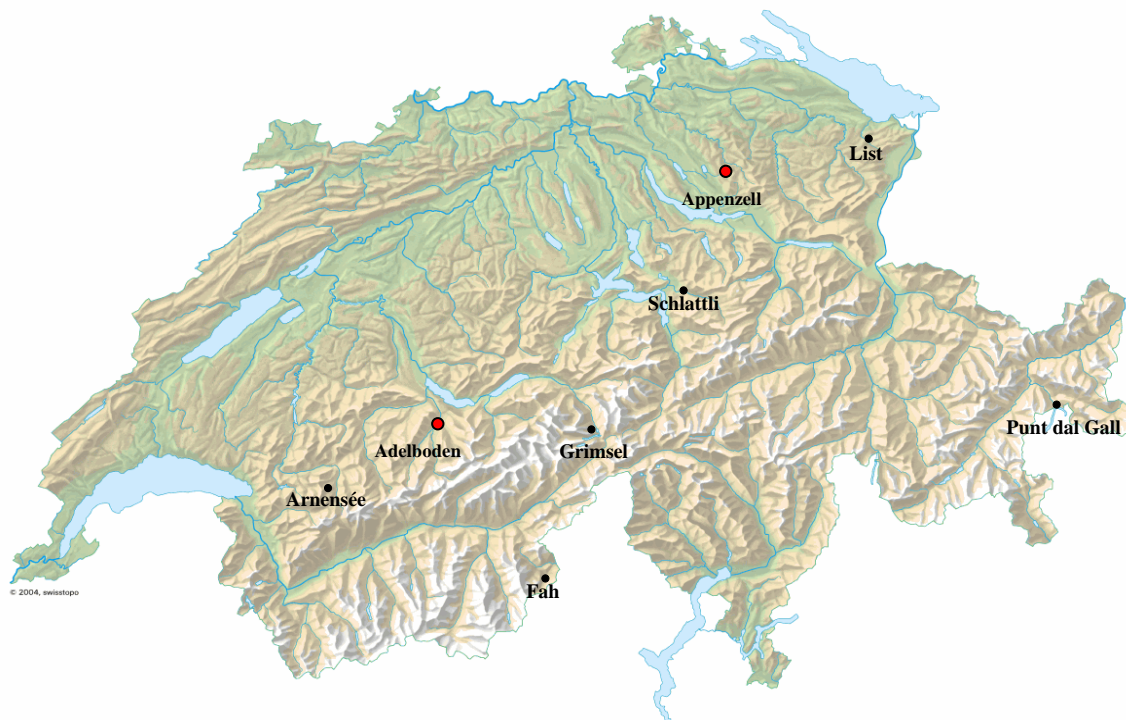


Figura 54. Amplasarea bazinelor hidrografice studiate în Elveția [124]

Alegerea bazinelor hidrografice a fost făcută în funcție de mărimea bazinelor, poziția geografică, existența datelor pluviometrice și debitmetrice necesare pentru a putea realiza un model general robust care să poată fi folosit atât în Elveția cât și în afara ei.

Bazinele Arnensee, Fah, Grimsel, Schlattli, List, și Punct dal Gall au fost primele bazine testate cu modelul dezvoltat. Suprafața acestor bazine variază de la 7 km² până la aproximativ 300 km² [127].

Calibrarea modelului a fost realizată pentru două bazine hidrografice din Elveția și anume Allenbach și Sitter. Aceste bazine au fost alese deoarece au suprafețe diferite și nu prezintă ghețari sau au o suprafață negliabilă.

Primul bazin studiat a fost bazinul Allenbach situat la Adelboden în Alpii Bernei, cu o suprafață de 28,8 km² [127]. Acest bazin a fost ales deoarece este unul dintre cele mai tipice bazine hidrografice din Elveția cunoscut pentru viiturile extreme provocate de violente furtuni de vară.



Figura 55. Bazinul hidrografic Adelboden [140]

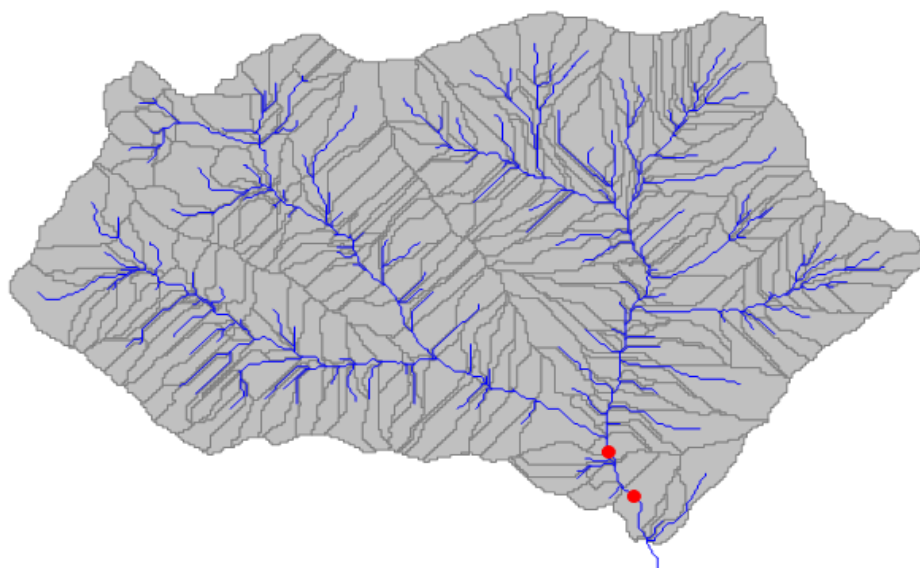


Figura 56. Delimitarea bazinului Adelboden (Manifold [141])

Al doilea bazin hidrografic este bazinul Sitter la Appenzell, situat în estul Elveției, cu o suprafață de $90,3 \text{ km}^2$ [127]. Pe acest bazin exista un ghețar cu o suprafață de $0,08 \%$, suprafață care a fost neglijată în calcul. El a fost ales deoarece prezintă o suprafață mai mare decât cea a primului bazin studiat. Scopul alegerii acestor bazine este de a putea obține un model care să fie independent de mărimea bazinului hidrografic.



Figura 57. Bazinul hidrografic Sitter [140]

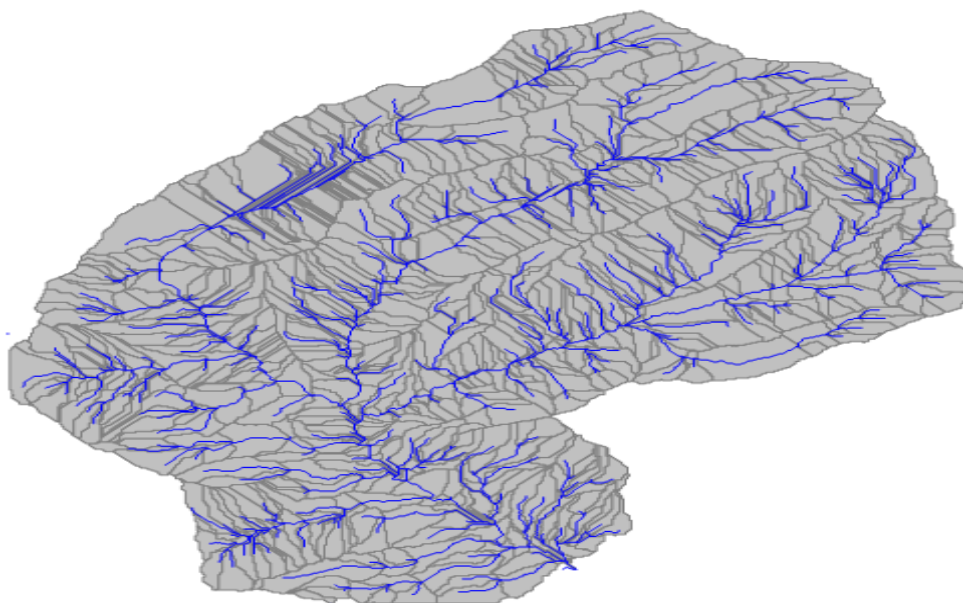


Figura 58. Delimitarea bazinului Sitter (Manifold [141])

Rezultatele calibrării modelului vor fi prezentate în secțiunea de rezultate.

7.1.2 Alegerea bazinelor hidrografice în România

Modelul hidrologic dezvoltat a fost aplicat în două zone ale țării și anume Vâlcea și Caraș-Severin. Alegerea acestor bazine a fost făcută în funcție de existența datelor pluviometrice, debitmetrice și topografice dar și pentru a putea evidenția avantajele modelului dezvoltat.

Calibrarea modelului în România a fost realizată pentru bazinul râului Cerna de pe bazinul hidrografic Olteț din județul Vâlcea. Acest bazin este situat în partea de sud-vest a bazinului hidrografic al râului Olt. Are o suprafață de aproximativ 200 km² o altitudine medie de 360 m .

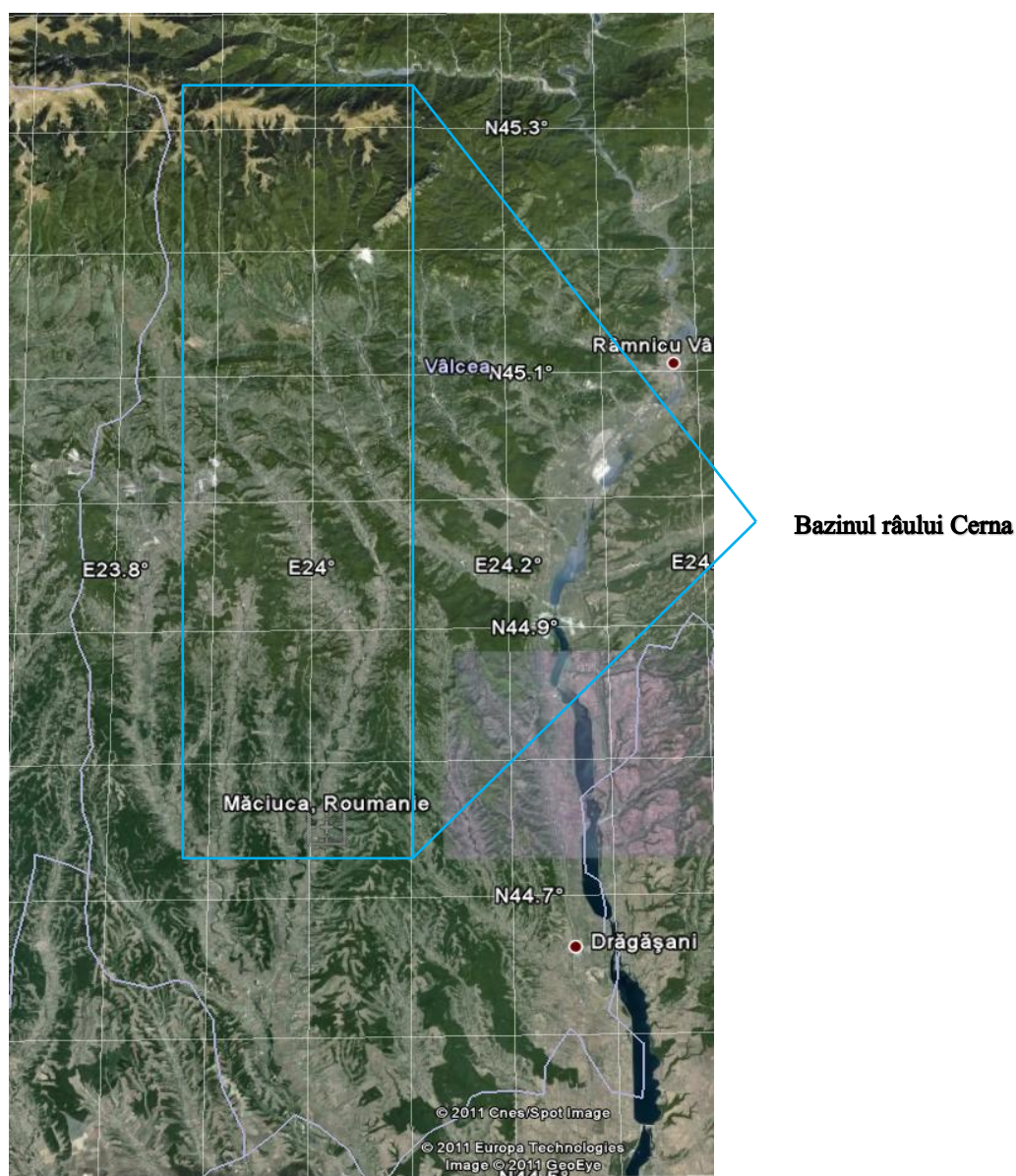


Figura 59. Bazinul râului Cerna [140]

Râul Cerna colectează apa din munții Carpați la altitudini mai mari de 2100 m. Relieful acestui bazin este alcătuit dintr-o zonă muntoasă și o zonă deluroasă. Dealurile Cernei fac parte din regiunea piemontană Oltenia și au o structură morfologică complexă, cu

dealuri cutate clar exprimate în relief, reprezentând contraste mari de altitudini ce pot depăși 700–800 m.

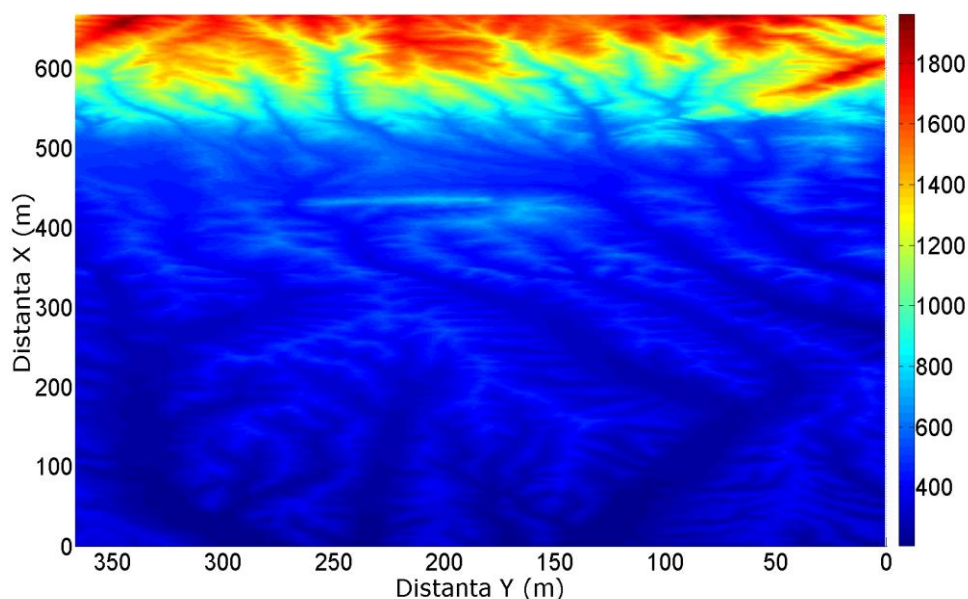


Figura 60. Harta înălțimilor în zona bazinului râului Cerna (Model dezvoltat)

Cel de-al doilea factor morfologic, panta, are un rol important pentru acest bazin (Figura 61), deoarece influențează viteza de scurgere a apei, provocând viituri importante în aval.

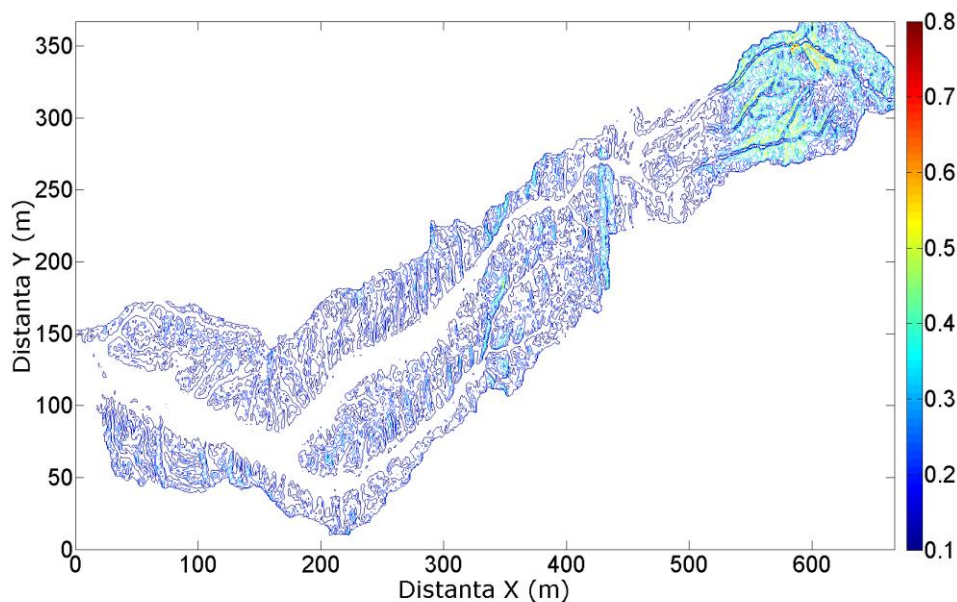


Figura 61. Harta pantelor în zona bazinului râului Cerna (Model dezvoltat)

Pentru a putea prezenta avantajele modelului dezvoltat, două bazine din județul Caraș – Severin au fost alese pentru studiu. Coordonatele geografice ale acestor bazine sunt următoarele:

Bazin I (N Oravița)

Latitudine 45,077523°

Longitudine 21,648824°

Bazin II (Lac Secu)

Latitudine 45,309655°

Longitudine 21,989397°



Figura 62. Identificarea zonei de studiu în cadrul județului Caraș – Severin

Unul dintre cele mai importante avantaje ale modelului dezvoltat este determinarea zonelor inundabile. Bazinul studiat pentru acest caz este situat în Nord de Oravița (Figura 62).

Zona de studiu prezintă o parte muntoasă cu altitudini de până la 900 m deasupra nivelului mării, respectiv o zonă joasă având altitudini de 100 m deasupra nivelului mării. Aceasta poate fi observată pe harta de înălțimi reprezentată în Figura 64.



Figura 63. Bazin Romania în N de Oravița

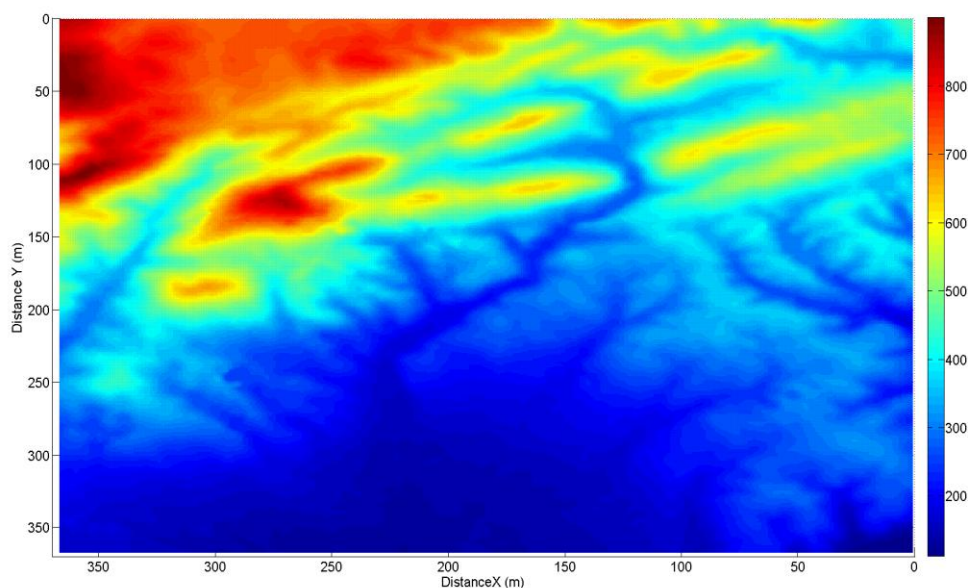


Figura 64. Harta înălțimilor în zona studiată N Oravița (Model dezvoltat)

Pentru acest bazin pantele sunt importante în partea superioară a bazinului de 3.50 % iar în partea inferioară acestea sunt foarte mici aproape neglijabile.

Diminuarea pantelor în zona joasă a bazinului duce la acumulări de apă cauzate de precipitații deci la zone inundabile. Această zonă este cunoscută ca fiind o zonă cu exces de umiditate, și de aceea ea a fost aleasă în cadrul acestei teze. În subcapitolul de rezultate identificăm aceste zone inundabile.

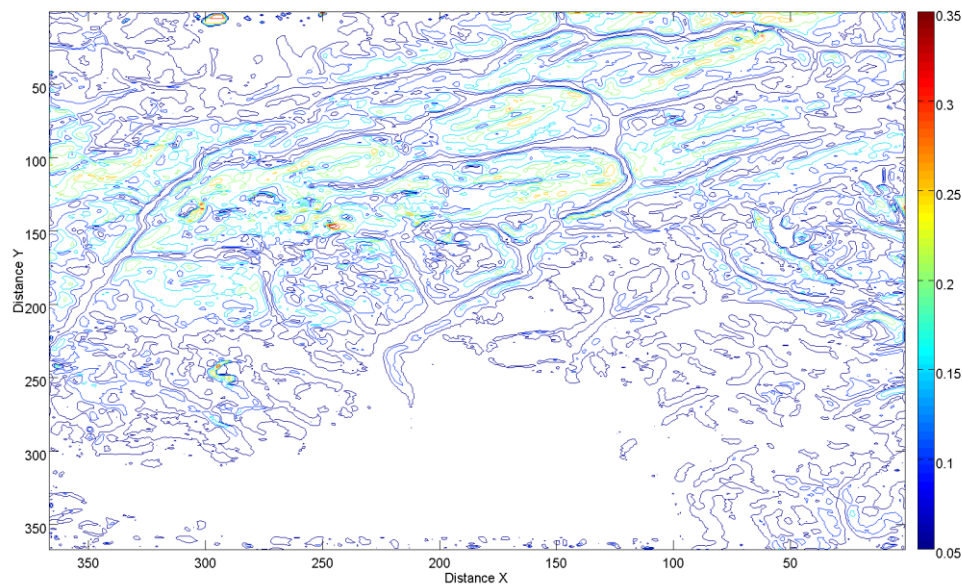


Figura 65. Harta pantelor în zona studiată N. Oravița (Model dezvoltat)

Cel de-al doilea bazin studiat în județul Caraș-Severin este cel din jurul lacului Secu (Figura 66), situat în partea de vest a României. Acesta a fost ales pentru a prezenta comportamentul modelului atunci când bazinul conține un lac. Suprafața bazinului este de 42 km², din care 1.07 km² reprezintă lacul. Lacul Secu este aproape de Reșița (10 km) și este folosit pentru alimentarea cu apă potabilă și industrială a orașului Reșița, de asemenea el are

rol de protecție împotriva inundațiilor (atenuarea undei de viitură). Acumularea Secu se află pe cursul superior al Bârzavei (Figura 66).

Din punct de vedere al morfometriei reliefului, zona de studiu este muntoasă cu altitudini care variază între 300 și 900 m deasupra nivelului mării (Figura 67).



Figura 66. Bazinul lacului Secu, județul Caras Severin

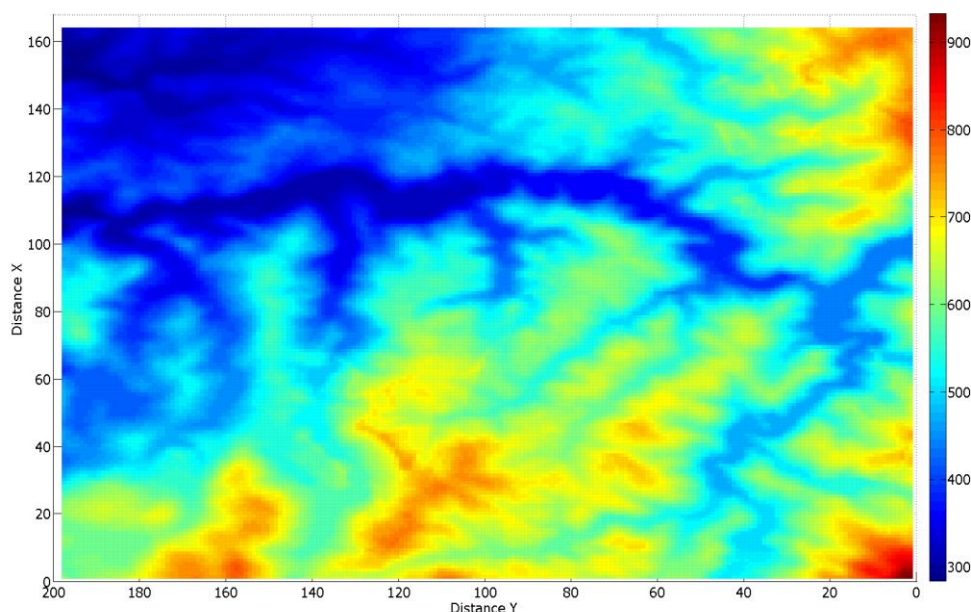


Figura 67. Harta înălțimilor în zona studiată a bazinului Secu (Model dezvoltat)

Pantele au o foarte mare importanță pentru acest bazin, ceea ce se poate observa în Figura 68. Din punct de vedere ecologic, panta și înălțimile sunt foarte importante pentru delimitarea tipurilor de ecosisteme. Panta are o foarte mare importanță și în determinarea cantității de sedimente preluate prin scurgerile de suprafață. La valori ale pantei mai mari, gradul de eroziune este mai mare datorită vitezei mai mari de curgere a apei, astfel și cantitatea de sedimente preluate este mai mare.

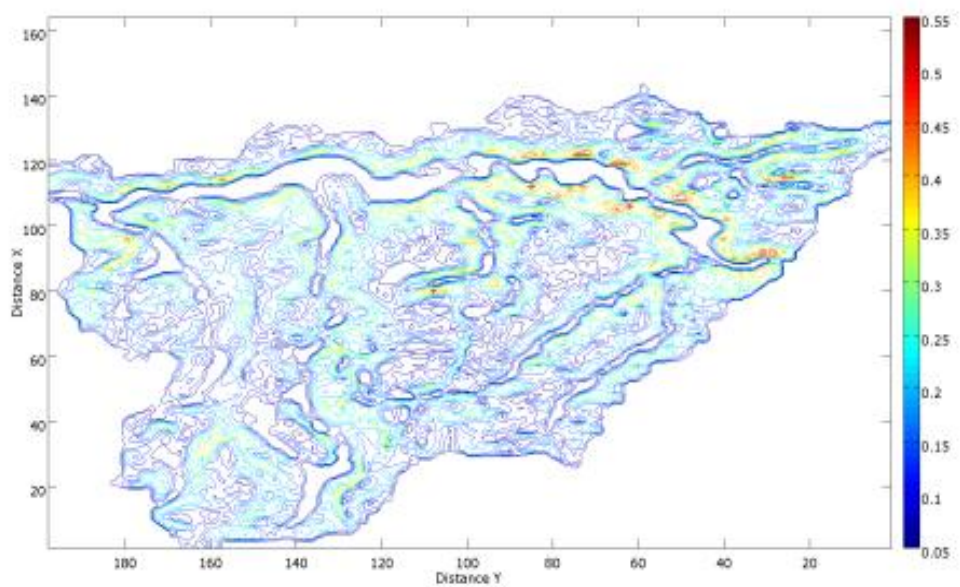


Figura 68. Harta pantelor în zona studiată a bazinului Secu (Model dezvoltat)

7.2 Baza de date disponibile

7.2.1 Date disponibile pentru bazinele hidrografice din Elveția

Pentru bazinele din Elveția există date pluviometrice, debitmetrice, topografice și geotehnice. Aceste date au fost furnizate de către Oficiul Federal de Meteorologie și Climatologie, MeteoSuisse și Swisstopo Elveția [137].

Precipitațiile constituie un indicator major al schimbărilor climatice, acest fapt fiind demonstrat cu ajutorul unor lungi serii de măsurători pluviometrice efectuate în Elveția încă din mijlocul secolului 19 (Fallot et al., 2009 [43]).

În prezent, precipitațiile sunt măsurate de către MetroSuisse în mai mult de 400 stații, dintre care o parte sunt în serviciu încă din decembrie 1963. În 1960, o parte din stații au fost automatizate (ANETZ). Aceste stații măsoară la zece minute suma precipitațiilor căzute în acest interval de timp. Suma orară, jurnalieră, lunară și anuală este dedusă din aceste măsurători. În afara măsurătorilor in situ, precipitațiile sunt calculate în mod indirect cu ajutorul radarului. În Elveția sunt amplasate trei radare, unul situat la Dole, altul la Albis și la Monte Lema. Aceste stații sunt în serviciu din 1961 (La Dôle, Albis) și 1993 (Monte Lema). Datele furnizate de aceste radare sunt arhivate sub forma digitală din 1991 și constituie de asemenea lungile serii potențiale care pot fi utilizate pentru studiul evenimentelor climatologice.

Pe lângă aceste date mai există și măsurătorile manuale care completează datele furnizate de stațiile automate. Datele obținute sunt tratate de către MeteoSuisse și publicate într-un buletin lunar al precipitațiilor. Acest buletin conține volumul precipitațiilor în mm pentru 24 ore, înălțimea stratului de zăpadă proaspătă în ultimele 24 ore în cm, înălțimea totală a stratului de zăpadă în cm, tipul și intensitatea precipitațiilor.

Topografia este furnizată de către Oficiul Federal de topografie swisstopo. În cadrul acestei teze am folosit un DEM (Digital Elevation Model) de 25 x 25 m. Un DEM este un set de date numerice care descriu un teren în 3D. O altitudine Z este atribuită fiecărei perechi de coordonate X și Y. Un DEM25 este derivat din harta națională 1:25000.

Un DEM poate fi distins conform tipului de grilă folosită:

- grilă pătrată/dreptunghiulară
- grilă hexagonală
- grilă triunghiulară

În funcție de tipul de grilă, reprezentarea informatică a DEM variază. Dacă grila este dreptunghiulară, putem folosi tabele, dar în celelalte cazuri structurile datelor sunt mai complexe.

