

**Bogdan-Iulian
DOROFTEI**

**Mircea
DEGERATU**

**Georgeta
BANDOC**

TESTE NUMERICE PENTRU LIMITAREA EROZIUNII EOLIENE A TERENURILOR NISIPOASE



București, 2024

Referent științific: **Prof. univ. dr. ing. Ichinur OMER**

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României
DOROFTEI, BOGDAN-IULIAN

Teste numerice pentru limitarea eroziunii eoliene a terenurilor nisipoase / Bogdan-Iulian Doroftei, Mircea Degeratu, Georgeta Bandoc
Bogdan-Iulian Doroftei, Mircea Degeratu, Georgeta Bandoc. -
București : Editura Academiei Oamenilor de Știință din România :
Editura Tehnică, 2024

Conține bibliografie

ISBN 978-630-6518-33-3

ISBN 978-973-31-2413-9

I. Degeratu, Mircea

II. Bandoc, Georgeta

551

62

PREFAȚĂ

Lucrarea de față are un caracter profund de originalitate și de complexitate, îmbinând componenta teoretică a problemelor abordate cu rezolvarea lor numerică. În capitolele care compun cartea, se alternează expunerea noțiunilor teoretice de bază cu porțiunile în care sunt prezentate modele CFD și teste numerice, pe baza cărora au fost stabilite modalități de protecție a terenurilor nisipoase la acțiunea erozivă a vântului.

Scopul acestei cărți este, în principal, de a prezenta posibilitatea reducerii semnificative a eroziunii solurilor nisipoase prin utilizarea obstacolelor de protecție permeabile pentru reducerea vitezei vântului incident, aceasta fiind realizată prin efectuarea a o serie de simulări numerice a fenomenelor specifice atât la scară redusă cât și la scară naturală, utilizându-se diferite obstacole permeabile (obstacole naturale constând în perdele forestiere sau obstacole artificiale constând în ecrane de tip plase echivalente).

Rezultatele obținute în urma simulărilor numerice sunt analizate prin reprezentări grafice, în urma acestora desprinzându-se o serie de concluzii cu privire la metode de reducere a vitezei vântului din aval de obstacolele de protecție permeabile.

Prezenta carte este organizată pe trei capitole care prezintă modul prin care se realizează antrenarea și transportul particulelor de nisip sub acțiunea vântului și, mai ales, simulările numerice privind modalități de reducere a acestui fenomen.

Capitolul 1 intitulat *Analiza caracteristicilor de mediu din zonele cu terenuri nisipoase*, abordează problema economică și socio-economică a degradării solurilor, la nivel internațional, prezentând anumite zone afectate de eroziunea eoliană, din punct de vedere istoric și geografic, dar și zone din România care au suferit și/sau suferă de acest fenomen.

Capitolul 2 denumit *Simularea numerică a mișcării aerului în prezența unor obstacole cu diferite grade de permeabilitate*, prezintă o serie de simulări numerice ale mișcării aerului în prezența unor obstacole cu diferite grade de permeabilitate și începe cu o introducere asupra scărilor de turbulență și a modului de calcul a acestora, concentrându-se pe scara lungimii lui Kolmogorov.

Rezultatele au arătat că, prin așezarea succesivă și cu înălțimi variabile, crescătoare de la mic la mare și de la mare la mic, a obstacolelor permeabile, viteza în aval de acestea se reduce sub valoarea limită admisă.

Sunt prezentate, de asemenea, trei tipuri de simulări pentru modelarea mișcării turbulente, și anume simularea numerică directă (DNS), simulările Navier-Stokes mediate Reynolds (RANS) și simulările cu unități macroscopice (LES).

Capitolului 3 denumit *Teste numerice privind soluții de diminuare a eroziunii nisipului sub acțiunea vântului*, prezintă o serie de simulări numerice în programul de modelare în element finit COMSOL Multiphysics, la scară naturală, pentru un

domeniu de calcul ales, pentru diferite categorii de viteze ale vântului de referință și pentru diferite grupe de protecție caracterizate prin numărul de ecrane de protecție.

S-au realizat numeroase simulări pentru fiecare caz al vântului de referință, funcție de numărul de ecrane permeabile amplasate în aval de secțiunea de intrare a domeniului de calcul, urmărindu-se repartițiile verticale ale vitezei într-o serie de secțiuni situate în aval de grupul de ecrane permeabile de protecție. În urma simulărilor se prezintă grafice pentru valorile câmpului de viteze cu scopul de a observa în ce situații viteza din banda substratului limită laminar scade sau depășește valoarea de referință.

Acest lucru ajută la înțelegerea mai bună a fenomenului de eroziune a solurilor nisipoase situate în aval de unul sau mai multe ecrane permeabile și implicit la stabilirea unor soluții de alegere și amplasare a acestor ecrane în calea vântului care afectează zone sensibile la antrenarea particulelor de nisip.

Testele numerice prezentate în lucrarea de față, având ca scop urmărirea protecției la fenomenul de antrenare a nisipului din zonele cu terenuri nisipoase, sub acțiunea vântului natural, prin utilizarea de ecrane de protecție naturale sau artificiale echivalente, au pus în evidență faptul că, pentru o bună parte dintre vitezele vântului și pentru cea mai mare parte dintre ansamblurile de ecrane de protecție alese pentru analiză, s-a obținut o puternică scădere a vitezei vântului în aval de ecrane, până la nivelul la care curentul de aer nu mai antrenează nisip.

Prin urmare, având la bază rezultatele obținute în cadrul prezentei cărți, se poate realiza o foarte bună protecție a terenurilor nisipoase la fenomenul de antrenare a nisipului de către vânt prin amplasarea, pe direcția vântului dominant, de ecrane de protecție naturale (perdele forestiere de protecție) sau de ecrane de protecție artificiale cu coeficienți de permeabilitate echivalenți.

Autorii

CUPRINS

1. ANALIZA CARACTERISTICILOR DE MEDIU DIN ZONELE CU TERENURI NISIPOASE	9
1.1 INTRODUCERE	9
1.2 SITUAȚIA DEGRADĂRII SOLURILOR NISIPOASE ÎN ROMÂNIA.....	11
1.2.1 Nisipurile situate de partea dreaptă a râului Călmățui.....	15
1.2.2 Nisipurile din Delta Dunării.....	16
1.2.3 Nisipurile din câmpia Tecuciului.....	17
1.2.4 Nisipurile din Nord Vestul țării	18
1.2.5 Nisipurile din zona Olteniei.....	19
1.3 SOLUȚII STUDIATE	20
1.4 ELEMENTE DE TEORIE PE CARE SE BAZEAZĂ TEMA ABORDATĂ	20
1.4.1 Forțele care acționează asupra unei particule de nisip	21
1.4.2 Mărimea hidraulică.....	24
1.4.3 Viteza de plutire	27
1.4.4 Antrenarea particulelor solide în mișcare	29
1.4.5 Viteza critică de antrenare	29
1.4.6 Acțiunea vântului asupra particulelor de nisip	31
1.5 MODEL DE CALCUL PENTRU COMBATEREA EROZIUNII SOLURILOR NISIPOASE.....	33
1.6 REZULTATE ORIGINALE OBȚINUTE, VALIDARE.....	35
1.7 COMENTARIILE ASUPRA REZULTATELOR.....	38
2.SIMULAREA NUMERICĂ A MIȘCĂRII AERULUI ÎN PREZENȚA UNOR OBSTACOLE DE TIPUL ECRANELOR DE PROTECȚIE CU DIFERITE GRADE DE PERMEABILITATE	39
2.1 SCĂRILE DE TURBULENȚĂ	39
2.1.1 Scara integrală.....	39
2.1.2 Scările mici ale turbulenței	40
2.2 SIMULĂRILE NUMERICE PENTRU MODELAREA MIȘCĂRII TURBULENTE	41
2.2.1 Simularea numerică directă (Direct Numerical Solution - DNS).....	42
2.2.2 Simulările cu unități macroscopice (Large Eddy Simulations - LES).....	42

2.3 VARIANTE DE DIMENSIONARE OPTIMĂ A CELULEI DE CALCUL	44
2.3.1 Varianta 1 - bazată pe teoria lui Kolmogorov	44
2.3.2 Varianta 2 - bazată pe modelul TKE cu scară integrală	45
2.3.3 Domeniul de mișcare modelat numeric și determinarea scării lungimii Kolmogorov	46
2.3.4 Geometria domeniului de mișcare modelat și caracteristicile acestuia	47
2.3.5 Calculul scării lungimii a lui Kolmogorov conform variantei 1	47
2.3.6 Calculul scării lungimii lui Kolmogorov conform variantei 2.....	48
2.3.7 Alegerea dimensiunii celulei în raport cu scara lungimii lui Kolmogorov	49
2.4 DISCRETIZAREA DOMENIULUI DE MIȘCARE MODELAT NUMERIC	50
2.4.1 Discretizarea	50
2.5 REALIZAREA SIMULĂRII NUMERICE ÎN PROGRAMUL DE MODELARE NUMERICĂ ANSYS FLUENT	50
2.5.1 Metoda numerică folosită	51
2.5.2 Discretizarea domeniului și a condițiilor de margine	51
2.5.3 Rezultatele calării modelului	51
2.6 REALIZAREA SIMULĂRII NUMERICE ÎN PROGRAMUL DE MODELARE NUMERICĂ COMSOL MULTIPHYSICS	53
2.6.1 Simulări și comparații între metodele de determinare a intensității vitezei. Validarea modelelor numerice utilizate	54
2.7 SIMULĂRI NUMERICE ALE FENOMENULUI CURGERII AERULUI ÎN VENA EXPERIMENTALĂ A TUNELULUI AERODINAMIC CU DISCONTINUITATE PRIN INTRODUCEREA DE ECRANE DE PROTECȚIE ÎN SISTEM	76
2.7.1 Alegerea caracteristicilor ecranului de protecție tip 1 pentru experimentul numeric ..	77
2.7.2 Simulare realizată cu ecran de protecție tip 2	82
2.7.3 Simulare realizată cu două ecrane de protecție tip 1	83
2.7.4 Simulare realizată cu trei ecrane de protecție tip 1	86
2.7.5 Simulare realizată cu un ecran de protecție tip 3	89
2.7.6 Simulare realizată cu un ecran de protecție tip 1 având înălțimea egală cu vena experimentală	91
2.7.7 Simularea distribuției de viteze din secțiunea 1200 mm	92
2.7.8 Introducerea unui număr de cinci ecrane de protecție tip 4, cu înălțime constantă în secțiunea 1265 mm (0,9 m față de punctul de intrare în TAD)	94
2.7.9 Introducerea unui număr de cinci ecrane tip 4, cu înălțime variabilă în secțiunea 1265 mm (0,9 m față de punctul de intrare în TAD).....	95

2.7.10	Introducerea unui număr de șase ecrane de protecție tip 4, cu înălțime variabilă în secțiunea 1265 mm (0,9 m față de punctul de intrare în TAD)	96
2.7.11	Introducerea unui număr de șapte ecrane de protecție tip 4, cu înălțime variabilă în secțiunea 1265 mm (0,9 m față de punctul de intrare în TAD)	98
3.	TESTE NUMERICE PRIVIND SOLUȚII DE DIMINUARE A EROZIUNII NISIPULUI SUB ACȚIUNEA VÂNTULUI	100
3.1	MODELAREA NUMERICĂ A MIȘCĂRII AERULUI DEASUPRA UNUI TEREN NISIPOS PREVĂZUT CU ECRANE DE PROTECȚIE.....	100
3.1.1	Elemente generale privind modelarea numerică.....	100
3.1.2	Programul de modelare în element finit COMSOL Multiphysics	101
3.1.3	Condiții la limită.....	102
3.1.4	Discretizarea domeniului de calcul.....	105
3.2	TESTARE NUMERICĂ, ORDONARE ȘI CODIFICARE.....	106
3.2.1	Ordonarea testelor numerice	106
3.2.2	Codificarea testelor numerice	107
3.3	REZULTATELE SIMULĂRILOR NUMERICE	107
3.3.1	Testarea numerică pentru categoriile de teste CT1 ($U(10)=8\text{m/s}$)	108
3.3.2	Testarea numerică pentru categoria de teste CT2 ($U(10)=12\text{ m/s}$).....	127
3.3.3	Testarea numerică pentru categoria de teste CT3 ($U(10)=16\text{ m/s}$).....	148
3.4	CONCLUZII PRIVIND TESTELE NUMERICE	168
BIBLIOGRAFIE		171

ANALIZA CARACTERISTICILOR DE MEDIU DIN ZONELE CU TERENURI NISIPOASE

Scopul principal al acestui capitol se referă la studiul interacțiunii particulelor de nisip cu vântul, pentru a stabili o legătură între caracteristicile mediului solid (particulele de nisip) și caracteristicile mediului fluid (aerului) aflat în mișcare, care transportă nisipul prin antrenare, provocând astfel fenomenul de eroziune eoliană.

1.1 INTRODUCERE

Influența antropică în ultimele secole asupra sistemelor de mediu este foarte puternică astfel că s-a reușit generarea unei noi perioade geologice numită Antropocen (Rockstrom și colab., 2009). În această perioadă omul prin acțiunile lui a dus la agravarea unor probleme de mediu așa cum sunt schimbările climatice, poluarea sub toate aspectele supra componentelor de mediu, modificări în procesele biogeochimice, acidifierea oceanelor, subțierea stratului de ozon, degradarea solurilor / terenurilor etc.

În prezent schimbările în mediu, inclusiv cele legate de degradarea terenurilor se leagă de schimbările climatice (Steffen și colab., 2011), și o influență deosebit de mare asupra productivității agricole, ecologice și biologice (UNCOD, 1977; UNCCD, 1994; UNCCD, 2011; UNCCD, 2015). Pe baza numeroaselor studii realizate pe plan internațional și național încălzirea climatică a devenit evidentă în special după 1990 (Piccaretta și colab., 2004; Livada și Assimakopoulos, 2007; Bandoc și Golumbeanu, 2010; Sousa și colab., 2011; Dragotă și colab., 2011; Bojariu și colab., 2012; IPCC, 2013; Feng și Fu, 2013; Salvati și colab., 2013; Bandoc și colab., 2013, Dumitrescu și colab., 2015; Bandoc și Prăvălie, 2015; Bandoc și colab., 2018b; Bandoc și colab., 2022). Astfel, schimbările ultime ale climei constituie o forță mortice în modificările globale ale mediului, inclusiv în degradare terenurilor (Dumitrașcu, 2006; Sandu și colab., 2010).

