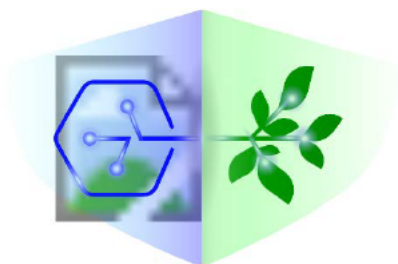


„PNRR: Fonduri pentru România modernă și reformată!”



DTEclimate

Digital Twin Earth Intelligence for Climate Changes

DTEClimate, ctr. nr. 760008/30.12.2022

D5-1.3. DIGITAL TWIN FOR VECTOR-BORNE DISEASES.

Prepared By	Ivănescu Larisa, Martinescu Gabriela, Andronic Lavinia	12.01.2026
	UNIVERSITATEA PENTRU ȘTIINȚELE VIEȚII “ION IONESCU DE LA BRAD” DIN IAȘI	Date:
Reviewed By	Acatrinei Dumitru	12.01.2026
		Date
Approved By	Miron Liviu Dan	12.01.2026
		Date

© **Restriction of Disclosure:** All rights reserved. No part of this document may be reproduced, in any form or by any means, without permission in written form by the DTEclimate Project Manager

„Conținutul acestui material nu reprezintă în mod obligatoriu poziția oficială a Uniunii Europene sau a Guvernului României”



USV 1842

„PNRR. Finanțat de Uniunea Europeană – Următoarea Generație UE”

<https://mfe.gov.ro/pnrr/>

<https://www.facebook.com/PNRROficial/>

Eroare! Nume proprietate document necunoscut.
DTEclimate, ctr. no. 760008/30.12.2022
5.1.3.

ID DTECLIMATE-VEBDISEASE-USV-5.1.3
Issue 1.2
Date 12.01.2026

DOCUMENT CHANGE RECORD

Issue	Date	Chapter	Change
1.0	30.06.2025	all	First version

„Conținutul acestui material nu reprezintă în mod obligatoriu poziția oficială a Uniunii Europene sau a Guvernului României”

D5-1.3. PREDICȚIA RĂSPÂNDIRII BOLILOR LA OAMENI/ANIMALE

În pofida cercetărilor ample desfășurate la nivel global și a deceniilor de eforturi dedicate controlului țânțarilor, aceștia continuă să reprezinte o problemă majoră de sănătate publică, care adesea pare lipsită de soluții definitive. În contextul încălzirii globale, asistăm la introducerea și stabilirea speciilor exotice de țânțari, precum și a bolilor transmise de aceștia, în regiuni anterior indemne. Totodată, intensificarea mobilității populației, fie prin creșterea volumului de călătorii internaționale, fie ca urmare a fenomenului migraționist, a favorizat emergența și reemergența unor boli vectoriale în teritorii noi, ilustrate de numărul tot mai ridicat de cazuri de malarie importată și de apariția recentă a focarelor de *Chikungunya*, *West Nile* și *Dengue*.

În acest context, descrierea dinamicii populațiilor de țânțari sub influența temperaturii devine un obiectiv esențial, menit să sprijine elaborarea politicilor de prevenire și control al infecțiilor transmise prin vectori. Modelele predictive trebuie să integreze o reprezentare concisă și riguroasă a mediului, incluzând interacțiunile dintre gazde și vectori, ceea ce presupune colectarea sistematică a datelor entomologice și epidemiologice.

Pentru a implementa acțiuni eficiente de monitorizare și control al vectorilor și bolilor vectoriale, este necesară utilizarea unor programe matematice în vederea realizării unor predicții privind evoluția dinamicii țânțarilor și a riscului transmiterii unor boli.

Astfel am realizat predicții pentru țânțarii din complexul *Culex pipiens*, ce reprezintă una din cele mai comune și adaptate specii de țânțari din România și de asemenea pentru virusul *West Nile*, o arboviroză deja cu extindere în România, care ridică din ce în ce mai multe probleme.

În contextul încălzirii globale ne-am propus și stabilirea riscului emergenței unei boli tropicale, în România și anume febra dengue, precum și dinamica populației unei specii invazive de țânțar *Aedes albopictus*.

De asemenea am stabilit riscul reemergenței malariei în România și dinamica populațiilor de țânțari din complexul *Anopheles maculipennis*.

1.1. Riscul emergenței febrei Dengue în România și stabilirea evoluției populațiilor de *Aedes albopictus*

Febra dengue este o boală vectorială tropicală, foarte importantă, studiile arătând că aproape jumătate din populația globului trăiește în zone cu risc de contaminare și cu tendințe de extindere. Rapoartele prezentate de OMS și alte autorități internaționale din domeniul sănătății, subliniază că schimbările climatice reprezintă unul dintre factorii principali care contribuie la răspândirea rapidă a febrei dengue (Oliveira, J.B.et al 2022).

Parteneriatul pentru controlul Dengue (PDC) a propus un proces de control a bolii, ce se poate realiza în trei etape: (1) o evaluare critică a acțiunilor de control al vectorilor folosite acum și a celor aflate în curs de dezvoltare, (2) Stabilirea de comun de acord a unor acțiuni existente care funcționează cel mai bine, și (3) stabilirea unor modalități de combinare a celor mai bune acțiuni de control al vectorilor, care au fost definite sistematic în acest proces, cu folosirea vaccinurilor împotriva febrei Dengue. Primul pas în această acțiune a fost făcut în 2013 la Washington, când PDC a convocat o reuniune a experților internaționali, pentru a evalua acțiunile și instrumentele existente pentru controlul vectorilor și a celor în curs de dezvoltare (Achee, N.L.;et al 2015; Bhatt S, et al 2013; WHO 2013). În lupta pentru controlul febrei Dengue, se urmărește integrarea eficientă a măsurilor entomologice în testele de utilizare a vaccinurilor pentru a ghida caracterizarea locului și măsurile de impact asupra bolii, (Lambrechts L,et al 2010) asocierea indicilor epidemiologici pentru a eficientiza controlul vectorilor, și

stabilirea unor măsuri de supraveghere a cazurilor de boală, deci impactul epidemiologic al folosirii vaccinurilor, raportat în permanentă la vector (WHO 2009).

Astfel pentru o prevenție eficientă a bolii în România, am stabilit riscul emergenței acestei boli în contextul încălzirii globale. În acest context am urmărit evoluția temperaturilor în România până în anul 2100, calculând de asemenea și riscul transmiterii virusului Dengue și dinamica speciei de țânțar *Aedes albopictus*, specie vectorială implicată în transmiterea virusului *Dengue*.

Temperaturile pot constrânge puternic din punct de vedere ecologic. Schimbările climatice prognozate pentru anotimpul de iarnă arată o creștere a temperaturilor medii minime în cel mai rece trimestru de iarnă, zilele cu îngheț sunt din ce în ce mai puțin frecvente; rezultate care se pare că sunt valabile pentru toată Europa.

O serie de modificări fiziologice și comportamentale, au fost raportate la țânțari în diferite condiții cum ar fi locurile de reproducere și temperaturile extreme. Repausul embrionar este procesul fiziologic care conferă viabilitate prelungită la indivizii care se confruntă cu condiții abiotice nefavorabile. Acest răspuns poate fi: diapauza și repausul.

Acestea sunt fenomene distincte și independente, deși ambele au același efect, întârzierea eclozării larvelor. Repausul este caracterizat de o întârziere metabolică rezultată din impactul direct al condițiilor nefavorabile de mediu. Procesul are loc atunci când embrionul s-a format deja în ou și primește influența unui stimul extern care semnalează condiții nefavorabile din mediu cum ar fi o scădere bruscă a umidității în mediu sau o creștere bruscă a temperaturii. Embrionul din interiorul oului, deși latent, este sensibil la stimulul de ecloziune, astfel încât contactul cu apă induce eclozarea rapidă a larvelor. În schimb, diapauza este programată genetic și este un proces mult mai complex, este un răspuns la modificarea mediului (cum ar fi fotoperioada) care precede debutul unor condiții nefavorabile.

Principala diferență dintre diapauză și repaus este aceea că în timpul diapauzei embrionul din interiorul oului rămâne latent și refractar la stimulii mediului. Când țânțarii sunt expuși la efecte nefavorabile ale factorilor abiotici, cum ar fi temperaturile scăzute sau absența prelungită a hranei, speciile care pot intra în diapauză vor supraviețui, în timp ce cele care nu au diapauză nu vor supraviețui. *A. albopictus* prezintă atât diapauză, cât și repaus, ceea ce face din aceasta specie una cu o importanță foarte mare din punct de vedere medical, fiind capabil să transmită foarte multe arbovirusuri.

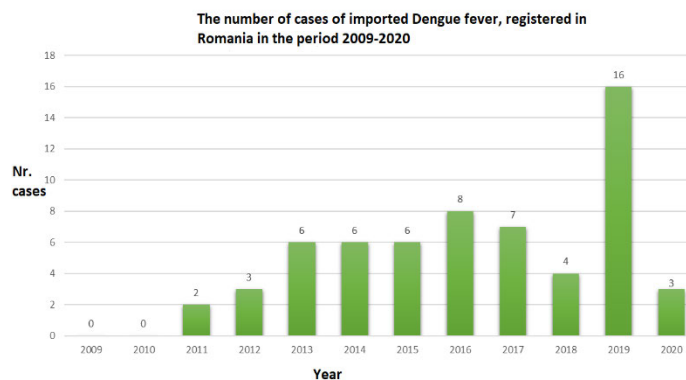


Figura 1 - Numărul de cazuri de import, înregistrate în România în perioada 2009-2020

În România, până în prezent, toate cazurile diagnosticate de febra dengue, au fost de import, în 12 ani luați în calcul, înregistrându-se 61 de cazuri, cu o creștere mare în 2019. Faptul că în fiecare an au fost cazuri diagnosticate de febra dengue, subliniază necesitatea primordială

de monitorizare a vectorului și a condițiilor climatice, în vederea prevenirii apariției cazurilor autohtone.

Trebuie avut în vedere că virusul dengue (DENV) poate provoca o serie de manifestări ca febră hemoragică dengue (DHF), febră dengue (DF) și sindromul șocului dengue (DSS), aproximativ 96 mil de oameni din cele peste 390mil cazuri diagnosticate, prezentând simptome clinice, cu atât mai grave când vorbim de o populație cu o lipsă totală de imunitate; gravitatea cazurilor fiind cu atât mai mare în rândul populației din țările nonendemice.

Astfel studiul a urmărit stabilirea riscului transmiterii febrei dengue în România, în condițiile existenței vectorului în natură și a existenței factorilor climatici favorabili.

Măsurarea parametrilor climatologici

Măsurarea temperaturii aerului s-a făcut în adăpostul meteorologic (Weather Shelter), la înălțimea de 2 metri deasupra solului, de patru ori pe zi la orele de observare (T_i), iar precipitațiile au fost înregistrate la înălțimea de 1,5 m, cu pluviometru, conform standardelor World Meteorological Organization (WMO). Măsurătorile au fost făcute de Administrația Națională de Meteorologie (ANM) (www.anm.ro) și raportate în European Climate Assessment and Dataset (Klein Tank et al. 2002).

Tablel 1 - Stații meteorologice

Region	Station ID	Station name (city)	Latitude North (degrees: minutes: seconds)	Longitude East (degrees: minutes: seconds)	Station elevation (m)
Moldova	951	IASI	+47:10:00	+027:37:59	102
	960	BACAU	+46:31:59	+026:55:00	184
	2056	BOTOSANI	+47:40:48	+026:40:12	161
	2059	GALATI	+45:30:00	+028:01:12	71
Muntenia	972	ROSIORI DE VEDE	+44:06:00	+024:58:59	102
	219	BUCURESTI-BANEASA	+44:31:00	+026:04:59	90
	220	BUZAU	+45:07:59	+026:51:00	97
	221	CALARASI	+44:12:00	+027:19:59	18
Oltenia	2060	RAMNICU VALCEA	+45:06:00	+024:22:12	239
	2061	CRAIOVA	+44:13:48	+023:52:12	192
	223	DROBETA TURNU SEVERIN	+44:37:59	+022:37:59	77
Dunăre	221	CALARASI	+44:12:00	+027:19:59	18
	967	TULCEA	+45:10:59	+028:49:00	4
	2059	GALATI	+45:30:00	+028:01:12	71
	223	DROBETA	+44:37:59	+022:37:59	77

		TURNU SEVERIN			
Transilvaniei	450	SIBIU	+45:48:00	+024:09:00	444
	217	ARAD	+46:07:59	+021:21:00	116
	222	CLUJ-NAPOCA	+46:46:59	+023:34:00	410

Pentru a obține date cât mai exacte asupra fenomenelor urmărite, s-au folosit rezultatele înregistrate de mai multe stații meteorologice din aceeași regiune; urmărindu-se dezvoltarea populațiilor de *Aedes albopictus* și capacitatea de replicare a virusului *Dengue* în interiorul țânțarului. În acest sens am împărțit România în cinci regiuni: Muntenia (cu stațiile din București-Băneasa, Roșiorii de Vede, Călărași, Buzău), Moldova (cu stațiile meteorologice din Botoșani, Iași, Bacău), Transilvania (cu stațiile Cluj-Napoca, Sibiu, Arad), Oltenia (Râmnic Vâlcea, Drobeta Turnu Severin, Craiova) și lunca Dunării (cu stațiile Călărași, Galați, Tulcea) (table 1).

Indicii bioclimatici

Pentru a putea preveni viitoare epidemii de dengue în România, este necesară, stabilirea condițiilor bioclimatice care pot cauza apariția focarelor de Dengue. În acest sens, am studiat modificările climatice în mai multe regiuni din România, pentru a putea stabili zonele de risc. În studiu am propus utilizarea indicilor bioclimatici pentru a estima perioadele propice pentru dezvoltarea populațiilor de țânțari *Aedes albopictus* și a perioadelor de incubare a virusului în interiorul vectorului.

Indexul perioadelor de creștere potențiale a țânțarilor *Aedes albopictus* (MPI)

Am introdus în studiul indexul perioadelor de creștere potențiale a țânțarilor *Aedes albopictus* (MPI) ca indicator al perioadelor potențiale de creștere ale țânțarilor în funcție de condițiile de temperatură. Acesta însumează toate perioadele lunare (MPI_m) necesare unei larve de țânțar să ajungă la maturitate:

$$MPI = \sum_{m=1}^{12} MPI_m$$

Aedes albopictus este o specie foarte sensibilă la variațiile termice, așteptându-se ca extremele unice de frig să persiste în scenariile de încălzire, ceea ce poate avea un impact foarte puternic asupra succesului reproducerii.

Studiile în laborator au arătat că pragul de temperatură cel mai scăzut, tolerat de ouăle de *Aedes albopictus*, a fost -10°C (12 și 24 h), ouăle fără diapauză ale speciei *Aedes albopictus* din Europa, eclozează după un tratament la -7°C la rece (8, 12 și 24 de ore de expunere)

Pragul de temperatură mai scăzut tolerat de ouăle europene de *Ae. albopictus* care au suferit o diapauză, a fost -10°C pentru expuneri de lungă durată (12 și 24 ore) și -12°C pentru expunere de 1 oră. Ouăle fără diapauză ale speciei *Ae. Albopictus* din Europa, eclozează după un tratament la -7°C la rece (8, 12 și 24 de ore de expunere).

Astfel că succesul ecloziunii după tratamentul la rece a fost semnificativ crescută la ouăle europene, care au suferit o diapauză în comparație cu ouăle fără diapauză. În natură

eclozarea ouălor de țânțari până la stadiul de adult au fost calculate în intervalul 10,5 - 36,8 °C, fiind o specie rezistentă cu capacitate de adaptare incredibilă, la noi condiții climatice.

Studiile arată că la temperaturi de 25°C până la 30°C, o femelă de *Aedes albopictus* poate depune aproximativ 70 de ouă la fiecare 3 zile, în zone ce pot servi ca adăpost, care conțin apă, cum ar fi cauciucurile vechi, găurile din pietre, diferitele containere, jgheaburi; ouăle fiind așezate izolat, putând rezista la perioade de secetă pentru mai multe luni, reluându-și evoluția la prima ploaie. Ciclul larvar durează în medie opt zile până a ajunge la stadiul de adult, a căror durată de viață este de 4-6 săptămâni.

În studiul de față am avut în vedere stabilirea populației de *Aedes albopictus*, din punct de vedere al riscului transmiterii virusului *Dengue*, calculând numărul de zile favorabile formării populației de țânțari, în condiții ideale cu temperaturi de minim 27°C (un ciclul complet de la ou la adult este de 7 zile) ce coincide și cu o perioadă favorabilă de replicare a virusului în interiorul țânțarului, acesta putând contamina gazda pe care se hrănește, producând boala. Indexul este important pentru a putea calcula numărul maxim posibil de ponte pe an în condițiile de temperatura locală ideală.