Achiziția datelor se poate face în mai multe feluri:

- radar;
- stereoscopie, prin cuplaj de mai multe imagini aeriene;
- prin digitizarea curbilor de nivel;
- prin înscrierea directă a coordonatelor (x,y,z) a punctelor terenului, măsurate cu GPS, triangulație (de către geometri);
- prin sistemul laser aerian (LIDAR).

În primele trei cazuri, grila este dependentă de grila folosită pentru imaginile inițiale (grilă dreptunghiulară). În ultimele două cazuri, grila este în general triunghiulară.

Oficiul federal al mediului (OFEV) din Elveția pune la dispoziție serii de date pe perioade lungi pentru debite de suprafață, calitatea apei în cursul râului și a apei din lac. Rețeaua elvețiană de măsurători de debite este alcătuită din 200 stații de observație federală, aproximativ 300 stații cantonale pe micile cursuri de apă și câteva stații private. Măsurătorile de debit din toate stațiile OFEV sunt publicate în Atlasul Hidrologic Elvețian începând din anul 1917. Cele mai lungi serii de date continue sunt cele de la stațiile Rhin (Bale, 1891), Thur (Andelfingen, 1904) și Birse (Münchenstein, 1917).

Geologia solului a fost interpretată după o hartă a solurilor simplificată la 30 clase de sol. Această hartă a fost derivată din harta solurilor a Elveției (scara 1:200000) publicată de către Comisia geotehnică elvețiană. Cele 60 de clase de sol au fost regrupate în 30 de clase, ținându-se cont de asemănările dintre soluri. Această hartă aparține Oficiului federal de mediu, pădure și Oficiului federal de apă și geologie.

Pentru bazinul hidrografic Allenbach exista date disponibile de debite din 1960, iar de precipitații din 1980. De asemenea pentru bazinul Sitter dispunem de o largă varietate de date debitmetrice încă din 1993 și de date pluviometrice din 1978.

Ploaia maximă probabilă de tip PMP a fost extrasă folosind hărțile de precipitații maxime realizate pentru întreaga Elveție (Hertig et al. 2005, [52]).

7.2.2 Date disponibile pentru bazinele hidrografice din România

În România datele de care am dispus au fost topografia, pentru toate bazinele studiate cu o rezoluție de 30 x 30 m. Datele pluviometrice și debitmetrice existente au fost doar pentru bazinul Olteț, obținute de la Apele Române Județul Vâlcea.

Topografia folosită pentru studiul nostru are o rezoluție de 30 x 30 m, ea a fost furnizată de către NASA (ASTER Global DEM [123]). Instrumentul ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) a fost construit de către NASA în colaborare cu Ministerul Economiei, Comerțului și Industrii din Japonia, și a fost lansat la bordul navei spațiale NASA Terra în decembrie 1999. Metodologia utilizată pentru a produce ASTER GDEM a implicat prelucrarea automată a 1,5 milioane de scene ASTER de corespondență stereo, pentru a produce 1264118 scene DEM individuale bazate pe ASTER.

Pentru realizarea unei versiuni beta a ASTER GDEM, folosind o abordare complet automatizată, a fost necesar aproximativ un an de tratare a datelor.

GDEM ASTER acoperă suprafața globului între 83° N și 83° S latitudine și este compus din bucăți de o secundă-arc în format GeoTIFF în coordonate latitudine / longitudine reprezentând 30 m în grila de înălțimi. Figura 69 reprezintă suprafața acoperită de ASTER DEM.

Nasa mai poate furniza pe lângă topografie și rețeaua de râuri și căi rutiere existente pe suprafața României.

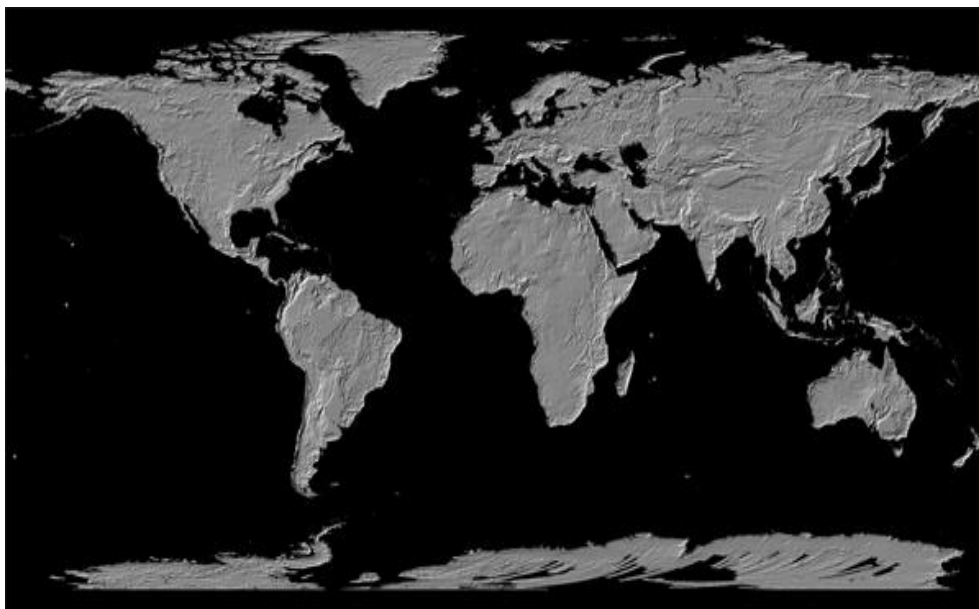


Figura 69. ASTER Global DEM [123]

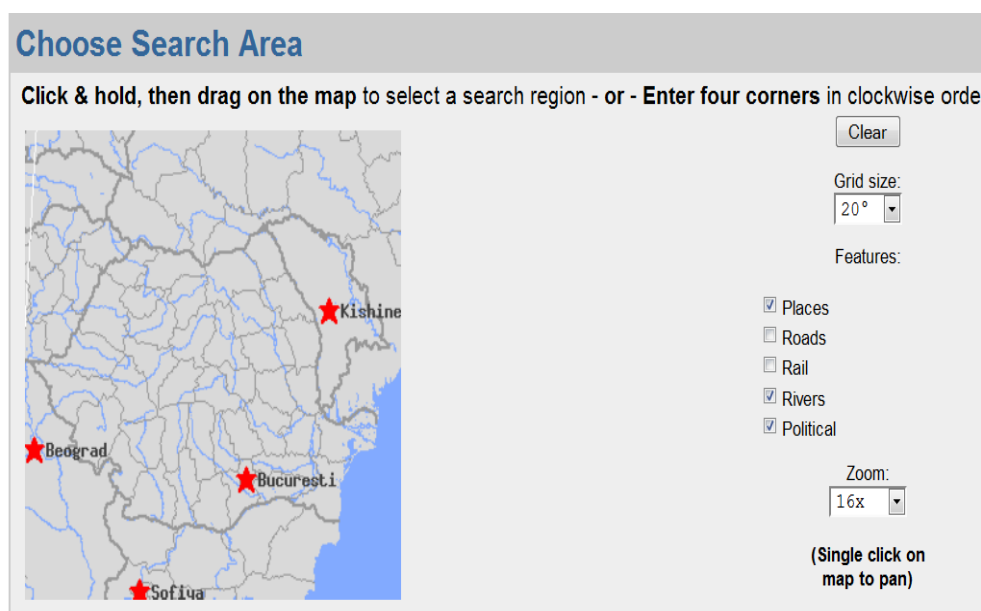


Figura 70. Detaliu asupra României [123].

În cazul acestei teze am folosit granulele următoare pentru cele 3 bazine studiate: ASTGTM_N44E021_dem, ASTGTM_N45E021_dem, ASTGTM_N44E023_dem, ASTGTM_N44E024_dem, ASTGTM_N45E023_dem, ASTGTM_N45E024_dem.

Tratarea acestor imagini a fost făcută cu ajutorul unui algoritm Matlab astfel încât să obținem o grilă de 30 x 30 m.

7.3 Calibrarea și verificarea modelului dezvoltat

7.3.1 Calibrarea modelului hidrologic pe bazinele din Elveția

Primul eveniment studiat a avut loc în data de 7 august 2004 pe bazinul hidrografic Appenzell. Ploaia folosită este o furtună de 2 ore care a dus la un debit de vârf de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Al doilea eveniment este în data de 7 iunie 2007 pe bazinul hidrografic Appenzell ducând la un debit de vârf de $76 \text{ m}^3/\text{s}$.

Datele pluviometrice disponibile au fost măsurate la fiecare 10 minute dar modelul meu are nevoie de o structură a ploii mult mai fină. Pentru a obține această structură am realizat o interpolare a datele de la 10 minute la 3 minute. Acest calcul poate fi observat în Figura 71 și Figura 72 (barele albastre reprezintă ploaia măsurată la zece minute iar barele roșii cea interpolată la trei minute).

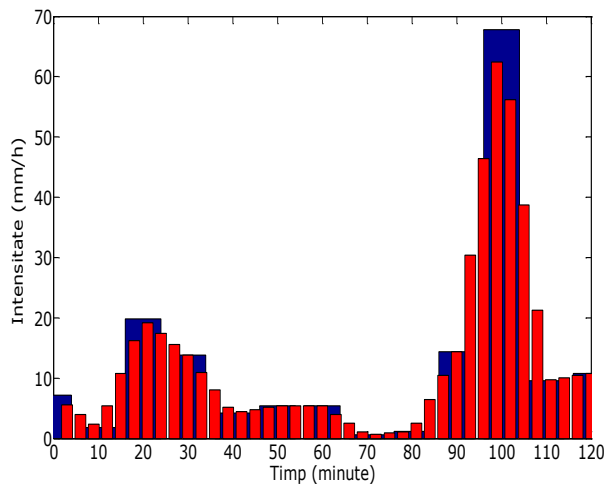


Figura 71. Hietograma intensității ploii (bazin hidrografic Allenbach)

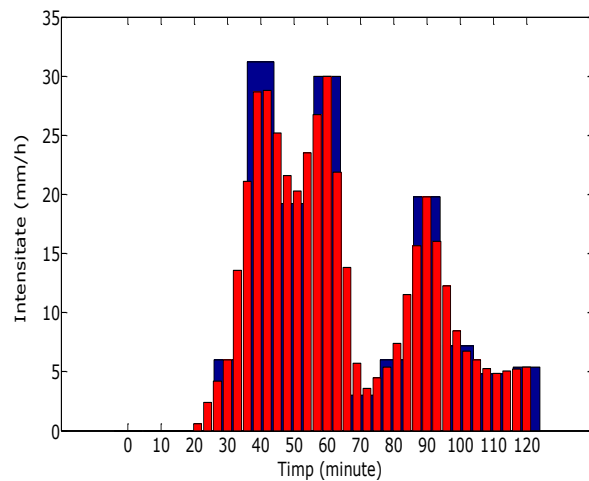


Figura 72. Hietograma intensității ploii (bazin hidrografic Sitter)

Ploaia folosită pentru acest calcul este distribuită uniform în spațiu și de manieră variabilă în timp. Această distribuție rezultă din faptul că datele pluviometrice folosite sunt măsurate într-un singur punct pe teren.

Etapa următoare realizării calibrării modelului a fost determinarea suprafeței bazinului hidrografic. Modelul numeric de teren folosit reprezintă suprafața totală a Elveției, pentru a obține doar suprafața exactă a bazinului am folosit programul Manifold. Acest model poate furniza o suprafață dreptunghiulară care conține bazinul studiat (Figura 73). După extragerea acestui dreptunghi care conține coordonatele x , y și z modelul nostru poate determina suprafața exactă a bazinului studiat (Figura 74).

De asemenea pentru aceste bazine putem folosi granulele ASTER cu o rezoluție de $30 \times 30 \text{ m}$.

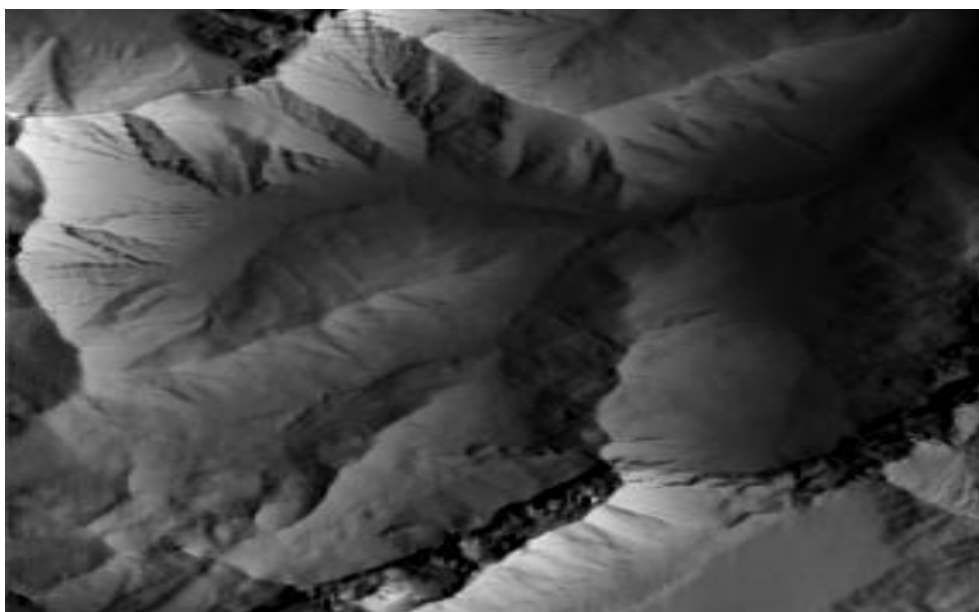


Figura 73. DEM 25 x 25 m Allenbach (Program Manifold)

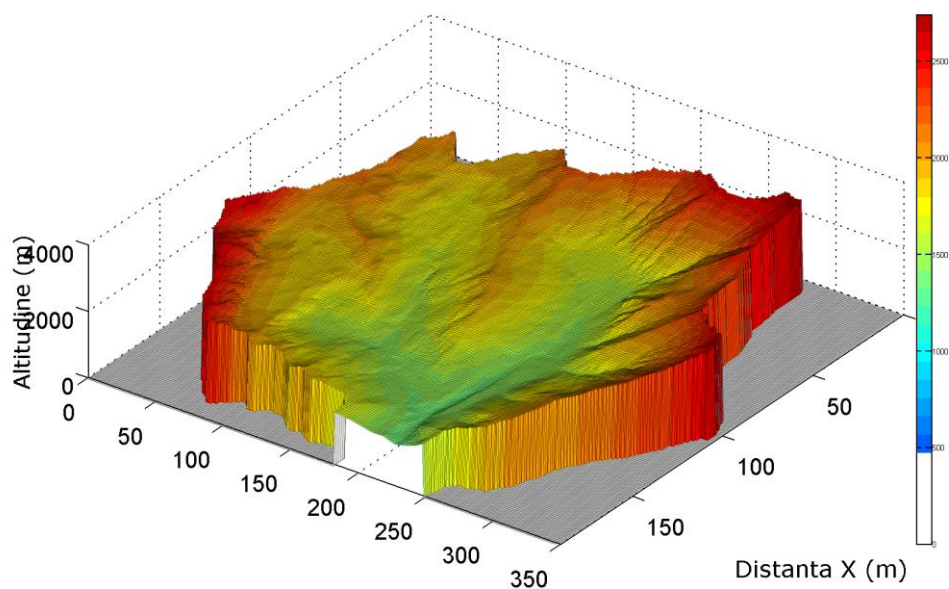


Figura 74. Delimitarea bazinului Allenbach (Model dezvoltat)

Același calcul a fost realizat și pentru bazinul hidrografic Sitter din cantonul Appenzell. În Figura 75 este prezentată topografia MNT 25x25 m de pe care sa extras domeniul de studiu din Figura 76.

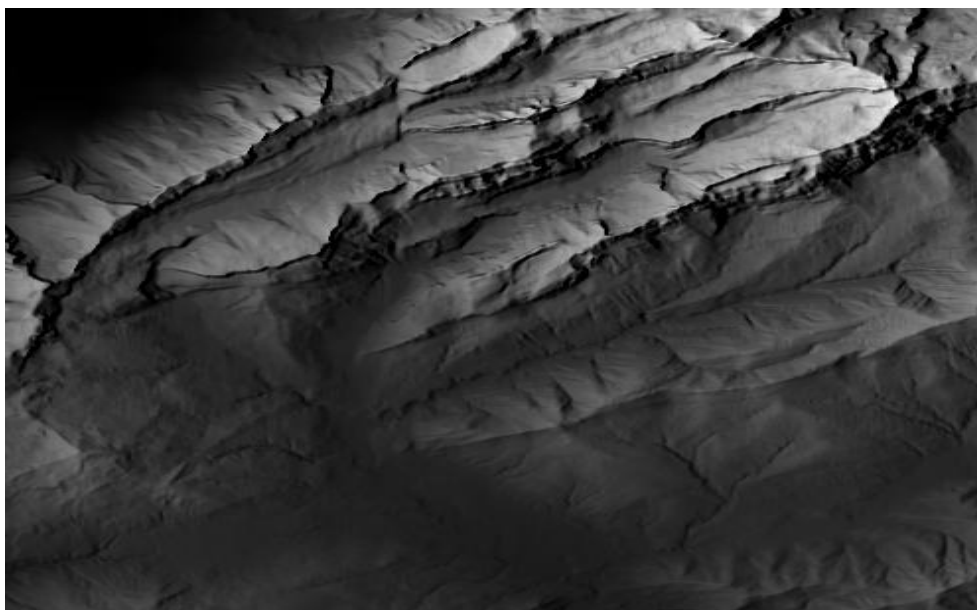


Figura 75. DEM 25 x 25 m Sitter (Program Manifold)

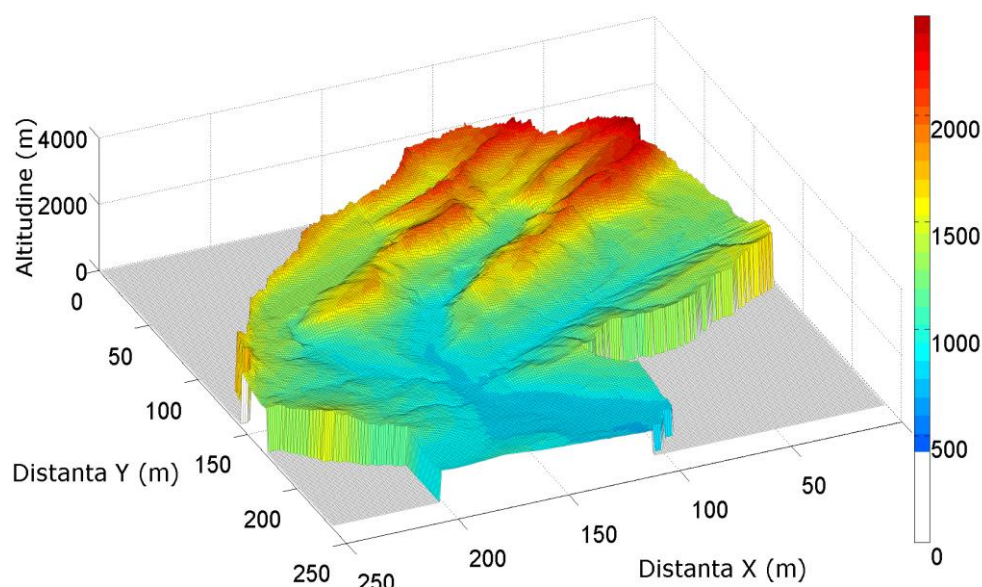


Figura 76. Delimitarea bazinului Sitter (Model dezvoltat)

Pentru a putea calibra modelul am stabilit o ordine de prioritate în determinarea parametrilor. Primul parametru care a fost analizat este volumul de apă care se infiltrează în sol. Al doilea parametru este conductivitatea hidraulică (Darcy), care influențează vitezele de scurgere a apei subterane. Al treilea și al patrulea parametru influențează vitezele de scurgere de suprafață, fiind vorba de coeficienți de rugozitate și coeficienți de lățime ai râurilor pentru fiecare tip de scurgere folosit în ecuația lui Manning. Ultimii parametri sunt capacitatea inițială și finală de infiltrație pentru fiecare tip de sol.

Influența acestor parametri asupra debitului la gura de vărsare este următoarea. Coeficienții de rugozitate și de lățime a râurilor acționează asupra timpului de concentrare al bazinului și asupra valorii vârfului hidrografului. Volumul de apă infiltrat influențează panta inițială a hidrografului, adică viteza de creștere a debitului. În final, conductivitatea hidraulică are un dublu rol. La începutul episodului, ea poate crește debitul producând mai multă

exfiltrație, dar spre sfârșitul episodului efectul este invers deoarece în sol nu mai rămâne multă apă. Acest dublu efect poate fi de asemenea observat la capacitatea de infiltrație. Dacă ea crește, debitul la începutul episodului se diminuează, dar la sfârșit el este mai mare. Capacitatea inițială și finală este specifică fiecărui tip de sol. Aceste valori au fost determinate în funcție de literatura de specialitate.

Ținând cont de harta solurilor simplificată la 30 clase de sol (Anexa B) am putut determina pentru bazinul hidrografic Adelboden 6 tipuri de sol (tipurile 3, 5, 6, 7, 17, 19, 21, 22) iar pentru bazinul hidrografic Appenzell 8 tipuri de sol (3, 5, 6, 7, 12, 17, 19, 21, 25). Figura 77 și Figura 78 prezintă clasele de sol existente pentru cele două bazine elvețiene studiate, fiecare culoare reprezentând clase de sol (Tabel 7).

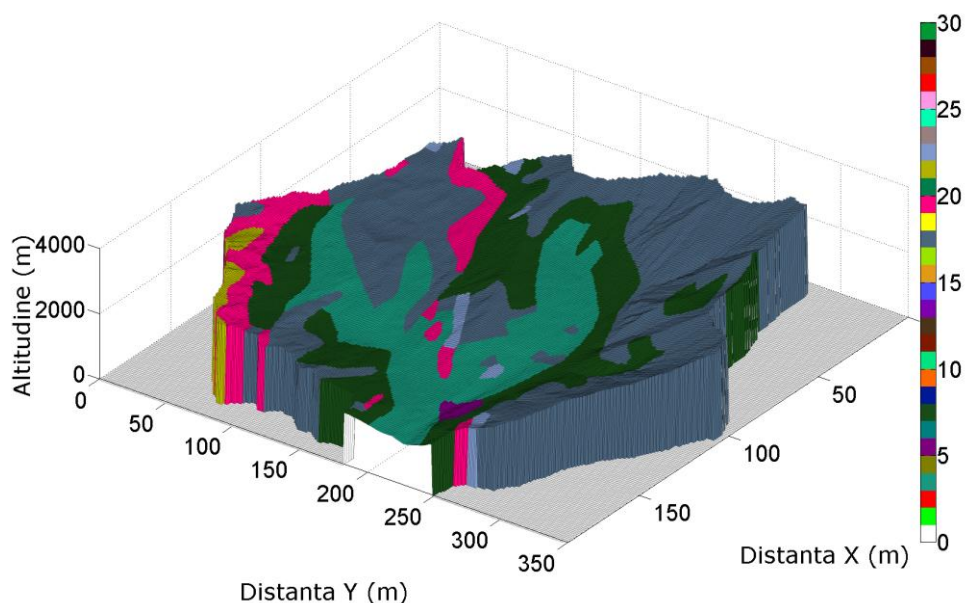


Figura 77. Clase de sol - bazin Allenbach (Model dezvoltat)

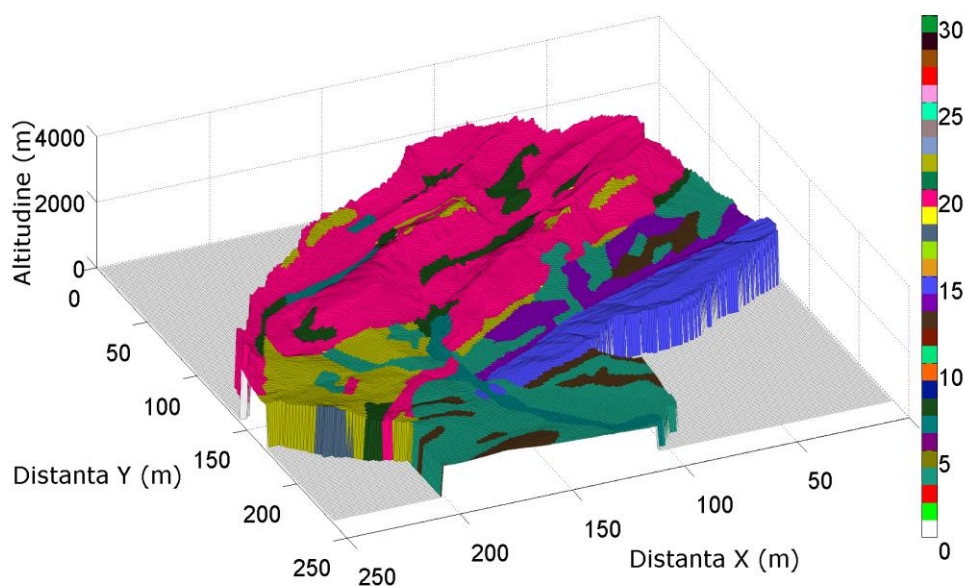


Figura 78. Clase de sol - bazin Sitter (Model dezvoltat)

Tabel 7. Clase de sol bazin pentru bazinele Allenbach și Sitter

| Tipul sol | Descrierea tipurilor de sol | I_0 (mm/h) | I_f (mm/h) | Beta (h ⁻¹) |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|
| 3 | Nisip și nămol, de obicei argilă (lut), parțial calcaroase (loess), de multe ori amestecat cu pietriș grosier | 150 | 16 | 1,4 |
| 5 | Pietriș și nisip, de multe ori pur silt, uneori ușor cimentat (pietriș de la era glaciară) | 130 | 15 | 1,4 |
| 6 | Pietriș și nisip în cea mai mare parte curat, uneori cu pături de silt argilos | 90 | 0,8 | 1,4 |
| 7 | Suprafețe mai mari unghiulare de pietriș, adesea de dimensiunea unor blocuri | 120 | 14 | 1,4 1,4 |
| 12 | Marț, cu gresie introdusă, parțial solidificat și separat de conglomerate | 37,5 | 0,5 | 1,4 |
| 17 | Marț, pirite, calcar cu incluziuni de gresii, parțial dominante | 11,5 | 0,5 | 1,4 |
| 19 | Calcaroase pilitate - silt strălucitor de calcar, în mod frecvent cu incluziuni de marmură, dolomit. | 6 | 0,5 | 1,4 |
| 21 | Masiv de calcar în general, de multe ori cu depozite de marnă și pietriș calcaros, gresie verde | 4,5 | 0,5 | 1,4 |
| 22 | Depozite semnificative de marnă | 4 | 0,5 | 1,4 |

Capacitatea de infiltrație a unui sol scade la început repede iar pe urmă progresiv și asimptotic spre un regim constant numit infiltrație finală.

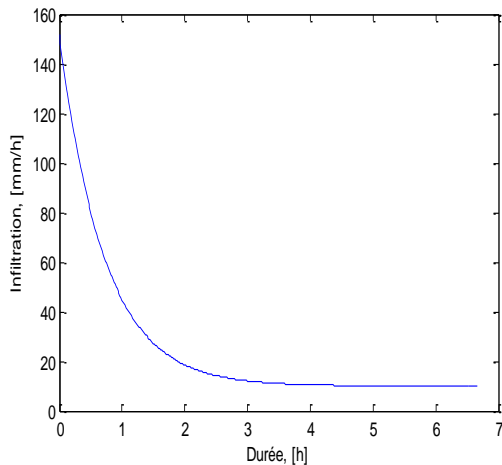


Figura 79. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 3.

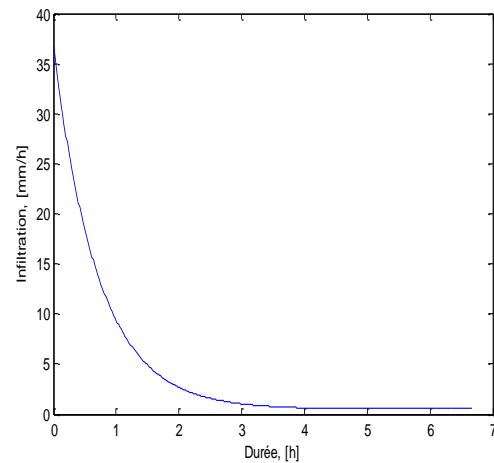


Figura 80. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 12.

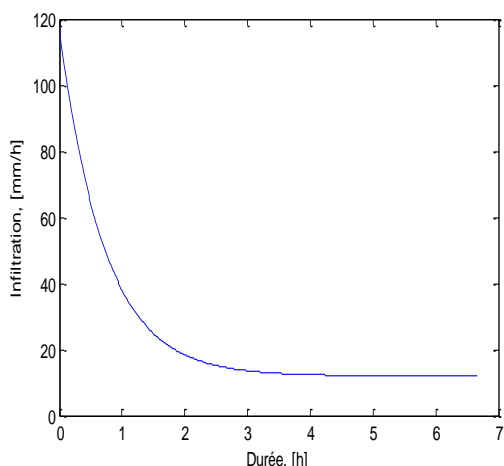


Figura 81. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 7.

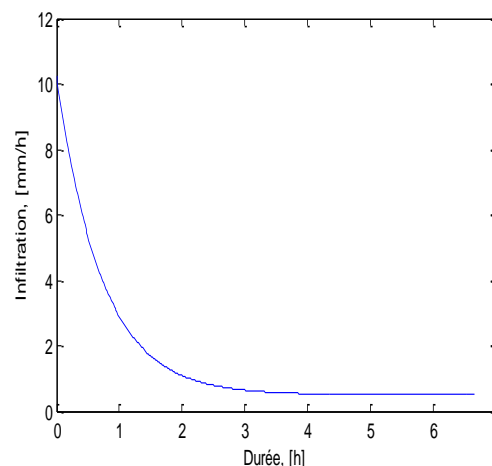


Figura 82. Capacitatea de infiltrație pentru un sol de tipul 17.