Degradarea terenurilor constituie o gravă problemă globală de mediu, având în vedere numeroasele implicații negative de ordin ecologic și socio-economic (Prăvălie și colab., 2021; Prăvălie și colab., 2022). La scară globală au fost identificate mai multe regiuni majore afectate de o degradare intensă a terenurilor, respectiv regiunea europeană mediteraneeană, Sahel, Mesopotamia și regiunea de loess a Chinei. Principalele probleme de mediu identificate în aceste regiuni sunt legate de degradarea fizică (eroziunea hidrică și eoliană), chimică (salinizarea) și biologică (oxidarea materiei organice de la suprafața solului) a terenurilor, dar și de pierderea / degradarea vegetației (și implicit a capacității de stocare a carbonului), a

capacității solului de infiltrație / stocare a apei, a materiei organice, amplificarea prafului în atmosferă s.a.

În Europa, deși regiunea sudică este cea mai vulnerabilă la acest proces, aria central sud-estică, unde este situată România, prezintă de asemenea o mare susceptibilitate la asemenea perturbații ale mediului, dovada fiind Anexa V a *Convenției Națiunilor Unite privind Combaterea Deșertificării*, care încadrează țara noastră în categoria statelor europene cu risc major la degradarea terenurilor (Prăvălie, R., 2021).

În SUA și Canada, problemele legate de eroziunea solului din acțiunea vântului au luat naștere în anii 1920, odată cu industrializarea domeniului agricol, ulterior accentuându-se în anii 1930 în care s-a instalat o perioadă de secetă (1933 - 1936) care a coincis și cu depresiunea națională economică a SUA din aceeași perioadă. Deși anii 1930 marchează o perioadă de declin pentru SUA, acest deceniu a dat naștere dezvoltării programelor de protejare a solului la eroziune, s-au realizat tunele de vânt speciale pentru astfel de studii, și au fost publicate o serie de lucrări dedicate acestui fenomen. Aceste studii au dat curs utilizării barierelor permeabile în ajutorul reducerii vitezelor vântului și al efectelor eroziunii solului.

În România, procesul degradării terenurilor se manifestă cu precădere în ariile extracarpatice ale țării, sud-vestul țării (sudul Olteniei), fiind printre ariile cele mai degradate din țară, alături de alte arii reprezentative din sud, sud-est și est (Prăvălie și colab., 2019; Prăvălie și colab., 2020a; Prăvălie și colab., 2020b;). Cauzele principale sunt legate de condițiile climatice severe (secetă, ariditate), prezența redusă a ecosistemelor naturale (cu o importanță fundamentală în atenuarea dezechilibrelor de mediu, prin funcțiile și serviciile ecosistemice oferite) și presiunile antropice îndelungate (răspunzătoare de transformarea mediului natural într-o entitate majoră artificializată, corespondența agrosistemelor, cu capacitate redusă de autoreglare) (Giurgiu, 2010; Vorovencii, I., 2015; Vorovencii, I., 2016).

Sud-vestul României, corespondent regiunii de sud a Olteniei, este recunoscut la nivel național pentru stadiul actual accentuat al degradării terenurilor, pe fondul unei sinergii îndelungate a schimbărilor climatice regionale, restrictivității condițiilor hidrologice, pedologice și ecologice, respectiv a presiunilor antropice asupra utilizării / acoperirii terenurilor (Patrichi și colab., 1997; Stănilă și Patrichi, 2003).

Fenomenul de eroziune a terenurilor nisipoase are la bază trei acțiuni mecanice: desprinderea, transportul și depunerea particulelor (Patrichi și colab., 1978; Florea și colab., 1988). Transportul particulelor ia naștere prin trei metode distincte, funcție de dimensiunea particulelor, și anume rostogolire, săltare și suspensie; cea din urmă, aplicându-se pentru particule mici din mediul coeziv, referindu-se în general la crearea norilor de praf (Moțoc, M., 1963).

Sistemele terestre în care includem solurile, vegetația și resursele de apă interioară și care oferă o multitudine de funcții și servicii ecosistemice care sunt vitale pentru ceea ce înseamnă viață pe Pământ, sunt extrem de importante pentru stabilitatea sistemului climatic global, în special prin controlul carbonului, prin fluxurile dintre sistemele terestre și atmosferă și prin stocarea cantităților uriașe de carbon în bazinele de biomasă din sol și vegetație (Prăvălie și colab., 2021).

Calitățile ecologice și fizice ale sistemelor terestre sunt constant erodate de multitudinea de căi sau procese de degradare a terenului identificate la diferite scări spațiale din întreaga lume.

În prezent, sunt identificate 17 căi de degradare a solului în întreaga lume, care constituie una dintre cele mai critice probleme globale actuale de mediu cu care se confruntă umanitatea. Cinci din cele șaptesprezece dimensiuni ale degradării terenurilor au fost considerate degradări majore ale solului și anume: ariditatea, eroziunea solului de către apă, salinizarea, pierderea carbonului organic din sol și degradarea vegetației (Prăvălie și colab., 2021).

Tendențele 1990-2018 ale susceptibilității terenurilor la degradare pentru România au indicat o creștere globală a sensibilității terenului la degradare în toată țara (Prăvălie și colab., 2020).

Cu ajutorul instrumentelor geospațiale s-a realizat o analiză a tendințelor spațio-temporale ale susceptibilității terenului la degradare în ultimele trei decenii, care a evidențiat o expansiune de ~ 1300 km² (<1% din teritoriul României) pentru indicele de sensibilitate la degradarea terenului, a cărui amprentă spațială națională a fost estimată în 1990 la ~ 67 300 km² (28,4%), și la ~ 68 600 km² (29%) în 2018 (Prăvălie și colab., 2020).

Acțiunile eficiente în acest sens includ împădurirea, plantarea centurilor de adăpost forestier, refacerea sistemelor de irigații, conservarea resurselor de apă, reducerea fragmentării terenurilor agricole, aplicarea măsurilor anti-eroziune, promovarea culturilor agricole care sunt rezistente la lipsa apei, plantând culturi agricole tolerante la sare, controlul fertilizării solului sau al utilizării raționale a resurselor agricole funciare prin rotație a culturilor (Fraser și Stringer, 2009; Achim și colab., 2012; Vorovencii, 2015; Prăvălie și colab., 2017; Vorovencii, 2016; Costea și Tausan, 2017).

Aplicarea pe scară largă în mod progresiv și selectiv, pe baza căilor de degradare / deșertificare a terenurilor în diferite zone ale țării, aceste soluții ar trebui să asigure o viitoare reconstrucție ecologică a terenurilor degradate din România (Prăvălie și colab., 2020).

1.2 SITUAȚIA DEGRADĂRII SOLURILOR NISIPOASE ÎN ROMÂNIA

Una din cauzele degradării solurilor este eroziunea eoliană și acest fenomen ia amploare în zonele lipsite de vegetație înaltă, în special dealungul câmpurilor agricole, unde degradarea solului are un impact devastator asupra culturilor (Woodruff și Siddoway, 1965). Solul vegetal fiind îndepărtat treptat treptat, lasă terenul sterp și neproductiv, plantele fiind în imposibilitatea dezvoltării rădăcinilor, astfel generând o scădere în producția de plante cereale și vegetale (Fig. 1.2.1).

Un alt efect cauzat de eroziunea eoliană este ridicarea norilor de praf, acest fenomen, odată dezvoltat în zonele populate, are un impact dăunător asupra sănătății organismului uman datorită inhalării particulelor de praf de către oameni. Aceste particule non-organice, odată inhalate, pot cauza probleme de sănătate plămânilor dar și asupra altor organe precum creierul sau ficatul atunci când particulele mai mici sunt dizolvate în sânge (Fig. 1.2.2).



Fig. 1.2.1 - Degradarea câmpurilor agricole prin eroziune eoliană
(sursa: <https://www.sciencenews.org/article/soil-erosion-rate-us-midwest-unsustainable-usda>)



Fig. 1.2.2 - Impactul negativ asupra sănătății organismului uman datorită inhalării particulelor de praf
(sursa: <https://www.ecomena.org/effects-sand-dust-storms/>)

Norii de praf pot afecta și transportul prin aceea că particulele aflate în suspensie în vecinătatea unui aeroport, sau a unei autostrăzi, pot îngreuna vizibilitatea și uneori chiar aduce vehiculele în imposibilitatea deplasării datorită deteriorării motoarelor sau a fuselajului acestora. De asemenea, depunerile și aglomerările de nisip pot împiedica circulația pe autostrăzi (Fig.1.2.3). Eroziunea reprezintă un impact socio-economic negativ asupra zonei afectate de acest fenomen, lucru care conduce la diferite studii pentru metode de control ale efectului acesteia.

În România, sudul Olteniei este recunoscut la nivel național pentru stadiul actual accentuat al degradării terenurilor, pe fondul unei sinergii îndelungate a schimbărilor climatice regionale, restrictivității condițiilor hidrologice, pedologice și ecologice, respectiv a presiunilor antropice asupra utilizării / acoperirii terenurilor (Oancea și Patrichi, 1972; Dumitrașcu, 2006).



Fig. 1.2.3 - Impactul negativ asupra infrastructurii de transport
(sursa: <https://blog.ucsusa.org/karen-perry-stillerman/illinois-dust-storm-disaster-is-a-warning-for-agriculture/>)

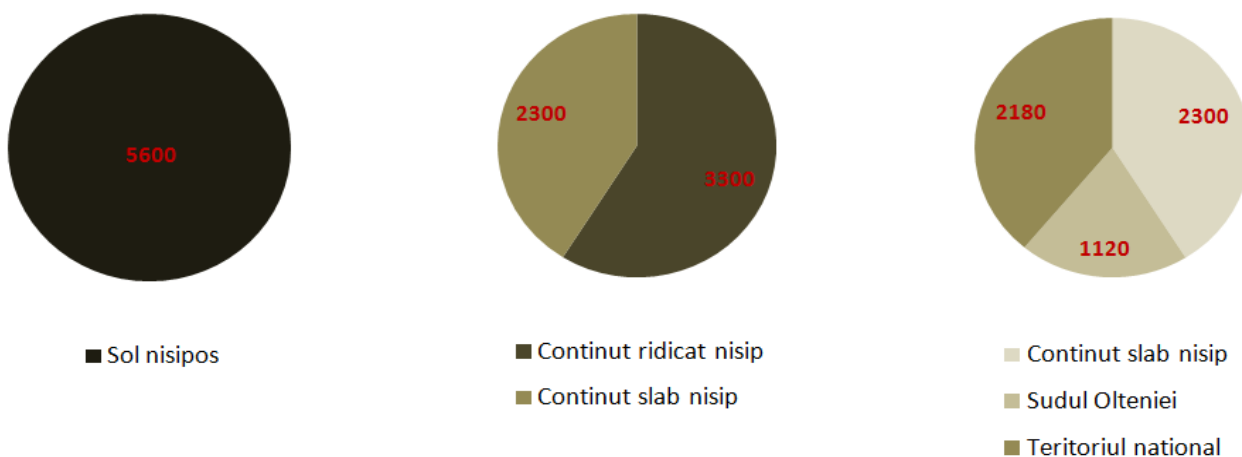


Fig. 1.2.4 - Repartiția solurilor nisipoase pe teritoriul României
 (Situția terenurilor nisipoase din România după suprafețele ocupate de acestea [km²])
 (sursa: prelucrare după Florea și Patrichi, 1983)

Se poate observa că din totalul de 5600 km² de sol nisipos existenți pe teritoriul țării, doar 3300 km² sunt soluri cu conținut foarte ridicat de nisip (cele cu textura nisipoasă și nisipolutoasă), iar din aceștia doar 1120 km² se regăsesc în sudul Olteniei. Astfel se poate considera că 20% din solurile nisipoase de pe teritoriul țării se găsesc în zona sudică, în Oltenia (SRCS, 1980).

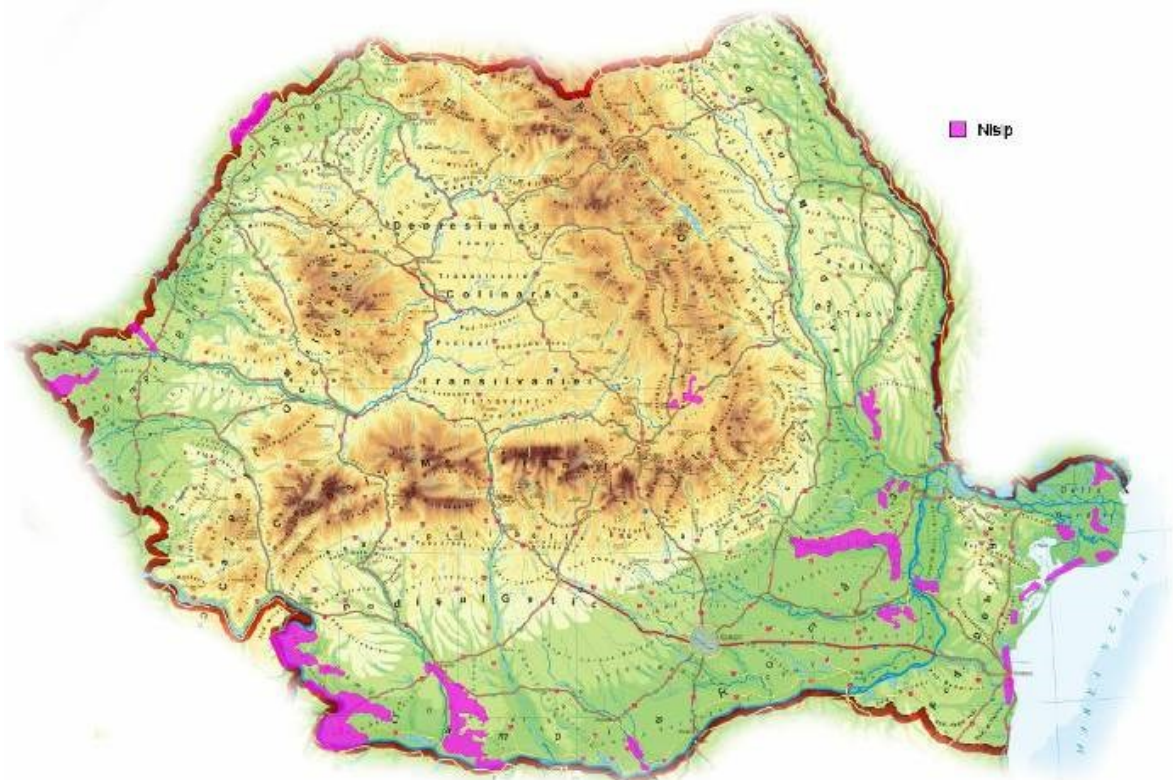


Fig. 1.2.5 - Harta răspândirii solurilor nisipoase în România
 (sursa: prelucrare după Florea și Patrichi, 1983)

Solurile nisipoase și nisipurile apar dispersate în perimetre de dimensiuni diferite în cadrul mai multor unități geomorfologice (Fig. 1.2.5). În ceea ce privește distribuția pe județe, cele mai mari întinderi cu nisipuri și soluri nisipoase cu folosință agricolă apar în județele Dolj, Mehedinți, Tulcea, Brăila, Satu Mare și Galați (Obrejanu și Trandafirescu, 1972).