Indexul potențial de infestare cu virusul Dengue (PII)

Al doilea indice definit de noi este indicele potențial de infestare cu virusul Dengue (PII) care calculează perioadele maxime posibile de la infecția femelelor de țânțar până în prima zi în care acestea pot transmite virusul. Perioada anuală maximă posibilă este de 24 de ore la temperatura de peste 27°C. Indexul potențial de infestare cu virusul Dengue (PII) se calculează:

$$PII = \sum_{m=1}^{12} PII_m$$

Estimarea temperaturilor în 2100

În ultimii ani s-au dezvoltat mai multe modele de estimare a temperaturilor pentru următoarele decenii. Noi am simulat temperaturile medii zilnice pentru anul 2100 cu scopul de a prognoza modificările de temperatură față de perioada climatologică de referință din 1981-2000. Simulările au fost realizate pe baza scenariilor pe termen lung din Fifth Assessment Report (AR5) of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Seria modelelor „representative concentration pathways„ (RCPs) estimează modificarea concentrațiilor gazelor cu efect de sera în funcție de politicile pe care le vor implementa statele în următorii ani. Conform acestei abordări predicțiile se bazează pe două scenarii. Scenariul low (LS) care indica o creștere a temperaturilor, în emisfera Nordica, cu 1.5°C, dacă sunt luate măsuri dure de limitare a emisiilor de gaze cu efect de seră, și high scenariu (HS) în care temperaturile cresc cu 4.5 °C față de era preindustrială. HS va avea loc dacă nu sunt întreprinse acțiuni concrete de combatere a emisiilor de gaze cu efect de sera sau nu sunt implementate eficient (Kunkel et al. 2013; O'Neill et al. 2016).

Tabel 2 - Temperaturile și indicia climatici pentru 1991-2020 și estimarea pentru 2100

Region	Index	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Annual
Moldavian Plateau	T_{month} (average 1991-2020)	-1.9	0.2	5.1	11.4	16.8	20.8	22.6	22.0	16.7	10.6	5.3	0.0	10.8
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	-0.5	1.2	4.8	11.7	17.3	21.4	23.0	22.2	16.6	11.4	4.8	0.2	11.2
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	1.7	3.4	7.0	13.9	19.5	23.6	25.2	24.4	18.8	13.6	7.0	2.4	13.4
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	9	27	30	31	31	23	5	0	0	156
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	4
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	0	0	1	3	3	0	0	0	6
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	0	0	1	5	9	7	0	0	0	23
East of Romanian Plain	T_{month} (average 1991-2020)	-1.2	1.4	6.4	12.1	17.5	21.7	23.9	23.6	18.1	11.8	6.3	0.7	11.9
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	0.1	1.9	6.2	12.7	18.2	22.7	24.4	23.7	18.1	12.5	5.9	0.8	12.3
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	2.3	4.1	8.4	14.9	20.4	24.9	26.6	25.9	20.3	14.7	8.1	3.0	14.5
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	12	29	30	31	31	27	9	1	0	169
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	0	0	1	4	3	0	0	0	8
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	0	0	3	7	5	0	0	0	15
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	0	0	1	8	15	12	1	0	0	37
Oltenia Plain	T_{month} (average 1991-2020)	-0.2	2.1	6.9	12.6	17.4	21.4	23.5	23.3	18.0	12.0	6.5	1.2	12.1
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	0.8	2.8	6.8	12.8	18.0	22.3	24.0	23.7	18.1	12.8	6.3	1.5	12.5
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	3.0	5.0	9.0	15.0	20.2	24.5	26.2	25.9	20.3	15.0	8.5	3.7	14.7
	MPI_m (1991-2020)	0	0	1	13	28	30	31	31	27	10	1	0	171
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	0	0	1	4	4	0	0	0	9
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	0	0	2	5	6	0	0	0	13
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	0	0	1	7	13	12	1	0	0	34
Danube Valley	T_{month} (average 1991-2020)	-0.2	2.0	6.7	12.4	17.8	22.1	24.3	23.8	18.4	12.3	7.0	1.6	12.4
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	0.9	2.6	6.3	12.8	18.4	22.7	24.6	23.9	18.4	13.0	6.6	1.7	12.7
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	3.1	4.8	8.5	15.0	20.6	24.9	26.8	26.1	20.6	15.2	8.8	3.9	14.9
	MPI_m (1991-2020)	0	0	1	12	29	30	31	31	28	10	1	0	173
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	0	0	2	4	4	0	0	0	10
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	0	0	2	6	6	0	0	0	14
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	0	0	1	8	16	12	1	0	0	38
Transylvania	T_{month} (average 1991-2020)	-1.7	0.6	5.2	11.1	15.8	19.5	21.2	20.9	15.7	10.3	5.1	-0.1	10.3
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	-0.8	0.6	4.9	11.0	16.1	19.8	21.3	21.1	15.8	10.8	5.1	0.1	10.5
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	1.4	2.8	7.1	13.2	18.3	22.0	23.5	23.3	18.0	13.0	7.3	2.3	12.7
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	9	23	30	31	30	21	5	0	0	149
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	3
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	0	0	0	2	4	4	0	0	0	11

Calcululele matematice utilizate de noi, arată că, în condițiile în care se iau măsuri drastice pentru limitarea emisiilor de gaze cu efect de seră,, temperaturile vor înregistra o creștere până

în 2100 cu 0,4°C, în regiunea Moldovei (Scenariul scăzut - LS) și vor crește cu 2,6°C (Scenariul ridicat - HS) dacă aceste acțiuni specifice nu vor fi luate, sau nu vor fi luate efficient. Virusul Dengue se va replica în interiorul vectorului, stabilindu-se un sezon de transmitere din iulie până în septembrie în condiții LS, iar din iunie până în septembrie cu o creștere a numărului de zile, în condiții HS, față de perioada actuală, când până în 2020 cel mai mare interval favorabil replicării virusului s-a înregistrat de cinci ori.

Pentru Câmpia Română se estimează o creștere a temperaturilor în LS cu 0,4°C și cu 2,6°C în HS până în 2100, dar cu o creștere a perioadei de replicare a virusului din iunie până în octombrie în HS, și din mai până în septembrie în LS.

Aceeași schimbare de temperatură se poate observa și în regiunea Oltenia, cu o prelungire a riscului transmiterii virusului în luna octombrie, în HS.

În Delta Dunării se observă o creștere a temperaturilor până în 2100 în LS cu 0,3°C și în HS cu 2,5°C, iar riscul transmiterii virusului Dengue crește la 38 de perioade favorabile din iunie până în octombrie în HS.

În Transilvania, temperatura va crește cu 0,2°C în LS și cu 2,4°C în HS până în 2100, cu un risc al transmiterii virusului de 6 ori în perioada iulie-septembrie (table 2).

În ceea ce privește perioadele favorabile dezvoltării populațiilor de *Aedes albopictus*, se poate observa că în Valea Deltei Dunării și în Oltenia din luna martie până în noiembrie a existat cel puțin o perioadă favorabilă dezvoltării unui ciclu complet de la ou la adult.

Perioada de la ingestia sângelui infectat cu virusul Dengue, până când boala poate fi transmisă de o femelă de țânțar din genul *Aedes*, (perioada de incubație extrinsecă, EIP) este un factor foarte important în stabilirea capacității vectoriale și a ratei de transmitere a virusului; prin urmare nu este suficient ca virusul să fie prezent în interiorul țânțarului, el trebuie să aibă o perioadă de replicare suficientă, pentru a reuși să producă boala. Precizăm că calculele au fost făcute în condițiile ideale de înregistrare a unor temperaturi de minim 27°C, 7 zile consecutiv, subliniind ca informațiile obținute, reprezintă perioade sigure de transmisie a virusului Dengue, perioade în care ar trebui să se ia măsuri drastice de control a populației de *Aedes albopictus*.

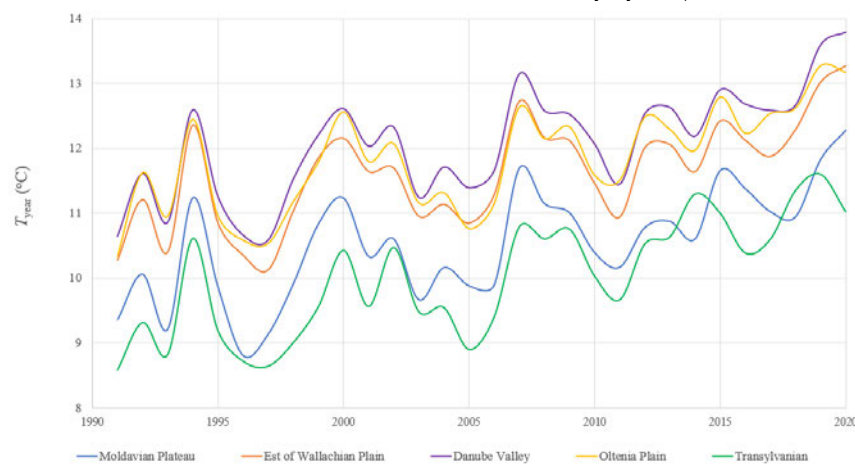


Figura 2 - Temperaturile înregistrate în România în perioada 1990-2020

Temperaturile medii anuale înregistrate în stațiile meteorologice din România, în perioada 1990-2020, cunosc o creștere constantă după anul 1991 (Fig.). Recordurile de temperatură au fost înregistrate în anii 2019-2021, anii care s-au dovedit la fel de importanți la nivel mondial, cu un impact important asupra oceanelor, atmosferei, criosferei și temperaturii de suprafață a planetei. În anul 2021 la nivel mondial, a fost cea mai caldă vară din emisfera nordică

(iunie, iulie și august) înregistrată pe pământ, împreună cu valuri de căldură extreme, incendii și precipitații.

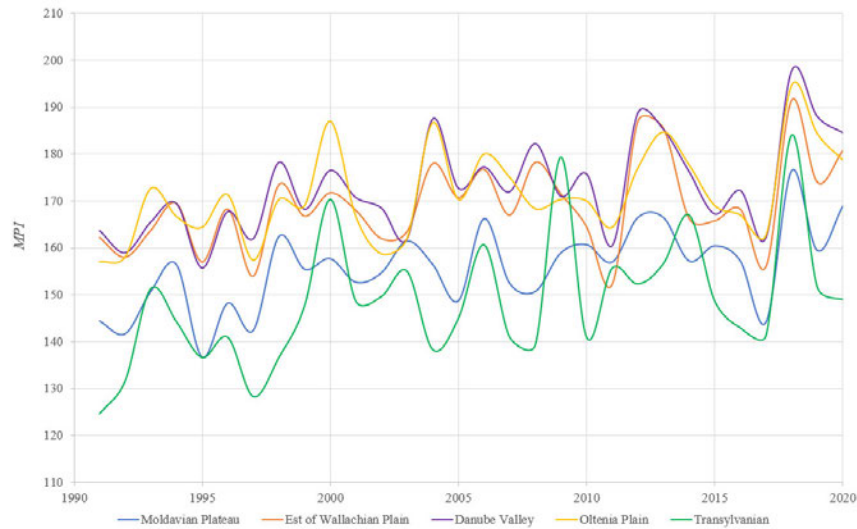


Figura 3 - Dezvoltarea populațiilor de *Aedes albopictus*

În graficul din fig.3 se poate observa o creștere a perioadelor favorabile dezvoltării populației de *Aedes albopictus*, în 2019 înregistrându-se aproape 200 de zile favorabile evoluției ciclului biologic, în același an înregistrându-se un număr record de cazuri de import de febra *Dengue*. Se semnaleză astfel necesitatea monitorizării permanente a populației de țânțari, dar și asocierea evoluției factorilor climatici, în vederea înapririi acțiunilor de control al vectorului și pregătirea cadrului medical în eventuala apariție a cazurilor autohtone. Rezultatele influenței factorilor climatici asupra dezvoltării populației de vector, cât și a riscului replicării virusului în interiorul vectorului, arată o modificare favorabilă ambelor procese luate în calcul, impunându-se implementarea unor programe de monitorizare și control riguroase.

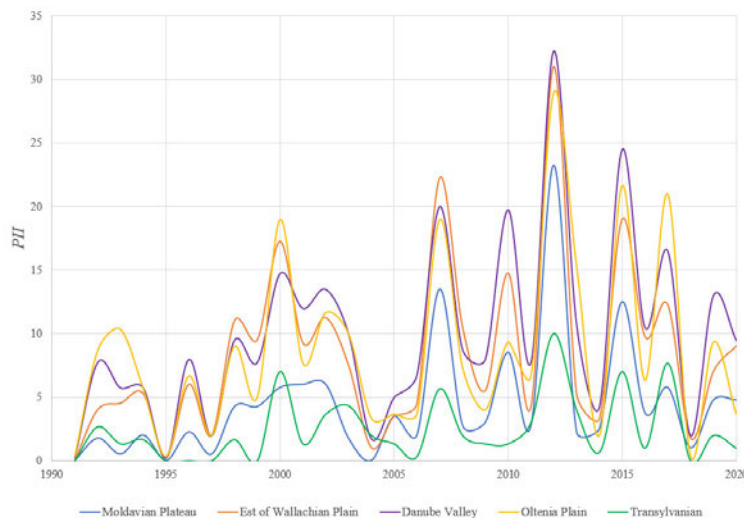


Figura 4 - Perioadele replicării virusului dengue în interiorul țânțarului

Un studiu studiu, efectuat de Liu Z. et al în 2017, prin infecția experimentală a *Ae. albopictus*, cu virusul dengue 2 (DENV-2) și expunerea apoi la temperaturi constante (18, 23, 28 și 32 °C) și o temperatură fluctuantă (28-23-18°C); a demonstrat că la 18°C, virusul s-a dezvoltat lent în intestinul mijlociu al vectorului, fără răspândirea acestuia în glandele salivare. La temperaturile 23 și 28°C, virusul a fost detectat în glandele salivare și ovare la 10 zile post infecție. Ratele de diseminare, infecție și transmitere la oameni a fost mai mare la 27°C,(7-8 zile) comparativ cu 23°C, la această temperatură cantitatea virusului în glandele salivare poate produce boala la om. La temperatura de 32°C, perioada de incubație a virusului *Dengue* în interiorul țânțarului a fost doar de 5 zile. Am calculat evoluția riscului de transmitere a virusului dengue din 1990 până în 2020 ținând cont de perioadele anului în care s-au înregistrat 7 zile consecutive cu temperaturi peste 27°C. Totuși, până în anul 2100, în condiții de Scenariu Înalt, perioadele care asigură transmiterea virusului dengue prin replicarea și concentrarea acestuia la nivelul glandelor salivare se vor tripla în toată țara.

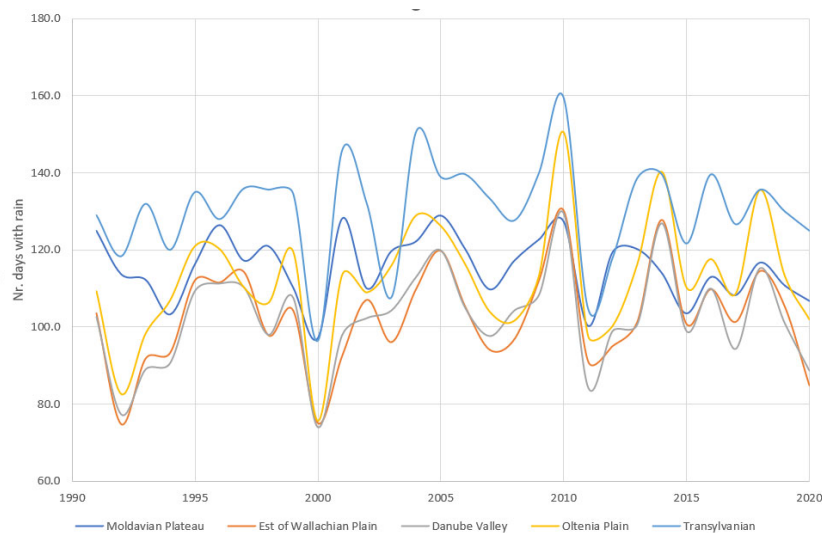


Figura 5 - Zile cu precipitații în perioada 1990-2020

În timp ce temperatura influențează reproducerea, maturarea și rata mortalității țânțarilor, precipitațiile conduc la formarea de locuri de reproducere pentru larve și pupe. Așadar, studiile sugerează că ploile de iarnă pot determina ecloziunea ouălor de țânțari înainte de primăvară, ceea ce ar putea duce la moartea larvelor ca urmare a temperaturilor scăzute. În graficul din Figura 7 reprezintă numărul de zile cu precipitații, în toate zonele țării în care au fost calculate temperaturile. *Aedes albopictus* este o specie care are nevoie de apă pentru ecloziunea ouălor, dar dacă au loc precipitații iarna, larvele eclozate nu supraviețuiesc. În graficul reprezentat se poate observa că un număr mai mare de zile cu precipitații s-a înregistrat în zona Moldovei, zona situată în partea de nord-est a României, zonă în care nu a fost semnalată actuala specie *Aedes albopictus*. Se pare că chiar dacă avem anotimpuri ploioase favorabile eclozării ouălor, temperaturile mai ridicate sunt mai importante, necesare dezvoltării celorlalte etape de dezvoltare. Ouăle de *Aedes albopictus* sunt foarte rezistente la secetă, ceea ce permite supraviețuirea în condiții de secetă și dezvoltarea populațiilor mari atunci când factorii climatici sunt favorabili.