Figura 79 - Figura 80 reprezintă capacitatea de infiltrație pentru două clase de sol prezente pe bazinele test. Pentru un tip de teren permeabil, infiltrația poate fi suficient de mare astfel încât o ploaie medie să fie absorbită integral în sol. În cea ce privește o ploaie de tip PMP, infiltrația este redusă dar rămâne vizibilă pe hidrograf (Receanu et al. 2009 [64]).

Modelarea scurgerii apei a fost realizată plecând de la un DEM (topografie) care prezintă o repartiție discretă a unei suprafețe continue. Topografia folosită are o rezoluție de 25x25 m. Această parte a fost realizată printr-o procedură iterativă calculând volumul apei care se propagă dintr-o celulă la vecinii ei pe toată suprafața terenului. La sfârșit, gura de vărsare este determinată ca fiind celula cu cel mai mare debit.

Figura 83 și Figura 84 prezintă cursurile de apă care se formează automat pe teren în funcție de topografie, fără a trata manual rețeaua de drenaj. Culoarea albastră reprezintă cursul de apă iar în alb este topografia.

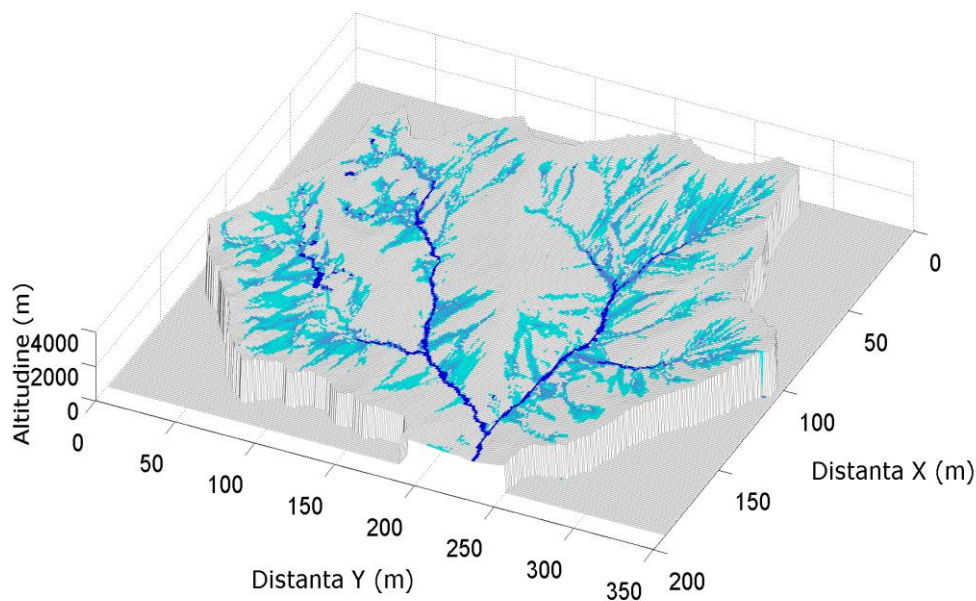


Figura 83. Rețeaua cursurilor de apă a bazinului Allenbach (Model dezvoltat)

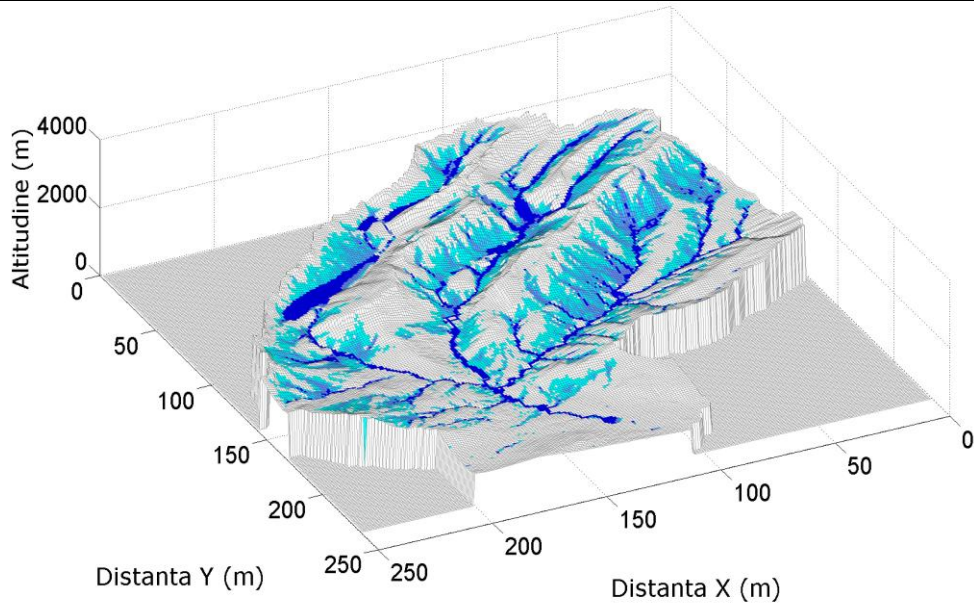


Figura 84. Rețeaua cursului de apă a bazinului Sitter (Model dezvoltat)

Parametrii modelului sunt specifici pentru fiecare bazin test și pentru fiecare tip de scurgere de pe suprafața bazinului hidrografic. În figurile următoare sunt prezentate rezultatele calibrării modelului hidrologic dezvoltat. Debitul observat este reprezentat pe grafic cu linie continuă iar debitul simulat cu linie discontinuă.

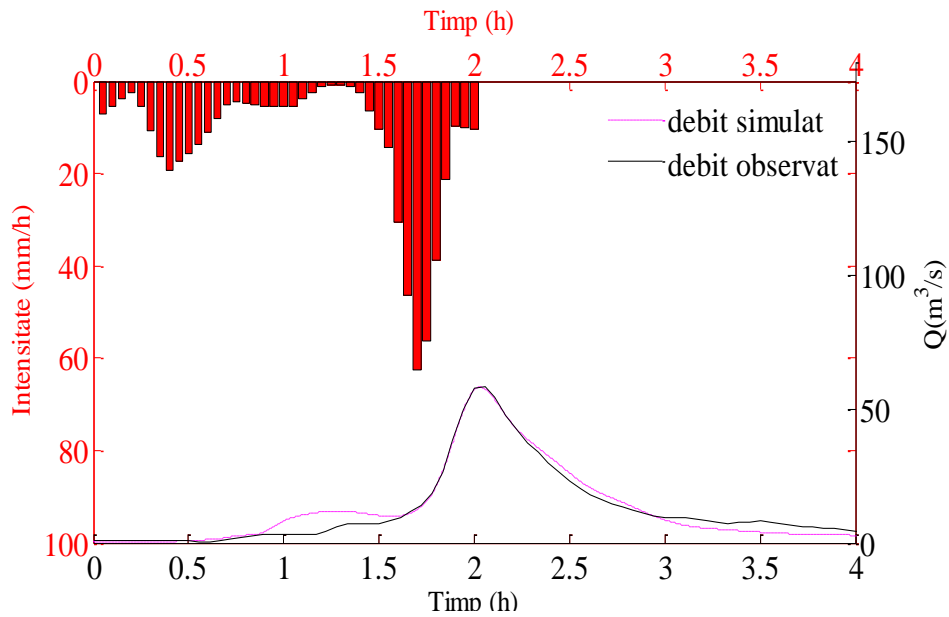


Figura 85. Hidrograma ploii și hidrografal viiturii (Bazin hidrografic - Allenbach)

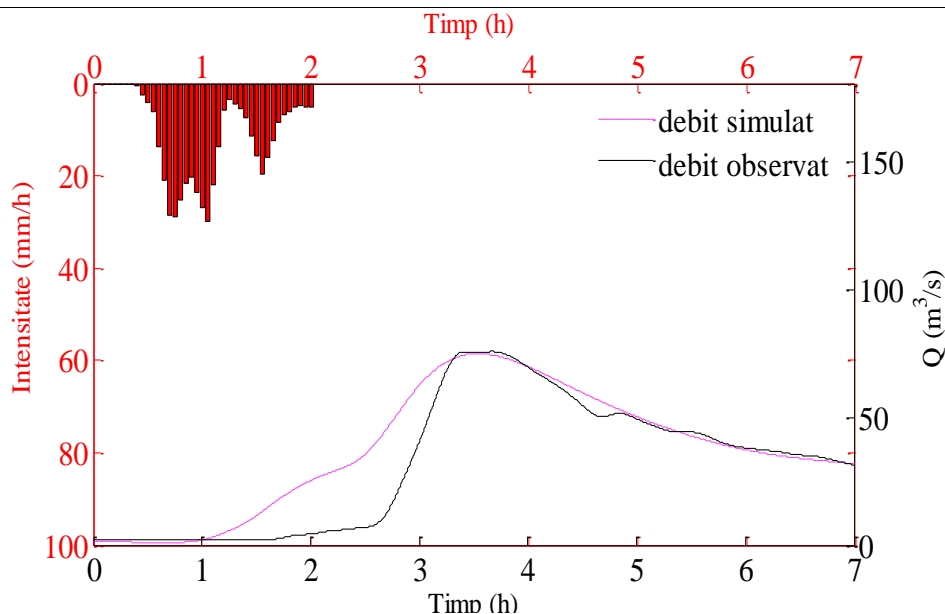


Figura 86. Hidrogramele ploii și hidrogramele viiturii (Bazin hidrografic - Sitter)

Debitul simulat și debitul observat au fost comparate folosind ecuația Nash (61), raportul dintre volumele de apă (62) și raportul dintre vârfurile debitului (63) (Moriassi et al. 2007 [92]).

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_{t=0}^n (Q_{\text{obs}}(t) - Q_{\text{sim}}(t))^2}{\sum_{t=0}^n (Q_{\text{obs}}(t) - \bar{Q}_{\text{obs}})^2} \quad (62)$$

$$r_{\text{vol}} = \frac{V_{\text{sim}}}{V_{\text{obs}}} = \frac{\sum_{t=0}^n Q_{\text{sim}}(t)}{\sum_{t=0}^n Q_{\text{obs}}(t)} \quad (63)$$

$$r_{\text{vârf}} = \frac{Q_{\text{simmax}}}{Q_{\text{obsmax}}} \quad (64)$$

unde:

$Q_{\text{obs}}(t)$ = debitul observat;

$Q_{\text{sim}}(t)$ = debitul simulat;

\bar{Q}_{obs} = debitul mediu observat,;

V_{sim} = volumul simulat;

V_{obs} = volumul observat,

Q_{simmax} = vârful debitului simulat;

Q_{obsmax} = vârful debitului observat.

Coeficientul Nash poate varia între $-\infty$ et 1. Un coeficient egal cu 1 arată o corespondență perfectă între debitul simulat și debitul observat.

Conform acestei analize putem observa capacitatea modelului de a urmări foarte bine evoluția debitului pentru cele două bazine studiate. Modelul nostru poate după calibrare să estimeze foarte bine vârful debitului atât în primul episod cât și în al doilea episod de viitură studiat. Evoluția temporală a debitului simulat arată de asemenea o bună corespondență între debitul simulat și debitul observat folosind ecuația Nash.

Tabel 7 reprezintă evaluarea calibrării modelului pentru bazinul hidrografic Allenbach la Adelboden în 2004 și cel de la Sitter din Appenzell în 2007.

Tabel 8. Calibrarea modelului în termeni Nash.

| | Calibrare bazin Allenbach | Calibrare bazin Sitter |
|---------------------|------------------------------|---------------------------|
| Coefficient Nash | 0.96 | 0.80 |
| r_{vol} | 1.03 | 1.20 |
| $r_{v\grave{a}rf}$ | 0.99 | 0.97 |

Există câteva diferențe între debitul simulat și cel observat, și anume în cazul bazinului Sitter unde debitul simulat începe să urce mai repede decât cel observat, care începe să crească mai târziu dar mult mai repede astfel încât în final aceeași valoare a debitului este atinsă. Aceste diferențe pot fi justificate prin faptul că ploaia reală este neuniformă, deci ar putea fi posibil ca ploaia reală din apropierea locului unde este amplasată stația de măsurat să aibă o altă structură, antrenând un debit mai rapid la gura de vărsare. În ciuda acestor diferențe, corespondența dintre cele două debite rămâne foarte bună. Rezultatele au fost publicate și prezentate la AIC în Italia (Receanu et al. 2011, [71]).

7.3.2 Calibrarea modelului hidrologic pe bazinul Cernei din România

Rezultatele obținute în cazul bazinelor hidrografice din Elveția au fost satisfăcătoare, ceea ce ne dă posibilitatea de a testa modelul și în alte țări. Pentru a putea realiza acest proces am folosit o ploaie corespunzătoare viiturii din anul 2004 din data de 27.07-14.08.

Cantitatea totală de precipitații căzută în timpul viiturii a fost de 130 l/m² la stația Maciuca, 152 l/m² la stația Cerna, 90 l/m² la stația Otetelis, 175 l/m² la stația Polovragi, 42,5 l/m² la stația Groșșani și 44,7 l/m² la stația Bals. Pentru acest calcul o să folosim datele de la stația Maciuca de pe râul Cerna.

Deoarece datele existente sunt măsurate zilnic nu cunoaștem intensitatea la fiecare 3 minute, necesară modelului dezvoltat, am folosit cantitatea de apă măsurată la data respectivă și intensitatea medie zilnică. Intensitate medie din ziua de 28 iulie este de 24 mm/zi.

În Figura 87 putem observa variația precipitațiilor medii zilnice pe râul Cerna la stația Maciuca. Precipitațiile care au provocat viituri importante sunt cele din luna iulie–august.

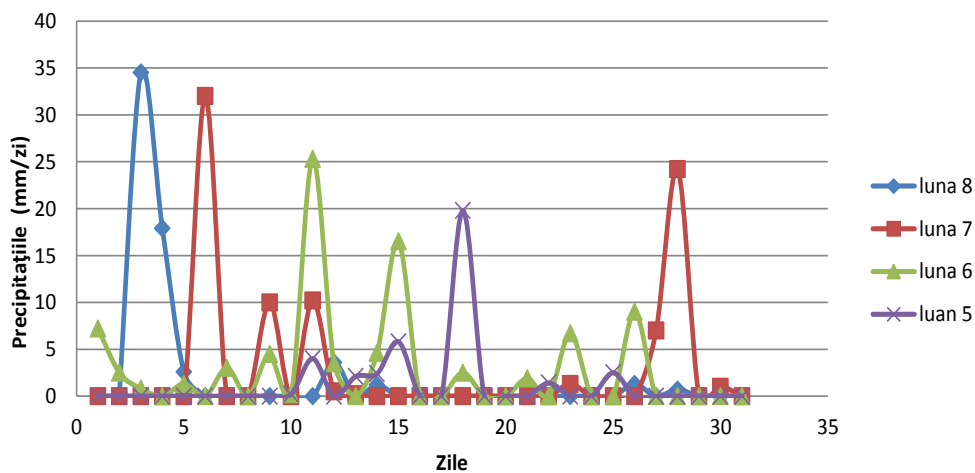


Figura 87. Variația precipitațiilor medii zilnice din anul 2004 Stația Maciuca

Cea de-a doua intrare importantă pentru modelul dezvoltat este topografia. Aceasta este obținută cu ajutorul hărților ASTER cu o rezoluție de 30 x 30 m. În Figura 88 reprezentăm suprafața exactă a bazinului râului Cerna, având o suprafață extinsă din Carpați până în aval de stația Maciuca.

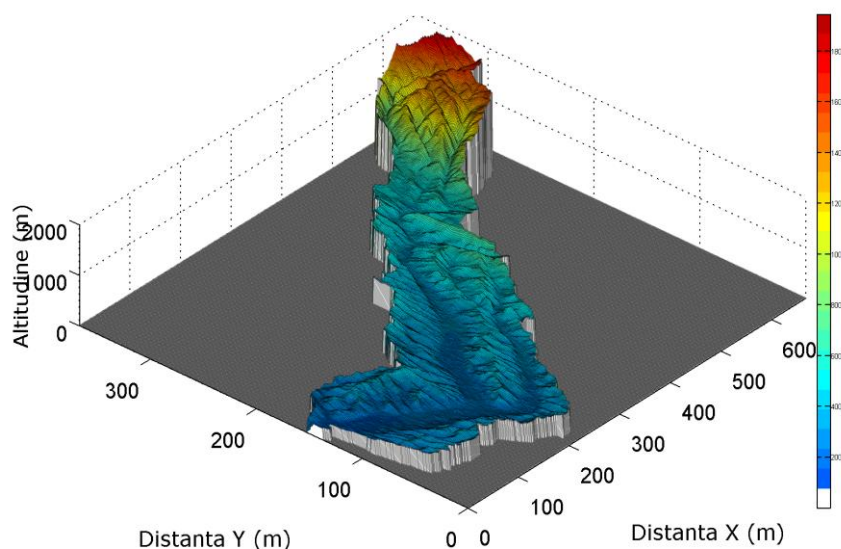


Figura 88. Delimitarea bazinului râului Cerna (Model dezvoltat)

După un prim calcul realizat în vederea delimitării bazinului Cerna putem observa că modelul nostru are un comportament foarte bun, deoarece reușește să delimiteze suprafața exactă a bazinului.

Pentru a putea realiza o hartă cu tipurile de sol (Figura 89) am folosit documentația existentă pentru bazinul Olteț. Zona muntoasă a bazinului este reprezentată de soluri acide, brune-gălbui și podzoliu gălbui. În zona dealurilor solurile vor fi cele brune tipice pentru păduri și podzoliu aflat într-un stadiu de eroziune puternică. Iar în zona de câmpie pentru această regiune solurile tipice sunt cele brune de pădure și brune roșcate de pădure cu un grad de eroziune dezvoltate, în special în lungul rețelei hidrografice (Sursă: Apele Române Vâlcea).

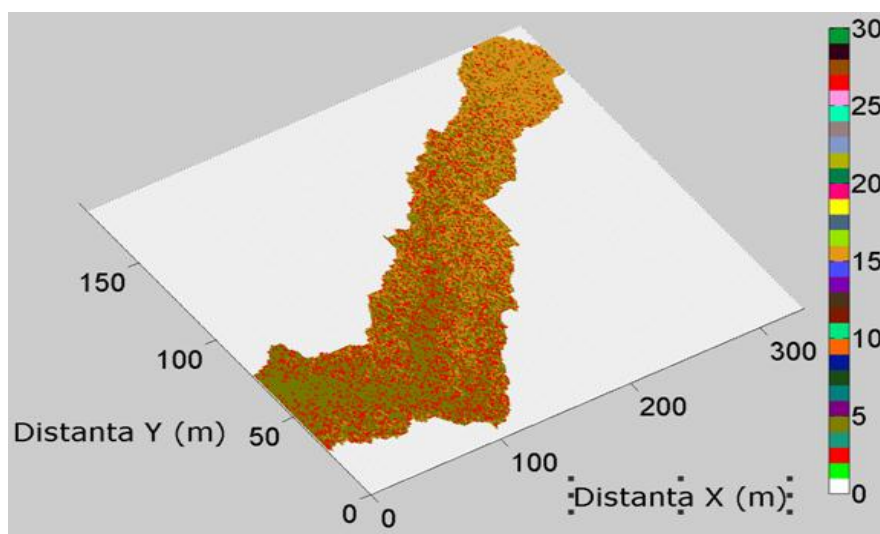


Figura 89. Tipuri de sol bazin Cerna (Model dezvoltat)

În tabelul următor prezentăm capacitatea de infiltrație inițială și finală de infiltrație ale celor trei tipuri de sol existente pe suprafața bazinului Cerna. Acești parametri sunt o aproximare deoarece nu există date exacte pentru acest bazin.

Tabel 1. Tipuri de sol bazinul râului Cerna

| Tipul sol | Descrierea tipurilor de sol | I_0 (mm/h) | I_f (mm/h) | Beta (h^{-1}) |
|-----------|-------------------------------------------------|--------------|--------------|-------------------|
| 1 | Soluri acide, brune-gălbui și potzoliu gălbui | 120 | 14 | 1,4 |
| 2 | Soluri de podzoliu | 80 | 0,7 | 1,4 |
| 3 | Sol brune de pădure și brune roșcate de pădure. | 100 | 10 | 1,4 |

Capacitatea de infiltrație este mai intensă la începutul evenimentului, urmând să diminueze progresiv și asimptotic spre un regim constant numit capacitate de infiltrație finală. În cazul acestui bazin putem observa acest fenomen în figurile următoare:

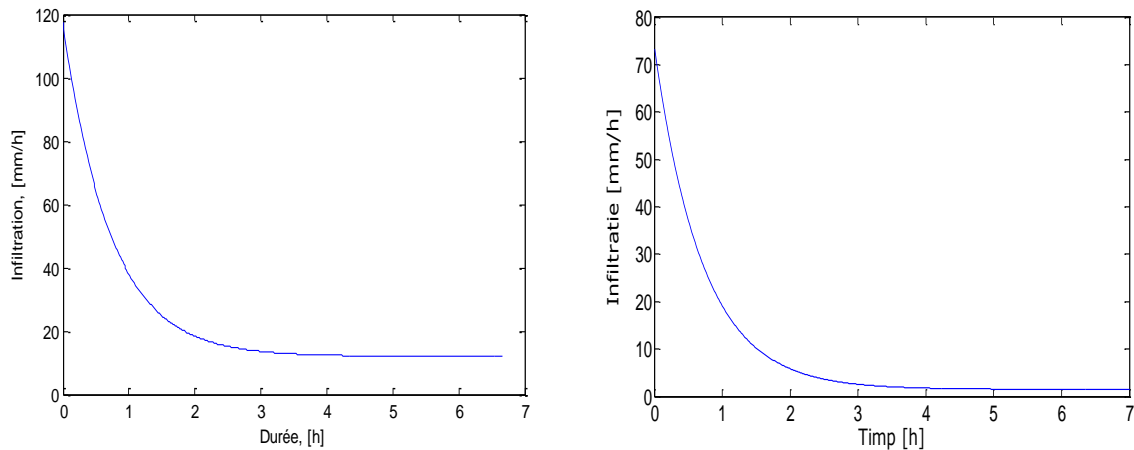


Figura 90. Capacitate de infiltrație

Infiltrația este inclusă în modelul de scurgere subterană. Ea are în subteran același rol ca și precipitația pentru scurgerea de suprafață. În momentul când solul este saturat intervine un alt fenomen, și anume exfiltrația. Vitezele de scurgere în subteran sunt calculate cu ecuația Darcy. În Figura 91 putem observa efectul exfiltrației după o durată de 12 ore, când solul devine saturat. Exfiltrația devine un aport principal pentru scurgerea de suprafață.

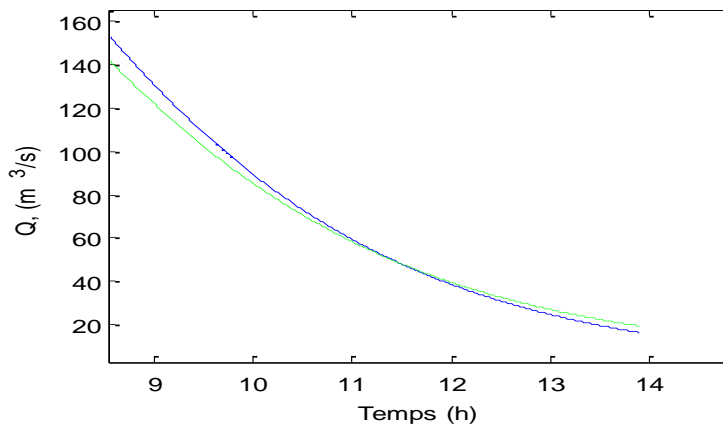


Figura 91. Efectul exfiltrației asupra hidrografului de viitură

După cum se vede pe grafic (Figura 92), debitul real crește mai abrupt la începutul simulării decât debitul simulat, cu toate că atât debitul de vârf cât și timpul de concentrare sunt corect estimate. Această diferență poate fi pusă pe seama tipurilor de sol luate în calcul. Este posibil ca tipul de sol real să fie mai puțin permeabil decât solul simulat, ducând la un debit de suprafață mai mare la începutul episodului de viitură. Aceeași concluzie poate fi deduse și din forma hidrografului după vârful viiturii, care are o pantă mai abruptă față de debitul simulat. Un sol mai permeabil va elibera o cantitate mai mare de apă prin exfiltrație la sfârșitul episodului de viitură, ducând la o pantă mai lină a debitului comparată cu panta debitului dată de un sol impermeabil.

În ciuda acestor diferențe, simularea numerică reușește să estimeze foarte bine atât vârful debitului de viitură cât și timpul de concentrare, parametri care sunt esențiali pentru prevenirea pagubelor produse de inundații și dimensionarea lucrărilor hidraulice. De asemenea, volumul de apă total al viiturii simulate este foarte apropiat de cel real, deoarece cantitatea de apă mai mare găsită înaintea vârfului se compensează prin cantitatea mai mare din debitul simulat de la sfârșitul episodului de viitură.

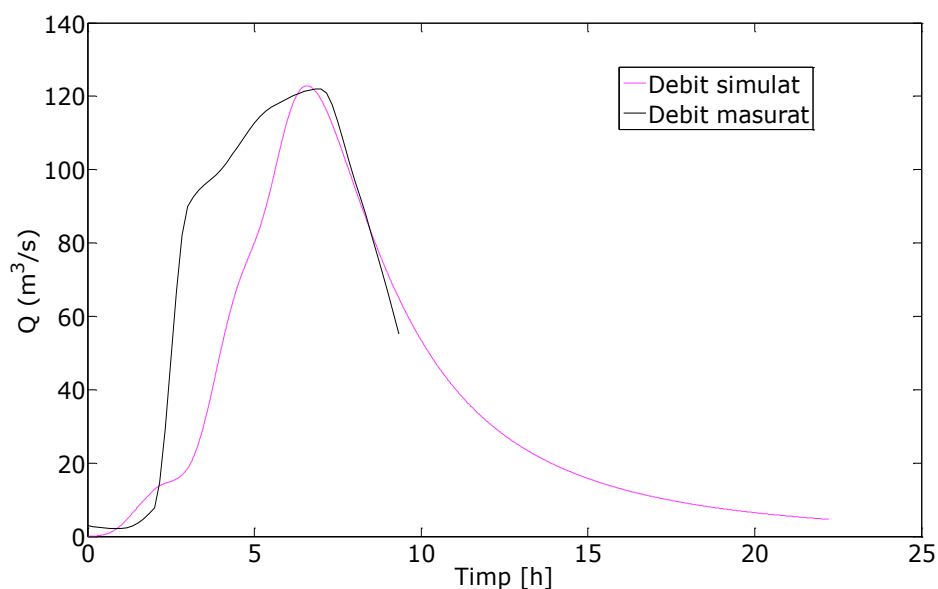


Figura 92. Hidrograful viiturii bazinului Cerna afluent al Oltețului

Folosind ecuația Nash și raportul dintre debitul simulat și cel observat obținem rezultate bune chiar dacă există o mică diferență între debite.

$$\text{Nash} = 1 - \frac{\sum_{t=0}^n (Q_{\text{obs}}(t) - Q_{\text{sim}}(t))^2}{\sum_{t=0}^n (Q_{\text{obs}}(t) - \overline{Q_{\text{obs}}})^2} \quad (65)$$

$$r_{\text{vârf}} = \frac{Q_{\text{simmax}}}{Q_{\text{obsmax}}} \quad (66)$$

unde:

$Q_{\text{obs}}(t)$ = debitul observat;

$Q_{\text{sim}}(t)$ = debitul simulat;

$\overline{Q_{\text{obs}}}$ = debitul mediu observat;

Q_{simmax} = vârful debitului simulat;

Q_{obsmax} = vârful debitului observat.

Tabel 9 reprezintă evaluarea calibrării modelului pentru bazinul hidrografic al afluentului Cerna.

Tabel 9. Calibrarea modelului în termeni Nash

| Calibrare bazin Cerna (Olteț) | |
|----------------------------------|------|
| Coefficient Nash | 0.80 |
| $r_{\text{vârf}}$ | 0.98 |

Conform acestei analize putem observa capacitatea modelului de a urmări foarte bine evoluția debitului pentru acest bazin. Calibrarea modelului duce la determinarea corectă atât a vârfului viiturii cât și a timpului de concentrare al bazinului.

Realizarea acestor calcule ne dă o siguranță în vederea folosirii modelului pentru dimensionarea lucrărilor hidraulice prevăzute în cazul protecției împotriva viiturilor.

7.4 Calculul debitului specific maxim de desecare–drenaj pentru bazinul Allenbach

Pentru a calcula debitul specific maxim de desecare – drenaj provenit din precipitații pentru bazinul Allenbach, am analizat datele precipitațiilor din anul 1981 până în 2010 (Anexa C [OFEN]).

Datele obținute sunt măsurate la fiecare 10 minute, dar pentru a putea determina debitul specific am calculat mărimea precipitațiilor maxime pentru 5 zile consecutive pentru toți cei 30 ani de studiu. Pentru calcul a fost ales anul 2004 (Tabel 10).

Calculul debitului specific de desecare – drenaj a fost realizat folosind metoda grafică sau metoda capacității de absorbție a apei în sol și de înmagazinare a apei în canalul de desecare. Această metodă consideră că doar volumul precipitațiilor rămâne pe suprafața desecată după satisfacerea capacității de absorbție și înmagazinare a apei în sol.

Aplicarea acestei metode presupune realizarea unor etape prin reprezentarea grafică a :

- dependenței P – E (precipitație–evaporație);
- capacității de înmagazinare;
- cantității de apă care se scurge la suprafața solului;
- cantității de apă ajunsă în canalul de desecare considerat.