1.2.1 Nisipurile situate de partea dreaptă a râului Călmățui

Suprafața ocupată: 32000 ha (320 km²) (Obrejanu și Trandafirescu, 1972).

Localizare: între localitățile Udați - Colțuna și localitatea Spiru Haret (jud. Galați).

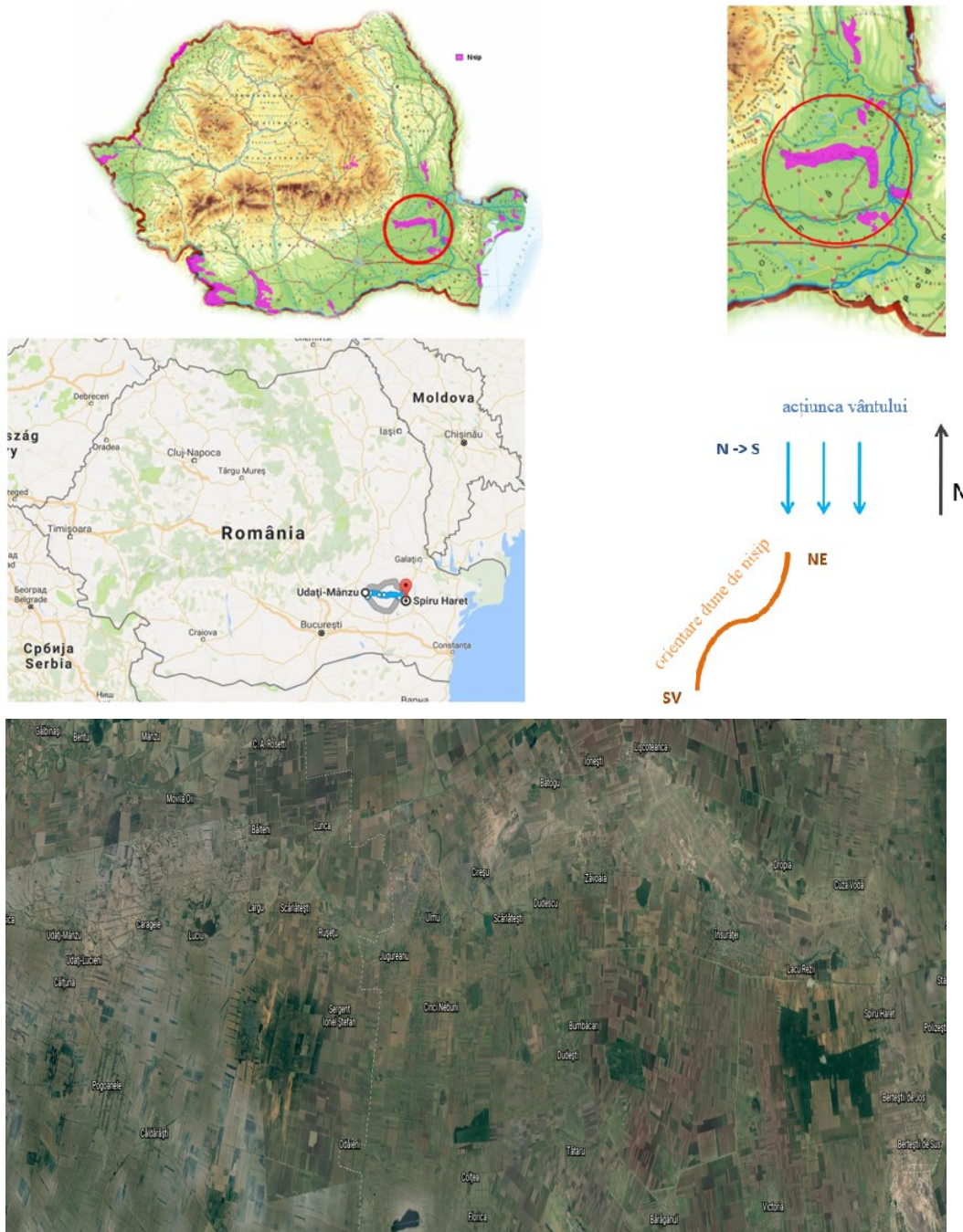


Fig. 1.2.6 - Localizare nisipuri pe partea dreaptă a râului Colmățui
(sursa: prelucrare după Florea și Patrichi, 1983, <https://earth.google.com/web>)

Înălțimile dunelor de nisip: 12...20 m, ajungând în N la 17...36 m

Orientarea dunelor: NE și NE - SV

Vântul dominant: N - S sau NE - SV

Orientarea dunelor din zona respectivă se datorează vântului dominant care bate în perioadele de primăvară și toamnă.

Prezența longitudinală a dunelor se datorează curenților de slabă intensitate, iar înălțimile și mărimea neregulată a lor se datorează curenților de mare intensitate.

1.2.2 Nisipurile din Delta Dunării

Suprafața ocupată: 61000 ha (610 km²) .

Localizare: Nisipurile de origine fluvială - de-a lungul grindurilor în jumătatea apuseană a Deltei

Nisipurile de origine maritimă - orientate pe grindurile transversale de la Letea și Caraorman.

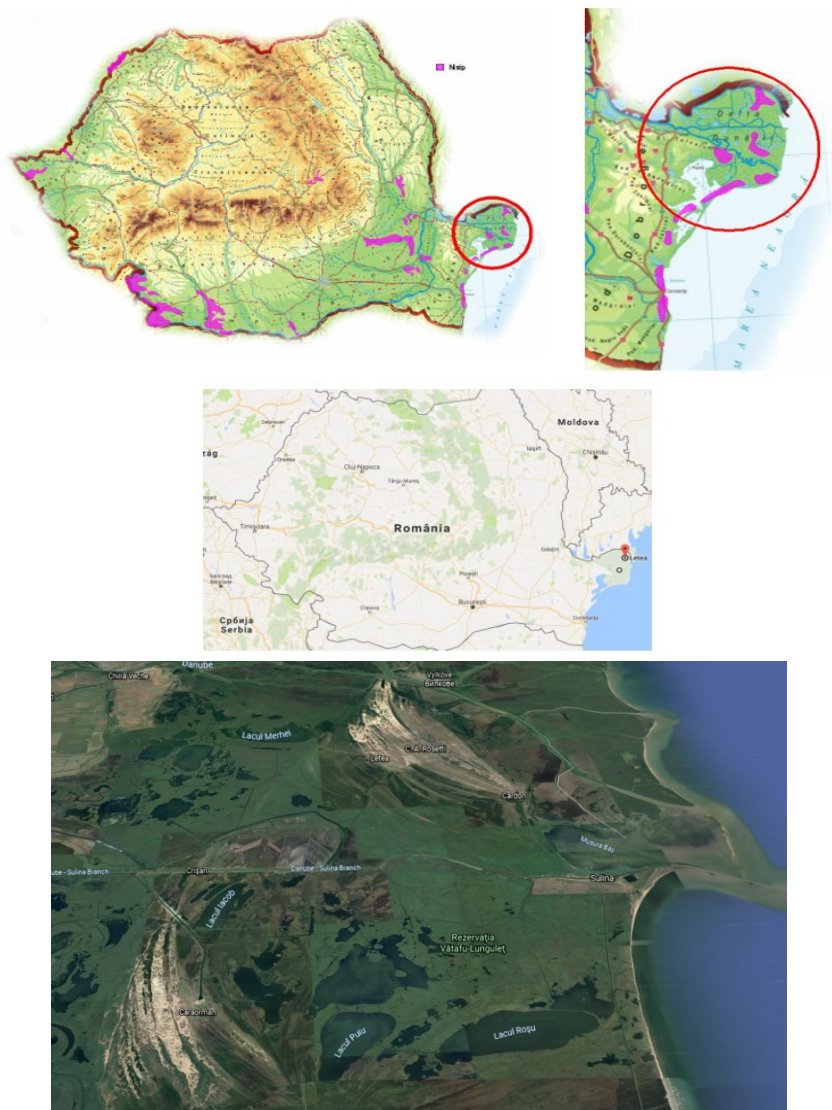


Fig. 1.2.7 - Localizare nisipuri din Delta Dunării

(sursa: prelucrare după Florea și Patrichi, 1983 <https://earth.google.com/web>)

1.2.3 Nisipurile din câmpia Tecuciului

Suprafața ocupată: 14100 ha (141 km²) (Obrejanu și Trandafirescu, 1972).

Localizare: între localitățile Lungoci, Inești, Hanul Conachi și Ungureni și pârâul Corozel

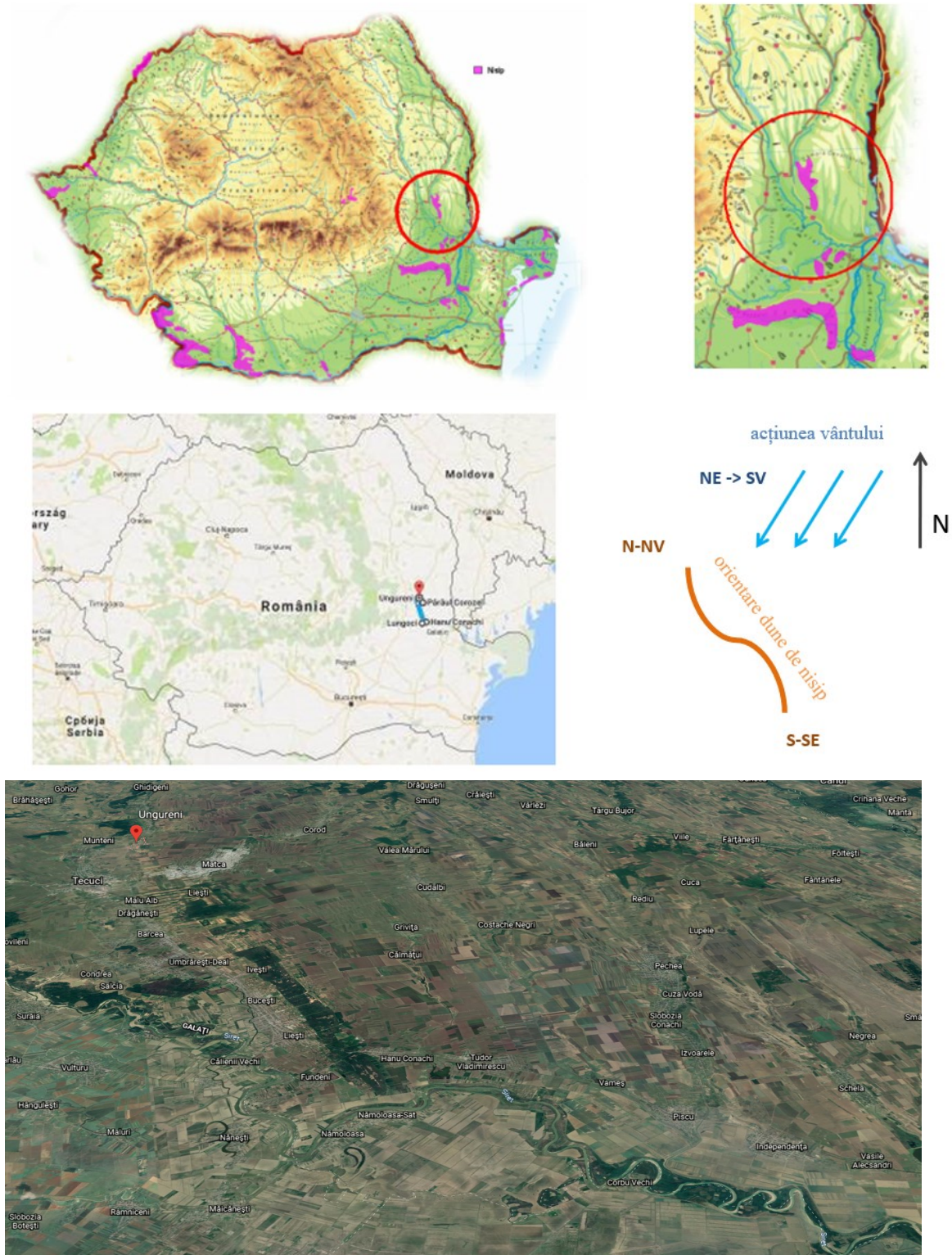


Fig. 1.2.8 - Localizare nisipuri din câmpia Tecuciului
(sursa: prelucrare după Florea și Patrichi, 1983, <https://earth.google.com/web>)

Înălțimile dunelor de nisip: maxim 10 m

Orientarea dunelor: N - NV și S - SE

Vântul dominant: N - S sau NE - SV

Este o zonă caracterizată prin uscăciunea pronunțată din cursul zilelor de primăvară și vară. Fiind sub acțiunea dominantă a Crivățului precum și a vântului care bate dinspre NE și NV nisipul se usucă la suprafață foarte repede fiind apoi antrenat de vânt.

Există mici porțiuni care sunt afectate de acțiunea vântului, acestea reprezintă aproximativ 1600 ha (16 km²).

1.2.4 Nisipurile din Nord Vestul țării

Suprafața ocupată: 31876 ha (318,76 km²) (Oprea și colab., 1957; Obrejanu și Trandafirescu, 1972).