Detectarea speciei *Aedes albopictus* în noi locații, este un semnal de alarmă cu privire la necesitatea introducerii unor programe obligatorii de monitorizare și control pentru populația *Aedes* în contextul încălzirii globale, întrucât există riscul apariției bolilor vectoriale transmise în România. Temperaturile pot fi o constrângere ecologică puternică. Schimbările climatice prognozate pentru sezonul de iarnă arată o creștere a temperaturilor minime medii în cel mai rece trimestru de iarnă, zilele geroase devenind mai puțin frecvente; rezultate care par a fi valabile pentru întreaga Europă .

În Delta Dunării și estul Câmpiei Române, din punct de vedere al temperaturilor, populațiile de *Aedes albopictus* se pot dezvolta din martie până în noiembrie, dar virusul dengue se poate replica în glandele salivare și poate produce boala în timpul hrănirii femelei de țânțar, doar în lunile iulie, august și septembrie, mai ales în august. Dar până în anul 2100 în HS, perioada de risc de transmitere a virusului crește la 5 luni pe an, din iunie până în octombrie.

Aceste rezultate oferă detalii importante pentru a ghida mai bine programele de supraveghere și control a populației de *Aedes albopictus*; având de asemenea o importanță semnificativă pentru sănătatea publică ca punct de referință pentru prezicerea apariției febrei dengue în România.

Până în prezent, au fost efectuate numeroase studii privind distribuția globală a cazurilor de dengue umană, dar distribuțiile împreună cu speciile de vector-cheie nu au fost pe deplin încorporate în aceste eforturi de cartografiere. Este primordială necesitatea unor astfel de studii în condițiile în care schimbările climatice ar putea produce schimbări de distribuție care, deși nu sunt masive, vor avea implicații semnificative pentru sănătatea publică la nivel mondial. Utilizarea modelului ROC și RCP sunt preferate la nivel internațional în stabilirea influenței schimbărilor climatice asupra distribuției bolilor transmise prin vectori, cum ar fi dengue.

Majoritatea datelor existente sunt conținute în baze de date instituționale, naționale și chiar personale de cercetare și nu sunt disponibile pentru comunitatea mai largă, astfel încât realizarea mai multor studii folosind astfel de modele și corelarea rezultatelor ar permite obținerea unei imagini globale a distribuției febrei dengue, raportată la vectorul *Ae. albopictus*.

Un studiu realizat în 2019, folosind proiecțiile geospațiale ale unui model mecanic de transmisie dependent de temperatură, a investigat schimbările sezoniere, geografice și ale populației de *Ae. albopictus*, și riscul de transmitere globală a virusului odată cu încălzirea climatului până în 2080, arătând că cele mai mari creșteri ale populației sunt proiectate în mod constant în Europa. Răspunsul actual pentru a reduce emisiile de carbon și a menține temperaturile sub ținta de încălzire de 2°C, fiind insuficiente, modele precum cele utilizate pot fi utile ca mijloc de anticipare a riscului de transmitere determinat de temperatură și a posibilelor schimbări climatice viitoare, în funcție de gradul de atenuare realizat.

Perioada de la ingestia sângelui infectat cu virusul dengue până când boala poate fi transmisă de o femelă de țânțar *Aedes* (perioada de incubație extrinsecă, EIP) este un factor foarte important în determinarea capacității vectorului și a ratei de transmitere a virusului; de aceea nu este suficient ca virusul să fie prezent în interiorul țânțarului, acesta trebuie să aibă o perioadă de replicare suficientă pentru a putea produce boala. Menționăm că aceste calculele s-au făcut în condiții ideale de înregistrare a temperaturilor de cel puțin 27°C timp de 7 zile consecutive, subliniind că informațiile obținute reprezintă perioade sigure de transmitere a virusului Dengue, perioade în care ar trebui luate măsuri drastice pentru controlul populației de *Aedes albopictus*.

Studii similare au arătat că *Ae. albopictus* poate transmite febra dengue cu încărcături virale similare în saliva țânțarilor, la 28°C, subliniind importanța majoră a temperaturilor în riscul apariției focarelor dengue și necesitatea monitorizării permanente a cazurilor de dengue legate de factorii climatici.

În România nu există un program de monitorizare și control al vectorilor și al bolilor transmise prin vectori, având în vedere până acum că factorii climatici nu au favorizat transmiterea virusurilor. Cu toate acestea, cazurile de neuroinfecție cauzate de infecția West Nile au crescut foarte mult, cu un record în 2018. *Aedes albopictus* este o specie antropofilă care se hrănește în timpul zilei, cu un ciclu biologic foarte diferit de cel al genului *Culex*, care este implicat în transmiterea virusului West Nile; răspândirea acestei specii invazive în noi teritorii trebuie luată în considerare atunci când vorbim despre West Nile. În plus, ca urmare a intensificării călătoriilor intercontinentale, numărul cazurilor importate de febră dengue a crescut în România în ultimii ani, făcând obligatorie introducerea unor programe de monitorizare a vectorilor și a bolilor transmise prin vectori. Studiul vine cu un semnal de alarmă în acest sens, demonstrând schimbarea climei și în România, cu un impact foarte important asupra transmiterii bolilor vectori tropicale. Pentru prevenirea și controlul unei epidemii de febră dengue este obligatorie monitorizarea permanentă a populației de țânțari, diagnosticarea rapidă a cazurilor de boală și, foarte important, ambele legate de evoluția factorilor climatici.

Concluzii

Încălzirea globală și creșterea călătoriilor intercontinentale prezintă un risc de apariție a bolii în România, febra dengue fiind una dintre ele. Creșterea temperaturilor mărește astfel aria geografică a vectorului, crește numărul de probe de sânge, crește ratele de reproducere și scurtează perioada de incubație a agentului patogen în interiorul vectorului.

Pentru ca o boală să devină emergentă pe un anumit teritoriu, trebuie să coexiste 3 factori: a. existența agentului patogen în natură; b. existența vectorului în natură; c. existența unor factori climatici favorabili dezvoltării vectorului și a agentului patogen din cadrul acestuia.

Am realizat o extrapolare a evoluției temperaturii pentru anul 2100, folosind modelul matematic, sugerând progresia unor condiții favorabile pentru dezvoltarea vectorului *Aedes* și a virusului dengue în interiorul acestuia. Extrapolarea temperaturilor pentru anul 2100 arată o creștere a temperaturilor cu 2,6°C în HS și 0,4°C în LS. Deci în România avem vectorul *Aedes albopictus* în continuă răspândire, avem cazuri anuale de import de febra dengue și avem condiții climatice favorabile. Riscul de epidemii de dengue în România este în continuă creștere.

Potrivit unui studiu realizat în 2021, care a făcut o predicție pentru următorii 30 de ani, acesta a arătat că 68% din continentul european va deveni favorabil dezvoltării *Ae. albopictus*, inclusiv majoritatea insulelor britanice, Irlanda și zonelor sudice ale țărilor scandinave.

Combinarea modelelor spațiale mai mari cu modele la scară mai mică de rate de atac sau dimensiunea focarelor este esențială pentru stabilirea unui consens și dezvăluirea diferențelor și asemănărilor dintre toate modelele disponibile prin transparența având o importanță majoră în obținerea unei realități globale.

Zonele urbane dens populate favorizează apariția țânțarilor prin efectul de seră, amplificând efectele schimbărilor climatice odată cu creșterea temperaturilor urbane și prin asigurarea unor locuri de reproducere pentru țânțari în containere, apă artificială și irigații. Așa că măsurile de combatere a țânțarilor ar trebui intensificate în zonele urbane și întotdeauna legate de factorii climatici, mai ales în orașele mari unde au fost raportate cazuri de dengue din import. Insula Mare a Brăilei este o insulă de pe fluviul Dunărea din județul Brăila, România, care are aproximativ 5.000 de locuitori, dar cu habitat ideal pentru populațiile de *Ae. albopictus*. Fiind o zonă turistică, oferind locuri de pescuit, aici vin oameni din toată țara, reprezentând o sursă de diseminare în teritoriu. Rezultatele studiului nostru subliniază necesitatea introducerii obligatorii a programelor de monitorizare a populației de *Aedes albopictus* în fiecare județ.

Identificarea speciei *Ae. albopictus* într-o zone noi arată capacitatea acestei specii invazive de a se răspândi rapid și necesitatea monitorizării continue pentru a preveni apariția focarelor dengue, dacă vectorul se răspândește în zone precum orașul Iași. Acest oraș este unul dintre cele mai importante centre de educație și cercetare ale țării cu mulți studenți străini care provin din zone endemice pentru febra dengue.

1.2. Riscul apariției focarelor de West Nile în România, ca rezultat al încălzirii globale și stabilirea evoluției populațiilor de *Culex spp.*

Agenții patogeni transmiși de țânțari afectează deopotrivă animalele și oamenii, bolile vectoriale zoonotice fiind mult mai greu de gestionat odata instalate într-un anumit teritoriu, mai ales când rezervorul în natură este reprezentat de animalele sălbatice (Tolle, M.A., 2009).

Incidența bolilor transmise de țânțari variază geografic, timpul de transmitere putându-se schimba ca răspuns la interacțiunea constantă dintre agenții patogeni, gazde, vectori și mediul înconjurător (L. Gangoso et al 2020). Emergența sau reemergența și răspândirea bolilor transmise de țânțari sunt de obicei legate de modificări în distribuția vectorilor lor principali, fie ca urmare a introducerii lor accidentale, fie a modificărilor condițiilor predominante de mediu (Ebi KL 2013). În Europa cazurile de West Nile la om au apărut mai frecvent în anii când s-au înregistrat anomalii ale temperaturilor cu temperaturi extreme (J.A. Patz et al 1996, M. Bouzid et al 2014; Tran și colab., 2014; W.J. Tabachnick 2016). Factorii climatici, combinat cu alți factori, cum ar fi creșterea populației, a numărului de animale, comerțul global, călătoriile, urbanizarea și schimbarea destinației terenurilor, cresc riscul introducerii unor noi boli în Europa (J.A. Patz et al 1998; S. Naish et al 2014; Matthew J. Watts et al 2021).

În ultimele decenii, au apărut noi riscuri asupra sănătății în Europa, în special odată cu apariția recentă a bolilor transmise prin vectori cum ar fi Chikungunya, Virusul West Nile, Dengue și febră hemoragică Crimeea-Congo (Tabachnick W. 2010, P.J. Hotez 2016, O. Olesen 2017). Virusul West Nile (WNV) este un agent patogen zoonotic re-emergent ce reprezintă o amenințare atât pentru sănătatea umană, cât și pentru cea animală (Ometto T et al. 2013).

Boala a luat numele de la districtul West Nile din Uganda, care a raportat primele cazuri în 1937. Până la începutul anilor 1990, focarele de virus West Nile au rămas în Africa și părți ale Asiei și Europei - mai ales în bazinul mediteranean. Apoi, virusul a început să se răspândească în Europa de Est și, în cele din urmă, în 1999 au apărut primele cazuri recunoscute oficial de virus West Nile în New York. Cu toate acestea, unii cercetători sugerează că este posibil ca virusul să fi ajuns în America de Nord cu un an mai devreme, deși a rămas nedetectat până în 1999. Mulți oameni de știință au susținut de atunci că schimbările climatice sunt cel mai semnificativ factor care contribuie la răspândirea virusului West Nile în SUA și în întreaga lume. În prezent, Agenția pentru Protecția Mediului din SUA consideră virusul West Nile drept indicator al schimbărilor climatice. În 2015, prof. Shlomit Paz – un climatolog și specialist în schimbări climatice și șef al Departamentului de Geografie și Studii de Mediu de la Universitatea din Haifa din Israel – a efectuat o revizuire a literaturii existente care leagă schimbările climatice de schimbările în modelele de răspândire ale Virusul West Nile. Condițiile meteorologice au influențe directe și indirecte privind competența vectorială (capacitatea de a dobândi, menține și transmite virusul), asupra dinamicii populației vectoriale și asupra ratei de replicare a virusului în țânțar, care sunt în mare parte dependente de vreme. Importanța factorilor climatici (temperatură, precipitații, umiditate relativă și vânturi) ca factori în epidemiologia WNV este în creștere în condițiile schimbărilor climatice (Shlomit Paz 2015).

În Europa, a existat o extindere marcantă a focarelor de WNV în ultimele decenii, provocând peste 2000 de cazuri simptomatice doar în 2018 (Zia Farooq et al 2022).

În Europa, frecvența, intensitatea și aria geografică a focarelor de virus West Nile (WNV) a crescut în ultimul deceniu, de 7,2 ori în 2018 față de 2017 și cu o zonă geografică considerabil extinsă față de 2010. Motivele acestei creșteri și extinderea ariei rămân în mare parte necunoscute ca urmare a complexității căilor de transmitere și a factorilor care stau la baza bolii (Zia Farooq et al 2022). În 2018, în sudul și centrul Europei a fost înregistrat cel mai mare focar de WNV, cu 2083 de cazuri umane raportate și 181 de deces. Rata mortalității în rândul acestor infecții a fost de 9%. Mai mult decât atât, în lunile de vară ale anului 2018, mai mult decât în mod normal a fost detectată o prevalență ridicată a virusului în populațiile de țânțari și păsări (Epidemiological Update 2018, Giovanni Marini et al 2020).

Un studiu realizat în România de Corneliu Petru Popescu et al în 2018, pentru perioada 2012- 2017 arată o creștere a cazurilor severe de West Nile, astfel cel mai afectat grup a fost > 65 de ani cu o creștere semnificativă a ratei mortalității în ultimii doi ani: 20,4% în 2016 (93 de cazuri cu 19 decese) și 21,2% în 2017 (66 de cazuri cu 14 decese). Cele mai mari rate ale mortalității au fost înregistrate în București – 33,3% în 2016 (18 cazuri și 6 decese) și 35,3% în 2017 (17 cazuri și 6 decese), cu o medie de vârstă pentru pacienții decedați de 75,5 ani (limite 52–86 ani), toți având boli de bază multiple. Cele mai frecvente simptome clinice au fost febra (97,9%), cefalee (91,5%) stare generală alterată (84,8%) și rigiditategât (70,2%) cu semn Kernig sau Brudzinski pozitiv (65,9%), somnolență (65,9%), confuzie (65,9%) și obtuzia (46,8% cazuri). Disfuncția cerebrală a evoluat spre comă în 46,8% cazuri. Deși cercetătorii au identificat deja mulți dintre factorii climatici care influențează răspândirea virusului West Nile, în general sunt de acord că în prezent este dificil de estimat modul în care această boală infecțioasă va afecta în anii următori. Asta pentru că încă lipsesc multe date și există prea multe variabile de luat în considerare. Cu toate acestea, cercetările publicate anul trecut în jurnalul CDC, Emerging Infectious Diseases, au ajuns la concluzia că, cel mai probabil, virusul West Nile va continua să fie un risc major pentru sănătate pentru majoritatea populației S.U.A. estimându-se că aproape 98% din populație rămâne vulnerabilă la infecția. Prof. Paz a subliniat necesitatea consolidării eforturilor de control al virusului West Nile și a efectului asupra sănătății populației în contextul impactului actual și viitor al schimbărilor climatice, ce ar trebui să includă monitorizarea și supravegherea în mod regulat; procese de evaluare a riscurilor, care sunt adaptate la diferite condiții climatice și de mediu, precum și pentru populații din diferite niveluri socioeconomice; schimbul de date și informații și colaborare între regiuni și țări; pregătirea sistemului de sănătate pentru posibile focare; și educație care crește gradul de conștientizare a publicului, în special cu privire la prevenirea mușcăturilor de țânțari. Un raport publicat în 2008 în revista Nature a constatat că infecțiile transmise prin vectori au reprezentat aproximativ 30% din toate bolile infecțioase emergente în deceniul precedent.