Acest calcul se bazează pe câteva ipoteze realizate pentru stabilirea secțiunii transversale a canalului de desecare - drenaj, astfel:

B (lățimea canalului) = 0.5 m;

Delta h (garda de siguranță) = 0,3 m;

Lc (lățimea suprafeței deservite de un canal sau distanța dintre canale) = 200m;

C_{Te} (cota terenului) = +/-0,00;

C_{Ti} (cota la nivelul asigurării capacității de transport inițială) = -1,2 m;

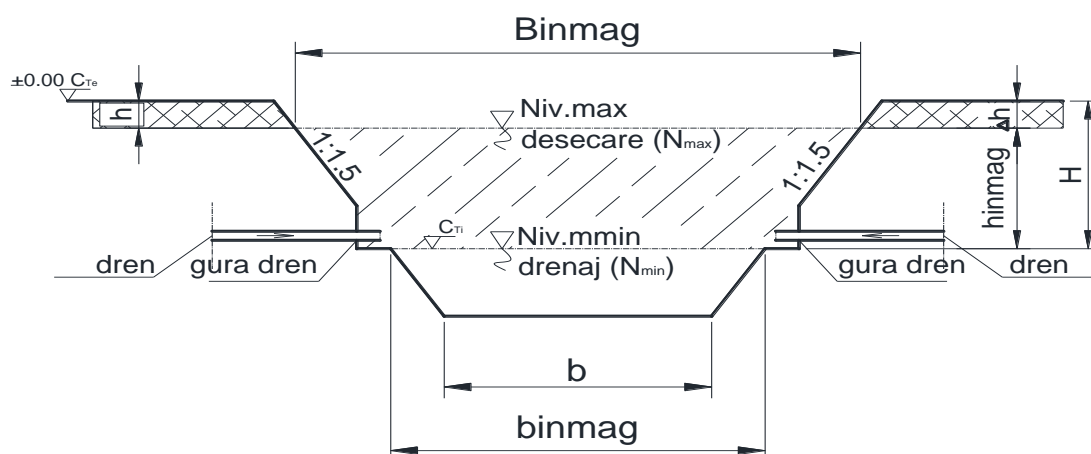


Figura 93. Secțiunea transversală a canalului de desecare drenaj.

Cunoscându-se elementele secțiunii trapezoidale ale canalului de desecare considerat (Figura 93) se determină suprafața transversală în care se înmagazinează apa:

- înălțimea de înmagazinare $H_{\text{înmagazinare}} = 1,4 \text{ m}$,
- aria de înmagazinat a apei în secțiunea canalului $A_{\text{înmagazinat}} = 4,55 \text{ m}^2$,
- înălțimea medie a stratului de apă ce se scurge către canal $I = 2,52 \text{ mm}$.

Reprezentarea grafică se face astfel:

Prima curbă este calculată ca fiind precipitațiile maxime minus evapotranspirația cumulată în decurs de 5 zile cu asigurarea a 5 % pentru zona proiectată. Aceste valori sunt reprezentate în Tabel 10 și pe curba P-E, curba 1 din Figura 94.

Tabel 10. Etapa 1. Precipitații – Evaporație – curba 1.

| T (zile) | Precipitație (mm) | P-E curba 1 |
|----------|-------------------|-------------|
| 0 | | 0 |
| 1 | 51.4 | 49.344 |
| 2 | 64.1 | 61.536 |
| 3 | 69.4 | 66.624 |
| 4 | 83.1 | 79.776 |
| 5 | 93.9 | 90.144 |

Cea de-a doua etapă presupune determinarea capacității maxime de înmagazinare a apei în sol. Aceasta se realizează în funcție de umiditatea momentană considerată și capacitatea de saturație a solului, în valoare de 40 mm, cu ipoteza că aceasta este atinsă în prima zi de ploaie (Curba $C_{\text{înmag}}$ Figura 94).

Apa care se scurge pe terenul agricol spre canal este determinată scăzând curba 2 din curba 1. (Curba [3] Figura 94).

Considerând că acest volum de apă se înmagazinează în sol abia în ziua a doua de ploaie, se scade valoarea $I = 2,52 \text{ mm}$ din curba 3, obținându-se curba 4, adică mișcarea apei în canalul de desecare reprezentată prin debitul specific calculat din triunghiul hașurat. Calculul debitului specific maxim de desecare se calculează folosind tangenta unghiului de pantă pentru curba 4 în ziua a doua a precipitațiilor. $q_{\text{max}} = 0,88 \text{ l/s. și ha}$.

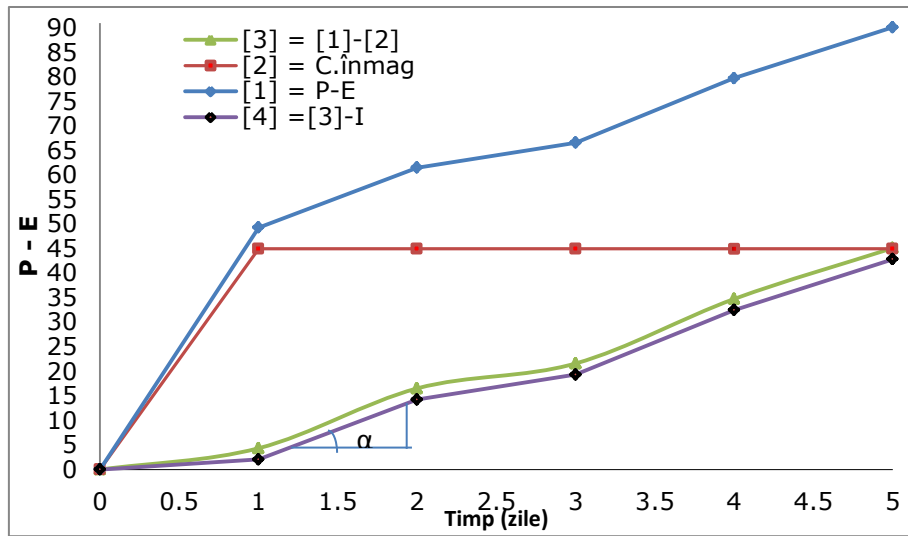


Figura 94. Metoda grafică

Debitul specific de drenaj din precipitații a fost calculat și cu ajutorul modelului dezvoltat la fiecare 10 minute.

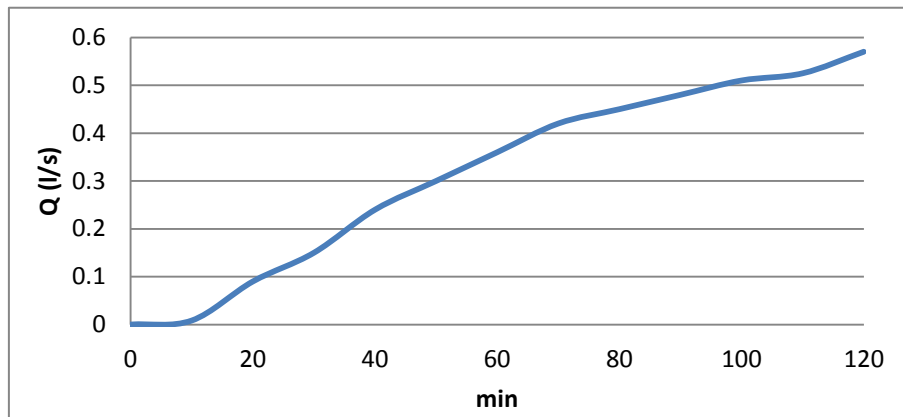


Figura 95. Debitul specific de drenaj (modelul dezvoltat)

Figura 95 reprezintă debitul specific de drenaj calculat cu modelul dezvoltat, debitul final la sfârșitul episodului de viitură este de 0,55 l/s. Rezultatul obținut este foarte apropiat de cel determinat cu metoda grafică de calcul al debitului specific de drenaj, ceea ce arată că modelul dezvoltat poate să estimeze debitul de drenaj. Diferența observată între cele două metode poate fi cauzată de lipsa unor date precise cu privire la caracteristicile subsolului pe bazinul studiat.

7.5 Rezultatele aplicării modelului dezvoltat în România

În acest subcapitol evidențiem avantajele modelului dezvoltat astfel încât în primul caz determinăm hidrografele de viitură pentru un bazin care conține un lac, iar în cel de-al doilea caz prezentăm zonele umede provocate de precipitații abundente.

7.5.1 Bazinul hidrografic al Lacului Secu.

Acest bazin a fost ales pentru a putea pune în evidență comportamentul modelului dezvoltat în cazul în care pe suprafața bazinului există un lac. Bazinul studiat este cel corespondent lacului Secu din județul Caraș – Severin.

Este foarte important să cunoaștem volumul total de apă care ajunge în lac pentru a putea dimensiona lucrările hidrotehnice și de hidroameliorație necesare protecției împotriva inundațiilor. Calculul volumului de apă care ajunge în lac poate fi determinat cunoscând debitele de pe conturul lacului.

Prima etapă pentru aplicarea modelului este de a delimita suprafața bazinului hidrografic. Această etapă este foarte importantă pentru a putea determina pantele bazinului studiat dar și suprafața lacului. Modelul numeric de teren are o rezoluție de 30x30 m.

În Figura 96 sunt prezentate rezultatele delimitării bazinului lacului Secu. Putem remarca o bună estimare a suprafeței bazinului hidrografic, deci putem afirma că modelul dezvoltat este independent de rezoluția topografiei și de zona de studiu.

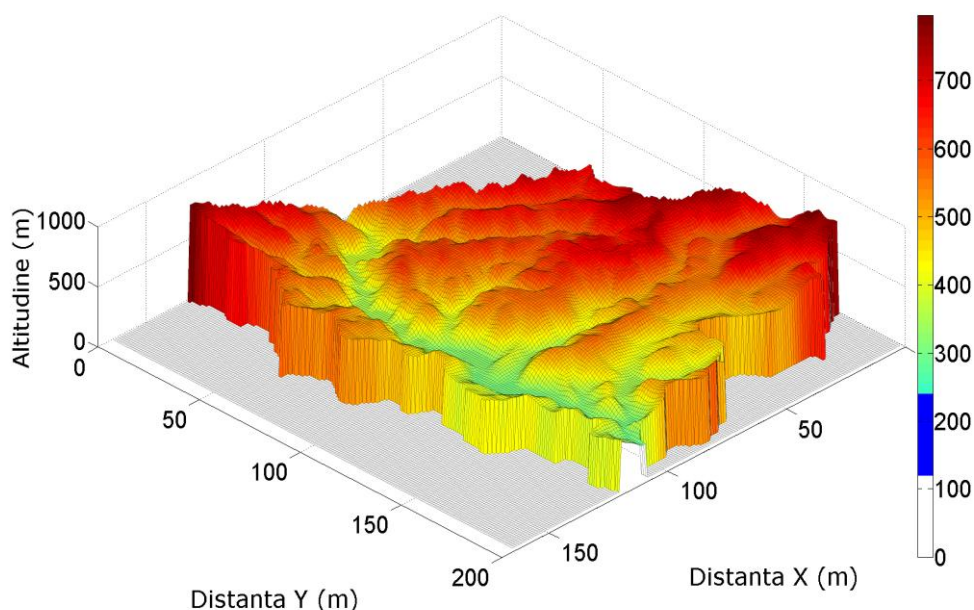


Figura 96. Delimitarea bazinului Secu (cu model hidrologic dezvoltat)

Pentru a delimita suprafața lacului ne bazăm pe faptul ca ea este inclusă în modelul numeric de teren. Punctele suprafeței lacului sunt determinate ca fiind punctele cu pantă zero grupate împreună. (Figura 96).

Folosind această metodă putem determina toată suprafața lacului sau doar conturul lacului. În Figura 97 și Figura 98 prezentăm suprafața integrală a lacului și conturul acestuia. Culoarea maro reprezintă suprafața lacului, respectiv conturul.

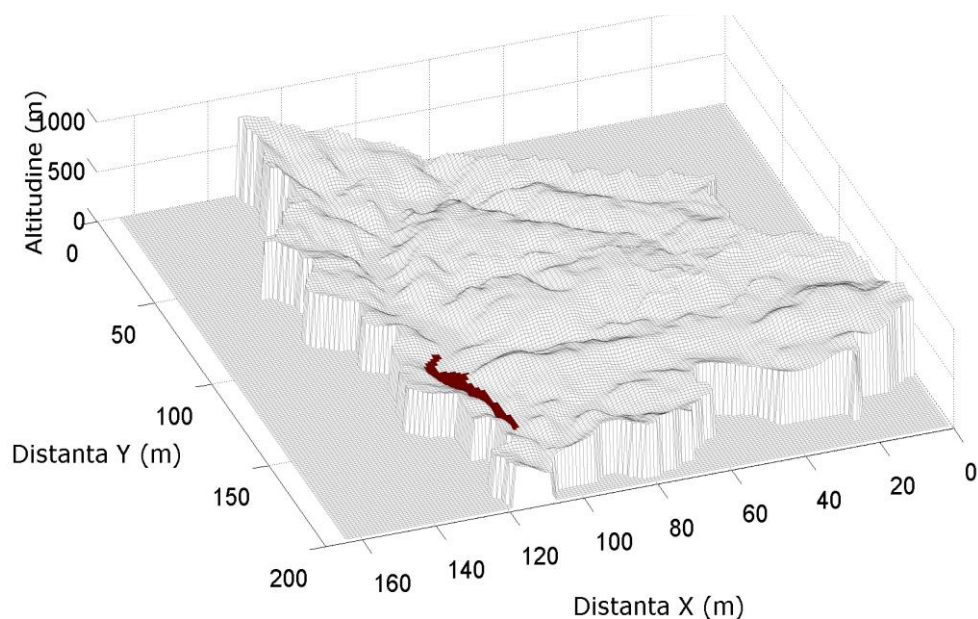


Figura 97. Suprafață lac Secu (cu modelul hidrologic dezvoltat)

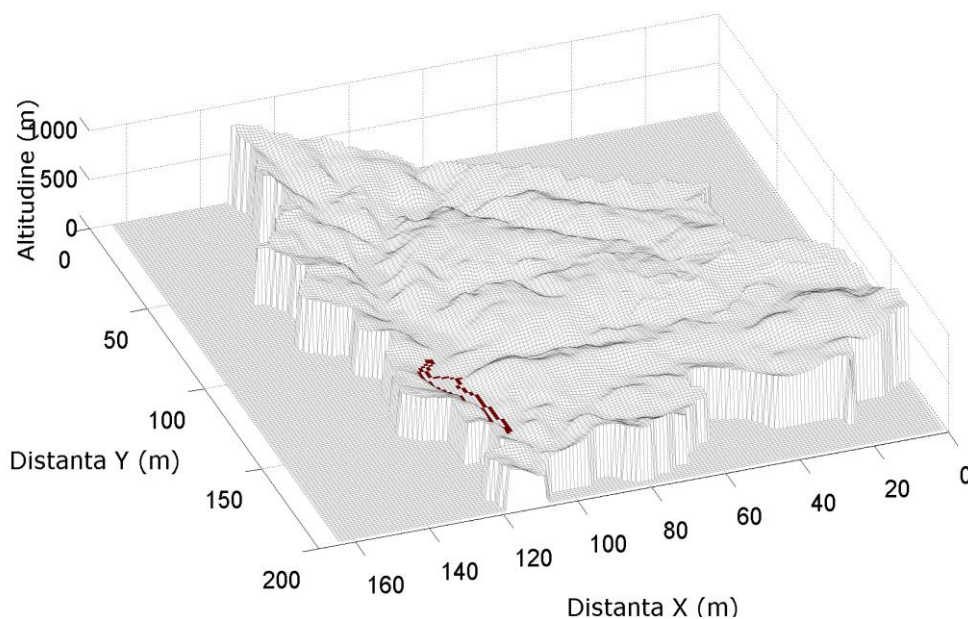


Figura 98. Contur lac Secu (cu modelul hidrologic dezvoltat)

Ploaia folosită este teoretică deoarece datele sunt limitate pentru această zonă, însă pentru acest studiu vrem să punem în evidență importanța cunoașterii volumului de apă care ajunge în lac, urmând a se realiza ulterior o calibrare a datelor.

Parametrii de calibrare pentru bazinul Cerna din Județul Vâlcea sunt folosiți și în cazul bazinului lacului Secu. Acești parametri trebuie analizați în funcție de caracteristicile fiecărui bazin studiat.

Rețeaua râurilor este determinată automat de modelul meu fără ca să creez o rețea, aceasta este o altă etapă pe care modelul trebuie să o îndeplinească pentru realizarea unui calcul hidrologic. Figura 99 prezintă bazinul hidrografic al râului Secu cu rețeaua de râuri corespondente bazinului Secu, determinate în funcție de pante. În această figură putem observa și lacul Secu care primește apă atât din amonte de gura de vărsare dar și din lateralul lacului.

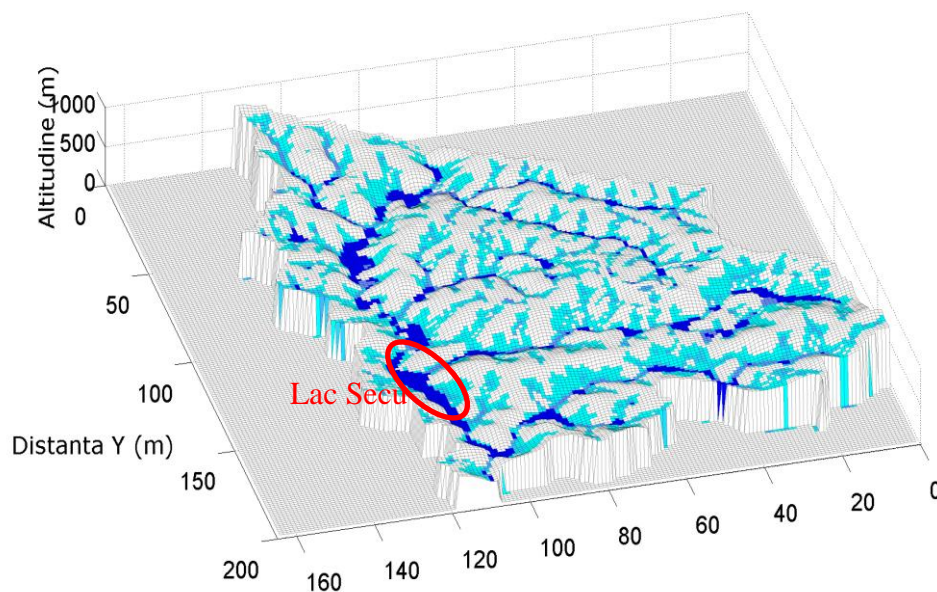


Figura 99. Rețeaua râurilor bazinului Secu (Model dezvoltat)

Pentru bazinul Secu am calculat trei debite, și anume Q I reprezintă debitul principal la intrarea în lac (la gura de vărsare), în timp ce Q II și Q III sunt debitele celor doi afluenți.

Această parte pune în evidență unul din avantajele modelului și anume acela de a putea delimita suprafața lacului și estimarea debitului pe conturul lacului.

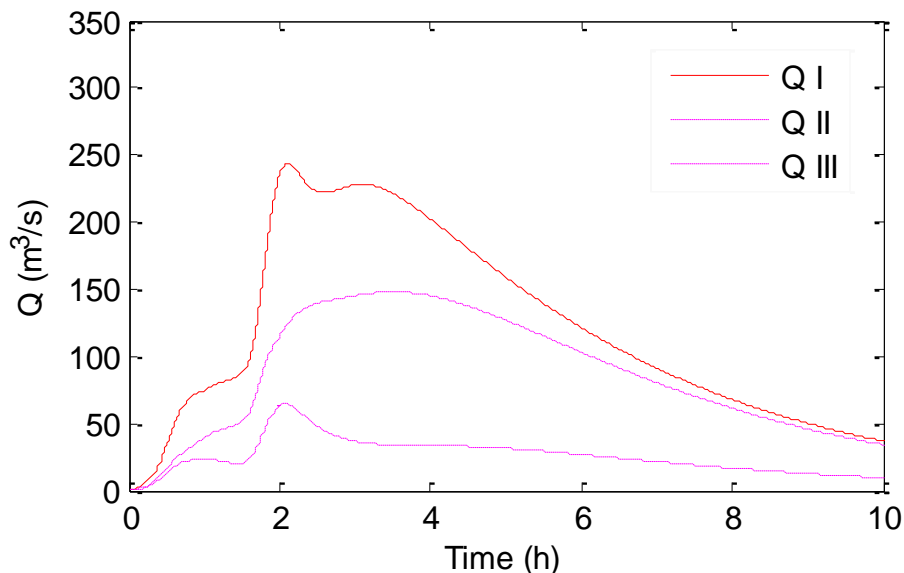


Figura 100. Hidrograf de viitură bazinului Secu

Figura 100 prezintă debitele obținute pentru bazinul lacului Secu, aceste debite având valori importante atât la intrarea în lac (Q I) dar și pe laterale (Q II și Q III). Pentru Q I am obținut un debit de $240 \text{ m}^3/\text{s}$, Q II și Q III $145 \text{ m}^3/\text{s}$, respectiv $65 \text{ m}^3/\text{s}$.

Realizarea acestui calcul este necesară în cazul dimensionării lucrărilor hidrotehnice cum sunt barajele. Este foarte important să cunoaștem cantitatea totală de apă care ajunge în lac pentru a putea evita o catastrofă prin ruperea acestuia.

7.5.2 Bazinul hidrografic din N. Oravița. Delimitarea zonele umede

Bazinul Hidrografic din N. Oravița a fost ales deoarece se află într-o zonă cu exces de umiditate (Figura 3) dar și pentru a putea testa modelul în determinarea acestor zone.

Ca și în cazurile precedente pentru acest bazin am urmărit a delimita suprafața exactă a bazinului. Modelul numeric de teren este obținut de la NASA cu o rezoluție de de 30 m x 30 m. În Figura 101 este prezentată suprafața bazinului hidrografic obținută cu ajutorul modelul hidrologic dezvoltat.

Ploaia folosită este o ploaie teoretică excepțională. Folosind o astfel de ploaie putem determina mai ușor zonele cu exces de umiditate provocate de inundații, datorită volumului mare de precipitație.

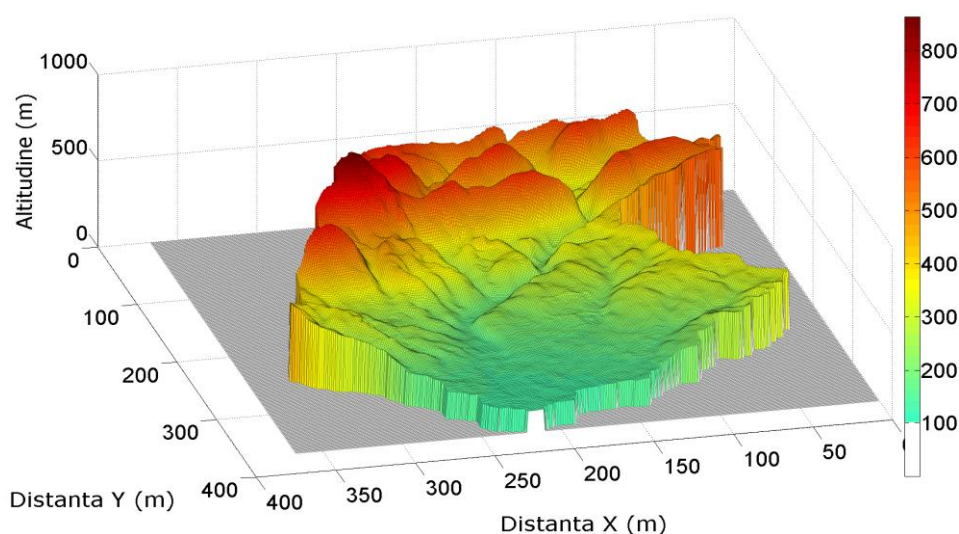


Figura 101. Delimitarea bazinului Nord Oravița (Model dezvoltat)

Volumul ploii a fost distribuit spațio-temporal cu ajutorul primului modul dezvoltat în modelul nostru. Numărul norilor și poziția acestora pe teren este aceeași ca și în cazul bazinilor elvețiene și anume patru nori sunt poziționați pe marginile bazinului iar doi în mijlocul domeniului. Figura 102 prezintă poziția inițială a norilor pe terenul din N. Oravița.

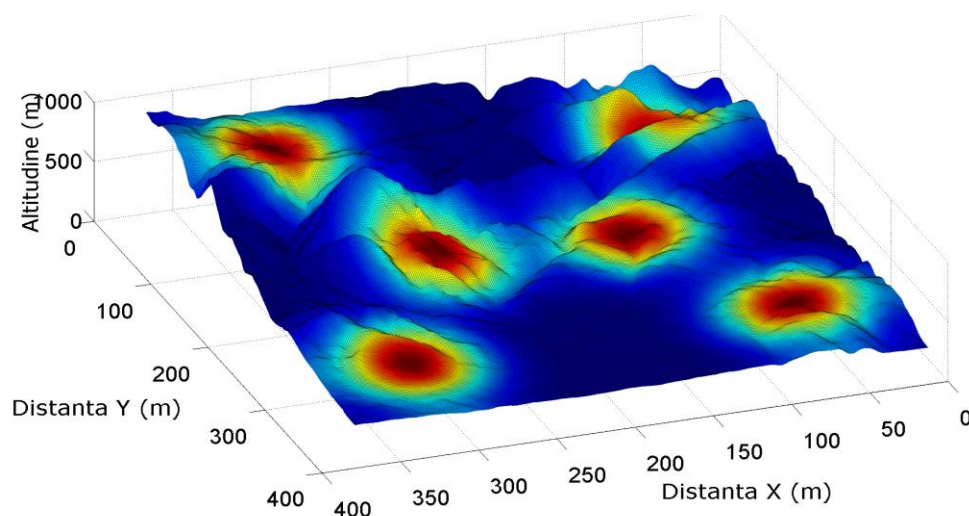


Figura 102. Poziția inițială a norilor pe bazinul hidrografic din Nord de Oravița

Deplasarea norilor deasupra bazinului hidrografic poate fi făcută în 8 direcții. Pentru acest caz prezentăm două direcții de deplasare și anume din amonte în aval (de la Nord la Sud - Figura 103) și de la Sud-Vest înspre Nord-Est (Figura 104).

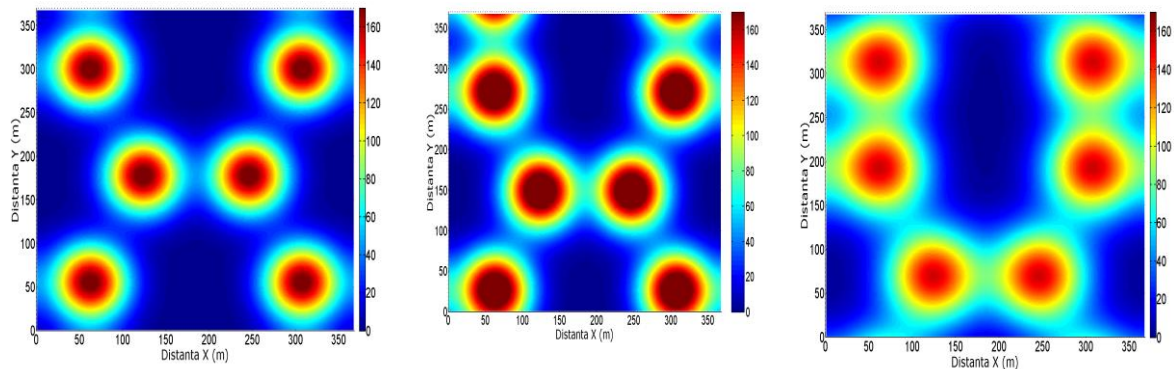


Figura 103. Poziția norilor pe bazinul din Nord de Oravița

Figura 104 reprezintă deplasarea norilor din SW spre NE. Norii care ies din domeniu intră din nou în partea opusă cu aceeași intensitate cu care au ieșit astfel încât să nu se depășească cantitatea de apă existentă în nor.

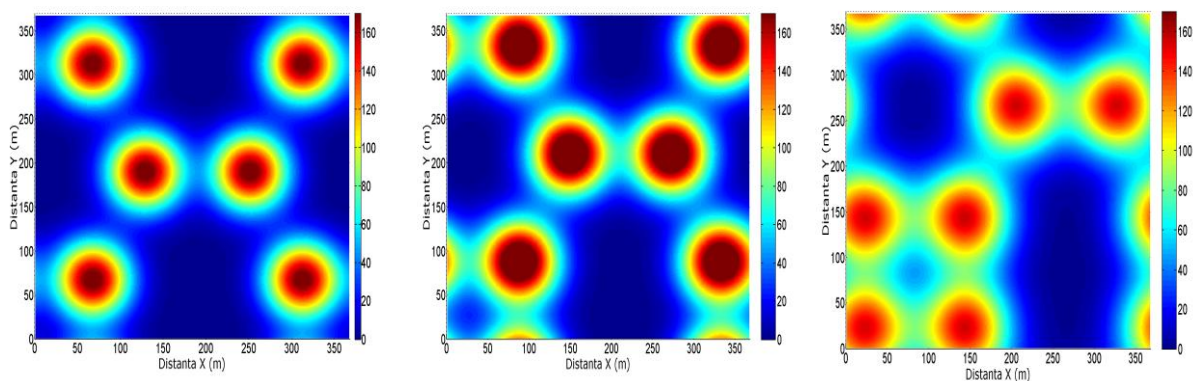


Figura 104. Poziția norilor pe bazinul din Nord de Oravița

În prima imagine norii sunt în poziția inițială de deplasare $t = 3$ minute, a doua imagine este pentru $t = 15$ minute iar ultima imagine $t = 30$ minute. Pe aceste imagini putem observa reducerea vârfului de la 170 mm/h la 140 mm/h respectiv 120 mm/h. Această reducere este cauzată de dispersia norului în timp.

La începutul ploii norii au o dimensiune redusă însă intensitatea locală a ploii este mare în jurul centrului norului. La fiecare perioadă de timp norii avansează pe teren și dimensiunea lor crește dar intensitatea locală a ploii se diminuează deoarece ploaia este distribuită pe o suprafață mai largă. Ploaia pentru fiecare pixel al terenului este structurată astfel încât să garanteze o coerență fizică a volumului dat de PMP în timp și în spațiu.

Folosind acest model calculul prezintă un avantaj față de cazul în care ploaia este distribuită uniform pe teren. O ploaie distribuită uniform poate antrena o supraestimare a debitului.

Hidrograful de viitură pentru bazinul hidrografic din nord de Oravița este reprezentat doar la gura de vărsare, acolo unde debitul este maxim.