Localizare: între localitățile Carei și Valea lui Mihai



Fig. 1.2.9 - Localizare nisipuri din Nord Vestul țării

(sursa: prelucrare după Florea și Patrichi, 1983, <https://earth.google.com/web>)

Înălțimile dunelor de nisip: 6...20 m

Orientarea dunelor: S - V și N - S

Se resimte și în această zonă influența factorilor limitativi de producție: deficitul de umiditate în perioadele de creștere și dezvoltare a plantelor, sărăcirea în substanțe nutritive precum și efectul negativ al proceselor de eroziune.

Din suprafața totală a nisipurilor din această zonă, circa 5000 ha (50 km²) sunt considerate mobile.

1.2.5 Nisipurile din zona Olteniei

Suprafața ocupată: 250000 ha (2500 km²) (Obrejanu și Trandafirescu, 1972).

Localizare: 1 - între localitățile Șimian, Burila Mare și Calafat

2 - între localitățile Craiova, Bechet și Corabia

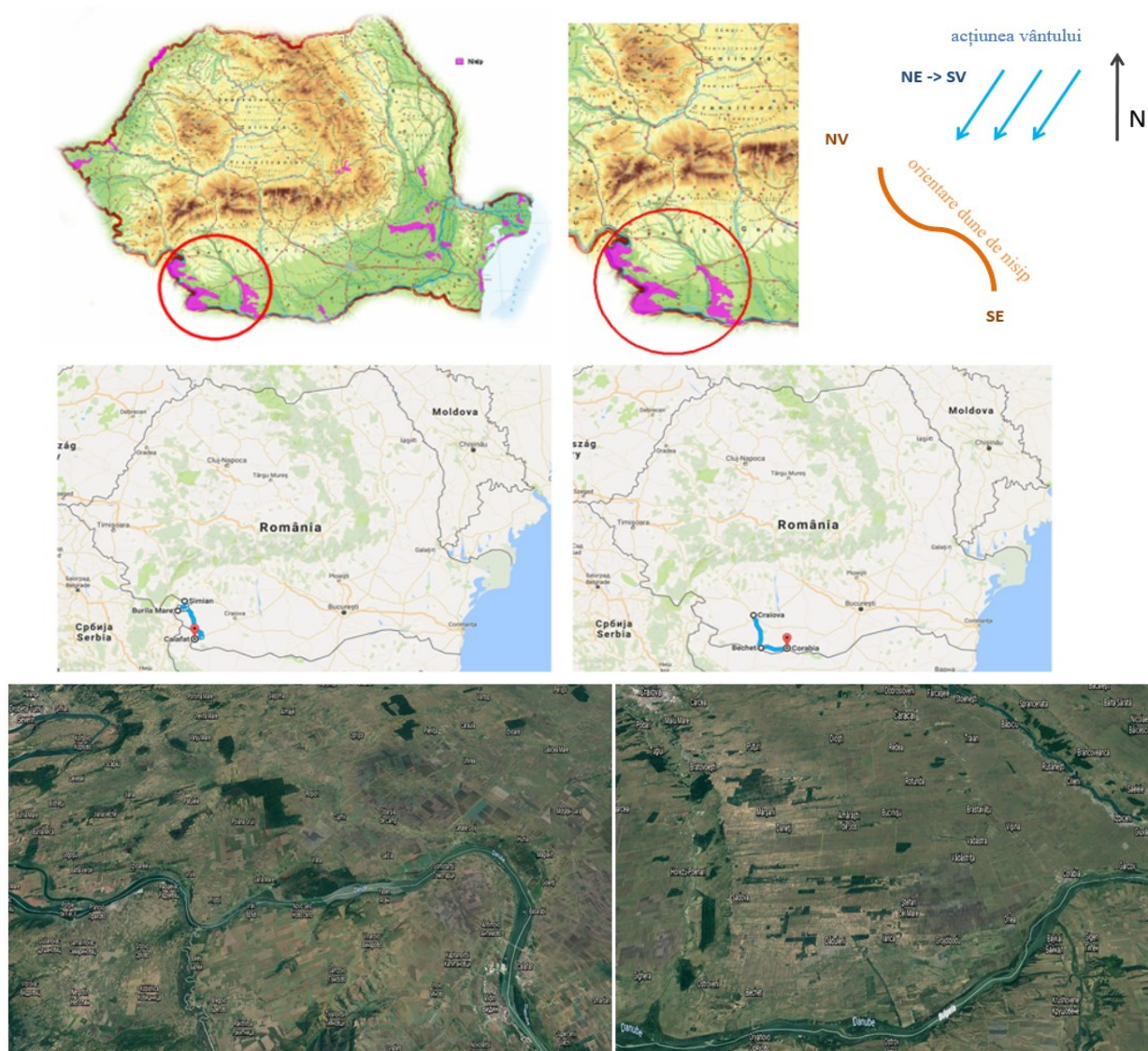


Fig. 1.2.10 - Localizare nisipuri din zona Olteniei

(sursa: prelucrare după Florea și Patrichi, 1983, <https://earth.google.com/web>)

Înălțimile dunelor de nisip: 5...15 m

Orientarea dunelor: NV - SE înspre Dunăre (1); V - E față de râul Jiu

Vântul dominant: N - E (Crivățul)

Datorită unei exploatare neraționale a vechilor plantații forestiere s-au intensificat procesele de deflație eoliană și, ca urmare, vânturile din primăvara anilor 1969 - 1970 au provocat adevărate furtuni de nisip.

1.3 SOLUȚII STUDIATE

Una dintre modalitățile de reducere a fenomenului de eroziune este prin utilizarea ecranelor de protecție amplasate pe direcția de curgere a vântului, în zonele puternic afectate de eroziunea prin vânt a solurilor, pentru reducerea vitezei aerului, care antrenează particulele fine de nisip (Discuteanu, 1954; Ionescu-Sisești și Staicu, 1968; Lupe, 1981; Doroftei și colab., 2020). Un instrument important în acțiunea de realizare a ecranelor de protecție este utilizarea unei baze de date cartografice și statistice privind regimul vântului (Bandoc, 2005; Bandoc și alții, 2018a). Pentru stabilirea unui model de calcul de la care s-a plecat pentru realizarea acestor bariere a trebuit mai întâi să se studieze curgerea polifazică fluid-solid care antrenează particulele solide, astfel deplasându-le și cauzând efectul de eroziune (Cole, 1984; Honari și Seyedi, 2021). Astfel, s-a efectuat o analiză a caracteristicilor de mediu din zonele cu terenuri nisipoase ca bază de pornire pentru prezenta temă de cercetare.

1.4 ELEMENTE DE TEORIE PE CARE SE BAZEAZĂ TEMA ABORDATĂ

Aerul este un mediu de transport al particulelor fine, la viteze mari ale acestuia particulele pot fi din ce în ce mai mari, iar aria de efect ale acestui transport poate să fie din ce în ce mai mare. Astfel ia naștere fenomenul de eroziune al solului prin acțiunea aerului, eroziunea eoliană (Fig. 1.4.1) (Bitsuamlak și colab., 2004).

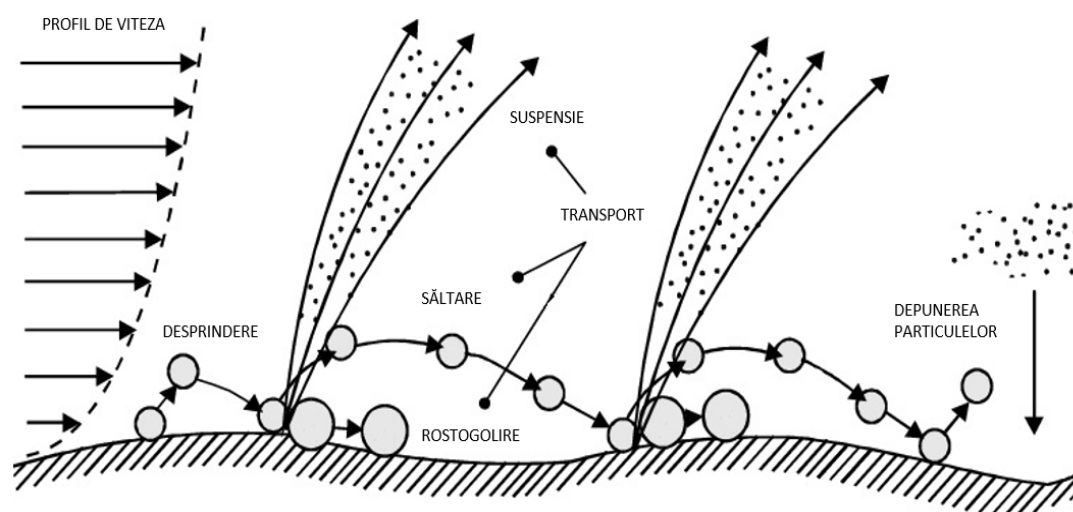


Fig. 1.4.1 - Transportul particulelor sub acțiunea eoliană
(sursa: prelucrare după Wim M. Cornelis, 2006)

1.4.1 Forțele care acționează asupra unei particule de nisip

Forțele statice și dinamice acționează asupra particulelor fine de nisip din curentul de aer. Acestea sunt: forța de greutate \vec{G} , dată de câmpul gravitațional terestru, și forța arhimedică \vec{F}_A , aplicată particulei de nisip de către aer.

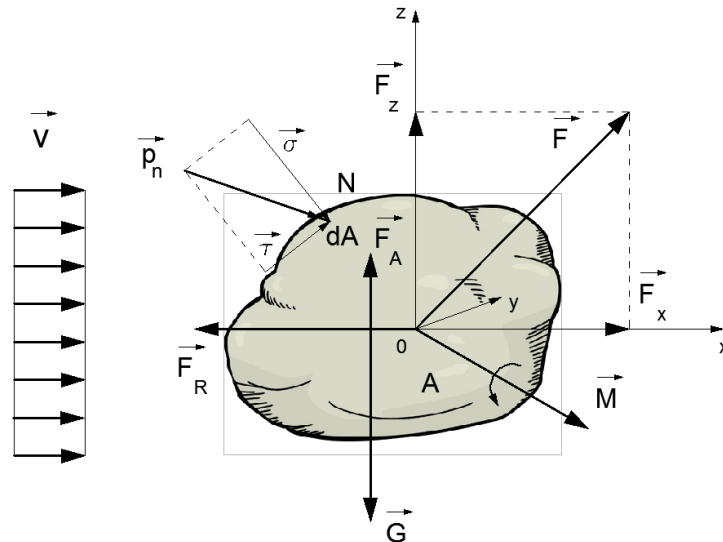


Fig. 1.4.2 - Forțele și momentul care acționează asupra unei particule solide în curent

Forțele dinamice sunt datorate acțiunii aerului în mișcare cu viteza \vec{V} asupra suprafeței A a particulei de nisip. Asupra fiecărui element de arie dA al suprafeței A , fluidul exercită o forță elementară $d\vec{F} = \vec{p}_n dA$, \vec{p}_n fiind efortul unitar aplicat în punctul curent N al lui A . Fie $\vec{\sigma}$ și $\vec{\tau}$ componentele lui \vec{p}_n după normala exterioară \vec{n} în N la A și respectiv în planul tangent în N la A . Sistemul forțelor elementare $d\vec{F}$ exercitate asupra lui A se reduce, în raport cu originea reperului $Oxyz$, la o rezultantă $\vec{F} = \int_A \vec{p}_n dA$ și la un cuplu rezultat de moment $\vec{M} = \int_A (\vec{r} \times \vec{p}_n) dA$. Forța \vec{F} are componenta $\vec{F}_R = \vec{F}_x$ numită *rezistență la înaintare*, în direcția opusă vitezei \vec{V} (care în regim de deplasare uniformă a particulei solide este egală cu forța de presiune dinamică frontală \vec{F}_x) și componenta \vec{F}_z , numită *portanță*, în planul normal în O la direcția vitezei \vec{V} (Chepil, 1945).

Pentru calculul componentelor tursorului (forța \vec{F} și momentul \vec{M}) se presupune un element de suprafață laterală a particulei dA asupra căreia acționează eforturile unitare $\vec{\sigma}$ și $\vec{\tau}$. Rezultă astfel forța \vec{F}

$$\vec{F} = \int_A \vec{\sigma} dA + \int_A \vec{\tau} dA \quad (1.1)$$

și momentul \vec{M}

$$\vec{M} = \int_A (\vec{r} \times \vec{\sigma}) dA + \int_A (\vec{r} \times \vec{\tau}) dA \quad (1.2)$$

unde $r(x, y, z)$ este raza vectoare a unui punct de pe suprafața exterioară a particulei. Proiecțiile forței și momentul pe direcția axei Ox sunt:

$$F_x = \int_A [\sigma \cos(\widehat{\sigma, x}) + \tau \cos(\widehat{\tau, x})] dA \quad (1.3)$$

$$M_x = \int_A \{[\sigma \cos(\widehat{\sigma, z}) + \tau \cos(\widehat{\tau, z})]y - [\sigma \cos(\widehat{\sigma, y}) + \tau \cos(\widehat{\tau, y})]z\} dA \quad (1.4)$$

sau:

$$F_x = \rho \frac{V^2}{2} \int_A \left[\frac{\sigma}{\rho \times \frac{V^2}{2}} \cos(\widehat{\sigma, x}) + \frac{\tau}{\rho \times \frac{V^2}{2}} \cos(\widehat{\tau, x}) \right] \frac{dA}{A} \quad (1.5)$$

$$M_x = \rho \frac{V^2}{2} Ad_{ech} \int_A \left\{ \left[\frac{\sigma}{\rho \times \frac{V^2}{2}} \cos(\widehat{\sigma, z}) + \frac{\tau}{\rho \times \frac{V^2}{2}} \cos(\widehat{\tau, z}) \right] \frac{y}{d_{ech}} - \left[\frac{\sigma}{\rho \times \frac{V^2}{2}} \cos(\widehat{\sigma, y}) + \frac{\tau}{\rho \times \frac{V^2}{2}} \cos(\widehat{\tau, y}) \right] \frac{z}{d_{ech}} \right\} \frac{dA}{A} \quad (1.6)$$

unde A reprezintă aria maximă obținută prin intersecția particulei solide cu un plan normal la direcția vitezei după axa considerată. Celelalte componente se scriu analog, prin permutări. Se obțin expresiile teoretice ale coeficienților C_{Rx} , C_{Ry} , C_{Rz} , pentru componentele forței și m_{Rx} , m_{Ry} , m_{Rz} , pentru moment.