Mai mulți factori abiotici și biotici sunt considerați a fi determinanții epidemiologici pentru virusul West Nile. Factorii abiotici sunt reprezentați de caracteristicile fizice ale mediului, inclusiv condițiile meteorologice precum temperatura și precipitațiile, caracteristicile reliefului și utilizarea terenului, temperatura jucând un rol cheie în modularea activității WNV în Europa. Factorii biotici sunt cei care includ gazda virusului WNV, păsările. Populația speciilor de păsări poate varia în susceptibilitatea lor la infecția cu WNV (Shlomit Paz 2013).

Factorii climatologici

Iernile din ce în ce mai calde permit vectorilor țânțari să-și extindă perioada de reproducere și supraviețuiesc în timpul iernii, fie în stadiul de ou, fie ca femele adulte care ierneză. Condițiile meteorologice și factorii climatici putând afecta, de asemenea și competența vectorului [S. Paz et al 2013]. Temperaturile de iarnă cuprinse între 2°C și 6°C au reprezentat

unul dintre cei mai puternici predictorii ai infecțiilor anuale cu virusul West Nile; o posibilă explicație pentru acest rezultat este că iernarea cu succes a țânțarilor adulți infectați (probabil *Culex pipiens*) este cheia pentru intensitatea focarelor din anul următor. Studiile arată că titrul virusului West Nile este mult mai ridicat la femelele de țânțari infectate și incubate la 22-30°C, decât cele ținute la 14-18°C, subliniind rolul esențial al factorilor climatici în apariția focarelor de West Nile (William K. Reisen, et al 2006). Pericolul deosebit al unui focar de virus West Nile este că în prezent nu există tratamente specifice. Femelele de țânțari ținute la 14° C transmit virusul pentru prima dată la 36 de zile post infecție, în timp ce femelele ținute la 18° C au transmis pentru prima dată la 22 zile post infecție. În schimb, femelele ținute la 26 și 30° C, au fost capabile să transmită virusul la 5 zile post infecție (William K. Reisen, et al 2006). În mod normal, un număr mai mare de țânțari este corelat cu o creștere a vremii ploioase. Cu toate acestea, potrivit unor studii, lipsa ploii poate contribui și mai mult la accelerarea răspândirii virusului.

Într-un studiu recent al lui Paull et al., 2017, a raportat că seceta a fost strâns legată de intensitatea focarelor pentru un an dat în Statele Unite; lipsa apei concentrând țânțarii și păsările pe suprafețe restrânse. Precipitațiile mai scăzute au fost asociate pozitiv cu un risc mai mare de apariție a cazurilor de West Nile (Zia Farooq et al 2022). Într-o lucrare publicată în 2016 în WIREs Climate Change Trusted Source, cercetătorii de la Universitatea din Alaska Fairbanks și de la Universitatea California din Davis susțin că răspândirea vectorilor purtători de virus West Nile în SUA este probabil explicată de temperaturile extreme și, în unele cazuri zone, frecvența crescută a secetelor. În teorie, creșterea temperaturii ca urmare a schimbărilor climatice ar putea crește expunerea umană la insecte vectoare sau ar putea crește rata de hranire a acestora cu sange. Există o gamă limitată de condiții climatice în care insectele pot supraviețui și se pot reproduce. Un climat care se încălzește, prin urmare, poate duce la schimbări în domeniul lor geografic sau îi poate forța să evolueze într-un fel pentru a se adapta. Aceste schimbări ar putea duce la „boală infecțioasă emergentă”, definită ca o infecție care a crescut în incidență sau a crescut în noi regiuni sau populații în ultimii 20 de ani.

Schimbările climatice - precipitațiile crescute, evenimentele meteorologice extreme, cum ar fi inundațiile și valuri de căldură mai violente au afectat tiparele de activitate a insectelor. Aceste schimbări au creat, de asemenea, medii care se potrivesc mai bine cu transmiterea virusurilor. Dr. Aaron Bernstein – directorul interimar al Centrului pentru Climă, Sănătate și Mediu Global de la Universitatea Harvard din Cambridge, a explicat că de multe ori poate fi dificil să se identifice cu exactitate modul în care schimbările climatice afectează sănătatea publică, având în vedere că, în contextul actual al globalizării și al migrației umane constante, oamenii se mișcă tot timpul. Această mișcare crește riscul de răspândire a bolii, așa cum am văzut recent și cu noul coronavirus.

Experții prevăd că schimbările climatice vor crește precipitațiile în unele regiuni și le vor reduce în altele, cu efecte complexe, imprezvizibile asupra vectorilor. Precipitațiile crescute ar putea duce la dezvoltarea mai multor zone de apă stantantă, deschisă. Aceste zone, cum ar fi bălțile și recipientele aruncate, sunt perfecte pentru stadiile larvare ale vectorilor.

Vectorii

Complexul *Culex pipiens*, vectorul principal al virusului West Nile, include cinci specii diferite de țânțari, anume *Cx. quinquefasciatus*, *Cx. pipiens pallens*, *Cx. australicus*, *Cx. globocoxitus* și specia nominală *Cx. pipiens*, care au și două biotipuri diferite, și *Cx. pipiens pipiens* și *Cx. pipiens molestus* (Farajollahi și colab., 2011). Acești țânțari sunt capabili să transmită o gamă largă de agenți patogeni, inclusiv *West Nile*, *virusul Usutu*, *Virusul encefalitei*

Louis și virusul *Sindbis*, *hemosporidii* (*Plasmodium aviar*) și filarii (*Dirofilaria spp.*) (Bravo-Barriga și colab., 2016; Brugman și colab., 2018). *Culex quinquefasciatus* și *Cx. pipiens* sunt de departe cele mai răspândite specii de țânțari în cadrul complexului și acesta din urmă este un exemplu remarcabil de schimbare a intervalului vectorial (Tesh, R. B., et al 2004; Turell, M. J., 2005).

În populațiile din nordul Europei, biotipul *molestus* trăiește de obicei în habitate subterane în zone de influență umană, în timp ce biotipul *pipiens* este prezent în principal la suprafața pământului). În sudul Europei, însă, condițiile climatice mai calde favorizează apariția simpatrică a ambelor specii în habitatele supraterane, care la rândul lor pot promova hibridizarea (Bravo-Barriga et al., 2017; Martínez-de la Puente et al., 2016) și chiar transmiterea agenților patogeni (Ciota și colab., 2013). Analiza mesei de sânge arată că specia *Culex pipiens* se hrănește preponderent pe păsări iar *Culex molestus* în principal pe mamifere inclusiv om (Fritz și colab. 2015). Cu toate acestea, studiile efectuate în Europa, arată că păsările domină dieta ambelor biotipuri și hibridilor lor, fiind, de asemenea, capabil să se hrănească pe oameni (Brugman et al., 2018).

Unele specii de țânțari *Culex* se răspândesc mai mult atunci când precipitațiile sunt rare, deoarece locurile lor obișnuite de hrănire și reproducere - zonele umede - devin mai puțin accesibile. Seceta duce la un contact strâns între gazdele aviare și țânțari în jurul surselor de apă rămase și, prin urmare, accelerează ciclul epizootic și amplificarea în cadrul acestor populații. Temperaturile peste normal au fost printre cei mai consistenti factori asociați cu focarele West Nile virus. Acest lucru a fost observat atât în America, cât și în Europa, pentru ambele tulpini de virus West Nile.

Durata dezvoltării ciclului biologic al țânțarului depinde de temperatură, astfel, ouăle eclozează după o singură zi la 30°C, după trei zile la 20°C, zece zile la 10°C și sub 7°C, dezvoltarea embrionară nu poate fi finalizată. Totuși temperatura optimă transmiterii virusului West Nile este de 23,7°C. Femelele de țânțari ținute la temperaturi calde de 22-30°C au avut în mod semnificativ o concentrație mai mare a virusului decât cele ținute la 14°C, reflectând creșterea accelerată a virusului la temperaturi ridicate. Virusul West Nile supraviețuiește în interiorul vectorului aflat în diapauză pe timpul iernii, dar sunt incapabile să transmită chiar dacă specii ca *Culex pipiens* se pot hrăni și iarna. Începând cu temperatura de 14°C virusul începe să se replice dar abia după două cicluri gonotroifice ale femelelor, atinge un titru suficient de ridicat ca să poată infecta o gazdă. La temperaturi de 30°C rata de replicare începe să scadă, temperatura optimă care permite replicarea într-un singur ciclu gonotrofic este între 24 și 26°C. Femelele pot să nu se infecteze decât dacă temperaturile se apropie de 14°C și durata de incubare extrinsecă în timpul iernii poate fi foarte alungită și transmiterea depinde de perioadele calde intermitente. Modelele prevăd că transmiterea virusurilor va atinge vârful la temperaturi intermediare și va scădea în condiții extreme de frig și căldură.

Într-adevăr, în ultimii 20 de ani, unii țânțari purtători de virusuri și-au schimbat aparent tiparele de migrație, apărând pe continente pe care nu le-au mai atins până acum. Poate cel mai grăitor exemplu este studiul de caz al țânțarilor *Culex*, care poartă virusul West Nile.

Potrivit WHO Trusted Source, condițiile umede au cauzat în trecut focare de febră galbenă și febră Dengue, ambele răspândite de țânțarul *Aedes aegypti*. În unele locuri, secetele ar putea crește și oportunitățile de reproducere a vectorilor, pe măsură ce albiile râurilor se usucă pentru a lăsa bazine stagnante și pe măsură ce oamenii încearcă să colecteze și să stocheze mai multă apă de ploaie în colțuri și rezervoare. Experții cred că o iarnă caldă, urmată de o vară caldă și uscată în 1999, a dus la izbucnirea virusului West Nile, transmis de țânțari, în statele din mijlocul Atlanticului, printr-o rețea complexă de schimbări ecologice. Păsările sunt gazda principală a virusului, iar concentrațiile lor mai mari la găurile de apă care se micșorează ar fi

putut să le fi făcut o țintă ușoară pentru insectele care mușcă. Cea mai mare abundență de țânțarii cu viață lungă s-a înregistrat la temperaturi de peste 20°C și până în 30°C, cu cele mai vizibile scăderi ale longevității la temperaturi extrem de calde sau răcoroase. Studiile arată scăderea longevității femelelor de țânțar la temperaturi de peste 32°C.

Metoda de lucru

Deși cercetătorii au identificat deja mulți dintre factorii climatici care influențează răspândirea virusului West Nile, ei sunt în general de acord că în prezent este dificil de estimat modul în care această boală infecțioasă va afecta în următorii ani. Asta pentru că încă lipsesc multe date și există prea multe variabile de luat în considerare.

Măsurarea parametrilor climatologici

Măsurarea temperaturii aerului s-a făcut în adăpostul meteorologic (Weather Shelter), la orele de observare (T_i), la înălțimea de 2 metri deasupra solului înierbat, iar precipitațiile au fost înregistrate cu pluviometru, la înălțimea de 1,5 m, conform standardelor World Meteorological Organization (WMO). Măsurătorile au fost făcute de Administrația Națională de Meteorologie (ANM) (www.anm.ro) și datele au fost raportate în European Climate Assessment and Dataset (Klein Tank et al. 2002).

Tabel 3 - Stații meteorologice accesate pentru preluarea datelor

Region	Station ID	Station name (city)	Latitude North (degrees: minutes: seconds)	Longitude East (degrees: minutes: seconds)	Station elevation (m)
Moldova	951	IASI	+47:10:00	+027:37:59	102
	960	BACAU	+46:31:59	+026:55:00	184
	2056	BOTOSANI	+47:40:48	+026:40:12	161
	2059	GALATI	+45:30:00	+028:01:12	71
Muntenia	972	ROSIORI DE VEDE	+44:06:00	+024:58:59	102
	219	BUCURESTI-BANEASA	+44:31:00	+026:04:59	90
	220	BUZAU	+45:07:59	+026:51:00	97
	221	CALARASI	+44:12:00	+027:19:59	18
Oltenia	2060	RAMNICU VALCEA	+45:06:00	+024:22:12	239
	2061	CRAIOVA	+44:13:48	+023:52:12	192
	223	DROBETA TURNU SEVERIN	+44:37:59	+022:37:59	77
Dunare	221	CALARASI	+44:12:00	+027:19:59	18
	967	TULCEA	+45:10:59	+028:49:00	4
	2059	GALATI	+45:30:00	+028:01:12	71
	223	DROBETA	+44:37:59	+022:37:59	77

		TURNU SEVERIN			
Transilvaniei	450	SIBIU	+45:48:00	+024:09:00	444
	217	ARAD	+46:07:59	+021:21:00	116
	222	CLUJ-NAPOCA	+46:46:59	+023:34:00	410

Estimarea temperaturilor în 2100

În ultimii ani s-au dezvoltat mai multe modele de estimare a temperaturilor pentru următoarele decenii. Noi am simulat temperaturile medii zilnice pentru anul 2100 cu scopul de a prognoza modificările de temperatură față de perioada climatologică de referință din 1981-2000. Simulările au fost realizate pe baza scenariilor pe termen lung din Fifth Assessment Report (AR5) of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Seria modelelor „representative concentration pathways,, (RCPs) estimează modificarea concentrațiilor gazelor cu efect de seră în funcție de politicile pe care le vor implementa statele în următorii ani. Conform acestei abordări predicțiile se bazează pe doua scenarii: 1) Scenariul low (LS) care indică o creștere a temperaturilor, în emisfera Nordica, cu 1.5°C, dacă sunt luate măsuri dure de limitare a emisiilor de gaze cu efect de seră, și 2) high scenariu (HS) în care temperaturile cresc cu 4.5 °C față de era preindustrială (Kunkel et al. 2013; O’Neill et al. 2016). HS va avea loc dacă nu sunt întreprinse acțiuni concrete de combatere a emisiilor de gaze cu efect de sera sau nu sunt implementate eficient.

Indicii bioclimatici

Identificarea condițiilor bioclimatice care pot cauza apariția de focare de WN în Romania este necesară pentru a putea preveni viitoarele epidemii. În acest sens, am studiat modificările climatice în regiunile din România unde au fost raportate cazuri de infecție cu WN. În studiul am propus utilizarea indicilor bioclimatici pentru a estima perioadele propice pentru dezvoltarea populațiilor de țânțari care au rol de vector în transmiterea virusurilor și a perioadelor de incubare a virușilor WN.

Indexul potențial de incubare al ouălor de țânțari Culex (Hatching potential index of Culex mosquito eggs - MPI)

Am introdus în studiul indexul potențial anual de incubare al ouălor de țânțari Culex (MPI) ca indicator al perioadelor potențiale de dezvoltare ale țânțarilor în funcție de condițiile de temperatură. Acesta însumează toate perioadele lunare (MPI_m) posibile din punct de vedere termic pentru ca larvele de țânțar să ajungă la maturitate:

$$MPI = \sum_{m=1}^{12} MPI_m$$

$$MPI_m = \max (MPI_m^{10}, MPI_m^{20}, MPI_m^{30})$$

Perioadele lunare de ecluzare a ouălor de țânțari au fost calculate pe baza a trei trepte de temperatură. Ouăle eclozează după 1 zi la 30°C, în perioadele potențiale de eclozare la aceasta temperatură (MPI_m³⁰) este numărul de zile în care temperatura zilnică medie din lună *m* depășește

30°C, la 20°C eclozează după trei zile (MPI_m^{20}), la 10°C zece zile (MPI_m^{10}), iar sub 7°C dezvoltarea embrionară este blocată ($MPI_m^7 = 0$). Indexul MPI este important pentru a putea calcula numărul maxim posibil de ponte pe an în condițiile de temperatură locală.

Indexul potențial de infestare cu virusul WN (Potential WN virus infestation index - PII)

Al doilea indice definit de noi este indicele potențial de infestare cu virusul WN (PII) care calculează perioadele maxime posibile de la infestarea femelelor de țânțar până în prima zi în care acestea pot transmite virusul. Perioadele anuale maxime posibile sunt calculate ținând cont de modificarea duratei post infecție în funcție de temperatură. Indicele PII_m^{14} calculează intervalele de timp în care femeile de țânțari ținute la 14° C transmit virusul. La aceasta temperatură ele transmit virusul, pentru prima dată, la 36 de zile post infecție. Femelele ținute la 18 °C au transmis pentru prima dată la 22 zile post infecție (PII_m^{18}), iar la temperaturi de la 26 la 30° C au fost capabile să transmită virusul la 5 zile post infecție (PII_m^{26}). Indexul potențial de infestare cu virusul WN (PII) se calculează:

$$PII = \sum_{m=1}^{12} PII_m$$
$$PII_m = \max(PII_m^{14}, PII_m^{18}, PII_m^{26}).$$

Rezultate și discuții

Insectele sunt direct afectate de valorile parametrilor de mediu, temperatura jucând un rol determinat în incubarea ouălor și dezvoltarea țânțarilor deoarece aceste organisme sunt poikilotherme.