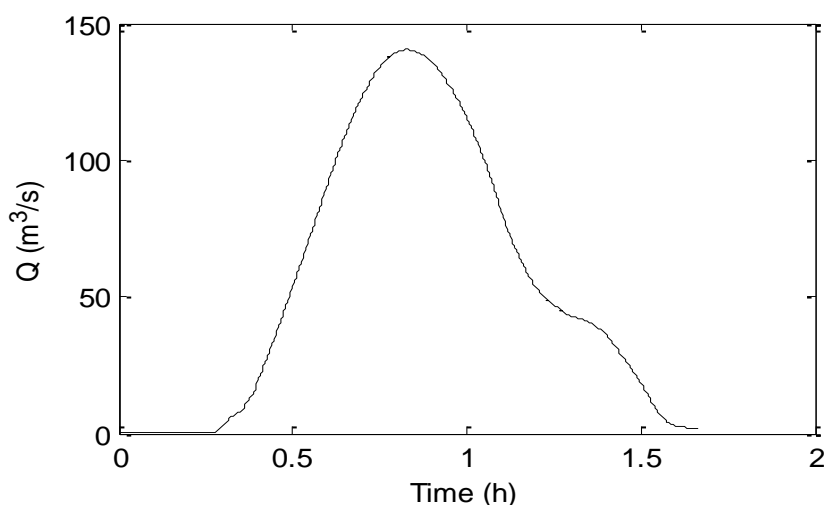


Figura 105. Hidrograf de viitură N Oravița la gura de vărsare

Pentru o mai bună precizie asupra rezultatelor este necesară calibrarea parametrilor în funcție de datele existente de pe teren. Scopul modelării este de a estima hidrografele de viitură astfel încât să putem reduce riscurile inundațiilor.

Zonele inundabile sunt determinate pentru bazinul hidrografic din N. de Oravița. Modelul dezvoltat permite localizarea zonelor inundabile și amplasarea lor pe suprafața bazinului studiat. Această parte pune în evidență importanța realizării calcului asupra scurgerii subterane și a exfiltrației. Exfiltrația se întâlnește pe suprafața terenului în locul unde rețeaua apei subterane iese la suprafață.

În modelul meu exfiltrația este dată de umplerea unui anumit volum subteran de către scurgerea subterană, volum denumit volum al golurilor. Volumul golurilor reprezintă volumul de apă necesar pentru ca să se atingă saturația solului. Exfiltrația devine un aport la scurgerea de suprafață.

În figura următoare sunt reprezentate locurile unde exfiltrația influențează scurgerea de suprafață.

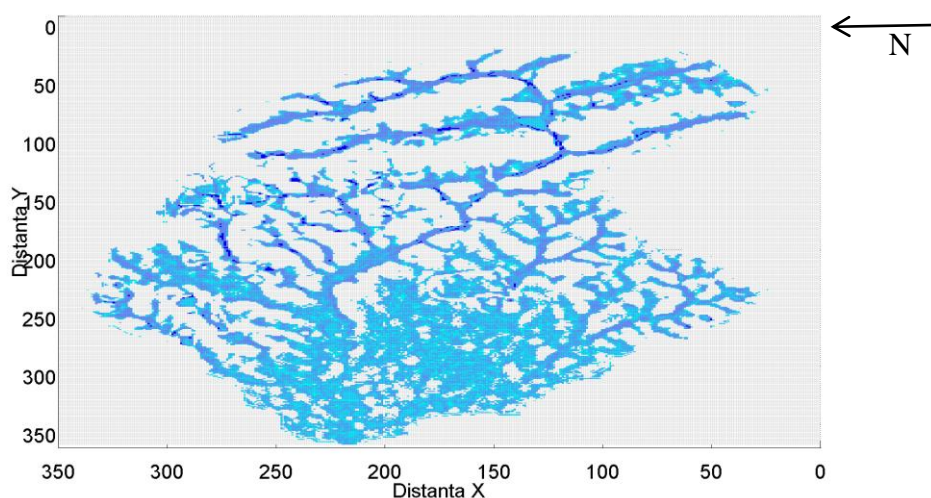


Figura 106. Volum exfiltrație

Delimitarea zonelor inundabile se face la sfârșitul simulării numerice prin vizualizarea rezultatelor după cum putem observa în Figura 107.

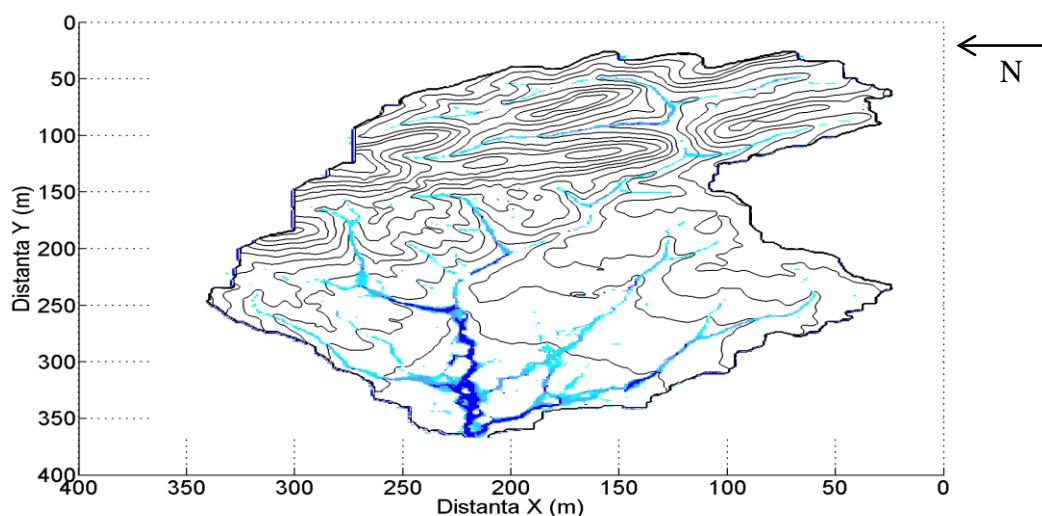


Figura 107. Zone inundabile pentru bazinul din N. de Oravița

Pe tronsonul cursului de apă inundabil zonele cele mai afectate sunt zonele agricole din lungul cursului de apă dar și zonele populate din satul Brădișorul de Jos. De asemenea mai sunt inundate și zonele agricole din apropierea satului Răchitova, după cum rezultă din figura următoare.



Figura 108. Zone cu exces de umiditate pentru bazinul N Oravița

Comparând Figura 107 și Figura 108 putem observa de asemenea ca modelul dezvoltat e capabil să determine zonele inundabile chiar și cu o bază de date insuficientă.

Scopul acestui studiu este de a putea determina zonele inundabile de pe suprafața unui bazin hidrografic, urmând a fi realizate calcule mai precise astfel încât să putem determina hărțile de risc la inundații.

8. CONCLUZII, CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PROPUNERI

8.1 Concluzii generale

Concluziile acestei teze de doctorat sunt rezultatul unei extinse documentări, al studiilor și cercetărilor efectuate de numeroși specialiști în domeniul hidrologiei, hidraulicii, fizicii, modelării matematice, cât și al studiilor și cercetărilor proprii în domeniul interdisciplinar al producerii inundațiilor.

Teza realizată prezintă o analiză a precipitațiilor extreme în vederea determinării debitului de viitură și de asemenea delimitarea zonelor umede de pe suprafața bazinului hidrografic. Această analiză are drept scop dimensionarea lucrărilor hidrotehnice pentru a putea asigura o mai bună protecție împotriva inundațiilor.

Un model hidrologic distribuit 3D a fost dezvoltat pentru a pune evidență toate fenomenele care intervin într-un ciclu hidrologic necesare realizării obiectivelor tezei.

Modelul hidrologic dezvoltat este împărțit în 3 mari părți:

Prima parte corespunde unei metode de distribuție a ploii în spațiu și în timp cu ajutorul norilor. Această metodă este bazată pe o ecuație de advecție – difuzie și include o evoluție temporală în funcție de direcția norilor, care mărește neliniaritatea hidrografului de viitură.

A doua parte a modelului este consacrată modelării scurgerii apei pe teren și în subteran incluzând infiltrația și exfiltrația. Prin calibrare se urmărește ca hidrograful să aibă o formă cât mai apropiată de realitate. De asemenea putem determina debitele de pe toată suprafața bazinului hidrografic (fiecare pixel).

A treia parte are în vedere modelarea numerică a topirii zăpezii care este un alt factor important al formării viiturilor și al producerii inundațiilor. De regulă, procesul de topire a zăpezilor generează un aport suplimentar hidrografului de viitură ducând la inundații catastrofale. Această parte este bazată pe calculul aportului de căldură.

În cadrul modelării matematice a procesului ploaie-scurgere, ploaia folosită de pe un bazin hidrografic a fost estimată plecând de la datele punctuale obținute la stații pluviometrice existente pe bazinul analizat sau din zone limitrofe acestuia. Ploaia maximă probabilă a fost extrasă de pe hărțile PMP realizate pentru întreaga Elveție. Calculul a fost realizat folosind modelul dezvoltat care are o structura ce permite determinarea ploii, scurgerii de suprafață, infiltrației, scurgerii subterane dar și exfiltrația, parametri care sunt necesari pentru obținerea hidrografului de viitură la gura de vărsare.

Modelul matematic dezvoltat în cadrul acestei teze reprezintă o mulțime de relații matematice între variabile independente/dependente și o serie de ipoteze de calcul care pot fi admise privind desfășurarea unui fenomen fizic. Pentru a descrie un fenomen fizic este necesar a se delimita laturile lui esențiale, cantitative, cărora să li se asocieze ansamblul relațiilor matematice adecvate fenomenului respectiv.

Cunoașterea cu un anumit grad de precizie a setului de date de intrare pentru folosirea în continuare a modelării matematice și simulării numerice a fenomenelor naturale reprezintă o condiție obligatorie. Niciun studiu nu poate demara fără a avea la dispoziție date din măsurători și din prelucrarea acestora. Aceste date cuprind, în general, informații cu privire la topografia terenului, măsurători ale precipitației, debitelor. Modelarea numerică altimetrică a terenului presupune aproximarea unei porțiuni din suprafața topografică cu ajutorul mijloacelor electronice de calcul și a unui model matematic adecvat. Pentru studiul de

caz realizat, datele referitoare la măsurători ale precipitației, debitelor, de pe bazinele hidrografice din Elveția au fost preluate de la Oficiul federal al mediului OFEV, MeteoSuisse și Oficiul federal de geologie. Pentru bazinele din România datele folosite au fost preluate de la Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor (I.N.H.G.A.) și Administrația bazinală de ală Olt. Aceste date au fost introduse în format digital, verificate, analizate și prelucrate în formate specifice modelului nostru de calcul cu care s-a realizat simularea numerică.

Modelul dezvoltat este capabil să determine hidrograful de viitură plecând de la ploaie și un model numeric de teren. El prezintă avantajul de a putea vizualiza în timpul simulării cursul de apă de suprafață, în subteran și topirea zăpezii la fiecare pas de timp. Realizarea acestei părți este necesară pentru a putea determina zonele inundabile de pe suprafața unui bazin hidrografic.

Un alt avantaj al modelului îl constituie calculul rapid și automatizat al mai multor debite pe conturul unui lac dar și capacitatea modelului de a identifica gura de vărsare automat fără intervenție manuală. Toate aceste avantaje au fost analizate încă de la începutul dezvoltării modelului astfel încât să permită dimensionarea lucrărilor hidrotehnice și de drenaj, pentru o mai bună protecție a vieților omenești și a bunurilor materiale.

Modelul hidrologic dezvoltat a fost aplicat pe mai multe bazine hidrografice din România (bazinul râului Cerna, pe un bazin de lângă Oravița și pe bazinul hidrografic corespunzător lacului Secu), precum și din Elveția (bazinele Alenbach, Sitter, Adelboden, List). Alegerea bazinelor a fost făcută astfel în cât să evidențieze avantajele modelului dezvoltat. În majoritatea cazurilor sunt prezentate episoade de precipitație unde se cunosc atât volumul de ploaie și durata evenimentului cât și evoluția debitului de viitură în aval, ceea ce permite o comparație directă a datelor estimate de modelul dezvoltat și a celor măsurate pe teren. Simularea numerică reușește să estimeze foarte bine atât vârful debitului de viitură cât și timpul de concentrare, parametri care sunt esențiali pentru prevenirea pagubelor produse de inundații și dimensionarea lucrărilor hidraulice.

8.2 Importanța tezei de cercetare

Teza prezintă atât aspecte științifice cât și tehnice. Din punct de vedere științific are ca scop ameliorarea cunoștințelor în modelarea interacțiunilor complexe existente între:

- atmosferă;
- hidrosferă;
- geosferă.

Mai exact această teză urmărește îmbunătățirea modelării distribuției precipitațiilor în spațiu și timp, scurgerea apei pe bazine hidrografice din România și Elveția dar și delimitarea zonelor umede provocate de precipitații.

Din punct de vedere tehnic ea poate fi un suport de decizie pentru proiectarea lucrărilor de control al debitelor de viitură, deversoarelor, baraje și bazinelor de retenție, canalelor de desecare drenaj.

Posibili utilizatori sunt: direcțiile de apă, birourile de ingineri, cercetători.

8.3 Contribuții personale

Teza de doctorat cu titlul „Modelarea hidrologică a zonelor umede ca infrastructură pentru dezvoltarea rurală durabilă” este structurată pe 10 capitole din care ultimul capitol este dedicat anexelor. Toate cele 10 capitole prezintă o bază teoretică în domeniu dar și contribuțiile personale, aceste contribuții sunt sintetizate în cele ce urmează.

Capitolul 1 am dezbătut problemele generale privind creșterea precipitațiilor abundente [44], [41], care determină apariția zonelor umede (zone inundabile) și necesitatea unei dezvoltări durabile. Inundațiile reprezintă hazarduri hidrologice cu o largă răspândire pe Terra, care produc mari pagube materiale, dar și pierderi de vieți omenești. Cunoașterea, cercetarea, ameliorarea și dezvoltarea zonelor umede duce la o mai bună protecție a populației și a bunurilor materiale. Delimitarea zonelor umede este importantă deoarece evită stabilirea unor așezări rurale sau urbane care pot fi în pericol datorită inundațiilor catastrofale. Obiectivele acestei teze au fost stabilite astfel încât la sfârșitul programului de cercetare să putem lua decizii importante de prevenire și protecție împotriva catastrofelor naturale spre o dezvoltare durabilă.

În capitolul 2 am realizat o monografie a zonelor umede. Monografia analizează aspectele generale ale zonelor umede, descrierea și funcționarea hidrologică, bilanțul global, influența regimului hidrologic, reconstrucția și solurile zonelor umede. Prin acest capitol încercăm să înțelegem funcționarea zonelor umede astfel în cât să le putem modela matematic și integra în modelul hidrologic dezvoltat. Capitolul 2 poate fi considerat în întregime, prin metoda abordării precum și scopul propus, o contribuție personală importantă în realizarea acestui subiect de doctorat.

Capitolul 3 prezintă o sinteză a problematicii generale de dezvoltare rurală a infrastructurii rurale, a principiilor, conceptelor, politicilor și strategiilor de dezvoltare rurală din prevederile PND și PNDR. Dezvoltarea rurală durabilă este un concept apărut încă din anul 1972 la Conferința de la Stockholm, când oamenii au început să realizeze faptul că degradarea mediului înconjurător este provocată atât de către oameni cât și diverși factori naturali, cum sunt viiturile, cutremurele, etc. În acest capitol am vorbit de asemenea de metodele de dezvoltare socio-economică, al căror fundament îl reprezintă în primul rând asigurarea unui echilibru între aceste sisteme socio-economice și elementele capitalului natural. Pentru a asigura o dezvoltare durabilă a zonelor umede trebuie asigurat un echilibru în natură, acesta fiind posibil doar prin prevenirea și protecția împotriva inundațiilor.

Capitolul 4 corespunde practicilor de management de drenaj privind zonele umede. Acest capitol prezintă o sinteză asupra definiției termenilor de drenaj și amenajare de drenaj, cuprinzând descrierea lucrărilor de desecare – drenaj, tipurile de drenaj din zonele umede și metodologie calculul debitelor de drenaj în România, pentru a putea controla rezultatele modelării hidrologice pentru studiul de caz din zonele umede sau cu exces temporal sau permanent de umiditate, unde urmează a fi proiectate lucrări de desecare–drenaj. De asemenea se mai prezintă metodele de calcul a debitului specific de desecare-drenaj din precipitații.

Capitolul 5 cuprinde realizarea unei ample analize critice a stadiului actual de cercetare în domeniul hidrologic și hidraulic dar și a modelelor hidrologice existente. Acest capitol este împărțit pe trei subcapitole. Primul subcapitol analizează în detaliu apariția metodei PMP–PMF în America, Elveția dar și în România. Al doilea subcapitol realizează o sinteză asupra distribuției spațio-temporale a ploii. În ultimul subcapitol este prevăzută o sinteză a modelelor hidrologice existente. Acest capitol poate fi considerat o contribuție personală și originală deoarece în literatura românească tehnică de specialitate aceste aspecte

nu sunt abordate. În cadrul acestui capitol este pusă în evidență necesitatea cunoașterii metodelor de calcul ale evenimentelor extreme folosite în Statele Unite ale Americii încă din anii 30 și preluarea lor în Europa datorită schimbărilor climatice din ultimii ani.

Capitolul 6 constituie principala contribuție a acestei teze, prezentând dezvoltarea modelului hidrologic realizat pentru modelarea matematică a procesului ploaie – debit urmând generarea hidrografelor caracteristice bazinelor și rețelelor hidrologice, stabilirea valorilor debitelor de viitură, debitelor subterane, și finalizând cu modelarea scurgerii apei în râuri și determinarea limitelor zonelor inundabile.

Modelul hidrologic dezvoltat este alcătuit din trei părți principale și anume: modelarea spațio-temporală a ploii, modelarea scurgerii apei pe teren și în subteran incluzând infiltrația și exfiltrația, și modelarea topirii zăpezii.

Prima parte a modelului a fost dezvoltată pentru a putea distribui ploaia spațio-temporal, aceasta fiind realizată folosind norii. Aceștia conțin un volum de apă echivalent valorilor punctuale ale ploii. Modelarea matematică a fost realizată folosind o ecuație cu proprietăți de advecție-difuziune care modelează comportamentul temporal și spațial al fiecărui nor, obținând astfel o ploaie distribuită spațio-temporal.

Partea a doua a modelului, corespunde modelării scurgerii apei. Aceasta a fost realizată folosind un algoritm matricial asupra deplasării apei pe teren și în subteran. Pentru a putea realiza această etapă câteva ipoteze au fost propuse:

- Scurgerea se face către toate celulele cu o altitudine mai mică decât cea din centru. Fiecare celulă poate da sau primi un volum de apă în funcție de pantă și viteză. Volumul de apă dat la celulele din aval este proporțional cu panta, astfel încât celulele cu o pantă mai mare vor primi o cantitate mai mare de apă.

- În cazul scurgerii de suprafață există opt posibilități de deplasare a apei în funcție de panta terenului, dar există și posibilitatea ca nici un vecin să nu prezinte o altitudine mai joasă decât celula centrală. Acest lucru corespunde absenței scurgerii și în acest caz putem considera apariția unei zone inundabile.

- Înălțimea apei pe teren este calculată plecând de la un volum cunoscut, acest volum calculat pornind de la cantitatea de precipitații pentru intervalul de timp considerat.

- Viteza de scurgere a apei pe teren este calculată pentru fiecare punct al terenului și de asemenea diferențiată în funcție de tipul de scurgere pe teren (scurgere laminară, concentrată și turbulentă).

- Modelarea apei în subteran presupune o scurgere în paralel cu cea de suprafață cu diferența că vitezele de scurgere sunt mult mai mici și sunt calculate folosind ecuația Darcy.

- Infiltrația apei în sol a fost determinată folosind ecuația Horton. Ea are în subteran același rol ca și precipitația pentru scurgerea de suprafață.

- În momentul când solul devine saturat intervine un alt fenomen, și anume exfiltrația, fenomen ce are și el o contribuție importantă la formarea zonelor inundabile.

Partea a treia a modelului corespunde efectului topirii zăpezii asupra hidrografului de viitură. Realizarea modelării acestei părți are în vedere câteva ipoteze realizate asupra înălțimi stratului de zăpadă, volumului de precipitație, temperatura ploii. Această parte este importantă deoarece ploaia crește topirea zăpezii și amplasarea viituri.

Capitolul 7 prezintă aplicarea modelului hidrologic dezvoltat pe bazinele elvețiene și românești. În acest capitol am realizat calibrarea și verificarea modelului pentru bazinele studiate din cele două țări dar și determinarea zonelor cu exces de umiditate. Rezultatele obținute în cadrul acestei teze, pot constitui o nouă etapă în dezvoltarea metodelor de analiză a fenomenelor care concură la producerea inundațiilor. În fiecare din cazurile prezentate, rezultatele obținute din simulare au fost comparate și validate cu măsurători pe teren. Compararea celor două dovedește că modelul dezvoltat este capabil de o foarte bună estimare

a comportamentului bazinului hidrografic în timp, ducând de fiecare dată la o estimare corectă atât a timpului de concentrare cât și a vârfului viiturii. Faptul că același model a fost testat și duce la rezultate bune pe o multitudine de bazine din două țări diferite dovedește că s-a obținut un model general și robust.

Capitolul 8 încheie teza cu o serie de concluzii referitoare la modelul hidrologic dezvoltat pentru calculul debitelor de viitură și de delimitarea a zonelor umede provocate de precipitații abundente. De asemenea pune în evidență avantajele utilizării acestui model în prevenirea și protecția inundațiilor.

Anexele realizate sunt rezultate proprii obținute pe parcursul studiilor de doctorat:

Anexa A prezintă interfața modelului hidrologic dezvoltat, ea fiind necesară pentru o mai bună utilizare a modelului dar și pentru a se evita introducerea unor erori în codul sursă al modelului. Codul sursă este scris în limbajul de programare *Matlab*, având 1050 linii de cod.

Anexa B prezintă harta geotehnică realizată pentru a putea determina tipurile de sol de pe suprafața bazinelor hidrografice studiate, această hartă este o contribuție importantă și necesară pentru modelul dezvoltat pentru determinarea claselor de sol. Tot în această anexă prezentăm extracțele harților de precipitații maxime de tip PMP pentru o durată a ploii de 1 oră respectiv 3 ore pentru bazinul hidrografic Allenbach.

Anexa C prezintă precipitațiile maxime zilnice pe an la stația Allenbach din Elveția pentru 30 de ani.

Anexa D constituie o parte importantă a tezei deoarece prezintă verificarea modelului dezvoltat folosind alte metode de calcul pentru determinarea debitului de viitură. De asemenea, anexa prezintă toate bazinele studiate pe parcursul anilor de cercetare în vederea realizării acestui model. Toate aceste bazine au fost necesare pentru a putea dezvolta un model general, robust care să nu fie dependent de mărimea bazinului, poziția geografică sau de condițiile climatice.

8.4 Direcții de cercetare în viitor

Ca direcții viitoare de cercetare, se consideră că este necesară aplicarea modelului hidrologic dezvoltat pe bazine hidrologice din România unde datele măsurate au un pas de timp mult mai fin decât cele folosite pentru acest studiu, astfel încât calibrarea să fie mai precisă.

Alte aspecte de viitor sunt legate de analiza și dezvoltarea norilor de convecție și simularea ploilor extreme pentru bazinele unde există un ghețar.

Este cunoscut faptul că orice progres în cunoaștere implică și costuri, adesea semnificative însă cunoașterea preventivă a fenomenelor naturale duc la o dezvoltare durabilă și o protecție a vieților omenești și a bunurilor materiale.

9. BIBLIOGRAFIE

- [1] Ambroise B., 1999: *La dynamique du cycle de l'eau dans un bassin versant: Processus, Facteurs, Modèles*, Edition HGA, Bucarest, 200p.
- [2] Anctil F., Rousselle J. Lauzon N., 2005: *Hydrologie. Cheminement de l'eau*. Ecole Polytechnique Montreal.
- [3] Audouard A., Hertig J.-A. et Fallot J.-M., 2006: *Modélisation des précipitations extrêmes en Suisse. Actes du 19ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Epernay, 6-9.09.2006, 83-88p.
- [4] Aselmann I. and Crutzen P.J., 1989: *Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions*. *J. Atmos. Chem.* 8, 307-358p.
- [5] Baloi, V., 1980: *Amenajarea bazinelor hidrografice și a cursurilor de apă*, Editura Ceres, București.
- [6] Berndtsson R, Jinno K., Kawamura A., Larson M. and Niemczynowicz J., 1994: *Some Eulerian and Lagrangian statistical properties of rainfall at small space-time scales*. *Journal of Hydrology*, 153, 339-355p.
- [7] Bartha i., Javgureanu V., 1998: *Hydraulique, vol.1*, Editeur Technique, 296-297 pp.
- [8] Bedford, B. 199: *The need to define hydrologic equivalence at the landscape scale for freshwater wetland mitigation*. *Ecological Applications* 6, 57-68p.
- [9] Bellessort B. et Mignot C., 1976: *Action de la houle sur les sédiments*, Publication du C.N.E.x.O.
- [10] Berod D., Devred D, Laglaine V. Chaix O, Altinakar M., Delley P., 1992: *Calcul des crues extrêmes par des méthodes déterministes du type pluie maximale probable (PMP)/Crue maximale probable (PMF)*, EPFL, Lausanne, Suisse.
- [11] Berod D., Devred D, Laglaine V., 1992: *La problématique PMP/PMF: une méthode déterministe pour l'estimation de la crue extrême; avantages, inconvénients et possibilités d'amélioration*, International Symposion INTERAEVENT, Bern, Suisse.
- [12] Breña J.A., 2007: *On the sensitivity analysis of the PMF to the space-time distribution of a PMP: Analysis of the hydrological response of a catchment*. MAS Thesis. LCH-EPFL, Switzerland.
- [13] Berndtsson R, Jinno K., Kawamura A., Larson M. and Niemczynowicz J., 1994: *Some Eulerian and Lagrangian statistical properties of rainfall at small space-time scales*. *Journal of Hydrology*, 153, 339-355p.
- [14] Besurosné I., Oancea V., Oberlan G., Toma A., Hubert P., 1993: *Analyse comparative Agregee/PMP-PMF en estimation des crue rares et extremes*. *Hydrologie continent*. Vol 8, no.2, pag 93-102p.
- [15] Blidaru V., Pricop Ghe., Wehry A., 1981: *Irigații și drenaje*. Ed. Did. și Ped. București.
- [16] Blidaru V., Wehry A., Pricop Gh., 1997: *Amenajări de irigații și drenaje*. Editura Interprint, București.

- [17] Bodog M., 2008: *Interacțiunea Irigații-Drenaj și impactul acestora asupra mediului în Bazinul Crișului*, Teză de doctorat, Coordonator științific: Man T. E.
- [18] Brinson, M. M., 1993: *A hydrogeomorphic classification for wetlands*. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA. Technical Report WRP-DE-4.
- [19] Brutsaert W., 1974: *More on an approximate solution for nonlinear diffusion*. *Water Resources Research*, 10, 1251-1252p.
- [20] Bureau of Reclamation, 1987: *Design of small dams*. US Bureau of Reclamation, Washington.
- [21] Căzănescu S., Mărăcineanu F., 2011: *Studii și cercetări privind utilizarea tehnicilor informatice în proiectarea amenajărilor de prevenire și combatere a excesului de apă în spațiul rural*, București.
- [22] Cebotarev, A.I., 1957: *Hidrologia uscatului și calculul scurgerii râurilor*, Vol. I (traducere din limba rusă), București.
- [23] Chaplot, V., 1998: *Organisation spatiale des sols hydromorphes de fond de vallée. Modélisation prédictive de leur distribution.*, Thèse de l'ENSA Rennes, Mention sciences de l'environnement, 258 p.
- [24] Clement, J.C, Pinay, G., Marmonier, P., 2002: *Seasonal dynamics of denitrification along topohydrosequences in three different riparian wetlands*, *Journal of Environmental quality*, 31, 1025-1037p.
- [25] Clément, J.C., 2001: *Les zones humides de fond de vallée et la régulation des pollutions azotées diffuses.*, Thèse de l'Université de Rennes 1, Mention Biologie, 184p.
- [26] Chocat B., 1997: *Encyclopédie de L'hydrologie urbaine et de l'assainissement*. Paris: Lavoisier TEC&DOC, 1124p.
- [27] Cowardin, L. M., Carter, v., Golet, F. C. & LaRoe, E. T., 1979: *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States*. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC, FWS/OBS79/31. 130 pp.
- [28] Crețu Gh., 1980: *Hidrologie I+II*, Editura Politehnica Timișoara.
- [29] Darcy M., 1856: *Les fontaines publiques de la ville de Dijon: exposition et application des principes à suivre et des formules à employer dans les questions de distribution d'eau*. Editeur Victor Dalmont, Paris, 647 p.
- [30] David, I., 1998: *Grundwasserhydraulik. Strömungs- und Transportvorgänge*. Vieweg Verlag, Wiesbaden
- [31] David.I, Șumălan I., 1998: *Metode numerice cu aplicații în hidrotehnică*, Editura Mirton, Timișoara.
- [32] Delley, P., 1992: *Sécurité des barrages vis-à-vis des crues, détermination de la crue de project et probleme des données, application des méthodes PMP–PMF /Projet CERS).*
- [33] Deng Peng, Li Zhijia, Xie Fan, 2008: *Application of TOPMODÈLE in Buliu River Basin and comparison with Xin'anjiang modèle*. *Water Science and Engineering*, Vol. 1, no. 2, 25–32p.
- [34] Desurone I, Oancea V., Oberlin G., Toma A., Hubert P., 1993: *Analyse comparative Agragee/PMP–PMF en estimation des rares et extrêmes*. Japon.
- [35] Diaconu, C., Lăzărescu, D., 1965: *Hidrologia*, Edit. Did. și Ped., București.