Expresiile restrânse ale proiecțiilor forței și momentului sunt:

$$F_x = C_{Rx} \rho \frac{V^2}{2} A; F_y = C_{Ry} \rho \frac{V^2}{2} A; F_z = C_{Rz} \rho \frac{V^2}{2} A \quad (1.7)$$

$$M_x = m_{Rx} \rho \frac{V^2}{2} Ad_{ech}; M_y = m_{Ry} \rho \frac{V^2}{2} Ad_{ech}; M_z = m_{Rz} \rho \frac{V^2}{2} Ad_{ech} \quad (1.8)$$

În cazul mișcării unidirecționale forța și momentul au expresiile:

$$F_R = C_R \rho \frac{V^2}{2} A; M = m_R \rho \frac{V^2}{2} Ad_{ech} \quad (1.9)$$

S-a demonstrat experimental că valorile coeficientului C_R depind de raportul dintre dimensiunea caracteristică particulei d_{ech} și diametrul conductei D și de regimul de curgere precizat prin numărul Reynolds atașat mișcării particulei.

$$C_R = C_R \left(\frac{Vd_{ech}}{\nu}; \frac{d_{ech}}{D} \right) \quad (1.10)$$

Deoarece valoarea vitezei depinde de poziția punctului de măsură z față de direcția curentului, coeficientul C_R are următoarea formulă:

$$C_R = C_R \left(\frac{V(z/R)d_{ech}}{\nu}; \frac{d_{ech}}{D} \right) \quad (1.11)$$

În regimul turbulent de curgere pentru gaze distribuția de viteze este dată de legea 1/7 a lui Kármán

$$V_g = V_{gmax} \left(\frac{z}{R} \right)^{1/7} \quad (1.12)$$

și astfel relația (1.11) devine:

$$C_R = C_R \left(\frac{V_{gmax} \left(\frac{z}{R} \right)^{1/7} d_{ech}}{\nu}; \frac{d_{ech}}{D} \right) \quad (1.13)$$

Generalizând relațiile (1.10) pentru coeficienții C_{Rx} , C_{Ry} , C_{Rz} și m_{Rx} , m_{Ry} , m_{Rz} rezultă că valoarea acestora depinde de poziția particulei pe o direcție radială față de direcția curentului.

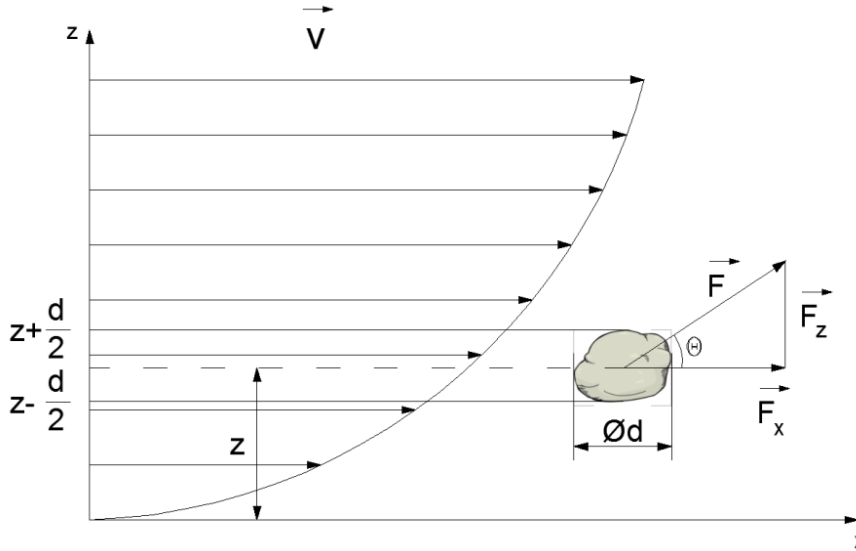


Fig. 1.4.3 - Schema de calcul al forțelor de presiune dinamică

Se consideră o particulă solidă antrenată de un curent fluid unidirecțional și permanent. Acesta acționează asupra particulei cu o forță dinamică \vec{F} , rezultantă a celor două componente, forța de presiune dinamică frontală \vec{F}_x și portanța \vec{F}_z (Fig. 1.4.3). Mărimea și direcția vectorului \vec{F} depind de regimul de curgere, caracterizat prin valoarea numărului Reynolds, și de poziția particulei în secțiunea transversală a curentului (Goldhirsch, 2003):

$$F = f_F \left(\frac{ud}{\nu}; \frac{z}{d} \right) \rho d^2 u^2; \quad \theta = f_\theta \left(\frac{ud}{\nu}; \frac{z}{d} \right) \quad (1.14)$$

unde θ este unghiul de deviație al vectorului \vec{F} față de direcția vitezei \vec{v} (Fig. 1.4.4).

Componentele F_x și F_z ale forței rezultante \vec{F} au expresiile:

$$F_x = f_x \left(\frac{ud}{\nu}; \frac{z}{d} \right) \rho d^2 u^2; \quad F_z = f_z \left(\frac{ud}{\nu}; \frac{z}{d} \right) \rho d^2 u^2 \quad (1.15)$$

în care:

$$f_x = f_F \cos f_\theta; \quad f_z = f_F \sin f_\theta \quad (1.16)$$

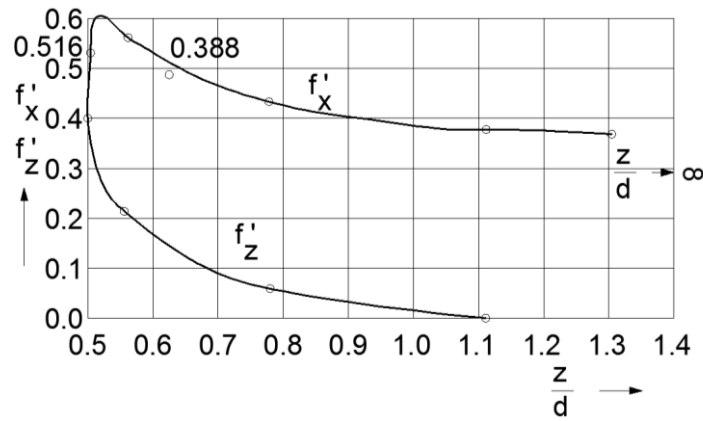


Fig. 1.4.4 - Variația coeficienților adimensionali f'_x și f'_z pentru numere Reynolds, $Re=8...14 \times 10^4$

Pentru domeniul pătratic de curgere funcțiile f_x , f_z devin independente de numărul lui Reynolds și relațiile (1.15) devin:

$$F_x = f'_x \left(\frac{z}{d}\right) \rho d^2 u^2; F_z = f'_z \left(\frac{z}{d}\right) \rho d^2 u^2 \quad (1.17)$$

unde f'_x și f'_z sunt coeficienți numerici cu valori date în diagrama din Fig. 1.5.3.

1.4.2 Mărima hidraulică

Se consideră ipoteza unui vas de dimensiuni teoretic infinite, la temperatură determinantă, în care se găsește o particulă solidă aflată în mișcare. Viteza uniformă de cădere sub acțiunea forțelor gravitaționale se definește prin mărima hidraulică w . Mărima hidraulică w se poate traduce și ca o viteză de sedimentare în condiții determinante precis care influențează direct fenomenele de transport, antrenare și depunere al particulelor (Falkovich, G., 2011). Ecuația de mișcare a particulei solide de masă m într-un fluid aflat în repaus este:

$$m \frac{dv}{dt} = G - F_A - F_R \quad (1.18)$$

unde:

G este forța de greutate a particulei solide în vid;

F_A - forța arhimedică;

F_R - forța de rezistență la înaintare.

Odată cu creșterea vitezei particulei crește și forța de rezistență la înaintare după un timp suficient de mare, ajungând, la limită, la următoarea valoare:

$$F_R = G - F_A \quad (1.19)$$

Relația (1.19) definește echilibrul forțelor care acționează asupra granulei considerată sferică cu diametrul d . Astfel, se consideră că particula se mișcă uniform, cu o viteză egală cu mărima hidraulică. Greutatea particulei submerse este:

$$G' = G - F_A = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_s - \gamma) = \frac{\pi}{6} g d^3 (\rho_s - \rho) \quad (1.20)$$

unde:

d este diametrul particulei considerată sferică;

γ_s - greutatea specifică a particulei;

γ - greutatea specifică a apei;

ρ_s - densitatea particulei;

ρ - densitatea apei;

Rezistența la înaintare este dată de următoarea relație:

$$F_R = C_R \frac{\pi d^2}{4} \rho \frac{v^2}{2} \quad (1.21)$$

C_R este coeficientul de rezistență la înaintare dependent de sfericitate și de numărul Reynold atașat particulei în mișcare definit prin expresia $Re_s = \frac{vd}{\nu}$; unde v , viteza particulei solide este egală cu mărimea hidraulică w_0 și ν este vâscozitatea cinematică a fluidului în care se deplasează particular (Vreman și colab., 2007).

.Pentru obținerea mărimii hidraulice w_0 se va folosi expresia:

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho_s - \rho) = C_R \frac{\pi d^2}{4} \rho \frac{w_0^2}{2} \quad (1.22)$$

Mișcarea particulei se efectuează în regim laminar dacă $Re < 1$ sau în regim turbulent dacă $Re > 1$.

Mărimea hidraulică în regim laminar:

$$w = \frac{gd^3}{18\nu} \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \quad (1.23)$$

Mărimea hidraulică în regim turbulent:

$$w_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{gd}{C_R} \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \quad (1.24)$$

Coeficientul C_R se poate lua din curba de variație (Fig. 1.4.5) în funcție de numărul Reynolds atașat particulei și de sfericitatea acesteia. Pentru particule rigide cu o formă oarecare coeficientul C_R este dependent de orientarea granulei și de forma acesteia în raport cu direcția de mișcare (Tabelul 1.4.1).

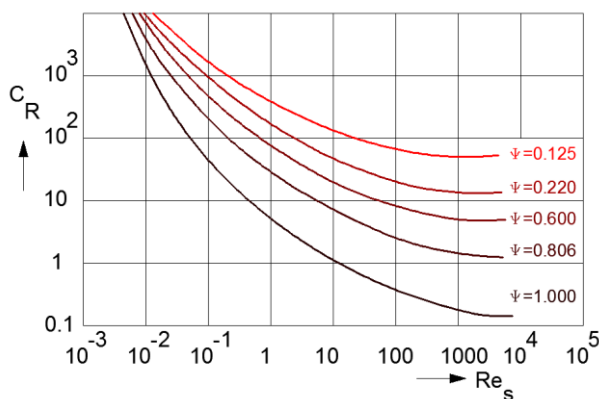


Fig. 1.4.5 - Variația coeficientului C_R funcție de regimul de curgere și de sfericitatea particulei solide ψ

Tabelul 1.4.1 - Poziția particulei în curent pentru diverse valori Reynolds

Re_s	Orientarea particulei în curent
0,5...5,5	Toate orientările sunt posibile
5,5...200	Stabilă în poziția rezistenței maxime
200...500	Neprecizabilă. Discurile și plăcile tind să oscileze în timp ce particulele de roca tind să se rotească
500...2x10 ⁵	rotația în jurul axei mici cuplată, adeseori cu o translație, conduce la o deplasare elicoidală

Pentru valori ale numărului Reynolds $Re_s = 4 \times 10^5$ în spatele particulei apare aleea vârtejurilor alternante Bernard-Kármán, cu lățimea de $1,3 d$ și o forță laterală Kármán $F_K = C_K A \rho \frac{v^2}{2}$, unde coeficientul C_K este dependent de forma granulei și de regimul de curgere ($C_K = 1,7 - H. Rousse$) (Vreman și colab., 2007).

Transportul particulei într-un fluid este de fapt o mișcare de dezlocuire ce are ca efect crearea de curenți fluizi, în vecinătatea particulei, care o ocolesc și se amortizează în spate (Hakonardottir și Hogg, 2005) (Fig.1.4.6). Dimensiunile spațiului în care are loc depunerea, cât și concentrația în particule solide reduc mărimea hidraulică, aceasta ajungând la o valoare:

$$w'_0 = \theta w_0 \quad (1.25)$$

unde:

θ este un coeficient determinat experimental:

- pentru regim turbulent: $\theta = 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{3/2}$

- pentru regim laminar: $\theta = 1 - \left(\frac{d}{D}\right)^{2,25}$

D - diametrul cilindrului înconjurător, determinat de îngustarea spațiului, în care se consideră că se deplasează particula.

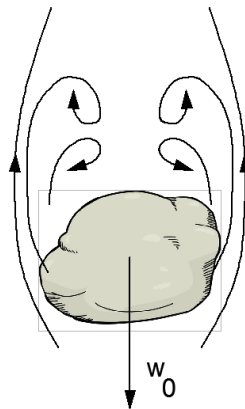


Fig. 1.4.6 - Formarea curenților de dezlocuire în spatele particulei aflate în mișcare

Concentrația particulelor are același efect ca și limitarea de spațiu ducând la scăderea valorii mărimii hidraulice, acestea pot fi calculate în intermediul condițiilor:

- Particule cu $d < 0,15$ mm și regim laminar $Re_s < 1$:

$$w = \frac{gd^3}{18\nu} \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \quad (1.26)$$

- Particule cu $0,15 < d < 0,65$ mm și regim de tranziție $1 < Re_s < 30$:

$$w_0 = d \frac{g^{2/3}}{5\nu^{1/3}} \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^{2/3} \quad (1.27)$$

- Particule cu $0,65 < d < 2$ mm și regim turbulent neted $Re_s = 30 \dots 400$:

$$w_0 = \frac{1}{2.18} g^{0.56} d^{2/3} \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)^{0.56} \nu^{-0.11} \quad (1.28)$$

- Particule cu $d > 2$ mm și regim turbulent rugos $Re_s > 400$:

$$w_0 = \sqrt{gd \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right)} \quad (1.29)$$

Au fost determinate experimental câteva valori ale mărimii hidraulice pentru diferite particule cu diametre variabile care au greutatea specifică $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$.