În România monitorizarea focarelor de infecție cu virus West Nile a început după epidemia din 1996. Epidemia a atras atenția specialiștilor în boli infecțioase și a autoritățile publice deoarece până atunci se considera că în climatul temperat continental specific latitudinilor medii, populațiile de țânțari din genul *Culex* nu pot transmite virusul West Nile. Distribuția cazurilor de West Nile înregistrate din 1997 până în 2021 arată că cele mai multe au fost raportate în zonele joase de relief din toate regiunile țării. Condițiile climatice din sudul României sunt prielnice pentru dezvoltarea populațiilor de țânțari *Culex pipiens* ceea ce explică de ce cele mai multe cazuri au fost înregistrate în zonele de câmpie din această regiune, unde temperaturile favorizează replicarea virusului în interiorul țânțarilor pe o perioadă mai lungă pe parcursul anului.

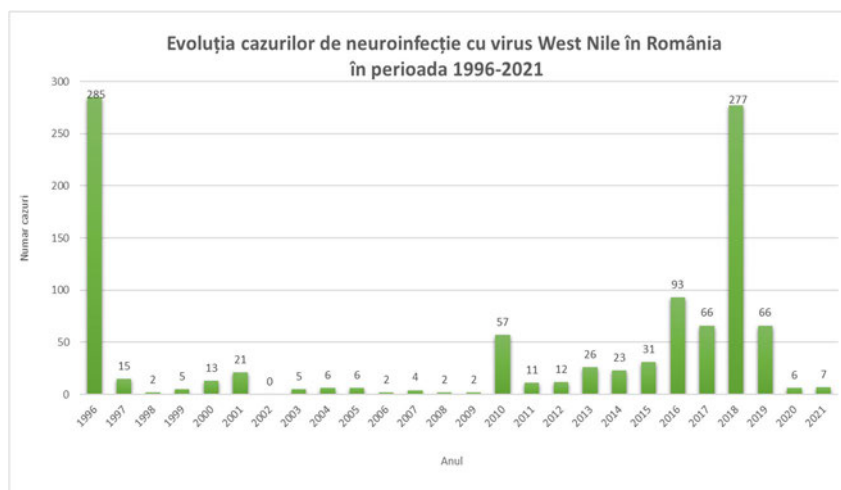


Figura 6 - Evoluția cazurilor de West Nile înregistrate din 1996 până în 2021

În perioada 1996-2021 în România au fost diagnosticate 1043 de cazuri de West Nile, cu un vârf al cazurilor în 1996 când virusul a fost semnalat pentru prima dată în România, instalându-se panica la nivelul întregii țări, întrucât se consideră ca în România clima nu este favorabilă transmiterii prin vectorul țânțar. Un val similar a fost înregistrat în 2018, neexplicabil din punct de vedere climatic, ceea ce face necesară o abordare complexă a factorilor implicați în transmiterea virusului West Nile. În Europa în sezonul de transmisie din anul 2018 a fost raportat, în comparație cu sezoanele de transmitere din anii precedenți, un număr mult mai mare de cazuri. Astfel numărul total de infecții autohtone raportate în 2018 ($n=2\,083$) depășește, cu mult, numărul total din ultimii șapte ani ($n=1\,832$). Comparativ cu sezonul precedent de transmitere din 2017, s-a înregistrat o creștere de 7,2 ori.

De asemenea în 2018, ultimul caz diagnosticat în sezonul de transmitere în UE a fost raportat la sfârșitul lunii noiembrie în Franța, cu o dată de debut din săptămâna 46; fiind neobișnuit de târziu, întrucât în sezoanele de transmisie din anii precedenți în UE, ultima dată de debut a avut loc de obicei între săptămânile 39 și 42 (ECDC 2018). În acest studiu am făcut și o comparație din punct de vedere climatic între anii 1996 și 2018, încercând să găsim factorii definitorii în transmiterea virusului West Nile.

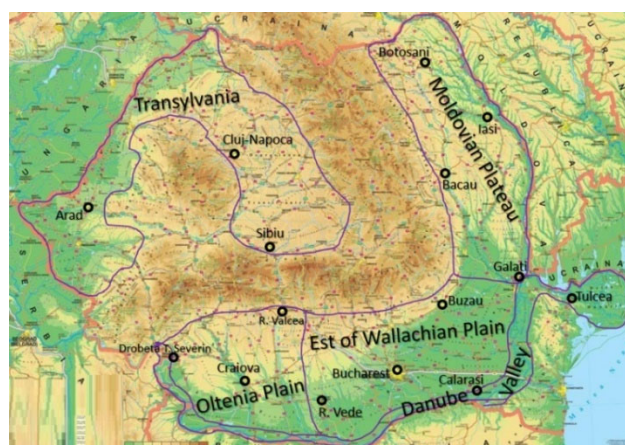


Figura 7 - Regiunile din România în care pot apărea potențiale focare de WN (o - stațiile meteorologice).

În estul Câmpiei Române s-au înregistrat 56% din cazuri, în Câmpia Olteniei 14%, iar în zona îngustă din lunca Dunării s-a înregistrat o medie de 9 %. Lunca Dunării este un mediu propice pentru dezvoltarea populațiilor de țânțari *Culex* pentru că se îndeplinesc condițiile optime temperatură-umiditate. Raportat la suprafață și la numărul de locuitori, procentul de cazuri de West Nile este de departe superior Câmpiei Român.

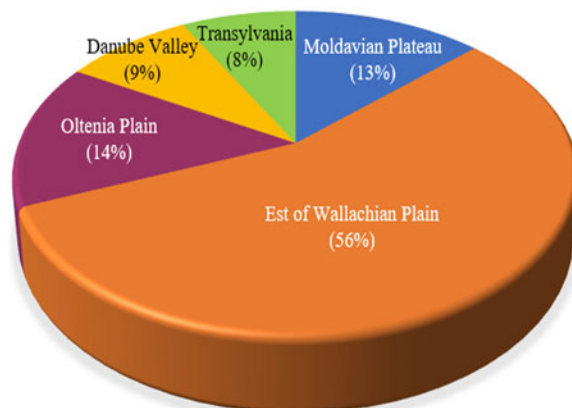


Figura 8 - Distribuția infecțiilor cu virusul West Nile din 1997-2021 pe regiunile fizice ale României

Temperaturile medii anuale înregistrate în stațiile din România, în perioada 1961-2020, cunosc o creștere constantă după anul 1991. Recordurile de temperatură au fost înregistrate în deceniul 2011-2020.

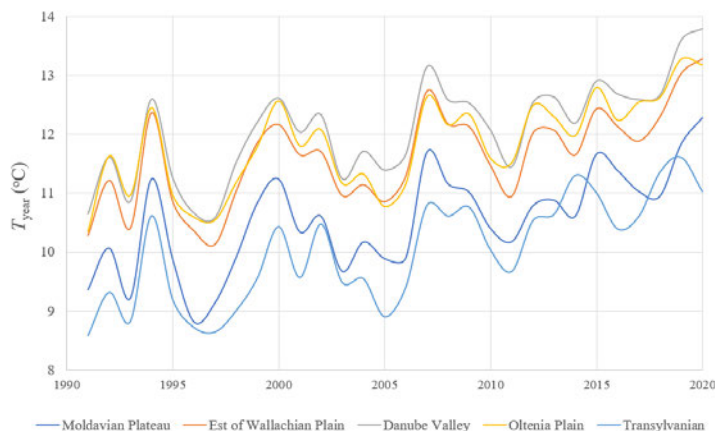


Figura 9 - Temperaturile medii anuale în cele cinci regiuni studiate

În regiunile joase din Romania, din punct de vedere termic, perioadele de incubare a ouălor și de dezvoltare a țânțarilor sunt posibile până în prima săptămână din noiembrie, iar dezvoltarea virusului WN în interiorul gazdei până în luna octombrie. Simulările în condițiile schimbărilor climatice, pentru anul 2100, arată ca în următoarele decenii aceste perioade se pot prelunge cu încă o luna, ceea ce favorizează dezvoltarea populațiilor de țânțari care transmit virusul în toate regiunile joase din Romania pe tot parcursul anului (tabelul 1). Calcularea indexul potențial de incubare al ouălor de țânțari *Culex* (*MPI*) și a indexul potențial de infestare cu virusul WN (*PII*) confirmă ipoteza ca regiunile din sudul României (Muntenia, Oltenia și

Lunca Dunării) prezintă condiții mai favorabile pentru dezvoltarea țânțarilor vectori decât celelalte regiuni.

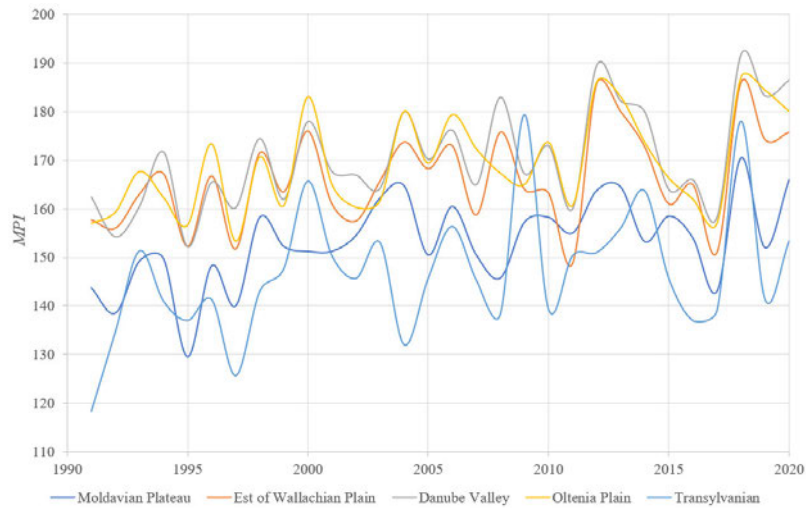
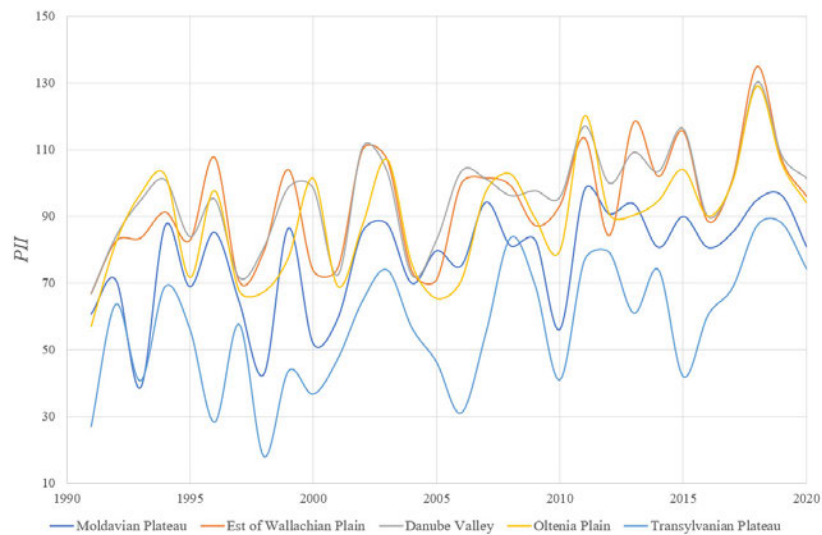


Figura Indexul de eclozare a ouălor de Culex (MPI) în România între 1990 și 2020
În graficul de mai sus articol . se poate observa că în Oltenia și Câmpia Română în perioada 2012-2020 , eclozarea ouălor de țânțari se poate realiza până la 190 de zile pe an.



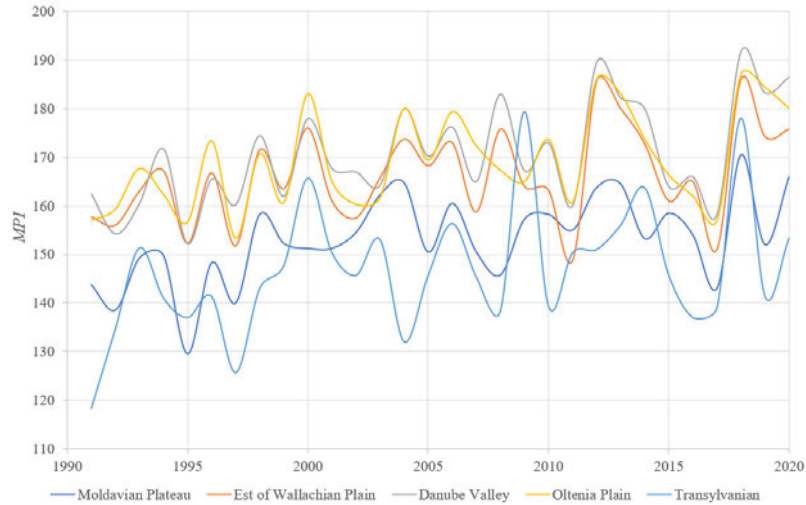


Figura 10 - Idexul potential de infestare cu virusul West Nile virus (*PII*) în România între 1990-2020

În graficul de mai sus se poate observa că în Oltenia și Câmpia Română în perioada 2012-2020 , eclozarea ouălor de țânțari se poate realiza până la 190 de zile pe an.

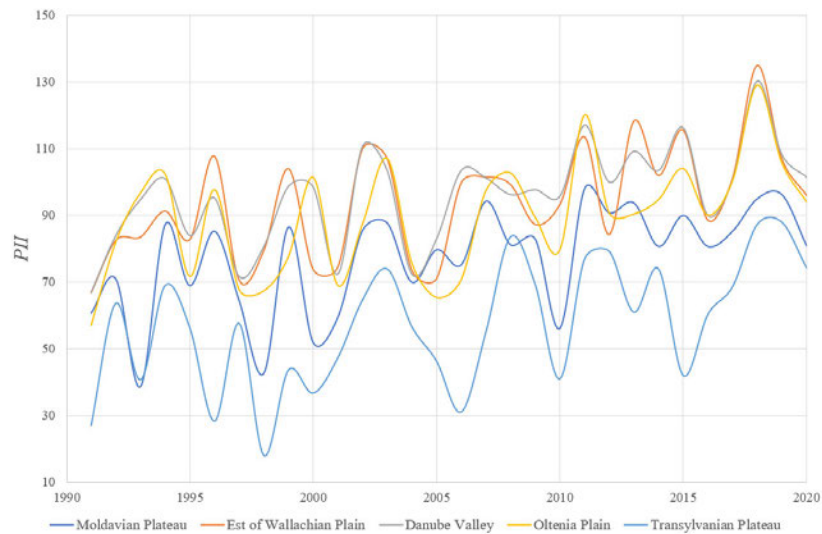


Figura 11 - Idexul potential de infestare cu virusul West Nile virus (*PII*) în România între 1990-2020

În graficul de mai sus se poate observa că în 2018, în Oltenia și Câmpia Română, au existat 130 de zile din an, condiții ideale în care vectorii țânțari puteam transmite virusul West Nile, la aceste temperaturi replicarea fiind garantată în interiorul acestora.

Virusul West Nile supraviețuiește în interiorul vectorului aflat în diapauză pe timpul iernii, dar este incapabil să transmită infecția chiar dacă specii ca *Culex pipiens* se pot hrăni și iarna. Temperaturile de iarnă cuprinse între 2°C și 6°C au reprezentat unul dintre cei mai puternici predictorii ai infecțiilor anuale cu virusul West Nile; o posibilă explicație pentru acest rezultat este că iernarea cu succes a țânțarilor adulți infectați (probabil *Culex pipiens*) este cheia pentru intensitatea focarelor din anul următor. Calculele lunare ale temperaturilor medii indică că

în Moldova, Muntenia și Transilvania avem 2 luni (ianuarie și februarie) cu temperaturi medii mai mici de 2°C, iar în restul regiunilor studiate o singură lună (ianuarie). Simulările pentru temperaturile din anul 2100 arată că intervalele de timp cu temperaturi sub 2°C se vor micșora semnificativ peste 80 de ani.