-
- [36] Drobot R., 2007: *Raport de mediu, Rosia Montană, Modificare P.U.Z. pentru zona de dezvoltare industrială.*
- [37] Dubois J., Schleiss A., 1998: *Comportement hydraulique et modélisation des écoulements de surface. Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.*
- [38] Dubois J., Boillat J-L., 2000: *Routing System. Modélisation du routage de crues dans des systèmes hydraulique à surface libre, Communication 9, Lausanne.*
- [39] Dubois J., Piroton M., 2002: *Génération et transfert des crues extrêmes. Le logiciel Faitou. Communication 10, Lausanne.*
- [40] Deved D. et al., 1991: *Application des méthode PMP/PMF à des bassins versant alpins suisses. Rencontre hydrologiques Franco-Roumaines, Paris, 2-4 septembre*
- [41] Fallot J.M., 2000: *Evolution du nombre de jours avec des précipitations abondantes en Suisse durant le 20ème siècle. Publications de l'Association Internationale de Climatologie, 13, 100-109.*
- [42] Fallot J.M., Hertig J.A., 2008 : *Détermination des vents extrêmes à l'aide d'analyses statistiques et de modélisations numériques dans une topographie accidentée en Suisse. Bulletin de la Société géographique de Liège, 51.*
- [43] Fallot J.M., Hertig J.A., 2009 : *Détermination des précipitations extrêmes en Suisse à l'aide d'analyses statistiques. Actes du 22^{ème} Colloque de l'Association Internationale de Climatologie à Cluj, Roumanie.*
- [44] Frei C., Davies H.C., Gurtz J., Schär C., 2000: *Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. Integrated Assessment, 1, 281-299.*
- [45] Giurma I., Crăciun I., Giurma R., 2001 : *Hidrologie și Hidrogeologie. Aplicații, Ed. Gh. Asachi, Iași.*
- [46] Gren W: H. et Ampt C.A., 1911: *Studies on soil physics. Part I. The flow of air and water through soils. Journal of Agricultural Science, Vol. 4, 1-24p.*
- [47] Gumbel E.J., 1958: *Statistique of extremes. Columbia University press, 375p.*
- [48] Hackney, C.T. 2000: *Restoration of coastal habitats: expectation and reality. Ecol. Eng. 15(3-4):165-170.*
- [49] Hansen E.M., Schreiner L.C, Miller J.F., 1982: *Application of probable maximum precipitation estimate, United States East of the 105th Meridian. NOAA Hydrometeorology, Report no. 52, Washington.*
- [50] Hălbac-Cotoară R., 2010: *Studii de drenaj eficiente tehnice – economic pentru terenurile cu exces de umiditate. Editura Politehnica Teză de doctorat, Coordonator științific: Man T. E.*
- [51] Hertig J.A., 1997: *Possibilités et limitation de la méthode PMP–PMF: une expérience suisse. Comunicatiuon 5, EPFL, Lausanne, Suisse, 21-41p.*
- [52] Hertig J.A. et Audouard A., 2005: *Cartes des précipitations extrêmes pour la Suisse (PMP 2005). Rapport final, EFLUM, EPFL, Lausanne, Switzerland, décembre 2005, 43p. + annexes.*
- [53] Heywood, V.H., 1978: *Flowering Plants of the World. Mayflower Books, New York, NY, 336 p.*
- [54] Horton R.E., 1933: *The role of infiltration în the hydrologic cycle. Transaction. American Geophysical Union, , Vol.14, pp 446-460p.*

- [55] Howard-Williams, C., 1985: *Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands: a theoretical and applied perspective: freshwater Biology Volume 15*, 391 – 431p.
- [56] Hursh C.R., 1936: *Storm – Water and absorption. Transactions, American Geophysical Union*, vol. 17, 301-302p.
- [57] Indorto K., 2002: *Découpage spatiaux et conséquences sur le bilan hydrologique. Application au bassin de l'Orb à travers une démarche de modélisation hydrologique distribuée. Thèse ENGREF Montpellier*, 252p.
- [58] Jacqueline Leonte, Giurcă D., Câmpeanu V., 2002: *Politica Agricolă Comună-Consecințe asupra României, Proiect Phare RO 9907-02-01, Institutul European din România*.
- [59] Jinno K., Kawamura A., Berndtsson R., Larson M. and Niemczynowicz J., 1993: *Real-time rainfall prediction at small space-time scales using a two-dimensional stochastic advection-diffusion model. Water Resources Research*, 29 (5), 1489-1504p.
- [60] Kentula M.E., 2000: *Perspectives on setting success criteria for wetland restoration. Ecological Engineering 15(3-4):199-209p*.
- [61] Klocking B. et Haberland U., 2002: *Impact of land use changes on water dynamics - a case study in temperate meso and macroscale river basins. Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 27, 619-629p.
- [62] Lasaffre B. et Arlot M. P., 1991: *Maîtrise de l'excès d'eau dans les sols et effets sur l'environnement; impact du drainage sur les milieux. Salon Eau de Grenoble 20-03-1991*. 30p.
- [63] Longcore R. and Mattoni R., 1997: *The Los Angeles Coastal Prairie, a vanished community. Crossosoma 23(2):71-102p*.
- [64] Receanu R.G., Hertig J-A, Fallot J.M., 2009: *Modélisation spatiale et temporelle des précipitations pour l'estimation des crues extrêmes dans les Alpes. Actes du 22^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cluj-Napoca, 1-5.09.2009*, 383-389p.
- [65] Receanu R.G., Hertig J-A, Fallot J.M., 2009: *Modélisation spatiale et temporelle des précipitations pour l'estimation des crues extrêmes dans les Alpes. Actes du 22^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cluj-Napoca, 1-5.09.2009*, 383-389p.
- [66] Receanu R.G., Hertig J-A. 2009: *Méthodologie pour l'adaptation de la PMP à la détermination d'une PMF, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne*.
- [67] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2010: *A methodology for the adaptation of a PMP at the determination of a PMF. Scientific Bulletin of the « Politehnica » University of Timisoara, Transactions on Hydrotechnics. 8 - 9 septembre 2010*.
- [68] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2010: *L'effet de la PMP et de la fonte des neiges sur la PMF dans un bassin versant alpin Suisse. Actes du 23^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Renne, France 1 – 5.09. 2010*.
- [69] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2011: *Estimation des crues extrêmes dans les Alpes Suisse à l'aide d'un modèle hydrologique distribué. Actes du 24^{ème} colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 5 – 9.sept. Rovereto, Italie*.
- [70] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2011: *Modélisation hydrologique des précipitations et des crues extrêmes dans les bassins versants alpins. Actes du Société Vaudoise des Sciences Naturelles (SVSN), Suisse, 2 – 4.02. 2011*.

-
- [71] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2011: *Determination of extreme floods using a distributed hydrological model* . *Scientific Bulletin of the « Politehnica » University of Timisoara*.
- [72] Refsgaard J.C. et Strom B., 1996: *Chapter 3: Construction, calibration and validation of hydrological models* In: *Distributed Hydrological Modeling*, Kluwer Academic Publishers Netherlands, 41-42p.
- [73] Refsgaard J.C., 1997: *Parameterization, calibration and validation of distributed hydrological models*. *Journal of Hydrology* 198, Issues 1-4, 69-97p.
- [74] Richardson C.J., 1979: *Primary productivity values in freshwater wetlands*. *American Water Association, Minneapolis, MN*, page 131-145p.
- [75] Rogobete Gh., 1993: *Știința solurilor*, Editur Minerva, Timisoara, Roumaine.
- [76] Maltby E. and Turner R.E., 1983: *Wetlands of the world*. *Geographical Magazine* 55: 12-17p.
- [77] Man T. E., 1983: *Studiu rezistențelor hidraulice ale drenurilor agricole*, Teză de doctorat IPTV, Timișoara.
- [78] Man T.E., Receanu R. G., 2006: *Sustainable development of Romanian rural space as a EU member through the promotion of financed projects by Structural Funds. – Survey and his role in the economy, with applicability in the local public service field*. *International service – Surduc ISBM, Roumania*.
- [79] Man T.E., Receanu R. G., 2006: *Consideration about determination of jumping-up size basins with drowned vein, at the pumping station for surface drainage*. *Bulletin of the «Politehnica » University of Timisoara. Transactions on Hydrotechnics, Tom 51(65), Fascicola 1,2*.
- [80] Man T.E., Receanu R. G., 2006: *The infrastructure role from inland and outland for sustainable rural development - International Conference “Applicative researches for sustainable development in Romania”*, Targul Mures.
- [81] Man T. E., Mateoc Sârb N., 2007: *Dezvoltarea rurală și regională durabilă a satului românesc*, Editura Politehnica.
- [82] Man T.E. Receanu R.G., 2007: *Enhancing public awareness and flood control - International Conference Sustainable Development in Balkan area: Vision and Reality*, B.E.N.A ICAI 2007, Alba Iulia, Romania.
- [83] Man T.E., Receanu R. G., 2007: *Sustainable rural development in Europe*. *Bulletin of the « Politehnica » University of Timisoara. Transactions on Hydrotechnics, Tom 52(66), Fascicola 1,2*.
- [84] Man T. E., Hălbac-Cotoară R., Receanu R.G., 2007: *Probleme de drenaje. Calcul și experiment*. Editura Politehnica.
- [85] Man.T.E., Mateoc-Sîrb N., 2008: *Dezvoltare rurală durabilă a satului românesc*, Editura Politehnica, Timișoara.
- [86] Man T.E. Sabău N. C., Cîmpan G., Bodoc M., 2010: *Hidroameliorații, Vol I și II*, Editura Aprilia Print, Timișoara.
- [87] Manton, M.J., Bonell, M., 1993: *Climate and rainfall variability in the humid tropics*. In: *Bonell, M., Hufschmidt, M.M., Gladwell, J.S. Eds.*, *Hydrology and Water Management in the Humid Tropics: Hydrological Research Issues and Strategies for Water Management*. Cambridge University Press/UNESCO. Cambridge, 13-33p.

- [88] Matthews E., and Fung I., 1987: *Methane emissions from natural wetlands: Global distribution, area, and environmental characteristics of sources*. *Global Biogeochem. Cycles*, 1, 61-86p.
- [89] MIATEKELA J., 2002: *Approche du développement durable en milieu rural et dans le domaine agricole: Quelques elements du debat dans le cadre de la formation des personnels*, Martinique.
- [90] Mitsch, W. J., Gooselink, J. G., 1987: *Wetlands*, Van Nostrand Reinhold Pubi
- [91] Mitsch, W.J., R.H. Mitsch and R.E. Turner. 1994. *Wetlands of the Old and New Worlds: ecology and management*. pp. 3-56 In *Global Wetlands Old and New*: W.J. Mitsch (ed.). Elsevier Press. New York, New York.
- [92] Moriasi et al. Arnold J.G, Van Liew M. W., Bingner R. L., Harmel R. D., Veith T. L., 2007: *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. *American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0001-2351*.
- [93] Mustață, L., 1973: *Calculul debitelor maxime din ploii pe râurile din România*, *Studii de hidrologie*, XXXVI, București.
- [94] Musy A., Higy C., 1991: *Hydrologie, 1Une science de la nature*. *Presse Polytechnique et Universitaires Romandes*.
- [95] Musy A., Soutter M, 1991: *Physique du sol*. *Presses Polytechniques et universitaires romandes*, 213-220p.
- [96] Nunes J.P., de Lima J.L.M.P., Singh V.P., de Lima M.I.P. and Vieira G.N., 2006 : *Numerical modeling of surface runoff and erosion due to moving rainstorms at the drainage basin scale*. *Journal of Hydrology*, 330, 709-720p.
- [97] Ogunkopa O., Jenkins A., 1993: *Analysis of storm hydrograph and flow pathways using a three-component hydrograph separation mode*. *Journal of Hydrology*, vol. 142, no. 1-4, 71-88p.
- [98] Otiman P. I., 1997: *Dezvoltarea rurală în România*, Editura Agroprint Timișoara.
- [99] OFEN (Office fédéral de l'énergie), 2008: *Sécurité des ouvrages d'accumulation - Documentation de base relative à la vérification de la sécurité en cas de crue* - <http://www.ofen.admin.ch>.
- [100] SÂRB MATEOC N, POPESCU F., MAN E.T. 2003: *Dezvoltare locală. Programe de finanțare derulate prin ADR V Vest, Timișoara*.
- [101] SÂRB MATEOC N., 2002: *dezvoltarea rurală și regională în România*, Editura Agroprint Timișoara;
- [102] Steyer, G.D., and Llewellyn, D.W. 2000: *Coastal Wetlands Planning, Protection, and Restoration Act: a programmatic application of adaptive management*. *Ecol. Eng.* 15(3-4):385-395p.
- [103] Sen Z. and Habib Z., 1998: *Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions*. *Journal of Hydrology*, 205, 81-91p.
- [104] Schwarz, F.K., 1965i: *Probable Maximum and TVA precipitation over the Tennessee basin above Chattanooga*, *Hydrometeorological Report no 45*, US Weather Bureau.
- [105] Schwarz, F.K., 1965ii: *Probable Maximum and TVA precipitation for Tennessee river basins up to 3000 square miles in area and duration to 72 hours*, *Hydrometeorological Report no 45*, US Weather Bureau.

-
- [106] Schreiner, L.C., Riedel, J.T., 1978: *Probable Maximal Precipitation Estimates, United States East of the 105th Meridian, Hydrometeorological Report no 51, NWS-NOA, Washington DC.*
- [107] Singh, V.P., 1988: *Hydrologic systems: Rainfall-Runoff modeling, volume 1. Prentice Hall.*
- [108] Singh V.P., 1995: *Watershed modeling IN.VP Singh (Editor), Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resource Publication, Highland Ranch, Colorado, USA.*
- [109] Sivapalan, M. and Bloschl, G., 1998: *Transformation of point rainfall to areal rainfall: Intensity-duration-frequency curves. Journal of Hydrology, 204, 150-167.*
- [110] Shaw, S. P. & Fredine, C. G. 1956: *Wetlands of the United States. US Fish and Wildlife Service, Washington, DC Circular 39. 67 p.*
- [111] Sherman L.K. 1932: *Stream flow from rainfall by the unit-graph method, Engineering News Record.*
- [112] Smith J.A., Bradley A.A. and Baeck M.L., 1994: *The space-time structure of extreme rainfall patterns in the Southern Plains. Journal of Applied Meteorology, 33, 1402-1417p.*
- [113] Sten B, Hellström S.S., Lindström G. and Wern L., 2007: *Follow-Up of the Swedish Guidelines for Design Flood Determination for Dams the Swedish Meteorological and Hydrological Institute.*
- [114] Stallings et al., 1986: *Evolution of PMP Cooperative Studies. Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 112, no. 4.*
- [115] Thiessen, A.H., 1911: *Precipitation averages for large areas. Monthly Weather Review, 39, 1082-1084p.*
- [116] Thom, R.M. 2000. *Adaptive management of coastal ecosystem restoration projects. Ecol. Eng. 15(3-4):365-372p.*
- [117] Whillans, T. H. 1996: *Historic and comparative perspectives on rehabilitation of marshes as habitat for fish in the lower Great Lakes basin. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53(Suppl. 1):56–66p.*
- [118] Wilcox, D. A. T. H. Whillans. 1999: *Techniques for restoration of disturbed coastal wetlands of the Great*
- [119] WMO, 1986: *Manual for estimation of probable maximum precipitation. WMO N 332, World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland, 269p.*
- [120] Zedler, J.B., Callaway, J.C. 2000: *Evaluating the progress of engineered tidal wetlands. Ecol. Eng. 15(3-4):211-225p.*
- [121] Zhang Y., Smith J. A. and Baeck M., 2001: *The hydrology and hydrometeorology of extreme floods in the Great Plains of Eastern Nebraska. Advances in Water Resources, 24, 1037-1049p.*
- [122] Zomorodi K., 2008: *A simple equation for predicting the PMP peak flow generated by the 5.pont distribution PMP, Dewberry, U.S.*
- [123] <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem-wist.asp>
- [124] <http://www.picornot.com/domain/voyage.gc.ca>
- [125] <http://www.pronatura.ro/legi/ramsar.htm>
- [126] <http://www.manifold.net/info/products.shtml>
- [127] <http://www.swissdams.ch/Dams/damForm/default.asp>

-
- [128] <http://www.dhi.fr/Logiciels.aspx>
[129] <http://www.hec.usace.army.mil>
[130] http://www.slf.ch/lawineninfo/schneeinfo/hstop/index_FR
[131] <http://www.anif.ro/>
[132] http://ec.europa.eu/index_ro.htm
[133] <http://www.epa.gov/>
[134] <http://www.anif.ro/patrimoniu/amenajari-desecare-drenaj.htm>
[135] http://ec.europa.eu/index_ro.htm
[136] http://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_Brundtland
[137] <http://www.meteosuisse.admin.ch>
[138] <http://www.profudegeogra.eu/harti-romania>
[139] http://www.dreptonline.ro/legislatie/legea_imbunatatirilor_funciare.php
[140] http://www.google.co.uk/intl/en_uk/earth/index.html
[141] <http://www.manifold.net/>
[142] <http://www.romaniaroute.ro/pobiectiv.php?nume=1340>
[143] <http://www.dumbravita-natura2000.ro/>
[144] <http://www.ramsar.org>
[145] <http://www.icpa.ro/>
[146] <http://www.sdn.ro/>
[147] <http://www.randonneurs.ch/upload/images/20060520235346574.jpg>
[148] <http://www.jcr-photos.ch/414121/414142.html>

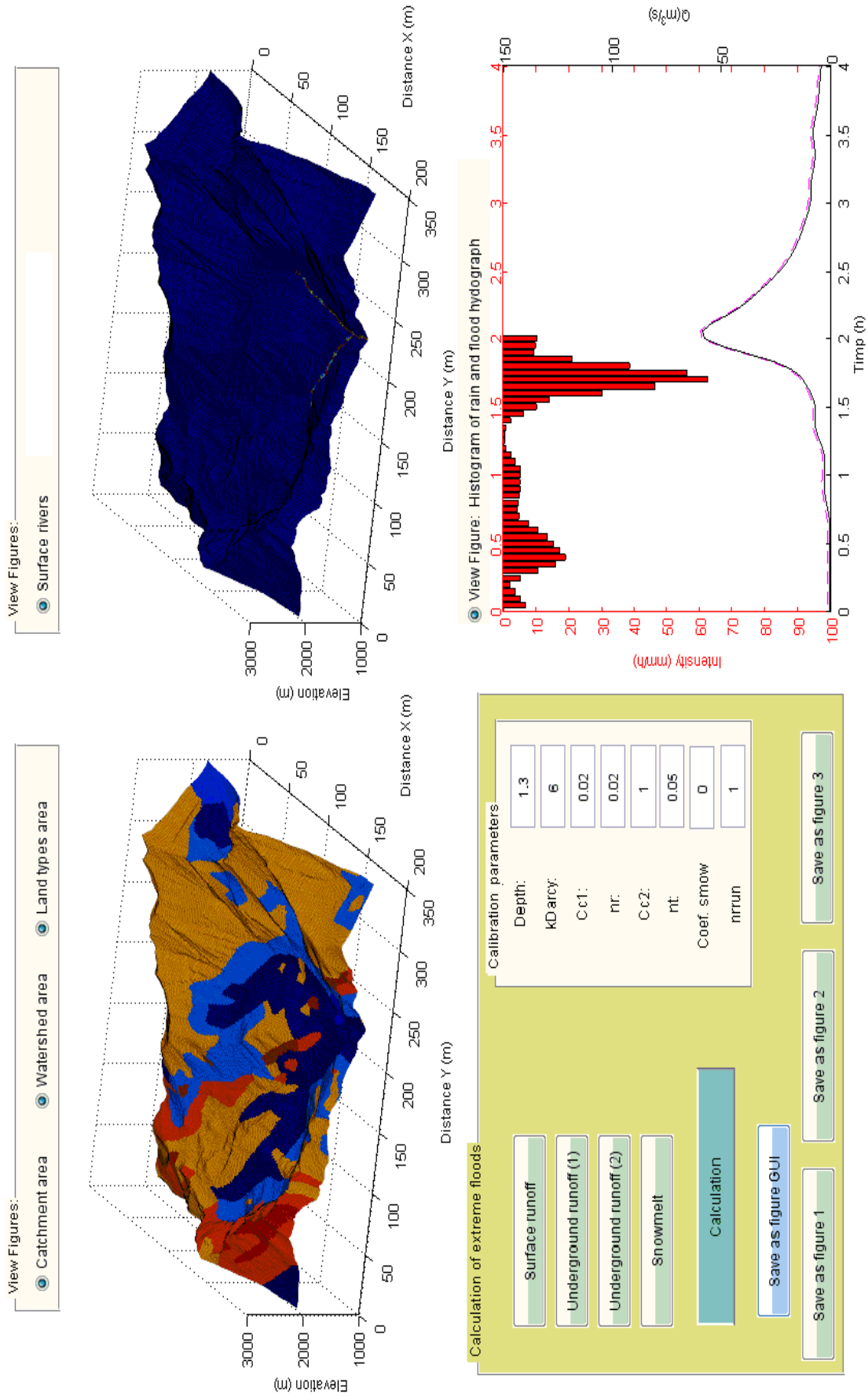
10. ANEXE

Lista anexelor :

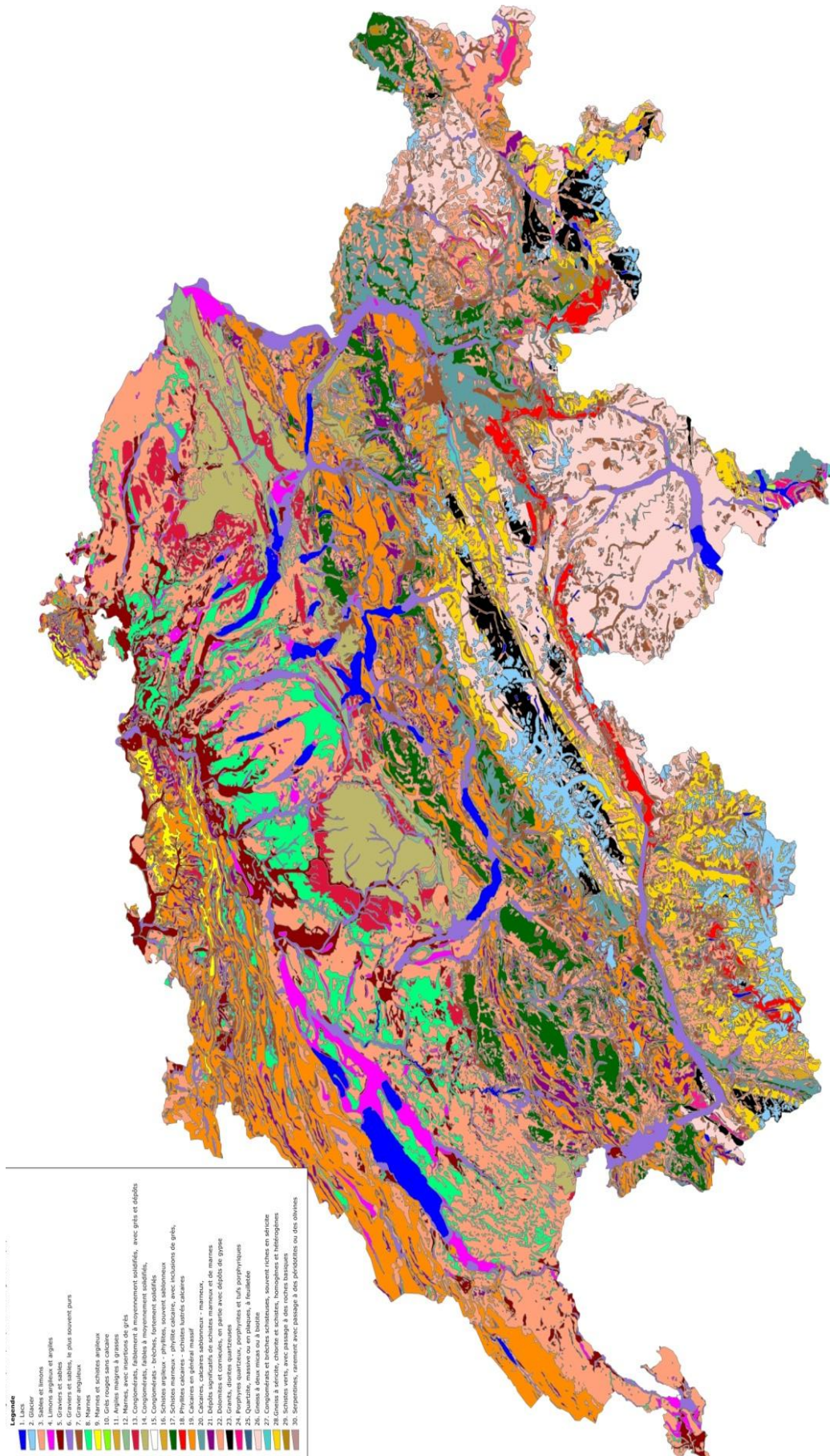
- A. Anexa: Interfața modelului dezvoltat
 - 10.1.1 Lista tipurilor de teren
 - 10.1.2 Hartă de precipitații de tip PMP 1 ora bazin Allenbach
 - 10.1.3 Hartă de precipitații de tip PMP 3 ore bazin Allenbach
- B. Anexa: Harta solurilor din Elveția
- C. Anexa : Precipitații maxime journaliere. Bazin Allenbach
- D. Anexa: Verificarea modelului utilizând alte metode de calcul
 - 1. Prezentarea bazinelor studiate
 - 2. Rezultate obținute
 - 3. Verificare alte metode de calcul

A.Anexa: Interfața modelului dezvoltat

PMP - PMF Model 2011



B.Anexa: Harta solurilor - Elveției



Sursă: Oficiul federal al mediului, pădurii și peisajului, Oficiul federal al apei și geologiei

10.1.1 Lista tipurilor de teren

| ITEM/ Clase: | GT_ID | Scurtă descriere: Codul unităților geotehnice |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | Lacuri | |
| 2 | Ghețari | |
| 3 | Nisipuri și nămol, de obicei din lut (argilă), parțial calcaroase (loess), adesea cu pietricele (morene de adâncime) sau pietriș, fin, amestecat cu nisip, nămol sau argilă (morene de suprafața) | |
| 4 | Nămoluri argiloase și argile, uneori cu incluziuni de nisip sau pietriș (aluviuni lacustre) | |
| 5 | Pietrișuri și nisipuri, de obicei pure sau noroioase, uneori ușor cimentate (pietriș din epoca de gheață) | |
| 6 | Pietrișuri și nisipuri, adesea pure, uneori cu straturi sau incluziuni argilo-lutoase | |
| 7 | Suprafețe mari de pietriș adesea de dimensiunile unor blocuri (materiale căzute de pe munte) | |
| 8 | Marne, cu inserări de gresii slab solidificate, preponderente, și separate de conglomerate și de gresii crustacee | |
| 9 | Marne și șisturi argiloase, cu pături de calcar, dolomit și gresii, în locuri cu depozite de gips și anhidrit | |
| 10 | Gresie roșie fără calcar - nisip bituminos | |
| 11 | Argile neferoase, în principiu fără calcar, adesea cu minerale de fier pisolitic și diferite nisipuri | |
| 12 | Marne, cu inserții de gresii mediu solidificat și separate prin conglomeratele | |
| 13 | Conglomerate, slab spre mediu solidificate, cu depozite de gresii și marne susceptibile de a domina | |
| 14 | Conglomerate, slab spre mediu solidificate, în mod constant însoțite de gresii și depozite de marne | |
| 15 | Conglomerate, puternic solidificat, cu diferite niveluri de arkose și gresii, parțial cu phyllites nisipoase și roci vulcanice | |
| 16 | Șisturi argilo-phyllites, de multe ori nisipoase, cu incluziuni de gresie și brecii-conglomeratele | |
| 17 | Șisturi marne-phyllite calcaroase, cu incluziuni de gresie, parțial preponderente | |
| 18 | Phyllites calcaroase-calcare lucioase bituminoase, frecvent cu incluziuni de marmure, dolomite, cuarțuri, calcar și phyllites puțin calcaroase și șisturi verzi | |

- 19 Calcaruri în general masive, frecvent cu depozite de marne și gresii verzi
- 20 Calcaruri, nisipuri calcaroase–marne, șisturi bituminoase cu depozit de șisturi marnoase și phyllites calcaroase parțial cu piatră și dolomite, rareori cu structuri de conglomerate sau brezii
- 21 Depozite semnificative de șisturi bituminoase și marne
- 22 Dolomiții cu depozite de ghips
- 23 Graniți, dioriți cuarțoși, cea mai adesea omogene
- 24 Cuarț porfir, porphyrite și tuffs porfir, masive spre ușor laminate
- 25 Cuarțit, masiv sau plăci
- 26 Gneiss, frecvent cu mult feldspat, parțial cu gnais și amphibolite hornblendă
- 27 Conglomerate și brezii șistoase adesea bogate în sericite
- 28 Gneiss sericitoase, clorit și șisturi, omogene și eterogene
- 29 Șisturi verzi, cu pasaj la roci bazice
- 30 Serpentine, rareori trecerea la peridotite sau olivine