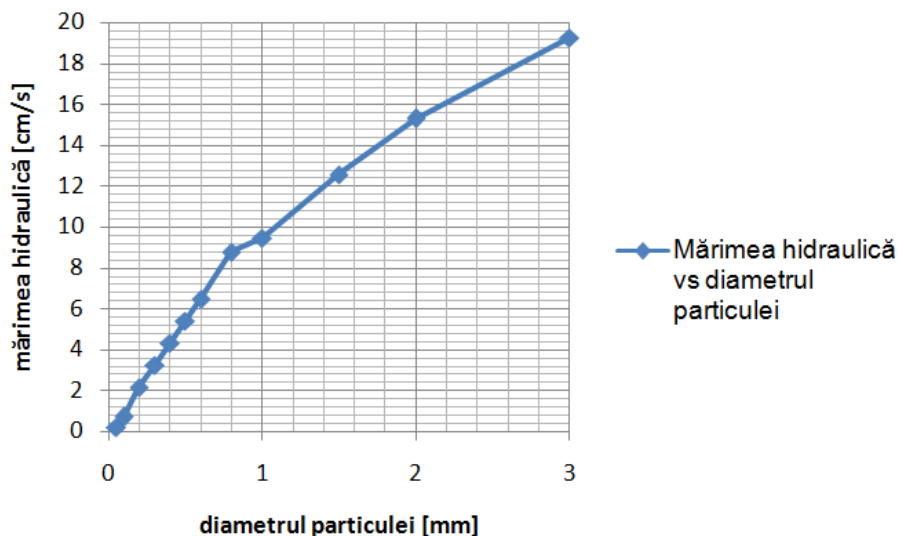


Fig. 1.4.7 - Mărimii hidraulică pentru particule cu $\gamma_s = 26 \text{ kN/m}^3$

1.4.3 Viteza de plutire

Viteza de plutire este viteza unui curent de gaz ascendent care menține într-o poziție fixă o particulă solidă care are tendința de a se depune. Greutatea particulei este echilibrată de forța rezultată a forței arhimedice și de rezultanta forțelor elementare de presiune dinamică care se exercită pe aria secțiunii transversale perpendiculară pe direcția de curgere a fluidului (Wanghua Sui și colab., 2017) (Fig. 1.4.8). Dacă viteza de plutire este egală cu viteza curentului de gaz rezultă relația:

$$v'_p = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{gd}{C_R} \left(\frac{\gamma_s - \gamma_g}{\gamma_g} \right)} \quad (1.30)$$

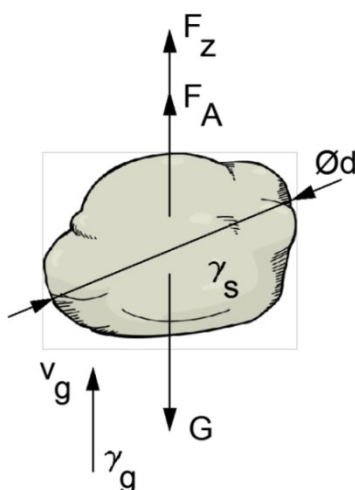


Fig. 1.4.8 - Echilibrul forțelor asupra unei particule solide într-un curent de gaz ascendent

Dacă greutatea specifică a materialului particulei este cu mult mai mare decât a gazului $\gamma_s \gg \gamma_g$, neglijând forța arhimedică, rezultă:

$$v_p'' = \sqrt{\frac{4 g d \gamma_s}{3 C_R \gamma_g}} \quad (1.31)$$

Rețeta după care se efectuează calculele practice este următoarea:

Pasul 1 - se dă o valoare oarecare pentru viteza gazului v_g și se calculează numărul lui Reynolds relativ la particula solidă $Re_s = \frac{v d}{\nu}$.

Pasul 2 - din Tabelul 1.4.2 se determină coeficientul C_R ; se calculează apoi cu formula (4.28) viteza de plutire și se recalculează numărul Reynolds.

Tabelul 1.4.2 - Coeficientul C_R în funcție de numărul Re_s

Re_s	C_R	Re_s	C_R	Re_s	C_R	Re_s	C_R
0,1	240	7	5,4	500	0,55	70000	0,50
0,2	120	10	4,1	1000	0,46	100000	0,48
0,5	49,5	20	2,55	2000	0,42	200000	0,42
0,7	36,5	50	1,5	5000	0,385	400000	0,084
1,0	26,5	70	1,27	10000	0,405	10^6	0,13
2,0	14,4	100	1,07	20000	0,45	3×10^6	0,20
5,0	6,9	200	0,77	50000	0,49		

Relațiile de calcul (1.30) și (1.31) permit calculul vitezei de plutire în cazul unei particule solide izolate sau pentru concentrații reduse. O dată cu creșterea concentrației de particule viteza de plutire se majorează. Acest fenomen este menționat în literatura de specialitate însă nu este menționată și modalitatea de calcul precis pentru acest fenomen.

1.4.4 Antrenarea particulelor solide în mișcare

Cât timp viteza curentului de fluid rămâne sub un anumit prag particula solidă se menține în repaus. În momentul în care acea limită este depășită particula intră în mișcare, și este antrenată prin unul din cele trei moduri de transport (Fig. 1.4.9):

- împinsă și târâtă pe fund
- rostogolită pe fund
- săltată de pe fund

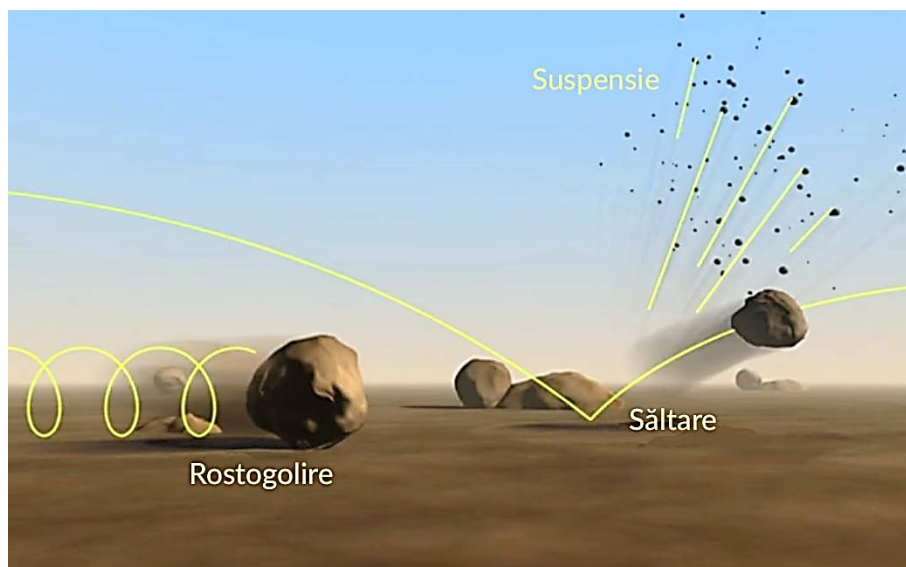


Fig. 1.4.9 - Antrenarea particulelor solide de acțiunea vântului
(sursa: prelucrare după <https://mammothmemory.net/geography>)

O dată cu creșterea vitezei fluidului, particula începe să se deplaseze în salturi a căror frecvență, amplitudine și lungime cresc cu viteza curentului. Datorită faptului că rezultanta forțelor de presiune dinamică pe care o exercită curentul fluid asupra particulei nu trece prin centrul de greutate al acesteia, apare un moment care provoacă rotația particulei între punctele de salt. Rotația particulei solide în curentul de fluid produce un efect Magnus care, combinat cu reflexia granulei în punctele de impact, modifică traiectoria acesteia. Când pulsațiile vitezei depășesc anumite valori, particulele sunt deplasate în stare de suspensie (Squires, 2007).

1.4.5 Viteza critică de antrenare

După cum s-a stabilit în sub-capitolul anterior o particulă poate fi antrenată prin trei modalități de transport, alunecare, rostogolire sau săltare/suspensie.

I. Dezechilibrul forțelor care acționează asupra unei particule creează condiția de alunecare:

$$F_x > (G - F_A - F_z)f \quad (1.32)$$

Particula solidă cu diametrul d , în general, ocupă un domeniu ce cuprinde atât banda substratului limită laminar, cu grosimea stratului δ , cât și o zonă din domeniul mișcării turbulente (Fig. 1.4.10). Pentru calculul forțelor se consideră viteza de fund v_F ca valoarea medie a vitezelor curentului de fluid care lovește frontal particula solidă cu vectorul \vec{v}_F situat la o distanță $\propto d$ de radier, unde \propto este un coeficient

subunitar, iar d este diametrul mediu al particulelor cu material granular (Kok și colab., 2012).

Forța de presiune dinamică frontală în regim mixt este dată de relația de calcul următoare:

$$F_x = K_1 \eta d v_F + K_2 \rho d^2 v_F^2 \quad (1.33)$$

În care primul termen al sumei reprezintă componenta forței F_x corespunzătoare curgerii în substratul limită laminar, iar al doilea termen reprezintă componenta curgerii turbulente. K_1 și K_2 sunt constante adimensionale care țin cont de forma particulei și regimul curgerii.

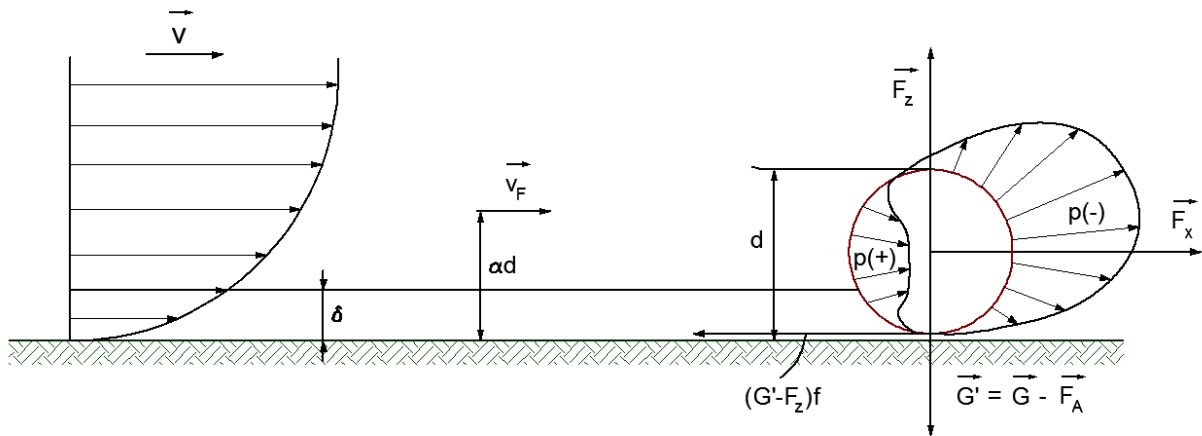


Fig. 1.4.10 - Schema forțelor care acționează asupra particulei în repaus și definirea vitezei de fund

(sursa: prelucrare după Dey și Papanicolaou, 2008)

Mărimea forței F_z este determinată de asimetria distribuției de viteze pe partea inferioară și superioară a particulei, asimetria distribuției de presiune și eventual rotației granulei care provoacă începutul unei circulații, are expresia următoare:

$$F_z = K_3 \rho d^2 v_F^2 \quad (1.34)$$

unde:

K_3 - constantă adimensională dependentă de regimul de curgere și forma particulei

Greutatea particulei submersate G' este:

$$G' = G - F_A = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_s - \gamma_f) \quad (1.35)$$

La limită, din relația (1.32), ținând cont și de relațiile (1.33), (1.34) și (1.35) rezultă valoarea vitezei critice de fund v_{Fcr} :

$$K_1 \eta d v_{Fcr} + K_2 \rho d^2 v_{Fcr}^2 = \left[\frac{\pi d^3}{6} g (\rho_s - \rho_f) - K_3 \rho d^2 v_{Fcr}^2 \right] f \quad (1.36)$$

Viteza critică este funcție de raportul dintre grosimea stratului limită d/δ și diametrul particulei solide. Viteza critică de antrenare este dată de o relație funcțională de tipul $v_{Fcr}^2 = gd\varphi \left(Re, \frac{H}{d}, \frac{d}{\delta} \right)$, H - adâncimea curentului.

II. Antrenarea particulei solide prin rostogolire necesită în general, în special dacă particula este sferică, o forță frontală inferioară celei de alunecare. Datorită faptului că particulele au diferite forme, condițiile de rostogolire sunt diverse și nu pot fi luate ca bază de calcul pentru viteza critică de antrenare.

III. Condiția ca o particulă să fie săltată este următoarea:

$$F_z > G - F_A \quad (1.37)$$

sau:

$$K_3 \rho d^2 v_F^2 > \frac{\pi d^3}{6} g (\rho_s - \rho_f) \quad (1.38)$$

Astfel, teoria arată că mai întâi se produce alunecarea și apoi săltarea particulelor.

1.4.6 Acțiunea vântului asupra particulelor de nisip

Procesul de mișcare și acumulare al nisipurilor are la bază legile aerodinamicii și hidrodinamicii, astfel rezultând posibilitățile aplicării metodelor fizico-matematice în vederea stabilirii bazelor teoretice al morfogenezei reliefului eolian. Deplasarea de nisipuri a căpătat denumirea de "nisipuri zburătoare" (Kok și colab., 2012). Transportul nisipurilor în timpul deflației în forma sa cea mai simplă trebuie considerat de fapt ca mișcarea curentului de aer purtător de particule.

Curentul de aer purtător de nisip este considerat ca un rezultat al interacțiunii a două forțe, curentul de aer și straturile de nisip. Sunt câțiva autori care au stabilit, în literatura de specialitate, vitezele de antrenare pentru diferite diametre ale particulelor de nisip.

Petrov M.P., (1986), consideră că nisipul își începe mișcarea când viteza vântului la suprafața nisipului este mai mare de 3,5...4,5 m/s, iar granulele care încep să se miște au diametrul 0,25...0,01 mm. Molinkov citat de Moțoc M. (1963) menționează că la viteze de 0,5...3,5 m/s vântul nu antrenează particulele de sol. Rezultatele autorului sunt trecute în Tabelul 4.3. De asemenea, în acest tabel se regăsesc și valorile elaborate de Sokolov M.I. (1884).