Tabel 4 Indicii de temperatura și bioclimatici pentru anul 1991-2020 și estimările pentru 2100

Region	Index	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Annual
Moldavian Plateau	T_{month} (average 1991-2020)	-1.9	0.2	5.1	11.4	16.8	20.8	22.6	22.0	16.7	10.6	5.3	0.0	10.8
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	-0.5	1.2	4.8	11.7	17.3	21.4	23.0	22.2	16.6	11.4	4.8	0.2	11.2
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	1.7	3.4	7.0	13.9	19.5	23.6	25.2	24.4	18.8	13.6	7.0	2.4	13.4
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	8	27	30	31	31	22	3	0	0	153
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	1	10	26	29	10	0	0	0	77
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	2	12	28	30	10	0	0	0	81
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	0	7	21	28	28	19	1	0	0	105
Est of Wallachian Plain	T_{month} (average 1991-2020)	-1.2	1.4	6.4	12.1	17.5	21.7	23.9	23.6	18.1	11.8	6.3	0.7	11.9
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	0.1	1.9	6.2	12.7	18.2	22.7	24.4	23.7	18.1	12.5	5.9	0.8	12.3
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	2.3	4.1	8.4	14.9	20.4	24.9	26.6	25.9	20.3	14.7	8.1	3.0	14.5
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	11	29	30	31	31	26	7	0	0	166
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	2	15	29	31	14	0	0	0	91
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	4	20	30	31	18	0	0	0	102
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	1	10	27	31	31	27	4	0	0	130
Oltenia Plain	T_{month} (average 1991-2020)	-0.2	2.1	6.9	12.6	17.4	21.4	23.5	23.3	18.0	12.0	6.5	1.2	12.1
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	0.8	2.8	6.8	12.8	18.0	22.3	24.0	23.7	18.1	12.8	6.3	1.5	12.5
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	3.0	5.0	9.0	15.0	20.2	24.5	26.2	25.9	20.3	15.0	8.5	3.7	14.7
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	13	29	30	31	31	27	8	0	0	169
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	1	14	28	30	12	0	0	0	87
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	3	16	30	31	18	1	0	0	98
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	1	10	27	31	31	27	5	0	0	131
Danube Valley	T_{month} (average 1991-2020)	-0.2	2.0	6.7	12.4	17.8	22.1	24.3	23.8	18.4	12.3	7.0	1.6	12.4
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	0.9	2.6	6.3	12.8	18.4	22.7	24.6	23.9	18.4	13.0	6.6	1.7	12.7
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	3.1	4.8	8.5	15.0	20.6	24.9	26.8	26.1	20.6	15.2	8.8	3.9	14.9
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	13	30	30	31	31	27	8	1	0	171
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	2	18	29	31	15	0	0	0	96
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	5	21	30	31	20	1	0	0	108
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	0	12	27	31	31	27	5	0	0	133
Transylvanian	T_{month} (average 1991-2020)	-1.7	0.6	5.2	11.1	15.8	19.5	21.2	20.9	15.7	10.3	5.1	-0.1	10.3
	T_{month} (estimation 2100 - LS)	-0.8	0.6	4.9	11.0	16.1	19.8	21.3	21.1	15.8	10.8	5.1	0.1	10.5
	T_{month} (estimation 2100 - HS)	1.4	2.8	7.1	13.2	18.3	22.0	23.5	23.3	18.0	13.0	7.3	2.3	12.7
	MPI_m (1991-2020)	0	0	0	9	23	30	31	31	20	3	0	0	147
	PII_m (1991-2020)	0	0	0	0	1	5	19	26	6	0	0	0	57
	PII_m (estimation 2100 - LS)	0	0	0	0	1	5	19	27	7	0	0	0	59
	PII_m (estimation 2100 - HS)	0	0	0	1	5	15	25	25	16	1	0	0	87

Calculule noastre arată că dacă se iau masuri dure de limitare a emisiilor de gaze cu efect de sera în zona Moldovei temperaturile vor crește cu 0,4°C (scenariu low -LS) până în anul 2100 și cu 2,6°C (scenariu high- HS) dacă nu sunt întreprinse acțiuni concrete de combatere a emisiilor de gaze cu efect de sera sau nu sunt implementate eficient. Virusul West Nile se va replica în interiorul vectorului, stabilind un sezon de transmisie din mai până în septembrie cu un total de 81 de zile, în condițiile LS și din mai până în octombrie cu un total de 105 zile în condițiile HS; diferența față de perioada actuală când în 77 zile din an, virusul este capabil să se replice în interiorul vectorului transmitând boala.

Pentru Câmpia Română se observă o creștere a temperaturilor în LS cu 0,4°C până în 2100 și cu 2,6°C în HS, dar cu o creștere a perioadei de replicare a virusului din mai până în septembrie cu un total de 130 de zile pe an, în HS, comparativ cu 102 zile în LS și 91 de zile în prezent.

Aceeași modificare a temperaturilor de observație și în regiunea Olteniei, cu o creștere la 131 de zile pe an, a riscului de transmitere a virusului West Nile.

În Delta Dunării se observă o creștere a temperaturilor până în 2100 în LS cu 0,3°C și în HS cu 2,5°C, iar riscul de transmitere a virusului West Nile crește până la 133 de zile în HS, comparativ cu 96 de zile în prezent, ceea ce sugerează întinderea perioadei de risc a apariției focarelor de West Nile cu încă 1 lună.

În Transilvania temperatura va crește cu 0,2°C în LS și cu 2,4°C în HS până în 2100, cu o perioadă de 87 de zile favorabile transmiterii virusului în HS comparativ cu 57 de zile în prezent. În ceea ce privește perioada de eclozare a ouălor de *Culex* cu formarea unei noi populații de țânțari se observă în prezent din aprilie până în octombrie în Moldova, Câmpia Română, Oltenia și Transilvania și până în luna noiembrie în Delta Dunării.

Tabel 5 - Indicii de temperatura și bioclimatici pentru anul 1996 și 2018

Region	Index	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Annual
Moldavian Plateau	T_{month} (avarage 1996)	-0.5	2.8	2.9	13.3	15.4	21.0	21.8	20.8	15.3	10.3	0.8	-5.0	9.9
	MPI_m (1996)	0	0	0	15	27	30	31	31	22	3	0	0	158
	PII_m (1996)	0	0	0	0	5	16	19	3	0	0	0	0	43
	T_{month} (avarage 2018)	-4.6	-0.5	7.9	10.0	16.2	21.6	22.0	22.5	17.4	10.9	5.8	3.2	11.0
	MPI_m (2018)	0	0	0	4	24	30	31	31	21	3	0	0	143
	PII_m (2018)	0	0	0	0	14	30	30	12	0	0	0	0	85
Est of Wallachian Plain	T_{month} (avarage 1996)	0.3	2.4	4.5	13.9	16.6	21.9	23.9	23.4	16.1	11.7	2.9	-5.2	11.0
	MPI_m (1996)	0	0	0	20	31	30	31	31	23	6	0	0	172
	PII_m (1996)	0	0	0	0	10	30	29	10	0	0	0	0	80
	T_{month} (avarage 2018)	-4.9	0.6	8.8	10.5	16.6	22.4	23.4	24.0	19.2	11.6	6.7	3.6	11.9
	MPI_m (2018)	0	0	0	6	24	30	31	31	24	6	0	0	151
	PII_m (2018)	0	0	0	0	20	30	31	20	0	0	0	0	101
Oltenia Plain	T_{month} (avarage 1996)	0.9	4.4	4.9	13.2	16.1	21.3	22.9	22.9	15.6	12.1	2.9	-3.1	11.2
	MPI_m (1996)	0	0	0	14	31	30	31	31	28	6	0	0	171
	PII_m (1996)	0	0	0	0	7	25	29	6	0	0	0	0	67

	T_{month} (avarage 2018)	-4.0	2.1	10.0	11.4	17.1	23.5	24.1	24.8	18.7	12.4	6.8	3.5	12.5
	MPI_m (2018)	0	0	0	6	28	30	31	31	25	7	0	0	157
	PII_m (2018)	0	0	0	0	20	30	31	19	0	0	0	0	100
Danube Valley	T_{month} (avarage 1996)	1.6	3.7	4.6	14.0	16.7	22.2	23.5	23.0	16.6	12.5	3.3	-3.4	11.5
	MPI_m (1996)	0	0	0	16	31	30	31	31	26	10	0	0	175
	PII_m (1996)	0	0	0	0	12	30	29	9	0	0	0	0	81
	T_{month} (avarage 2018)	-3.8	1.8	9.2	10.8	17.1	23.1	24.0	24.5	19.7	12.6	7.6	4.6	12.6
	MPI_m (2018)	0	0	0	6	29	30	31	31	24	7	0	0	158
	PII_m (2018)	0	0	0	0	18	30	31	22	0	0	0	0	101
Transilvani an	T_{month} (avarage 1996)	-0.1	2.1	1.4	11.3	14.0	18.9	20.0	19.4	13.9	10.5	2.4	-5.8	9.0
	MPI_m (1996)	0	0	0	5	15	27	31	31	30	4	0	0	143
	PII_m (1996)	0	0	0	0	0	0	15	3	0	0	0	0	18
	T_{month} (avarage 2018)	-6.6	1.7	8.2	9.8	15.8	20.9	21.8	22.5	15.8	10.2	5.3	1.9	10.6
	MPI_m (2018)	0	0	0	0	24	30	31	31	20	1	0	0	138
	PII_m (2018)	0	0	0	0	9	24	30	6	0	0	0	0	69

În ceea ce privește influența temperaturilor asupra celor două focare majore de West Nile înregistrate în 1996 și 2018 se observă ca riscul transmiterii virusului West Nile a fost mai crescut în 2018, astfel în Moldova s-a înregistrat 85 de zile favorabile replicării WN în interiorul vectorului și 143 de zile favorabile eclozării ouălor de țânțari comparativ cu 43 zile pentru PII dar cu 158 de zile pentru MPI ceea ce arată că un număr mai mare a populațiilor de țânțari pe an poate fi un factor mai important în apariția focarelor de West Nile și ar trebui să se pună accent pe controlul populațiilor de țânțari.

Același aspect s-a observat și pentru regiunile Câmpia Românp, Oltenia, Delta Dunării și Transilvania unde în 1996 s-au înregistrat 172,171,175 și respectiv 143 de zile favorabile eclozării ouălor de țânțari, comparativ cu 151,157,158 și respectiv 138 de zile în 2018, cu o diferență de aproximativ 3c săptămâni, ceea ce înseamnă că în anul 1996 numărul populațiilor de țânțari a fost foarte mare ceea ce a dus la apariția focarelor de West Nile. Dar în 2018 s-a constatat un număr mai mare de zile favorabile replicării virusului în interiorul țânțarului. Astfel în 2018 s-a observat un număr de zile de 85, 101, 100, 101 și 69 în regiunile luate în calcul, comparativ cu 43, 80, 67, 81 și 18 zile în 1996 în regiunile Moldova, Câmpia Română, Oltenia, Delta Dunării și Transilvania.

Comparând cei doi în care s-au înregistrat un număr foarte mare de cazuri de West Nile în România, constatăm că este obligatorie calcularea în permanență nu doar a perioadelor cu risc de transmitere a virusului ci și a perioadelor propice eclozării ouălor de țânțari ce sugerează numărul de populații, ambii factori fiind extrem de importanți în prevenirea epidemiilor de West Nile. Mai putem observa că în anul 1996 temperaturile de iarnă au fost mai blânde, ceea ce confirmă datele din literatura de specialitate conform cărora temperaturile ridicate pe perioada iernii, reprezintă un indicator important al apariției focarelor de West Nile în anul următor, ca urmare a supraviețuirii virusului în interiorul țânțarilor, deci și acest indicator trebuie luat în calcul, în programul de monitorizare, prevenție și control a neuroinfecțiilor cauzate de West Nile.

Precipitații

Al doilea set de parametrii climatologi analizați se bazează pe condițiile de umiditate necesare creșterii și dezvoltării populațiilor de țanțari. În acest scop am analizat cantitățile lunare de precipitații și numărul de zile în care cad precipitații în cele 5 regiuni în care s-au raportat cazuri de infecții.

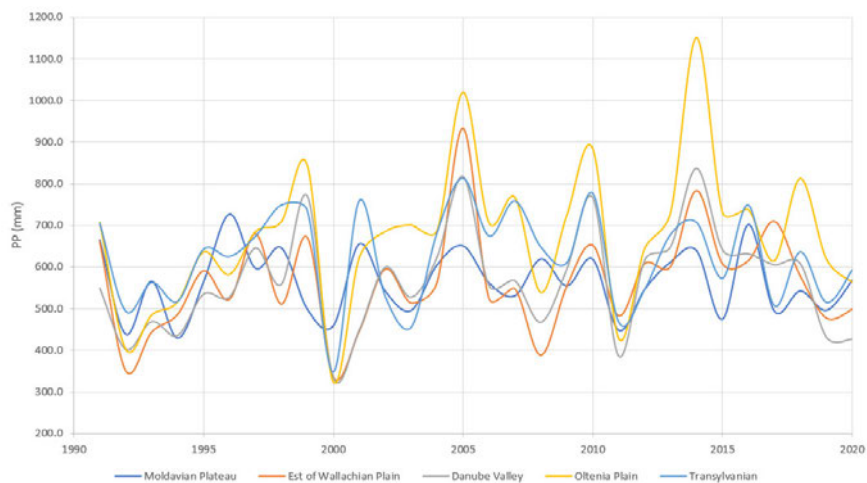


Figura 12 - Cantitatea de precipitații (mm) din 1991-2020

Conform literaturii de specialitate, seceta poate fi un predictor pentru apariția focarelor de West Nile, dar analizând cantitatea de precipitații în anii în care s-au înregistrat un număr mare de cazuri și anume 1996 și 2018, putem observa că nu au fost ani secetoși înregistrându-se între 520 și 720 mm ($1\text{mm} = 11\text{m}^2$) în 1996 și 520 și 800 mm în 2018. Din punct de vedere a cantității de precipitații înregistrate putem afirma că cei doi ani cu focare majore de West Nile, nu au fost nici secetoși dar nici ploioși, adică nu au favorizat nici replicarea virusului în interiorul țanțarului dar nici dezvoltarea unor condiții ideale de formare a populațiilor de țanțari. Rezultatele noastre nu indică o semnificație importantă a cantității de precipitații în apariția focarelor de West Nile.

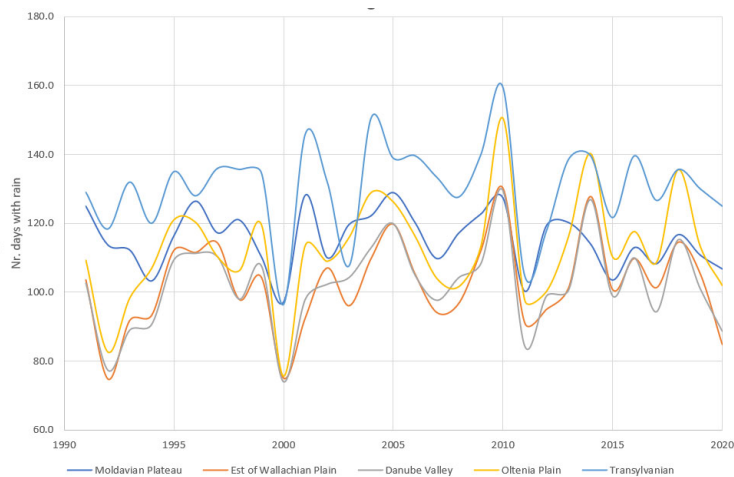


Figura 13 - Nr zilelor cu precipitații din 1991-2020

Din punct de vedere al numărului de zile cu precipitații se observa ca au variat între 110 și 130 de zile în 1996 și 115 și 135 de zile în 2018, date similare pentru cei doi ani, fără a prezenta condiții ideale pentru replicarea virusului sau pentru eclozarea ouălor cu formarea de noi populații de țânțari. Rezultatele noastre indică că perioada precipitațiilor repartizate pe zile pe parcursul unui an, nu reprezintă indicatori importanți ai predicției focarelor de West Nile.

Urmărind localizarea cazurilor de West Nile în acești ultimi doi ani, 2016 și 2017, se observă că numărul cel mai mare s-a înregistrat în București, cu toate că din punct de vedere al factorilor climatici, condițiilor au fost mai favorabile în Tulcea, atât pentru dezvoltarea țânțarilor cât și al replicării virusului în interiorul țânțarilor. Acest lucru se explică, fie ca urmare a numărului mult mai mare de locuitori în capitală, fie ca urmare a faptului că West Nile este o boală subdiagnosticată în România, Bucureștiul având avantajul unui Spital de Boli Tropicale, cu posibilități de diagnosticare, sigure și rapide, de care nu beneficiază spitalele din alte orașe mai mici și subdezvoltate ca orașul Tulcea.