10.1.2 Hartă de precipitații de tip PMP o oră pentru bazinul hidrografic Allenbach

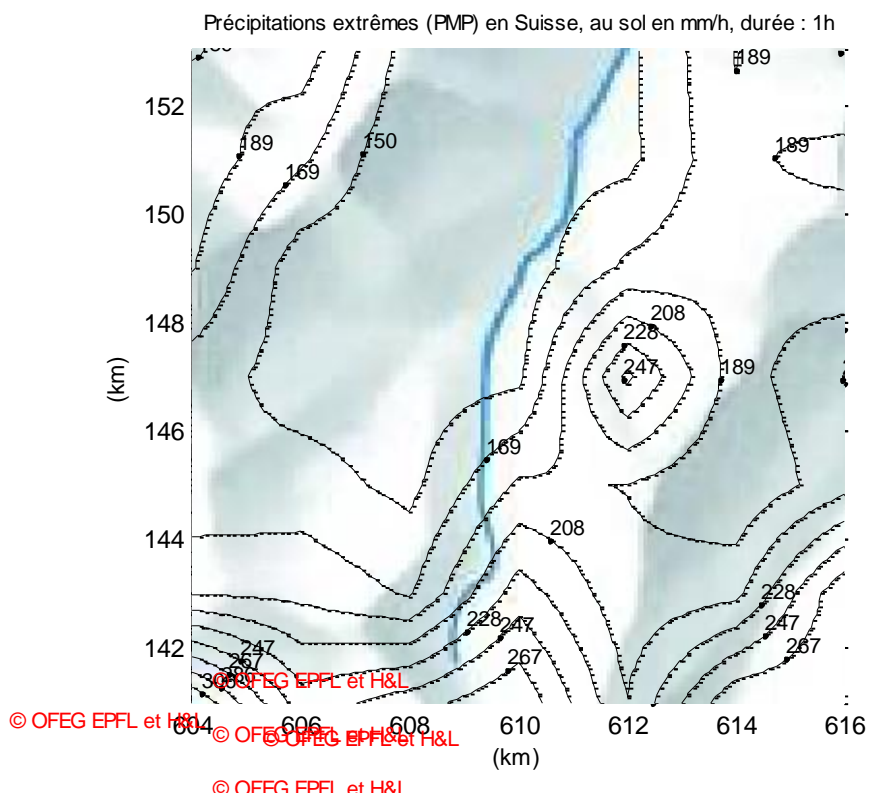


Figure 1. Harta de tip PMP o oră (mm/h)

Tabel 11. Valorile precipitațiilor de tip PMP pentru bazinul hidrografic Allenbach.

| x \ y | 605.00 | 607.00 | 609.00 | 611.00 | 613.00 | 615.00 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 142.00 | 324.32 | 236.67 | 257.68 | 283.79 | 209.06 | 283.79 |
| 144.00 | 188.27 | 183.92 | 167.08 | 237.86 | 194.67 | 202.82 |
| 146.00 | 152.42 | 158.35 | 144.35 | 192.06 | 188.16 | 171.35 |
| 148.00 | 159.70 | 140.39 | 138.15 | 145.01 | 251.85 | 178.97 |
| 150.00 | 190.26 | 137.37 | 137.37 | 137.71 | 173.10 | 184.98 |
| 152.00 | 200.93 | 172.75 | 131.35 | 141.97 | 144.74 | 185.58 |

10.1.3 Hartă de precipitații de tip PMP 3 ore bazin Allenbach

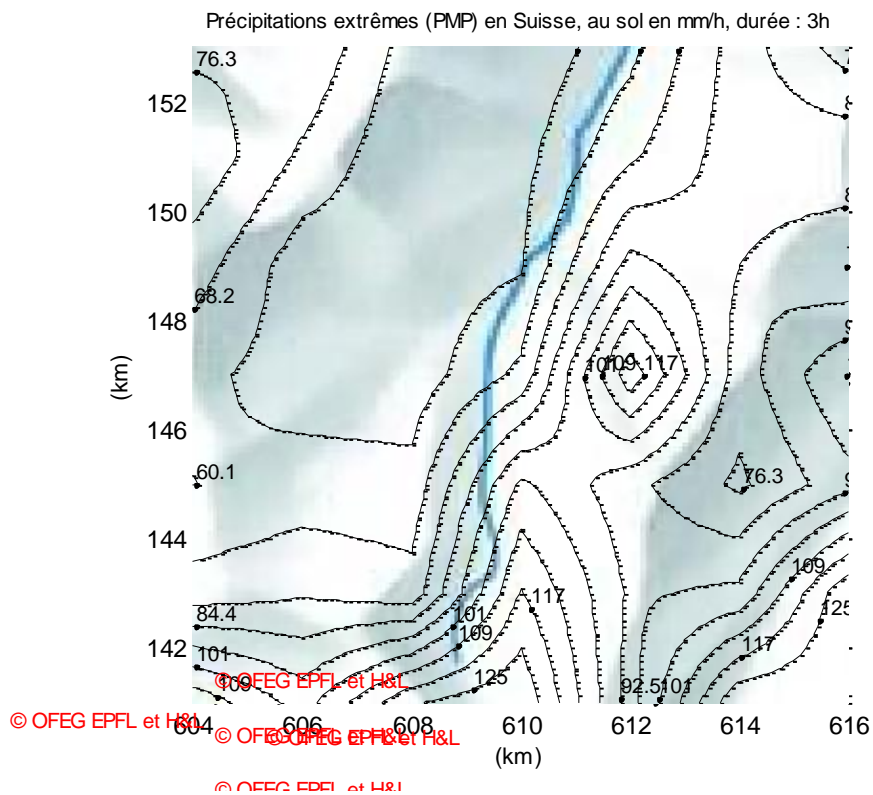


Figure 2. Hata de tip PMP 3 ore (mm/h)

Tabel 12. Valorile precipitațiilor de tip PMP pentru bazinul hidrografic Allenbach.

| x \ y | 605.00 | 607.00 | 609.00 | 611.00 | 613.00 | 615.00 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 142.00 | 114.40 | 97.25 | 123.92 | 132.00 | 88.98 | 132.00 |
| 144.00 | 71.52 | 75.36 | 71.36 | 117.60 | 91.16 | 94.56 |
| 146.00 | 59.94 | 63.60 | 62.80 | 102.24 | 86.85 | 74.67 |
| 148.00 | 62.30 | 56.00 | 55.26 | 70.27 | 122.08 | 80.29 |
| 150.00 | 72.16 | 55.01 | 55.01 | 59.30 | 95.52 | 84.54 |
| 152.00 | 82.78 | 66.53 | 53.02 | 57.31 | 75.01 | 88.78 |

C. Anexa : Precipitații maxime zilnice–B. Allenbach

Tabel 13. Precipitații maxime zilnice pe an la stația Allenbach pentru 30 de ani

| Ani | Precipitații maxime zilnice | | | | |
|------|-----------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| | 24h (mm) | 48h (mm) | 72h (mm) | 96h (mm) | 120h (mm) |
| 1980 | 62 | 79.8 | 111.1 | 119.5 | 149.3 |
| 1981 | 35.1 | 47.2 | 59.8 | 83.9 | 93.4 |
| 1982 | 16.7 | 24.7 | 28.5 | 37.3 | 45.2 |
| 1983 | 58.1 | 95.7 | 115.4 | 125.2 | 132 |
| 1984 | 69.7 | 97 | 104.3 | 112.4 | 119.7 |
| 1985 | 43.5 | 60.4 | 67.6 | 79.6 | 88 |
| 1986 | 38.4 | 57.6 | 73.2 | 86.4 | 88.6 |
| 1987 | 61.2 | 85.8 | 99.4 | 99.4 | 106.6 |
| 1988 | 42.8 | 63 | 79.4 | 81 | 94.6 |
| 1989 | 38.6 | 61.6 | 69.6 | 69.6 | 73.6 |
| 1990 | 51.2 | 95.4 | 111.8 | 124.7 | 127.8 |
| 1991 | 108.7 | 153.4 | 170.9 | 181.4 | 193.7 |
| 1992 | 43.1 | 64.7 | 82.7 | 91.2 | 95.5 |
| 1993 | 59.5 | 74 | 89.5 | 91.2 | 97.9 |
| 1994 | 44.1 | 78.5 | 88.4 | 95.7 | 96.4 |
| 1995 | 58 | 86.3 | 92 | 102.5 | 106.5 |
| 1996 | 80.9 | 99.5 | 105.5 | 120.9 | 123.9 |
| 1997 | 50.4 | 81.6 | 97.7 | 100.8 | 103.2 |
| 1998 | 53.7 | 72.6 | 82.7 | 86.6 | 90.8 |
| 1999 | 54.3 | 76.6 | 111.4 | 131.7 | 163.1 |
| 2000 | 77 | 93.4 | 97.4 | 116.1 | 121.6 |
| 2001 | 47.6 | 55.7 | 67.1 | 79.1 | 86.3 |
| 2002 | 103.2 | 127.3 | 143 | 146.2 | 146.7 |
| 2003 | 42.4 | 55 | 79.6 | 79.8 | 105.2 |
| 2004 | 51.4 | 64.1 | 69.4 | 83.1 | 93.9 |
| 2005 | 132 | 190.2 | 198.3 | 213.1 | 214.7 |
| 2006 | 42.2 | 77.3 | 93.2 | 105.4 | 119.8 |
| 2007 | 61.4 | 87.8 | 103 | 107.3 | 107.8 |
| 2008 | 82.7 | 97 | 101.5 | 112.8 | 127.1 |
| 2009 | 66.5 | 88.2 | 88.4 | 93.4 | 103.2 |
| 2010 | 57.4 | 86.3 | 123.8 | 131.7 | 144.9 |

D. Anexa : Verificarea modelului utilizând alte metode de calcul

1. Prezentarea bazinelor studiate

În această parte prezentăm primele calcule realizate pentru mai multe bazine elvețiene. Acest calcul a fost necesar pentru a putea realiza un model general care să fie independent de mărimea bazinului hidrografic.

Alegerea bazinelor hidrografice pentru studiu a fost făcută în funcție de mai mulți parametri care intervin în calcul, și anume: talia bazinului, de situația geografică, de geologie, astfel încât să obținem un model robust cu rezultate satisfăcătoare.

În Figura 109 sunt reprezentate poziția pe hartă a bazinelor luate în considerare.

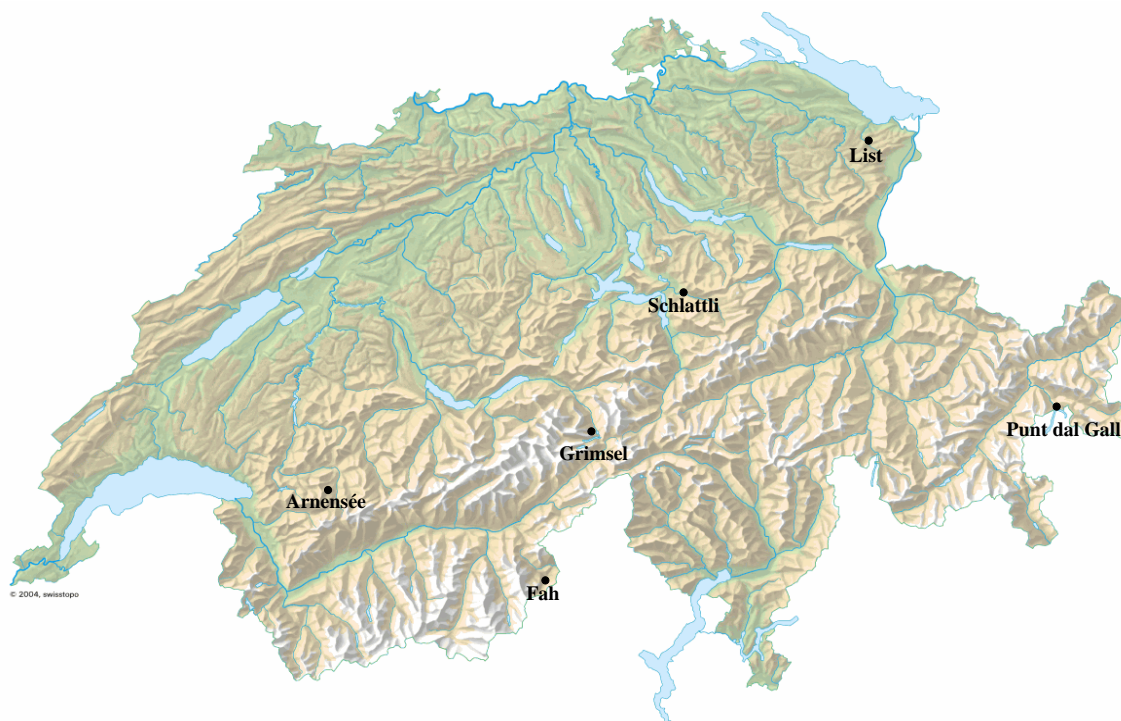


Figura 109. Poziția bazinelor hidrologice studiate

Bazinul Arnensee și List au fost propuse de către Oficiul Federal al Mediului deoarece ele provoacă numeroase probleme în timpul viiturilor. În acest studiu o să prezentăm cele două metode de studiu și anume metoda Rațională și cea incluzând calculul debitului specific maximal pentru aceste două bazine hidrografice.

Primul bazin este Arnensee situat în cantonul Berne, în sus de Gstaad, la o altitudine de 1542 metri, cu o suprafață de 7,1 km². Principalul afluent este Tschärzibach cu o lungime de 1804m. Acest bazin prezintă și un lac cu o lungime de 1,5 km [127].

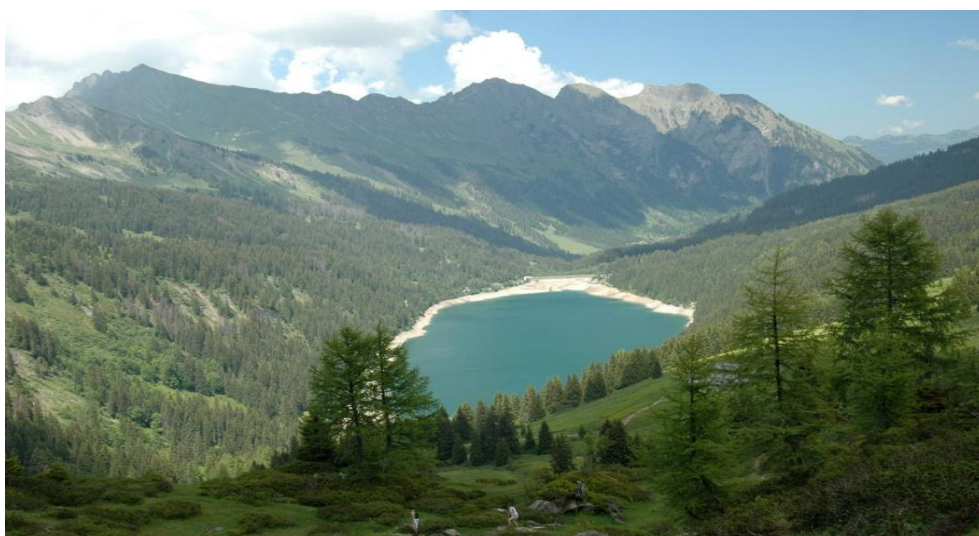


Figura 110. Bazin Arnense [147]

Al doilea bazin corespunde bazinului List, situat în cantonul Appenzell, cu o suprafață de 7,35 km². Principalul său afluent este Gstaldenbach, care măsoară 3874 m. Lacul List are o lungime de 0,3 km [127].



Figura 111. Bazin List [148]

Datele folosite sunt topografia și ploaia maximă probabilă de tip PMP (Hertig et Audouard, 2005 [52]). Pentru bazinul Arnensee valorile obținute sunt prezentate în Tabel 14.

Tabel 14. Intensitatea medie și înălțimea apei de tip PMP pentru diferite durate ale ploii :

| Durée (h) | Intensité moy (mm/h) | Înălțimea medie (mm) | Durée (h) | Intensité moy (mm/h) | Înălțimea medie (mm) |
|----------------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 203 | 203 | 1 | 188 | 188 |
| 3 | 78 | 234 | 3 | 82 | 246 |
| 6 | 43 | 258 | 6 | 49 | 294 |
| 9 | 30 | 270 | 9 | 36 | 324 |
| 12 | 23 | 276 | 12 | 29 | 348 |
| 24 | 13 | 312 | 24 | 17 | 408 |
| Bazin Arnensee | | | Bazin List | | |

Același calcul a fost realizat și în cazul bazinului List, rezultatele sunt prezentate în Tabel 14.

Verificarea modelului a fost realizată folosind o ploaie cu o durată de 1 oră. Alegerea duratei ploii a fost realizată în funcție de timpul de concentrare al bazinului.

Hărțile de tip PMP cu o durată de o oră sunt reprezentate în Figura 112 și Figura 113. Pe aceste hărți putem observa că intensitatea maximă pentru bazinul Arnensee este de 203 mm/h iar minimă de 163 mm/h. Pentru bazinul List valoarea maximă este de 188 mm/h respectiv 156 mm/h pentru valoare minimă calculă.

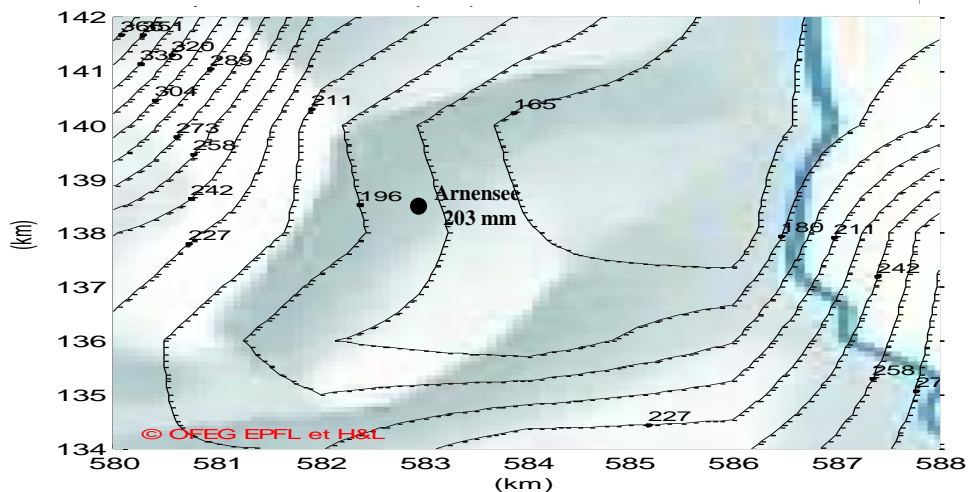


Figura 112. Harta de tip PMP 1 oră (mm/h) – Bazinul hidrografic Arnensee

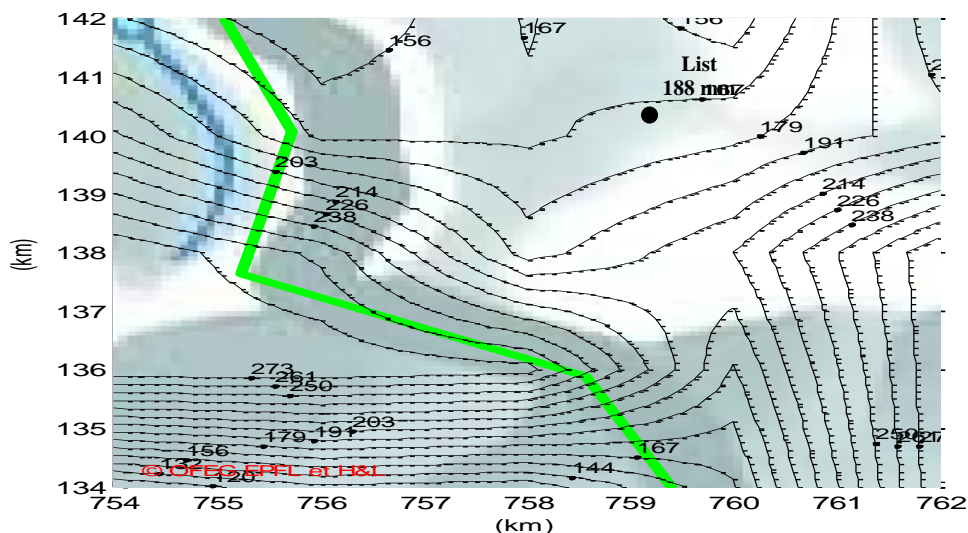


Figura 113. Harta de tip PMP 1 oră (mm/h) –Bazinul hidrografic List

2. Rezultate obținute

În această secțiune arătăm o estimare a PMF folosind o ploaie de tipul PMP. Fiecare figură are reprezentate două debite, unul care reprezintă scurgerea de suprafață fără infiltrație și scurgere subterană (în albastru) și al doilea cu influența infiltrației și scurgerii subterane (în

verde), pentru a pune în evidență importanța infiltrației asupra scurgerii de suprafață. De asemenea reprezentăm influența norilor asupra hidrografului de viitură în funcție de diferite direcții de deplasare ale vântului (Nord, Sud, Est și Vest).

Gura de vărsare a fost aleasă automat ca punctul cu cel mai mare debit de pe suprafața bazinului.

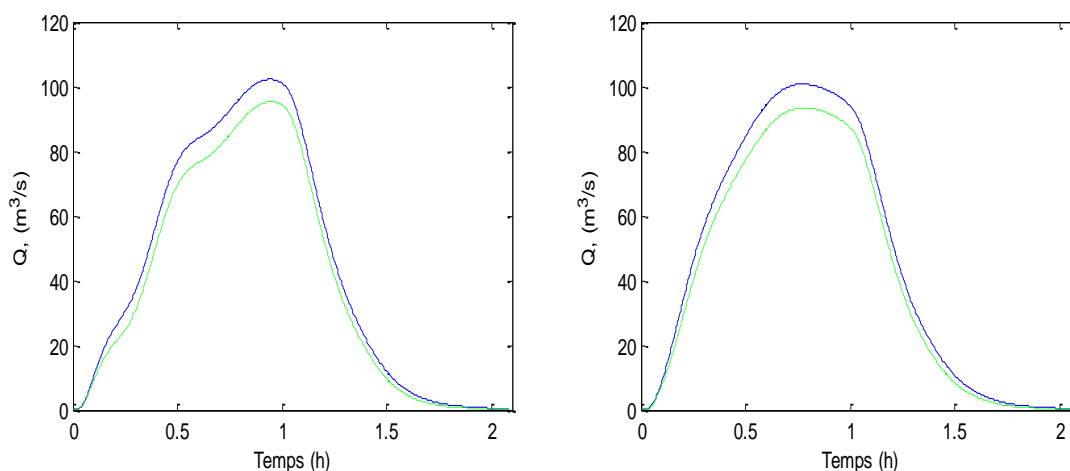


Figura 114. Hidrograf de viitură, vânt din Nord (la stânga) și vânt din Sud (la dreapta)

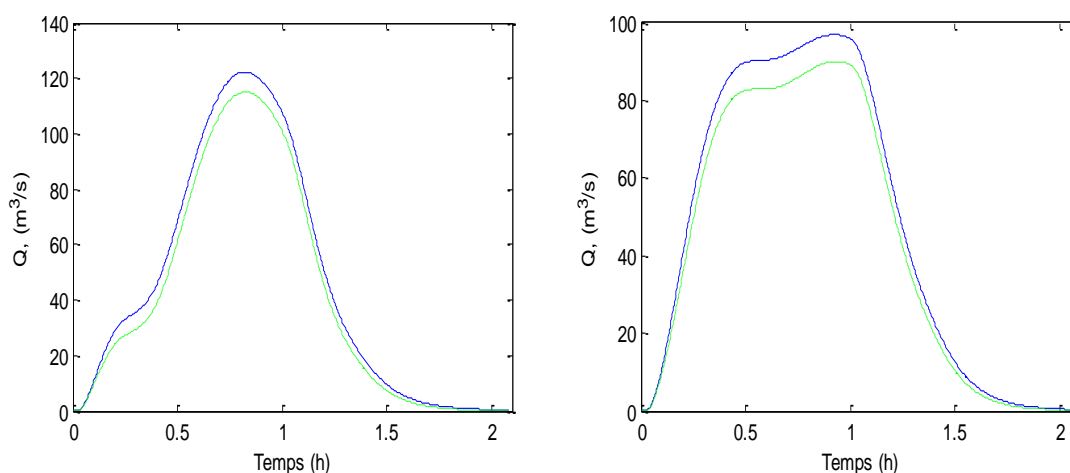


Figura 115. Hidrograf de viitură, vânt din Est (la stânga) și vânt din Vest (la dreapta)

Rezultatele obținute arată că direcția vântului are o foarte mare influență asupra formei hidrografului și mai puțin asupra volumului apei care ajunge la gura de vărsare. Aceasta poate fi observată pe figurile de mai sus unde volumul de apă (suprafața de dedesubtul curbei) nu variază cu direcția vântului, rezultat care s-a obținut și prin calcul. Forma hidrografului corespunde valorii maxime, vârful variază, ceea ce face ca gravitatea viiturii să fie diferită în funcție de direcția vântului.

Această parte a fost verificată cu curba dată de Vischer, pentru care s-a obținut un debit de $108 \text{ m}^3/\text{s}$, ceea ce oferă validitate calculului.

Influența infiltrației și a scurgerii subterane asupra hidrografului pentru direcția de vânt din Nord și Sud au o descreștere a debitului maximal de la $100 \text{ m}^3/\text{s}$ la $92 \text{ m}^3/\text{s}$. Pentru celelalte două hidrografe Est și Vest, influența infiltrației și scurgerii subterane are de asemenea o scădere dar de data aceasta de la $125 \text{ m}^3/\text{s}$ la $115 \text{ m}^3/\text{s}$ și de la $95 \text{ m}^3/\text{s}$ la $85 \text{ m}^3/\text{s}$.

Diferența de debit între hidrograful fără infiltrație și cel cu infiltrație va fi regăsită spre sfârșitul perioadei. Această diferență de la sfârșitul perioadei de simulare este foarte puțin vizibilă pe grafic, deoarece este influențată de viteza de scurgere în subteran. În final, acest calcul este justificat prin faptul ca luarea în cont a infiltrației face ca debitul și în același timp calculul să fie mai realist.

Cum s-a menționat mai sus, gura de vărsare a fost aleasă ca punctul cu volumul maxim pe suprafața bazinului. Putem observa că volumul de apă care trece prin gura de vărsare este mult mai mic ca volumul de apă dat de ploaie. Acest volum este de aproximativ 330.000 m^3 , iar volumul de apă de ploaie este de $2.880.000 \text{ m}^3$.

În acest moment o primă problemă a apărut asupra volumului de apă dat de ploaia care este mult mai mare decât volumul de apă ajuns la gura de vărsare la intrarea în lac. Suprafața de calcul pentru aceste bazine este dreptunghiulară și este mult mai mare decât forma exactă a bazinului, de unde vine și pierderea unei cantități de apă, deci există apă care cade în afara bazinului hidrografic. Acest volum de apă nu trebuie să fie mai mare de jumătate din volumul apei de ploaie. Pentru rezolvarea acestei probleme am fost nevoită să extrag doar forma exactă a bazinului studiat. Aceasta nu a rezolvat în totalitate problema volumului de apă, deoarece după cum putem observa și în Figura 116 apa ajunge în lac prin mai multe puncte, nu doar prin gura de vărsare. În final apa care lipsea a fost regăsită calculând suma debitelor în punctele de pe conturul lacului.

Figura următoare arată sub-bazinul care corespunde gurii de vărsare la intrarea în lac, de unde se poate ușor observa că această suprafață reprezintă o treime din suprafața totală a bazinului. Pentru a se putea estima corect forța dată de PMF, trebuie calculată suma debitelor pentru toate punctele perimetrului lacului.

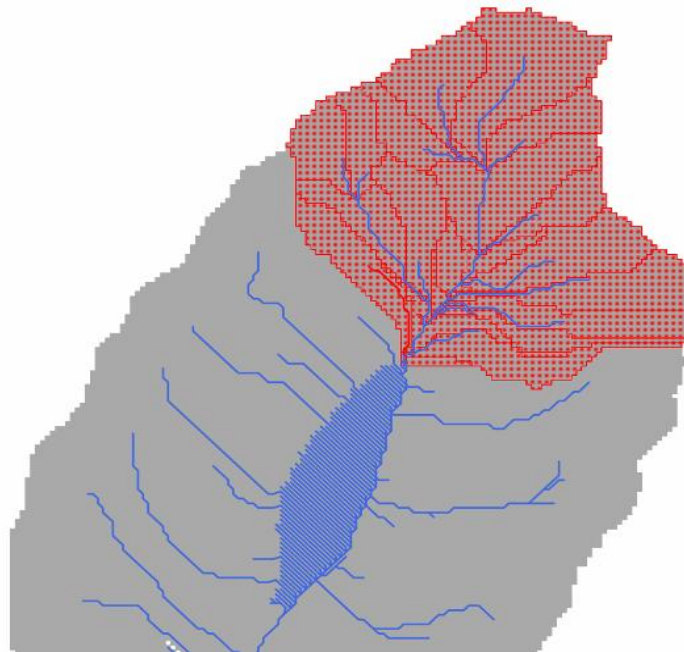


Figura 116. Sub-bazin corespunzător gurii de vărsare la intrarea în lac.

Pentru a calcula suma, s-au luat în considerare toate debitele existente în perimetrul lacului. Figurile următoare arată, pe un singur grafic, debitele a 121 puncte în jurul lacului.

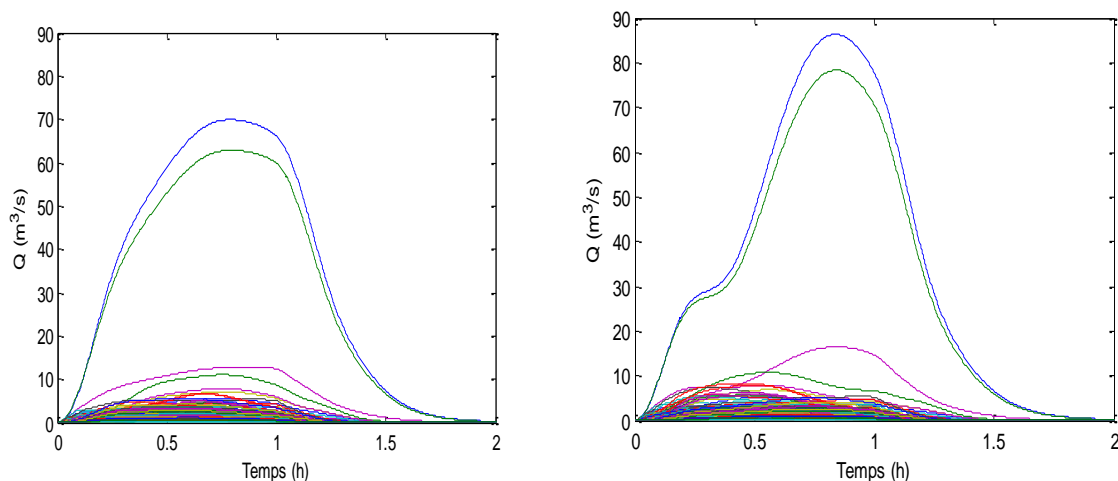


Figura 117. Hidrograf de viitura, vânt de Sud (în stânga) și vânt din Est (în dreapta) pentru bazinul Arnensee pe perimetrul lacului.