Tabelul 1.4.3 - Valorile vitezei de antrenare a particulelor de nisip în funcție de diametrul granulelor

Autor	Localizare	Viteza [m/s]	Diametru particulă nisip [mm]
Petrov M.P.	la suprafața nisipului	3,5...4,5	0,01...0,25
Molinkov	-	4...7	0,5<
		7...11	0,50...1,00
		11...27	1...2
		17...28	2...5
Sokolov M.I.	suprafața solului	3,5...6,7	0,10...0,25
		11,4...13	1...2

Canarache (1990), analizând fracțiunile granulometrice recoltate pe înălțimea față de suprafața solului cu ajutorul unui aparat special construit pentru captarea acestora a constatat că în intervalul 10...160 cm nisipul grosier este în proporție de

20...22%, cu nisipul fin 70% și argilă fizică 8...10%. De la înălțimea de 160 cm începe să scadă cantitatea de nisip grosier și crește cantitatea de nisip fin, argila fizică și coloidală rămânând aproape constantă.

Debitul sau ritmul de curgere exprimat în $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{s}$ este cel mai intens în primii 2.5 cm, atât pentru particule deplasate în salturi cât și pentru particulele purtate în suspensie. Apoi pe măsură ce ne ridicăm deasupra solului până la 60 cm debitele scad; mult mai repede cele purtate în salturi și mai încet cele purtate în suspensie.

Din punct de vedere al tipului de soluri, cele mai puternic expuse eroziunii eoliene sunt "nisipurile" apoi "luturile nisipoase" și la urmă "argilele grele" (fig. 1. 4.11) (Stănilă și Patrichi, 2003).

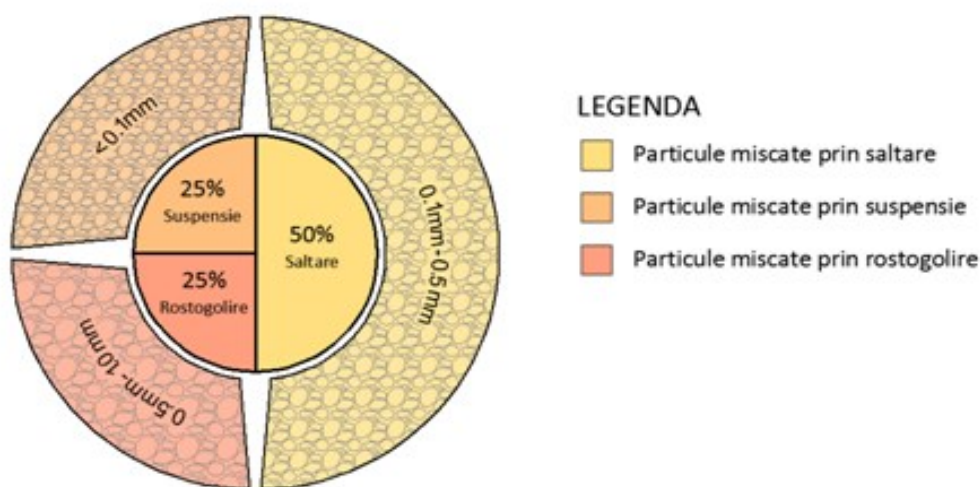


Fig. 1.4.11 - Procesul de mișcare a particulelor de nisip în funcție de diametrul granulelor

Un exemplu de interacțiune vânt - obstacol permeabil pentru protejarea zonelor nisipoase se regăsește în utilizarea barierelor constituite din perdele forestiere, amplasate la anumite distanțe una de cealaltă, creând astfel o zonă de protecție între acestea în care se limitează procesul de eroziune al solului nisipos. În prezent, metoda folosită pe plan național și internațional pentru determinarea caracteristicilor geometrice ale unor astfel de perdele de protecție și a zonei protejate asociate lor, precum și caracteristicile de penetrabilitate ale perdelelor forestiere de protecție, este una empirică care are la bază măsurători și observații la scară naturală, efectuate în perioade mari de timp, de ordinul zecilor de ani doar pentru un număr restrâns de caracteristici privind dimensiunile și gradele de permeabilitate ale perdelelor, granulometria nisipului, și vitezele vântului. Diferiți cercetători din România (Rusescu D., Catrina I., Marcu Gh, Lupe, I., Moțoc, M., Ionescu Sisești, Neșu, I., ș.a) și din străinătate (Brang, P., Pavari, A., Rammer, W., Schmitt, C., Turner, W.R., Van der Linde, ș.a) au încercat, utilizând diferite metode empirice, să stabilească valorile optime ale penetrabilității, lățimii zonei protejate, lățimii și înălțimii perdelei forestiere de protecție.

Reducerea, până la anihilarea completă a fenomenelor de eroziune a stratului de nisip, depinde de factori locali ca vântul, rugozitatea terenului nisipos, distanța între perdelele forestiere (L) etc., factori greu de stăpânit. Din aceste motive,

rezultatele determinărilor experimentale, la scară naturală, efectuate de diverși cercetători, diferă de la un loc la altul, de la cercetător la cercetător, de la țară la țară, acestea contribuind la existența de diferențe la dimensionarea elementelor constructive.

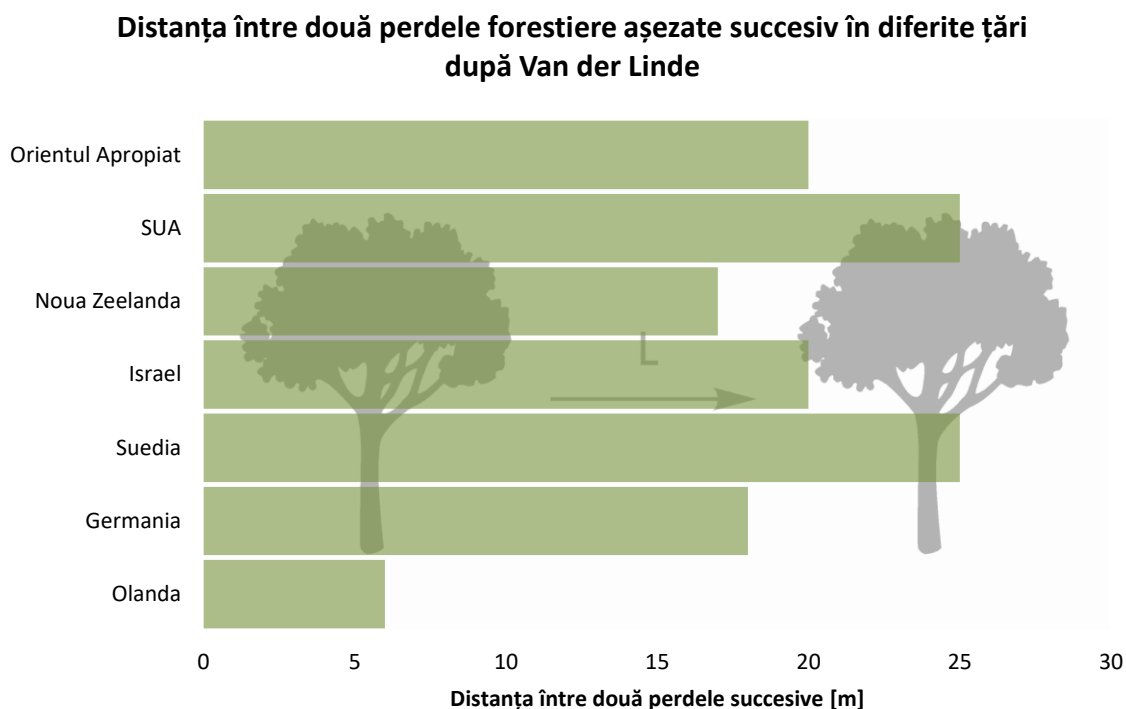


Fig. 1.4.12 - Recomandare privind așezarea perdelelor forestiere succesive
(sursa: prelucrare după Van der Linde, 1967)

1.5 MODEL DE CALCUL PENTRU COMBATEREA EROZIUNII SOLURILOR NISIPOASE

Pentru realizarea unei simulări numerice a fenomenului de antrenare a particulelor de nisip datorat vitezei aerului, s-a realizat într-o primă etapă o modelare în programul de calcul în element finit ANSYS FLUENT™. În acesta s-a simulat curgerea aerului peste un obstacol permeabil în interiorul unui model geometric. Astfel, ipoteza de calcul a fost aleasă pentru o curgere din mediul turbulent $k - \epsilon$ cu ecuații specifice acestui model foarte uzual folosit în calculele CFD (*Computational Fluid Dynamics*) (Wilcox, 2006; Gorman și colab., 2021). Geometria modelului este una foarte simplă, încadrată într-un dreptunghi cu latura mică având o lungime de 200 mm și latura mare o lungimea de 700 mm. La o distanță de 100 mm de intrare se găsește ecranul permeabil, având o înălțime $h = 40$ mm. Condițiile la limită pentru simulare sunt, pentru intrare (latura mică a dreptunghiului), o viteză constantă de 21 cm/s și pentru ieșirea din domeniul de calcul (latura opusă intrării) o presiune egală cu 0 (zero) atmosfere. Latura mare a dreptunghiului, cea de jos, a fost modelată ca o structură de tip "perete" cu condiția de no-slip activată ceea ce simulează rugozitatea terenului din zona de interes. Latura mare opusă acesteia este de tipul "simetrie" pentru a simula stratul atmosferic. De asemenea, pentru domeniul fluid s-a introdus valoarea densității

aerului $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ și vâscozitatea dinamică a aerului $\mu = 1,7894 \times 10^{-5} \text{ kg/(m s)}$. Obstacolului i s-a atribuit o permeabilitate de 40%. Domeniul de studiu poate fi observat în figura următoare (Fig 1.5.1):

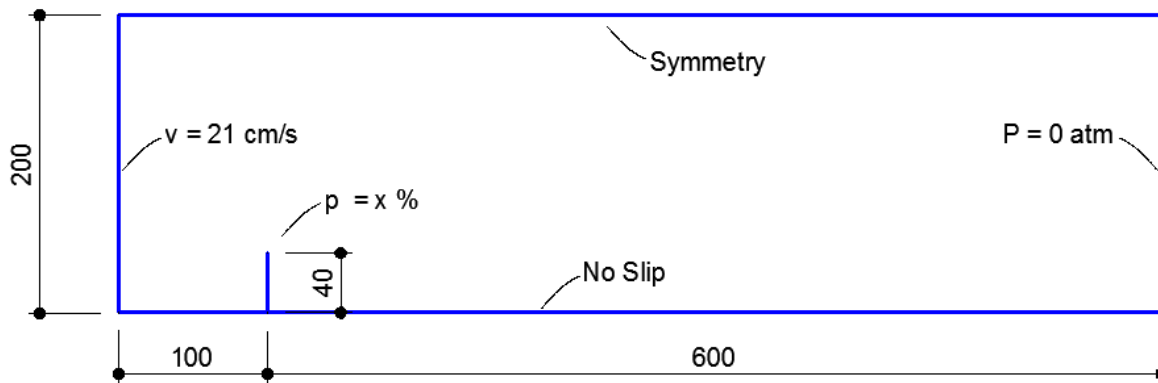


Fig. 1.5.1 - Geometria modelului

Pentru condiția la limită a ecranului s-a folosit tipul "porous jump" calculată cu formula:

$$\Delta p = - \left(\frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2 \right) \Delta m \quad (1.39)$$

unde:

μ este vâscozitatea fluidului;

α - permeabilitatea obstacolului (porozitatea);

C_2 - coeficient de pierdere de presiune;

v - viteza perpendiculară pe direcția obstacolului;

ρ - densitatea fluidului

Δm - grosimea obstacolului poros.

Mediul subțire poros are o grosime finită pe care se efectuează pierderea de presiune datorată unei combinații a legii lui Darcy și un termen adițional de pierdere a inerției.

În urma discretizării modelului a reieșit un număr de 259652 de celule și 260865 de noduri.

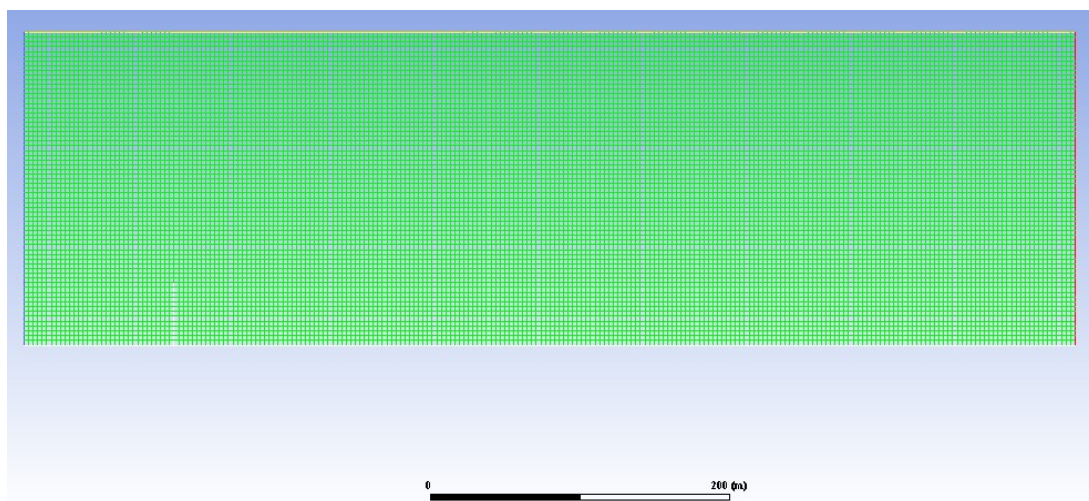
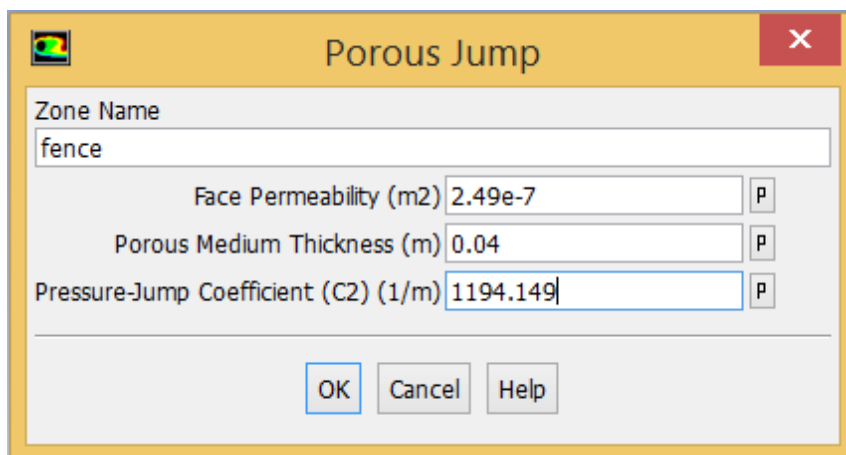


Fig. 1.5.2 - Discretizarea domeniului

După stabilirea modelului, geometric și discretizat, și setarea condițiilor de margine, s-a trecut la următoarea fază și anume calcularea numerică conform programului.