Făcând o comparație între cei doi ani în care s-au înregistrat focare majore de West Nile, 1996 și 2018 s-a observat condiții ideale de dezvoltare a populațiilor de țânțari, asociate cu numărul de zile favorabile eclozării ouălor, în 1996 și condiții prielnice pentru transmiterea virusului West Nile, raportată la numărul de zile când acesta se poate replica în interiorul țânțarului, în 2018. Dar din punct de vedere al factorilor climatici nu s-au înregistrat recorduri în anii cu focare de West Nile, neexplicându-se numărul atât de mare de cazuri.

Proгноza realizată pentru anul 2100 în România, folosind cele două scenarii LS și HS, arată în ambele cazuri o evoluție favorabilă atât pentru populațiile de țânțari, cu creșterea numărului de zile pe an favorabil eclozării ouălor cât și pentru replicarea virusului în interiorul țânțarului, acesta fiind capabil să transmită boala în timpul prânzului sangvin. Astfel în scenariul HS, se observă o prelungire a perioadei de eclozare a ouălor până în luna noiembrie, cu riscul ca țânțarii adulți să fie activi pe tot parcursul anului, asigurând o rată înaltă de supraviețuire a virusului în interiorul țânțarului, ceea ce duce la apariția de focare în primavara anului următor. De asemenea se observa în scenariu HS o prelungire a perioadei de transmitere a virusului din luna aprilie până în luna octombrie, ceea ce subliniază necesitatea stabilirii unor programe de monitorizare și control atât a populațiilor de țânțari cât și a diseminării virusului în randul populației animale și umane.

Concluzii

Astfel pentru un program de monitorizare și control al cazurilor de *West Nile*, trebuie calculați obligatoriu factorii implicați în dezvoltarea populațiilor de țânțari precum și cei necesari replicării suficiente a virusului pentru ca acesta să producă boala, întrucât independent unul de celălalt, poate să conducă la apariția focarelor de neuroinfecție indusă de *West Nile*.

Se subliniază necesitatea unei abordări de tip One Health în prevenția și controlul bolilor vectoriale, care să urmărească, monitorizarea populațiilor de țânțari implicate în transmiterea virusurilor, în cazul de față genul *Culex*, monitorizarea prezentei agentului patogen în interiorul vectorului și prezenta acestuia în populația umană și animală; toate acestea raportate la factorii climatici, temperatura și precipitații.

Rezultatele studiului nostru concluzionează că încă nu se cunosc toți factorii implicați în riscurile apariției focarelor de West Nile, ceea ce necesită o cercetare susținută și aprofundată nu doar la nivel de țară ci la nivel de continent, întrucât s-a observat ca deși în 2018 în România nu s-au înregistrat recorduri care să favorizeze apariția focarelor de West Nile, a raportat un număr foarte mare de cazuri, fenomen similar în toată Europa.

Ar trebui ca o astfel de abordare complexă a bolilor vectoriale să fie inițiată la nivelul întregului continent, trăgându-se un semnal de alarmă când într-o țară apar focare de West Nile, întrucât această neuroinfecție are ca rezervor în natură păsările și este transmisă prin vectori, ambele cu posibilitate de diseminare pe teritorii largi și la distanțe mari.

1.3. Modele matematice utilizate pentru predicția virusului TBE în populațiile de căpușe

Prevalența bolilor transmise de vectori la nivel mondial este în continuă creștere, reprezentând una dintre cele mai importante probleme din domeniul sănătății publice. Encefalita transmisă de căpușe (TBE) este a doua cea mai frecventă boală transmisă de căpușe în Europa și cea mai răspândită boală virală transmisă de căpușe în regiunea Euro-Asiatică (Vilibic-Cavlek și colab., 2024).

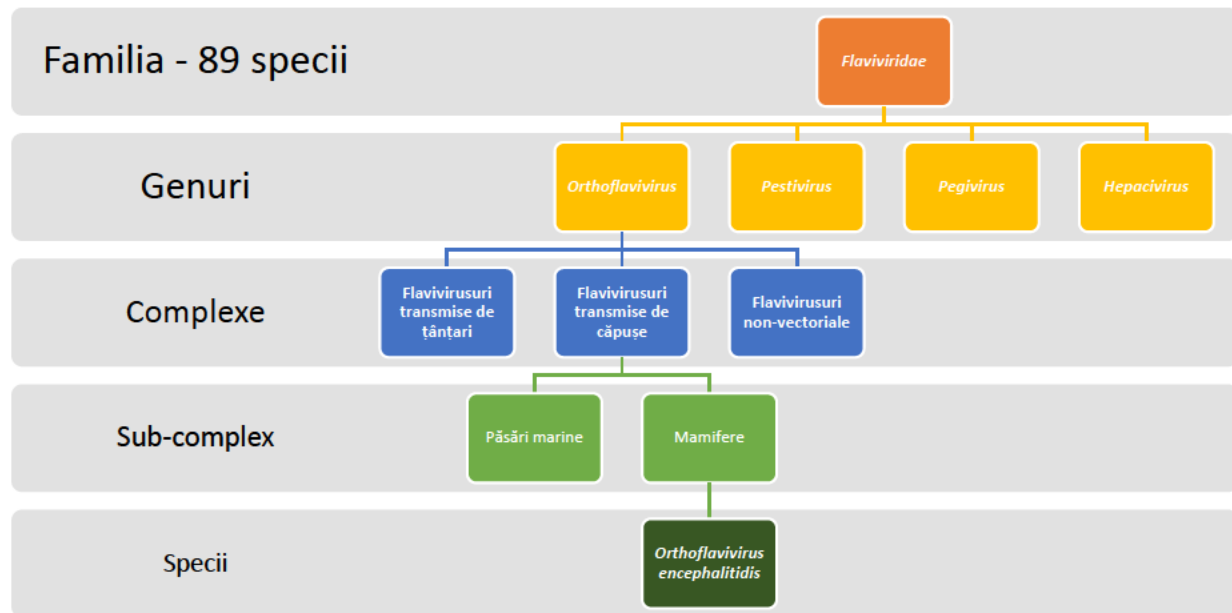
Encefalita transmisă de căpușe (TBE) este endemică în 27 de țări europene, cu mii de cazuri raportate anual la oameni, înregistrând o creștere progresivă în ultimii 20 de ani. Boala se extinde în Europa de Est și Centrală, corelându-se cu răspândirea speciei de căpușă *Ixodes ricinus* spre nordul continentului, unde au fost semnalate înregistrări recente ale acestei specii în Norvegia, la altitudini de peste 1000 m (deasupra nivelului mării) (Vilibic-Cavlek și colab., 2024). Predicțiile privind modificările distribuției virusului TBE sub influența schimbărilor climatice sugerează că virusul TBE ar putea fi răspândit în regiuni cu latitudini și altitudini din ce în ce mai mari, până când, în anii 2080 acesta va fi limitat la anumite părți ale Scandinaviei. Acest lucru este în concordanță cu faptul că ciclurile enzootice ale acestui virus sunt în mod inerent fragile și depind pentru existența lor de profiluri specifice de temperatură sezonieră și condiții de umiditate, care pot fi perturbate de schimbările climatice (Randolph, 2002).

Un model matematic este o ”microlume” concisă, lipsită de ambiguitate însă cu reguli bine definite, care ne permite să enunțăm presupuneri. Analiza matematică, adesea combinată cu simulări pe calculator, investighează comportamentul global al modelului, dezvăluind consecințele acestuia (Huppert și Katriel, 2013).

În ultimii ani, modelele matematice au fost utilizate atât în medicină pentru predicțiile unor boli infecțioase, cât și în alte domenii: tehnologie, climă, știință, etc. Astfel, în cazul răspândirii bolilor infecțioase un model matematic poate descrie transmiterea agentului patogen între gazde, luând în considerare: modelele de contact, latența, durata infecțiozității, imunitatea, etc. Prin urmare, acest model poate permite predicții despre numărul de persoane infectate, durata epidemiei, incidența maximă și întreaga curbă epidemică, oferind numărul așteptat de cazuri în fiecare moment (Huppert și Katriel, 2013).

Pentru a face predicții despre posibilele modificări ale distribuției virusului TBE în scenarii climatice viitoare, utilizarea imaginilor din satelit este în mod clar un instrument foarte puternic atât pentru realizarea hărților predictive de risc, cât și pentru adăugarea de informații despre procesele biologice care stau la baza acestor modele spațiale. Consecutiv unei astfel de predicții s-a descoperit o legătură clară între mecanismul celular de transmitere a virusului și impactul climei asupra modelelor dinamicii sezoniere a populației de căpușe-vectori (Randolph, 2002).

Conform noii taxonomii, virusul encefalitei transmise de căpușe (*Orthoflavivirus encephalitidis*) este un arbovirus care aparține familiei *Flaviviridae* (cuprinde în jur de 89 de familii), genul *Orthoflavivirus*, făcând parte și din complexul virusurilor transmise de căpușe (Vilibic-Cavlek și colab., 2024). Acest serocomplex este un grup de flavivirusuri care sunt transmise de căpușe și au caracteristici similare, în special capacitatea lor de a declanșa anticorpi reactivi încrucișați în testele serologice (Holbrook et al., 2004).



Specia *Orthoflavivirus encephalitis*, responsabilã pentru infecțiile encefalitei transmise de cãpușe este divizatã în 7 subtipuri virale:

- subtipul TBEV-EU – european sau vestic;
- subtipul TBEV-FE – orientul îndepãrtat;
- subtipul TBEV-SIB – siberian;
- subtipul TBEV-Ob – TBEV-2871 sau linia Obskaya a subtipului siberian;
- subtipul TBEV-HIM – Himalaya;
- subtipul TBEV-BKL1 – Baikalian 178-79;
- subtipul TBEV-BKL2 – Baikalian 886-84 (Kwasnik și colab., 2023; Mittova și colab., 2024; Chitimia-Dobler și colab., 2019; Hubálek și Rudolf, 2012).

Conform analizelor moleculare, subtipul Baikalian-2 (TBEV-BKL2) al virusului TBE este postulat ca fiind produsul recombinãrii subtipurilor TBEV-Sib și TBEV-FE (Kwasnik și colab., 2023; Mittova și colab., 2024).

Virusul encefalitei transmise de cãpușe (TBEv) se transmite în principal prin cãpușe dure infectate, principalele specii fiind *Ixodes ricinus* și *Ixodes persulcatus*, deși existã raportãri în care și alte specii de cãpușe pot acționa ca gazdã, transmiterea având loc la câteva minute dupã mușcãtura de cãpușã (Worku, 2023).

Ixodes ricinus este cea mai rãspãnditã specie de cãpușã din zona temperatã a Europei, fiind cunoscutã pentru capacitatea sa reproductivã ridicatã, diversitatea gazdelor, precum și rezistența la schimbãrile de mediu. Adaptabilitatea ridicatã contribuie la distribuția sa largã, care se întinde din sudul Spaniei pânã în nordul Scandinaviei. *I. ricinus* este semnificativã la nivel global datoritã asocierii sale cu numeroase boli zoonotice, atãt pe continentul european, cât și în alte zone ale lumii (Földvári, 2016).

Virusul TBE poate fi rãspãndit în prezent prin cel puțin opt specii de cãpușe tari (*Fam. Ixodidae*), însã pânã în prezent, virusul a fost izolat de la cel puțin alte 14 specii de cãpușe, ce aparțin genurilor: *Ixodes*, *Haemaphysalis*, *Dermacentor*, *Hyalomma* și *Rhipicephalus* (Hubálek și Rudolf, 2012; Chitimia-Dobler și colab., 2019).

Au fost raportate și alte cãi de transmitere a virusului TBE la oameni:

- aerian - prin aerosoli în rândul personalului de laborator;
- transfuzii de sãnge;
- transplant de organe;

- lapte matern (mamă infectată);
- transplant de organe: a implicat trei pacienți care au primit organe de la un singur donator - toți receptorii au dezvoltat encefalită la 17-49 de zile după transplant, ceea ce a dus la deces (Wahlberg și colab., 1989; Avšič-Županc și colab., 1995; Lipowski și colab., 2017; Kerlik și colab., 2022; Kwasnik și colab., 2023).

Infecțiile cu ortoflavivirus sunt asimptomatice la om, ceea ce face dificilă identificarea modului de transmitere a virusului. Simptomele clinice sunt specifice sistemului nervos central, ce se manifestă sub formă de encefalită, meningită sau mielopatie (Worku, 2023).

Conform datelor existente, Europa și Asia înregistrează anual peste 10.000 de cazuri de encefalita transmisă de căpușe. Mai mult, diagnosticele acestui tip de encefalită în Europa au crescut în perioada 2015-2020, chiar dacă în multe țări europene nu există obligativitatea raportării cazurilor umane pozitive. Cu toate acestea, în zonele endemice, encefalita transmisă de căpușe ar putea fi responsabilă pentru aproximativ 10% din cazurile de encefalită pediatrică idiopatică, datorită (Worku, 2023).

Utilizarea modelelor matematice pentru predicția virusului TBE

Una dintre condițiile pentru prevenirea eficientă a infecției cu encefalite transmise de căpușe (TBE) și a altor boli transmise de căpușe este determinarea atât a dinamicii vectorului (cel mai răspândit în Europa este *Ixodes ricinus*) în timp și spațiu, cât și a nivelului de risc de mușcătură de căpușă pentru persoanele care vizitează habitatele de căpușe.

În principiu, o astfel de evaluare și predicție a riscurilor poate fi clasificată în:

- (a) Evaluarea și predicția riscurilor spațiale – delimitarea părților cu risc ridicat ale peisajului.
- (b) Evaluarea și predicția riscurilor temporale; o categorie care poate fi subdivizată în:
 - predicție pe termen lung – precizarea modelelor sezoniere sau a schimbărilor multianuale în ceea ce privește tendințele climatice,
 - predicție pe termen scurt – reflectarea condițiilor meteorologice reale (Daniel și colab., 2006).

În articolul ”*The influence of meteorological factors on the risk of tick-borne encephalitis infection*”, publicat de Daniel și colab. (2023), sunt prezentate 4 modele matematice ce pot fi utilizate pentru predicția encefalitei transmise de căpușe (TBE), prin analiza relației dintre cazurile clinice diagnosticate noi și diverși predictorii (meteorologici sau sezonieri).

Mai exact, determinarea relației dintre cazurile noi de TBE înregistrate la oameni (variabile dependente) și diferiți predictorii a fost realizată utilizând: *media temperaturii diurne* (Tavg), *umiditatea relativă a aerului* (RH), precum și *interecțiunea acestora*.

1. Date privind incidența encefalitei transmise de căpușe (TBE) într-o anumită perioadă de timp

Datele privind numărul de cazuri poate fi luat din sistemul național de raportare, unde sunt înregistrate doar cazurile confirmate în laborator, nefiind incluse în studiu cazurile pozitive unde s-a dovedit infectarea prin consumul de lactate neprocesate termic.

Aceste date sunt utilizate în modelare pentru a estima momentul în care persoana pozitivă a fost înțepată de căpușa infectată, stabilindu-se astfel perioada de incubație care din punct de vedere statistic poate reprezenta o întârziere a efectului (întârziere de L-zile). Prin urmare, poate fi vorba despre cel puțin 2 tipuri de intervale de timp reprezentate fie de întârzierile administrative, fie de erori cronologice.

2. Date meteorologice

Datele meteorologice se pot prelua de la stații situate în zone de interes (habitate potrivite pentru căpușe) ce realizează măsurători meteorologice standard efectuate la 2 m deasupra solului. Datele meteorologice de interes sunt reprezentate de valorile medii naționale ale:

- Temperaturii medii diurne (măsurată de minim 4 ori: 7:00, 14:00; 21:00 – de 2 ori);
- Umiditatea relativă a aerului (măsurată de 3 ori: 7:00, 14:00; 21:00).

3. Date statistice

Studiul prezintă 4 modele statistice de predicție cu diferite niveluri de complexitate, ce se bazează pe distribuția binomială negativă pentru a permite supradispersia (apare atunci când variația observată a unui set de date depășește varianța prezisă de un model statistic).