Suma debitelor pe perimetrul lacului Arnensee pentru o ploaie de tip PMP de o oră este reprezentată în figurile următoare:

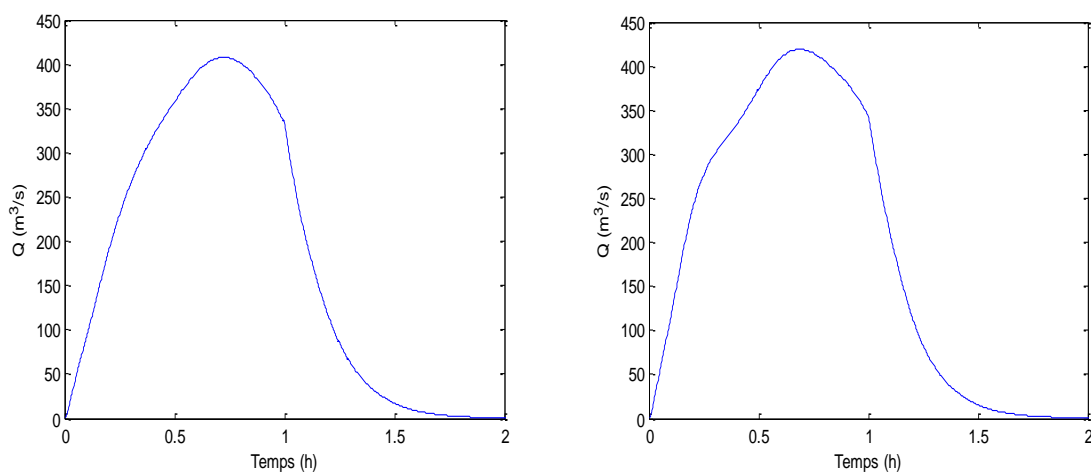


Figura 118. Hidrograf de viitura, vânt de Sud (în stânga) și vânt din Est (în dreapta) pentru bazinul Arnensee pe perimetrul lacului.

Pentru calculul acestor debite am ales două direcții de vânt, și anume Sud și Est deoarece aceste direcții sunt favorizate și de orientarea bazinului obținând debite maxime. Pentru o ploaie de tip PMP de o oră, s-a obținut un debit de 430 (m^3/s), debit obținut și cu metoda rațională.

Calculul realizat în cazul bazinului List este diferit de cel de pe Arnensee pentru că în partea amonte a lacului se găsește orașul Heiden (Figura 119). Aceasta se poate observa în Figura 120 unde râul traversează orașul și apa a ieșit din albie inundând o mare parte în amonte de lac.

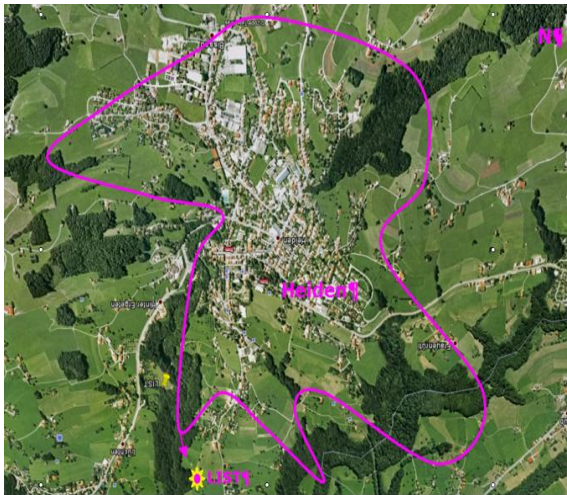


Figura 119. Lac List și orașul Heiden

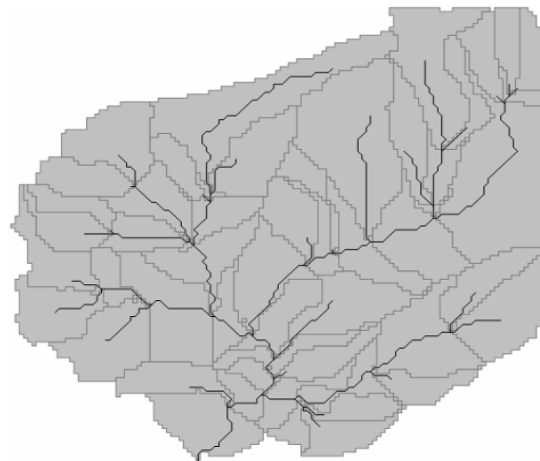


Figura 120. Bassin hidrografic List (Manifold)

Figura 120 reprezintă suprafața bazinului hidrografic cu afluenți existenți pe acest bazin hidrografic.

Datorită vizualizării cursului apei pe teren obținută cu modelul dezvoltat am observat că, într-o oră apă nu ajunge în lacul List și că ea rămâne în amonte în oraș Heiden (Figura 121).

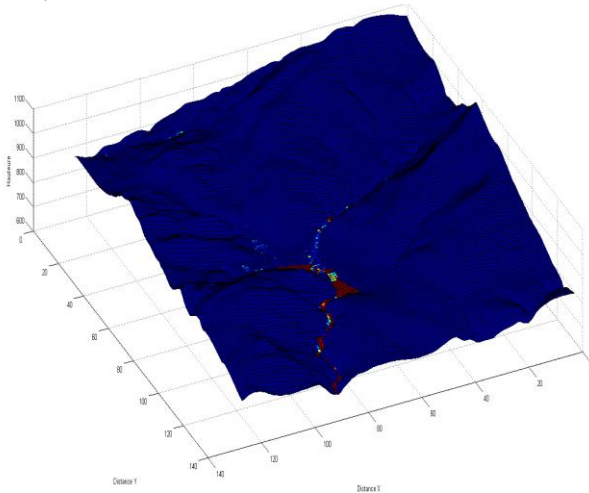


Figura 121. Zona inundabilă a orașul Heiden

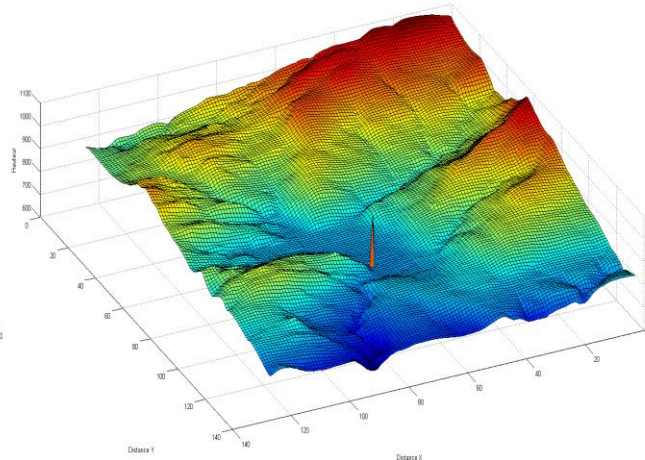


Figura 122. Gura de vărsare pentru bazinul List

Așa cum am arătat pentru bazinul Arnensee, debitul se calculează în punctul cu cel mai mare volum de apă pe teren. Pentru bazinul List punctul (pixel) cu cel mai mare debit este în amonte de oraș. Acest punct este reprezentat în Figura 122

Debitul obținut în acest punct este aproximativ de $290 \text{ (m}^3/\text{s)}$. Direcția vântului pentru acest calcul are o foarte mică influență asupra hidrografului de viitură.

În figurile următoare sunt prezentate două exemple, pentru direcțiile de vânt Nord și Sud. Aceste figuri sunt de asemenea valabile pentru celelalte direcții de vânt (S, V, etc.), dar cu o foarte mică diferență asupra formei hidrografului.

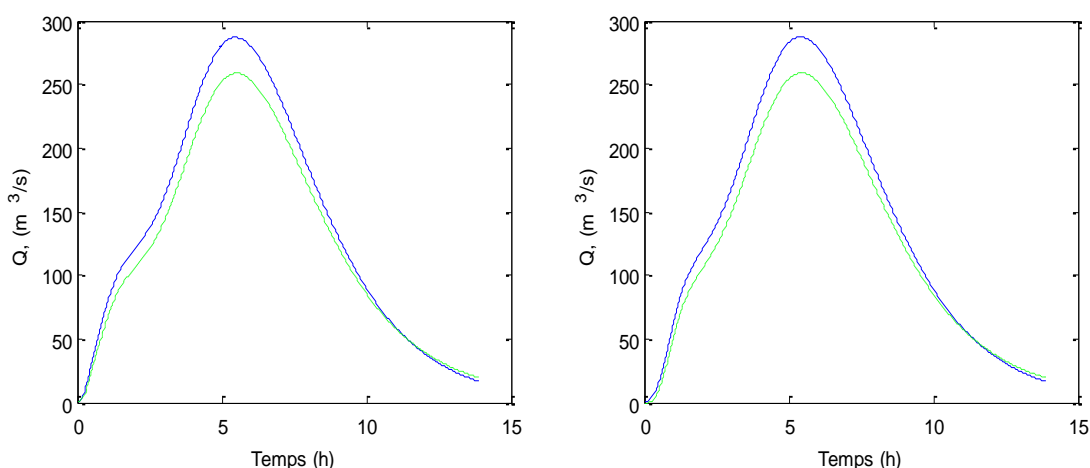


Figura 123. Hidrograf de viitura, vânt de Nord (în stânga) și vânt din Sud (în dreapta) pentru bazinul hidrografic List

Debitul este diminuat de infiltrație de la 290 la 250 (m^3/s). O parte a orașului este inundată după câteva ore, deoarece pantele sunt foarte mici câteodată chiar nule, influențând vitezele de scurgere care diminuează o dată cu panta.

În comparație cu celelalte metode de calcul folosite pentru verificare, s-au obținut rezultate favorabile, ceea ce dovedește ca modelul nostru de calcul este corect.

În cazul topirii zăpezii, aceasta are un efect major asupra hidrografului de viitură. Folosind aceeași ploaie de tipul PMP și un strat uniform de zăpadă pe toată suprafața bazinului hidrografic și condițiile menționate în subcapitolul 6.3 am obținut următoarele hidrografe de viitură:

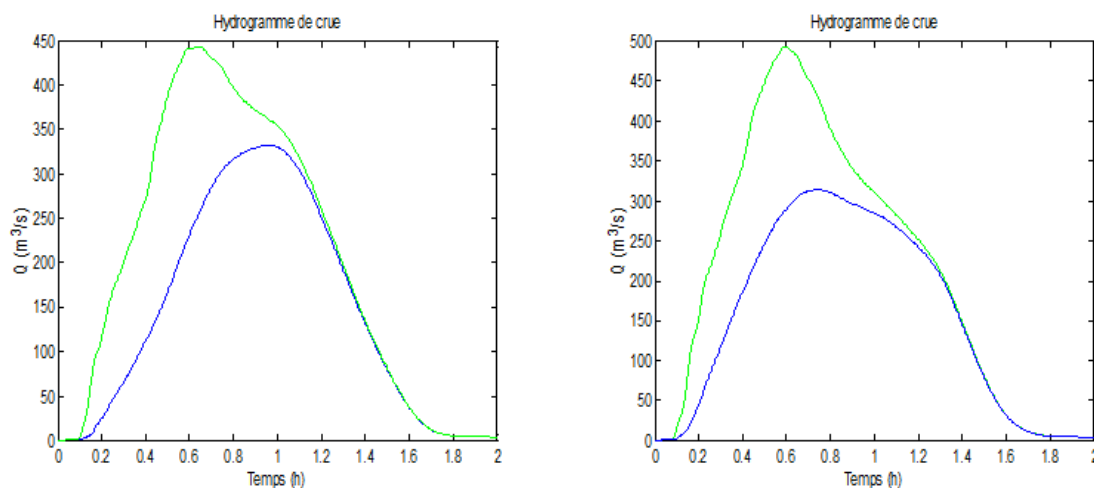


Figura 124. Hidrograf de viitura, vânt de Sud (în stânga) și vânt din Vest (în dreapta) pentru bazinul hidrografic List

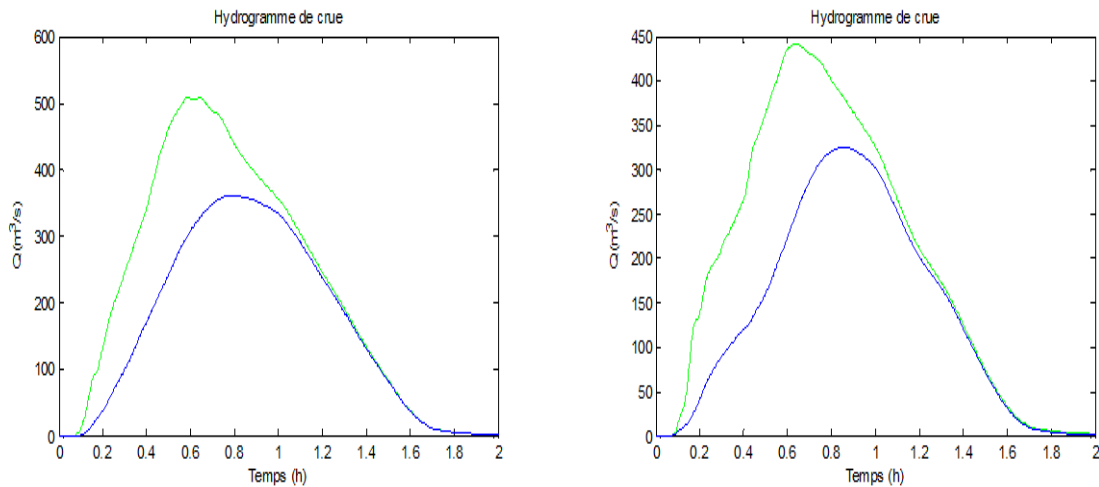


Figura 125. Hidrograf de viitura, vânt de Nord (în stânga) și vânt din Est (în dreapta) pentru bazinul hidrografic List

În Figura 123 și Figura 124 sunt prezentate hidrografele de viitură de tip PMF obținute în urma unei ploii extreme de tipul PMP fără influența zăpezii (linia albastră) și cea unde zăpada influențează hidrograful (linia verde).

Aceste figuri arată că topirea zăpezii antrenează o creștere mai rapidă a debitului și că debitul de vârf este mult mai mare folosind aceeași ploaie. Topirea zăpezii are o influență majoră asupra debitului maximal dar și asupra volumului total de apă care ajunge la gura de vărsare. Direcția vântului are de asemenea un rol important asupra formei hidrografului.

3. Verificare cu alte metode de calcul

A) Calculul debitului de vârf cu metoda rațională

Debitul de vârf este debitul maxim al unui bazin pentru o precipitație dată. Cea mai simplă metodă de evaluare a acestui debit este metoda rațională. Aceasta este bine adaptată bazinilor cu o talie mică, ea este bazată pe ipoteza că o ploaie constantă este uniformă pe toată suprafața bazinului hidrografic. Ecuația folosită este:

$$Q_p = C_r \cdot i \cdot A \quad (1)$$

unde:

Q_p este debitul de vârf al bazinului hidrografic în m^3/s ;

C este coeficientul de scurgere pe unitatea de timp;

i este intensitatea ploii în mm/h ;

A este suprafața bazinului hidrografic în ha .

Metoda Rațională a fost folosită pentru realizarea a două calcule, și anume:

Caz 1: Calculul debitului maxim posibil (presupunând că durata de precipitații depășește timpul concentrare al bazinului)

Coeficientul de scurgere C reprezintă proporția de apă totală precipitată care se scurge și care este dată în Tabel 15.

Pentru a asigura o dimensiune adecvată structurilor, alegerea coeficientului C trebuie să reprezinte cele mai rele condiții de scurgere de pe suprafața bazinului. Intensitatea ploii, de asemenea, a fost aleasă pentru cele mai rele condiții. În Tabel 16 sunt reprezentate valorile alese pentru bazinul Arnensee și List.

Tabel 15. Determinarea factorilor

| Folosința solului | Panta transversală a bazinului hidrografic (perpendiculară pe | Textura solului | | |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|-------|--------|
| | | Nisip | Namol | Argilă |
| Culturi intense | 0 - 0.5 % | 0.16 | 0.25 | 0.4 |
| | 0.5 - 5 % | 0.22 | 0.35 | 0.55 |
| | 5 - 10 % | 0.3 | 0.45 | 0.6 |
| | 10 - 30 % | 0.4 | 0.65 | 0.7 |
| Culturi furajere | 0 - 0.5 % | 0.07 | 0.2 | 0.35 |
| | 0.5 - 5 % | 0.1 | 0.28 | 0.4 |
| | 5 - 10 % | 0.15 | 0.35 | 0.45 |
| | 10 - 30 % | 0.22 | 0.4 | 0.55 |
| Păduri | 0 - 0.5 % | 0.5 | 0.18 | 0.3 |
| | 0.5 - 5 % | 0.08 | 0.25 | 0.35 |
| | 5 - 10 % | 0.12 | 0.3 | 0.42 |
| | 10 - 30 % | 0.18 | 0.35 | 0.52 |
| Lacuri, marene | | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| | | Impermeabile | | |
| | | 30% | 50% | 70% |
| Roci, asfalt | 0 - 0.5 % | 0.4 | 0.55 | 0.75 |
| | 0.5 - 5 % | 0.5 | 0.65 | 0.8 |
| | | | | |
| | 10 - 30 % | 0.55 | 0.7 | 0.85 |

Sursă: Montas et Al(1990) et McNeelz (1982)

Tabel 16. Caracteristicile bazinului Arnensee și List:

| Date | Arnensee | List |
|--------------------------------------|----------|------|
| Coefficient de scurgere | 1 | 1 |
| Intensitatea medie a ploii (mm/h) | 203 | 188 |
| Suprafața bazinului hidrografic (ha) | 757 | 744 |

Coefficientul de scurgere a fost considerat la 100% scurgere, adică toată apa ajunsă pe suprafața bazinului se scurge spre gura de vărsare.

Rezultatele obținute folosind formula rațională sunt următoarele:

$$\text{Debit maxim Arnensee} = 430 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{Debit maxim List} = 391 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Aceste debite sunt bine corelate cu rezultatele obținute cu modelul nostru de calcul prezentate în secțiunea anterioară.

Caz 2: Calculul debitului maxim și a hidrografului aproximativ

Acest caz constă în estimarea duratei aversei și a timpului de concentrare pentru fiecare bazin. Pentru a simplifica calculul nostru, am făcut o ipoteză asupra duratei aversei fiind aleasă de 60 (min), și a timpului de concentrare de 60 (min) pentru ambele bazine hidrografice.

Primul calcul realizat a fost pentru bazinul Arnensee pentru care am obținut debitul următor:

$$\text{Debit maxim} = 430 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

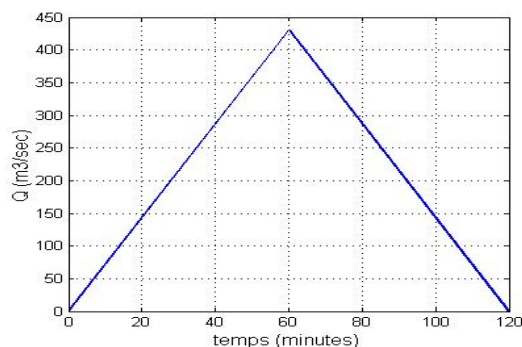


Figura 126. Hidrograful viiturii pentru bazinul Arnensee.

Aceste valori au fost comparate cu rezultatele obținute de modelul nostru pentru a avea o verificare a hidrografului de viitura de tip PMF. Rezultatele obținute au o bună corelare între ele, după cum urmează:

De asemenea pentru Bazinul List am obținut rezultate satisfăcătoare:

Debit maxim= 391 (m³/s)

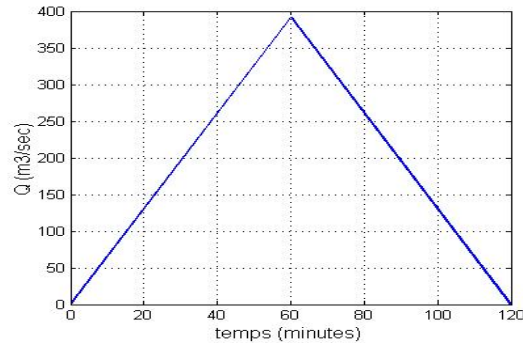


Figura 127. Hidrograful viiturii pentru bazinul List

Există o bună corelare între debitul obținut cu această metode și cel calculat de modelul meu. Avantajul modelului dezvoltat este că acesta poate afișa distribuția volumului pe suprafața bazinului, însă metoda rațională are anumite limite. Astfel am putut observa ca pe suprafața bazinului rămâne o cantitate de apă în partea plată a bazinului care ajunge mult mai târziu la gura de vărsare. De aici reiese avantajul folosiri unui model hidrologic care este mult mai complex decât metoda rațională.

B) Calculul debitului specific maximal

Cel de-al doilea calcul folosește tot o formulă empirică pentru a estima viitura. Aceasta este folosită în Elveția dar și în afara țării. Acest calcul se bazează pe o comparație a debitului specific pentru Elveția în conformitate cu Vischer (1980). Debitul specific este dat de scurgerea media din precipitații. Curba folosită în cazul acestor bazine este curba Rhin (curba 2). Ecuația debitului specific maximal este:

$$q_{\max} = Q / E \quad (2)$$

unde:

q_{\max} reprezintă debitul specific maximal în m³/s km²;

E este suprafața bazinului hidrografic în km²;

Q este debitul în m³/s.

Calculul debitului este realizat în funcție de suprafața bazinului hidrografic, de unde rezultă debitul specific. Linia verde de pe diagramă arată debitul specific pentru bazinul hidrografic Arnensee, iar linia albastră reprezintă debitul specific pentru bazinul List.

Bazinul Arnensee are o suprafață de 7,75 km², dar am observat conform Figura 116 că cel mai mare râu care poate să se formeze pe suprafața bazinului este cel de la intrarea în lac, corespunzând unui sub-bazin cu o suprafață de aproximativ 2 km². Calculul debitului este realizat în funcție de curba Vischer pentru această parte de 2 km² urmând a fi comparat cu debitul obținut cu modelul nostru de calcul. După cum putem observa pe diagramă, pentru această suprafață debitul specific este de 34 (m³/s km²) (linie verde). Debitul de vârf obținut pentru acest sub-bazin este de 68 (m³/s) conform diagramei Vischer.

În urmă cu mai mulți ani PMF (viitura maximă posibil) a fost calculată de către OFEG cu regula 1.5*Q₁₀₀₀. Pentru o perioadă de retur mare ca și cea din cazul PMP (10000

ani), metodele clasice, printre care și metoda Gumbel folosește extrapolarea valorile evenimentelor extreme. Rezultatele obținute nu sunt întotdeauna corecte, acestea fiind mult mai mici.

Ținând cont de aceste caracteristici pentru bazinul Arnensee am obținut un debit la gura de vărsare (la intrarea în lac) de aproximativ $102 \text{ (m}^3/\text{s)}$. Această valoare fiind foarte aproape de cele obținute cu modelul nostru.

Bazinul List are o suprafață de $7,44 \text{ km}^2$, cea ce reprezintă un debit specific de $22 \text{ (m}^3/\text{s km}^2)$, și un debit de $164 \text{ (m}^3/\text{s)}$ conform diagramei, curba 2. Rezultatele obținute cu modelul meu de calcul sunt mai mari, dar înmulțim aceste rezultate cu un coeficient de securitate de 1,7 am observat ca rezultatul coincide cu aceste valori.

Diagrama de comparație este prezentată în figura următoare:

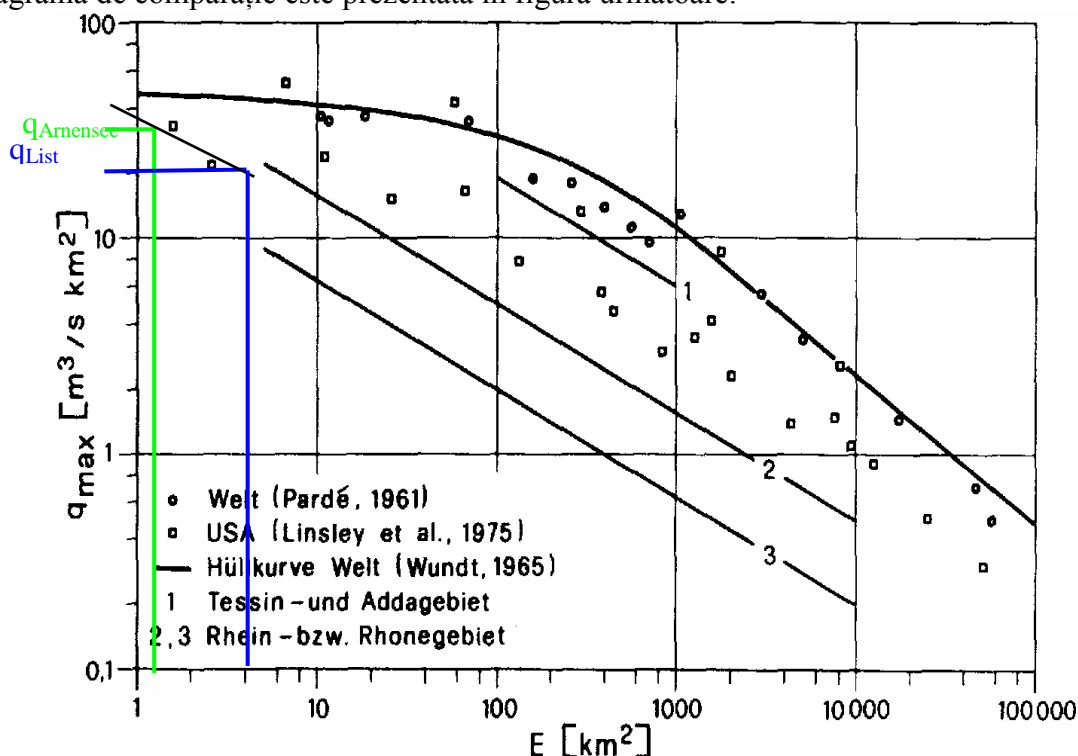


Figura 128. Debitul specific maximal în lume în comparație cu curba debitului specific maximal în Elveția conform Vischer (1980)

Modelul meu oferă o foarte mare precizie calculului dar și o bună vizibilitate a locurilor pe unde apa se scurge. Folosind curba Vischer, putem doar estima o valoare aproximativă a debitului, care nu este întotdeauna adevărată datorită topografiei, rugozității terenului și a multor alți factori pe care această metodă îi neglijează.

PUBLICAȚII:

1. Lucrări științifice publicate în Reviste indexate ISI

[1] Ramona Georgeta Receanu, Jacques-André Hertig & Jean-Michel Fallot, 2011, „Modélisation hydrologique des précipitations et des crues extrêmes dans les bassins versants alpin” articol acceptat și în curs de publicare în Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles Ecology, Switzerland, indexat în THOMSON Scientific.

2. Lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice (Proceedings) din străinătate (țări UE sau comparabile)

[1] Ramona Georgeta Receanu, Jacques-André Hertig & Jean-Michel Fallot, 2009: Modélisation spatiale et temporelle des Précipitations pour l'estimation des crues extrêmes dans les alpes–Geographia Technica. Numéro spécial, ISSN 2065-4421.

3. Lucrări științifice publicate în reviste de specialitate (BDI)

[1] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2011: Determination of extreme floods using a distributed hydrological model . Scientific Bulletin of the « Politehnica » University of Timisoara.

[2] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2010: A methodology for the adaptation of a PMP at the determination of a PMF. Scientific Bulletin of the « Politehnica » University of Timisoara, Transactions on Hydrotechnics. 8-9.09. 2010.

4. Lucrări publicate în volumele unor manifestări științifice

[1] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2011: Estimation des crues extrêmes dans les alpes suisse à l'aide d'un modèle hydrologique distribué. Actes du 24ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rovereto, Italie 5–9.09. 2011.

[2] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2011: Modélisation hydrologique des précipitations et des crues extrêmes dans les bassins versants alpins. Actes du Société Vaudoise des Sciences Naturelles (SVSN), Suisse, 2–4.02. 2011.

[3] Receanu R G, Hertig J-A, Fallot J-M., 2010: L'effet de la PMP et de la fonte des neiges sur la PMF dans un bassin versant alpin Suisse. Actes du 23ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Renne, France 1–5.09. 2010.

[4] Receanu R.G., Hertig J-A, Fallot J.M., 2009: Modélisation spatiale et temporelle des précipitations pour l'estimation des crues extrêmes dans les Alpes. Actes du 22ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cluj-Napoca, 1-5.09.2009, 383-389.

[5] Receanu R.G., Hertig J-A. 2009: Méthodologie pour l'adaptation de la PMP à la détermination d'une PMF, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

[6] Man T.E. Receanu R.G., 2007: Enhancing public awareness and flood control - International Conference Sustainable Development in Balkan area: Vision and Reality, B.E.N.A ICAI 2007, Alba Iulia, Romania.

[7] Man T.E., Receanu R. G. 2007: Sustainable rural development in Europe. Bulletin of the « Politehnica » University of Timisoara. Transactions on Hydrotechnics, Tom 52(66), Fascicola 1,2.

[8] Man T.E., Receanu R. G.: 2006: Sustainable development of Romanian rural space as a EU member through the promotion of financed projects by Structural Funds. – Survey and his role in the economy, with applicability in the local public service field. International service – Surduc ISBM, Roumania.

[9] Man T.E., Receanu R. G. 2006: Consideration about determination of jumping-up size basins with drowned vein, at the pumping station for surface drainage. Bulletin of the «Politehnica » University of Timisoara. Transactions on Hydrotechnics, Tom 51(65), Fascicola 1,2, 2006.

[10] Man T.E., Receanu R. G. 2006: The infrastructure role from inland and outland for sustainable rural development - International Conference “Applicative researches for sustainable development in Romania”, Targul Mures.

ÎNDRUMĂTOR DE LABORATOR:

[1] Man T. E., Hălbac-Cotoară R., Receanu R.G., 2007: Probleme de drenaje. Calcul și experiment. Editura Politehnica.