Valorile pentru condiția de margine porous-jump sunt următoarele:



1.6 REZULTATE ORIGINALE OBȚINUTE, VALIDARE

Rezultatele calculelor au fost trecute în imaginile de mai jos, care conțin un grafic cu câmpul vitezelor pe direcția x (direcția de curgere a aerului), de referință, pentru permeabilitatea obstacolului $p = 40\%$.

Velocity u
Contour 1

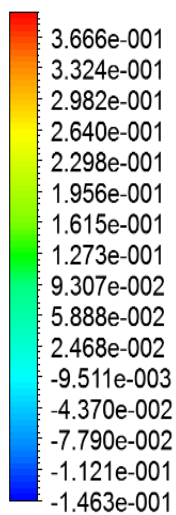


Fig. 1.6.1 – Viteza din domeniul analizat

vectorii vitezelor din interiorul curentului de fluid:

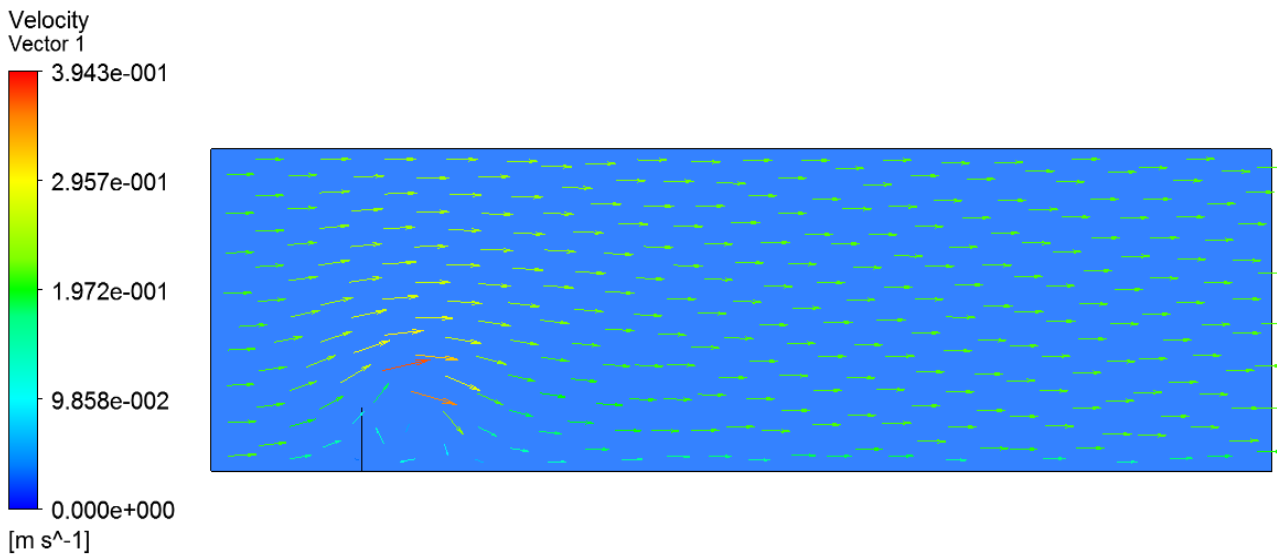


Fig. 1.6.2 – Vectorii de viteză din interiorul curentului de fluid

liniile de curent din domeniu:

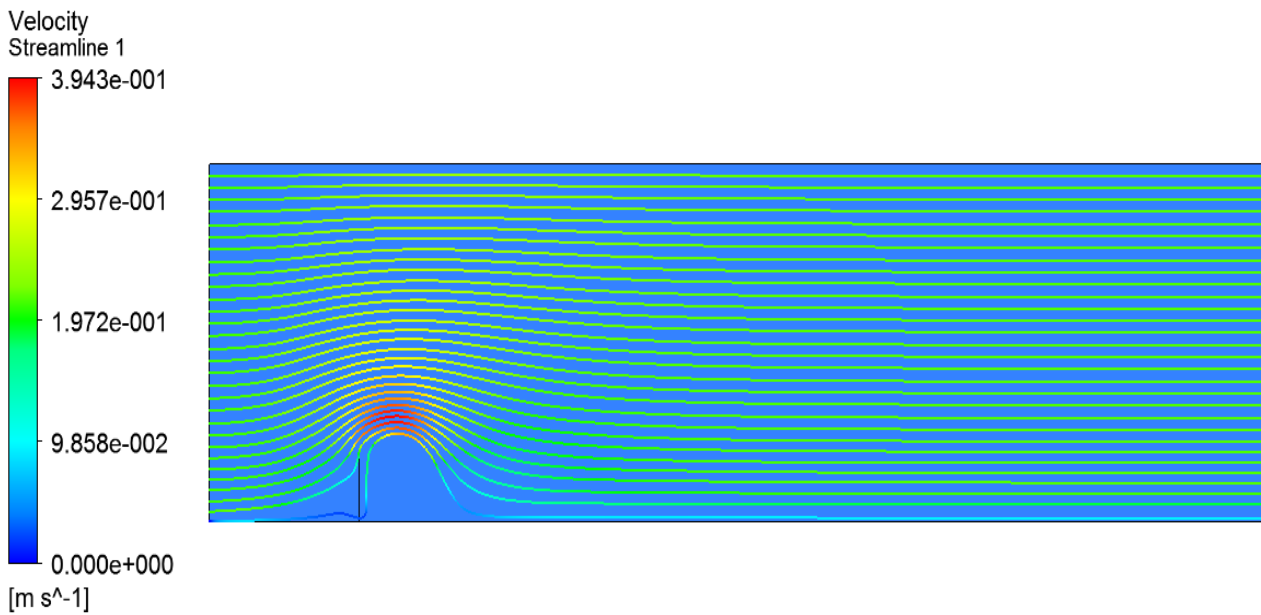


Fig. 1.6.3 – Liniile de curent

S-a realizat și profilul vitezelor după obstacol la o distanță de 150 mm aval de intrare, respectiv 50 mm aval de obstacol:

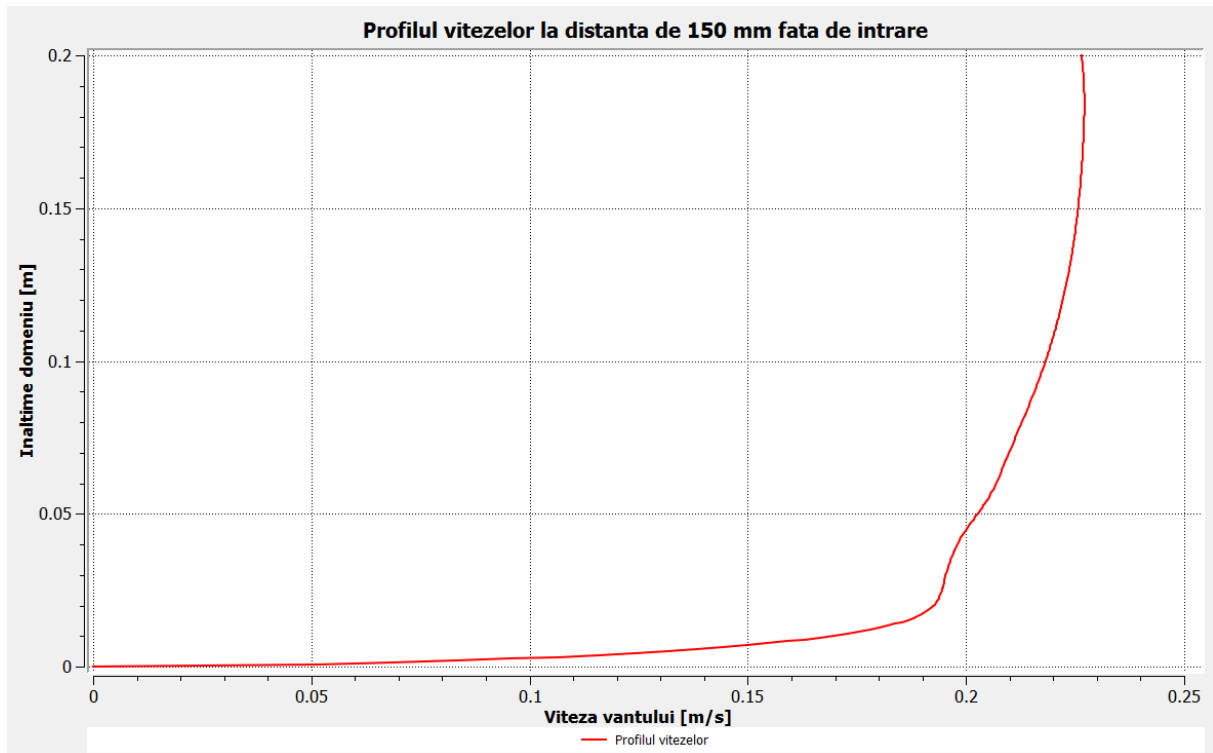


Fig. 1.6.4 – Profilul vitezelor la distanța de 150 mm față de intrare

S-a realizat și profilul vitezelor după obstacol la o distanță de 250 mm aval de intrare respectiv 150 mm aval de obstacol:

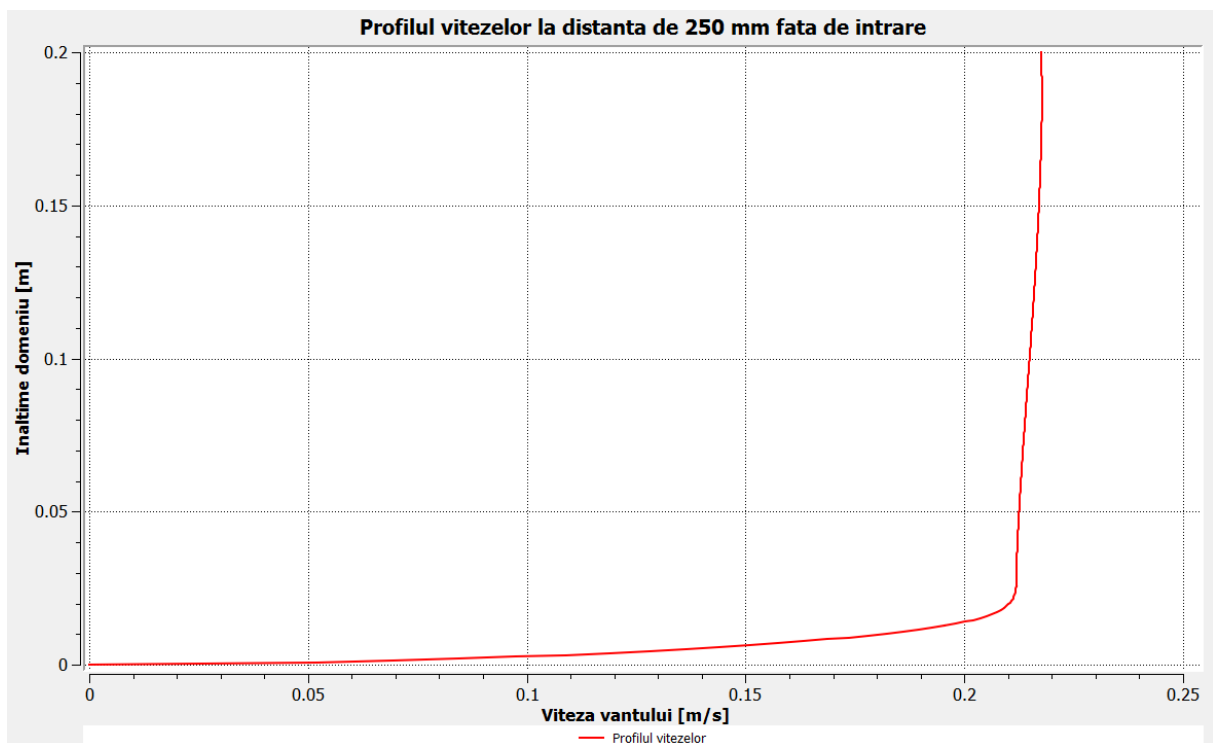


Fig. 1.6.5 - Profilul vitezelor la distanța de 250 mm față de intrare

După exportarea rezultatelor în formă grafică s-a observat că la distanța de 150 mm aval de ecran, la înălțimea de 0,02 m viteza are următoarea valoare: 0,21 m/s, adică o creștere cu aproximativ 10% față de distanța de 50 mm aval de obstacol unde viteza are valoarea 0,19 m/s.

Ținând cont de specificațiile din literatura de specialitate și măbind viteza de la intrarea în domeniu de 20 de ori, rezultă o valoare de 4,2 m/s la distanța de 50 mm aval de obstacol. Acest lucru înseamnă că viteza vântului va antrena particule de dimensiuni 0,1...0,25 mm.

1.7 COMENTARIILE ASUPRA REZULTATELOR

Eficiența ecranului de protecție cu porozitate de 40% se exercită asupra particulelor cu dimensiuni maxime de 0,25 mm pe o distanță de 150 mm, după această distanță valoarea vitezei de la suprafața nisipului va antrena particulele aflate la sol.

Rezultatele obținute pot fi folosite mai departe pentru amplasarea consecutivă a ecranelor de protecție la o distanță optimă pentru evitarea fenomenului de eroziune în zona de interes. Odată stabilită porozitatea ecranelor se poate trece în următoarea fază a studiului și anume stabilirea, din considerente atât tehnice cât și economice, a înălțimii ecranelor și a distanței de amplasare succesivă a acestora pentru diminuarea cât mai practică a eroziunii din zona de interes.