3.1. Modelul 1 – simplu, cu o singură întârziere

Modelul 1 leagă apariția encefalitei transmise de căpușe (TBE) de interacțiunea dintre temperatura medie ambientală din timpul zilei și umiditatea relativă medie zilnică cu un singur decalaj de timp. Valoarea de întârziere rezultată L (întârzierea efectului de L -zi) utilizată pe baza unei comparații a modelelor cu diferite întârzieri.

$$\begin{aligned} P_t &\sim \text{NegBin}(\mu_t, \theta) \\ \log(\mu_t) &= \alpha + \sum_{i=1}^7 \beta_i \cdot I(t \text{ is of type } i) \\ &\quad + S_{\text{seasonality}}(\text{yday}_t) \\ &\quad + S_{T_{\text{avg}}, RH}(T_{\text{avg}_{t-L}}, RH_{t-L}) \end{aligned}$$

P_t – reprezintă numărul de cazuri de TBE raportate în ziua t (t este considerată prima zi a studiului). Se presupune că aceasta urmează o distribuție binomială negativă (permițând supradispersia în comparație cu variabila aleatorie Poisson);

μ_t – este valoarea așteptată a cazurilor de TBE în ziua t . Este modelată prin intermediul unei legături logaritmice convenționale (astfel încât efectele diferiților termeni ai modelului se combină multiplicativ pe scara originală);

θ – reprezintă parametrul (negativ) legat de posibila supradispersie a datelor;

$S_{\text{seasonality}}$ – descrie sezonabilitatea înregistrărilor cazurilor de TBE;

yday_t – reprezintă poziția numerică a zilei T în cadrul anului (1 până la 365);

$S_{T_{\text{avg}}, RH}$ - este considerat nucleul modelului. Acesta descrie efectul simultan al temperaturii medii zilnice și al umidității relative (T_{avg}, RH);

L –decalajul efectului. Din cauza perioadei de incubație și a altor întârzieri de raportare, temperatura și umiditatea – valori relevante pentru calcularea riscului de transmitere, nu sunt concomitente ci întârziate, utilizându-se formula $T_{\text{avg}_{t-L}}, RH_{t-L}$.

3.2. Modelul 2 – Model simplu cu o singură întârziere și cu coeficient variabil în timp, al termenului de interacțiune între temperatura și umiditatea relativă întârziate

M_{t-L} – reprezintă estimarea expresiei matematice $S_{T_{\text{avg}}, RH}(T_{\text{avg}_{t-L}}, RH_{t-L})$, obținută la modelul 1.

γ_t – acest coeficient variază lent în timp, luând în considerare importanța posibilelor diferențe a condițiilor meteorologice, pe măsură ce sezonul progresează, fiind în strânsă legătură fie cu biologia căpușelor, fie cu cea a virusului.

$$\begin{aligned}
P_t &\sim \text{NegBin}(\mu_t, \theta) \\
\log(\mu_t) &= \alpha + \sum_{i=1}^7 \beta_i \cdot I(t \text{ is of type } i) \\
&\quad + s_{\text{seasonality}}(\text{yday}_t) \\
&\quad + \gamma_t \cdot M_{t-L}
\end{aligned}$$

Acest model este adaptat în două etape:

- Aplicarea modelului 1;
- Extragerea $M_{t-L} = S_{Tavg,RH}(Tavg_{t-L}, RH_{t-L})$ și folosim în cea de-a doua etapă, în modelul 2.

Există totuși două preocupări legate de aceste 2 modele: estimarea celei mai mari întârzieri ar putea fi imprecisă, precum și posibilitatea de a nu fi complet realistă din punct de vedere biologic.

3.3. Modelul 3 – Model Almon cu decalaj multiplu (multi-lag Almon)

$$\begin{aligned}
P_t &\sim \text{NegBin}(\mu_t, \theta) \\
\log(\mu_t) &= \alpha + \sum_{i=1}^7 \beta_i \cdot I(t \text{ is of type } i) \\
&\quad + s_{\text{seasonality}}(\text{yday}_t) \\
&\quad + \sum_{l=0}^{40} \delta_l \cdot M_{t-l}
\end{aligned}$$

M_{t-l} – reprezintă estimarea expresiei matematice $S_{Tavg,RH}(Tavg_{t-l}, RH_{t-l})$, obținută la modelul 1 evaluat la decalajul l (unde l se întinde de la 0 la 40).

δ_l – este coeficientul expresiei matematice M_{t-l} , având ca prim avantaj faptul că putem lua estimarea δ_l și o putem reprezenta grafic în funcție de l pentru a obține o imagine a importanței variabilelor meteorologice cu întârzieri diferite pentru apariția ulterioară a TBE.

Acesta este un model distribuit (multi-lag) care este realizat tot în două etape: mai întâi se estimează Modelul 1, expresia matematică $S_{Tavg,RH}$ este apoi evaluat la diferite lag-uri (0 până la 40 de zile) și utilizat în modelul 3 pentru a estima coeficienții Almon (împreună cu toate celelalte părți ale Modelului 3).

La fel ca în considerațiile Modelului 1 și Modelului 2 privind posibilele efecte variabile în timp (importanța schimbătoare sezonier a aceluiași condiții meteorologice), putem extinde Modelul 3 în versiunea variabilă în timp a Modelului 4.

3.4. Modelul 4 – Model Almon cu variație în timp cu decalaj multiplu (Multi-lag time-varying Almon)

$$\begin{aligned}
P_t &\sim \text{NegBin}(\mu_t, \theta) \\
\log(\mu_t) &= \alpha + \sum_{i=1}^7 \beta_i \cdot I(t \text{ is of type } i) \\
&\quad + s_{\text{seasonality}}(\text{yday}_t) \\
&\quad + \sum_{l=0}^{40} \delta_{t,l} \cdot M_{t-l}
\end{aligned}$$

$\delta_{t,l}$ – este coeficientul Almon care variază acum în timp pentru decalajul l . Similar cu Modelul 2, partea care variază în timp este implementată ca periodicitate a variației coeficientului sezonier.

Acesta este cel mai complicat și mai general model care ia în considerare atât întârzierile multiple, cât și coeficienții acestora care variază lent în timp.

Predicțiile meteo (în special cele privind temperatura), combinate cu durata zilei, s-au dovedit a fi predictorii buni din punct de vedere statistic ai activității nimfelor de *I. ricinus*, care prezintă cel mai mare risc pentru oameni de a contracta infecții transmise de căpușe. Datele de co-ocurență pentru

larve și nimfe susțin necesitatea de a considera transmiterea intrastadială, mai degrabă decât interstadială, a agenților patogeni prin co-hrănire, ca fiind esențială pentru supraviețuirea virusului encefalitei transmise de căpușe în natură. Deși evenimentele meteorologice extreme par să fi afectat populațiile de căpușe, numărul de căpușe și-a revenit rapid în anii următori (Daniel și colab., 2015).

Studiul ”*Ticks and Tick-borne disease system in space and from space*” de Sarah Randolph (2000), analizează utilizând sistemele informaționale geografice (GIS) ariile de răspândire la scară mică și mare a speciilor de căpușe tari (*Ixodidae*), ce sunt determinate mai mult de climă și vegetație decât de factori legați de gazdă. Prin urmare, distribuțiile spațiale ale căpușelor pot fi analizate prin metode statistice care caută corelații între prezența/absența cunoscută a căpușelor și factorii de mediu detectați prin sol sau prin teledetecție (RS).

Având în vedere asocierea intimă și prelungită dintre căpușă și gazdă în timpul fiecărei mese cu sânge, dar și fazele neparazitare și mai lungi ale fiecărui ciclu de viață, nu este evident dacă arealul de răspândire al speciilor de căpușe este limitat în principal de factori biotici sau abiotici de mediu. Evident, căpușele nu pot supraviețui în absența unor gazde adecvate, dar cu cât relația căpușă-gazdă este mai puțin specifică, cu atât este mai puțin probabil ca gazdele să fie un factor limitator; vertebratele cu care se pot hrăni căpușele sunt mai mult sau mai puțin omniprezente. Acest lucru este cu siguranță valabil pentru speciile importante de căpușe din zonele temperate, *Ixodes ricinus* în Europa și *I. scapularis* în SUA, care se hrănesc practic cu orice vertebrat cu care intră în contact.

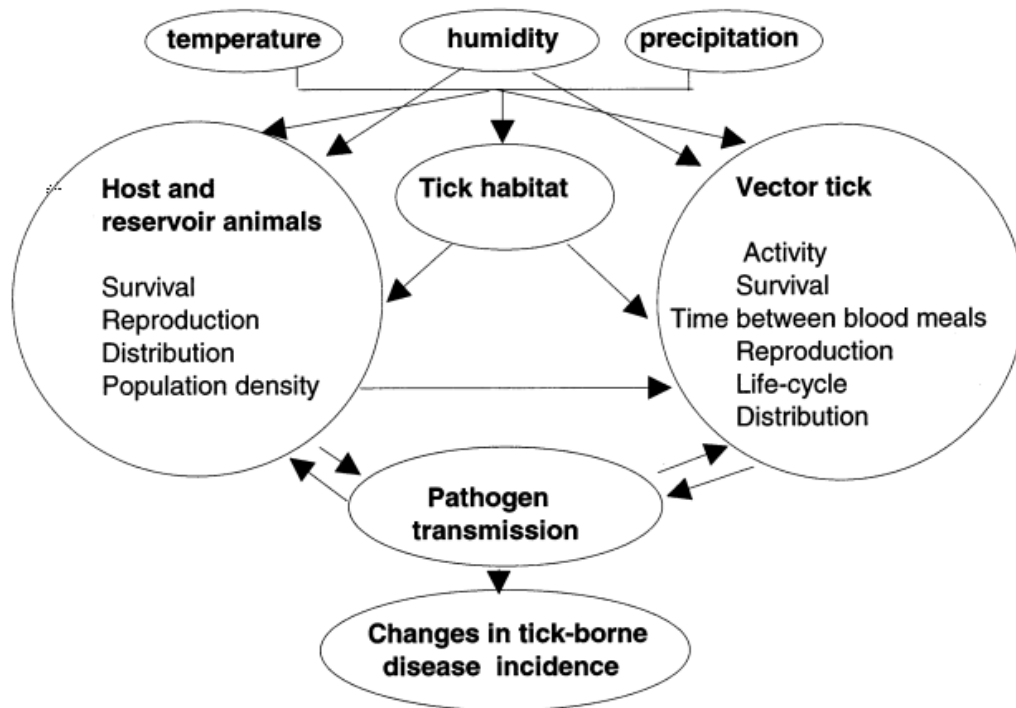
În schimb, la scară locală, absența sau deficitul de gazde în orice parte a unei regiuni cu un mediu permisiv pentru căpușe va provoca distribuții neuniforme, astfel încât, căpușele pot fi absente pe câmpuri sau zone rezidențiale, dar prezente în pădurile adiacente locuite de specii de vertebrate adecvate. Această eterogenitate a habitatului în sine va arăta corelații clare cu indicii de vegetație și factorii microclimatici. Prin urmare, distribuțiile căpușelor pot fi precise prin metode statistice relativ simple, care caută corelații între factorii de mediu și prezența căpușelor.

Ironia acestei abordări constă în faptul că, fără hărți descriptive bune ale distribuției unei specii, bazate pe observații la sol, nu avem punctul de plecare esențial pentru a genera hărți predictive bazate pe potrivirea statistică a tiparelor. Totuși, dacă avem deja astfel de hărți descriptive bune, cu greu mai avem nevoie de hărți predictive. De fapt, hărțile descriptive nu sunt niciodată complete și, mai important, ele pot fi doar statice, fără muncă de teren repetată și costisitoare. Obiectivul derivării hărților predictive este de a înțelege procesele care stau la baza tiparelor de distribuție, astfel încât să putem completa lacunele din observațiile noastre primare și, de asemenea, să actualizăm distribuțiile pe măsură ce acestea se modifică odată cu schimbarea condițiilor de mediu.

Înainte de accesibilitatea obișnuită a imaginilor din satelit, primele încercări de a prezice distribuțiile la scară largă a căpușelor se bazau pe baze de date climatice directe sau interpolate. Cea mai cunoscută dintre abordările de potrivire climatică este programul **CLIMEX**, care calculează adecvarea climatică a regiunilor geografice pentru speciile de artropode folosind un indice de creștere dependent de temperatură, moderat de patru indici de stres (cald, rece, uscat, umed). Hărțile distribuției indicelui de adecvare ecoclimatică (EI) pentru o specie de căpușă au fost comparate vizual, dar nu statistic, cu distribuția înregistrată a căpușei.

O a doua abordare bazată pe climă pentru modelarea distribuțiilor căpușelor s-a bazat pe modelul **BIOCLIM**. Pentru fiecare dintr-o selecție de puncte geografice din întreaga distribuție a speciei de căpușă, BIOCLIM generează 24 de atribute climatice din care sunt derivați indici care rezumă condițiile medii anuale și sezoniere, valorile extreme și sezonalitatea intra-anuală. Pragurile și limitele selectate de computer pentru fiecare dintre indici sunt potrivite pe o grilă geografică pentru a prezice distribuția potențială.

În cazul populațiilor de căpușe, ratele de dezvoltare sunt determinate în funcție de temperatură, putând fi complicate de diapauză în regiunile temperate și semitemperate, în timp ce pierderea din populații este determinată de ratele de mortalitate, ce pot fi complicate de ratele variabile de succes ale hrănirii (Randolph, 2000).



Diagramă a principalelor relații dintre influența schimbărilor climatice asupra ecologiei căpușelor și asupra altor factori importanți pentru incidența bolilor transmise de căpușe. (Lindgren, 1998).

Modelul de bază utilizat leagă apariția TBE de interacțiunea dintre temperatura ambiantă și umiditatea relativă a aerului cu schimbarea menționată mai sus și include, de asemenea, efectul anotimpului și efectul zilei săptămânii. Alte modele iau în considerare și compară posibilitatea utilizării unor decalaje alternative, inclusiv modele bazate pe abordarea Almon, care funcționează cu mai multe decalaje simultan. Relația dintre cei doi factori meteorologici și interacțiunile lor se schimbă în timpul sezonului de activitate a radiațiilor infraroșii de interes gazdă, și odată cu aceasta se schimbă și condițiile pentru apariția de noi cazuri clinice de TBE.

REFERINȚE BIBLIOGRAFICE

1. A. Beguin, S. Hales, J. Rocklöv, C. Aström, V. R. Louis, and R. Sauerborn, "The opposing effects of climate change and socioeconomic development on the global distribution of malaria," *Global Environmental Change*, vol. 21, no. 4, pp. 1209–1214, 2011.
2. A. Monge-Maillo and R. Lopez-Velez, "Migration and Malaria in Europe," *Mediterranean Journal of Hematology and Infectious Diseases*, vol. 4, no. 1, Article ID e2012014, 2012.
3. Avšič-Županc, T.; Poljak, M.; Matičič, M.; Radšel-Medvešček, A.; LeDuc, J. W.; Stiasny, K.; Kunz, C.; Heinz, F. X. Laboratory Acquired Tick-Borne Meningoencephalitis: Characterisation of Virus Strains. *Clinical and Diagnostic Virology* **1995**, 4 (1), 51–59. [https://doi.org/10.1016/0928-0197\(94\)00062-Y](https://doi.org/10.1016/0928-0197(94)00062-Y).
4. Chitimia-Dobler, L.; Lemhöfer, G.; Król, N.; Bestehorn, M.; Dobler, G.; Pfeffer, M. Repeated Isolation of Tick-Borne Encephalitis Virus from Adult Dermacentor Reticulatus Ticks in an Endemic Area in Germany. *Parasites Vectors* **2019**, 12 (1), 90. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3346-6>.
5. D. Nicolaiciuc, M. I. Popa, and L. Popa, "Malaria in the whole world and in Romania," *Roumanian Archives of Microbiology and Immunology*, vol. 58, no. 3-4, pp. 289–296, 1999.
6. Daniel, M.; Brabec, M.; Malý, M.; Danielová, V.; Vráblík, T. The Influence of Meteorological Factors on the Risk of Tick-Borne Encephalitis Infection. *Epidemiol Mikrobiol Imunol* **2023**, 72 (2), 67–77.
7. Daniel, M.; Malý, M.; Danielová, V.; Kříž, B.; Nuttall, P. Abiotic Predictors and Annual Seasonal Dynamics of Ixodes Ricinus, the Major Disease Vector of Central Europe. *Parasites Vectors* **2015**, 8 (1), 478. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1092-y>.
8. Daniel, M.; Zitek, K.; Danielová, V.; Kříž, B.; Valter, J.; Kott, I. Risk Assessment and Prediction of Ixodes Ricinus Tick Questing Activity and Human Tick-Borne Encephalitis Infection in Space and Time in the Czech Republic. *International Journal of Medical Microbiology* **2006**, 296, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2006.02.008>.
9. Dobler, Gerhard. *Chapter 2: Tick-Borne Flavivirus Complex – Phylogeny and Biogeography*, 7th ed.; The TBE Book; Singapore: Global Health Press, 2024.
10. Földvári, G. 3. Life Cycle and Ecology of Ixodes Ricinus: The Roots of Public Health Importance; Brill, 2016. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-838-4_3.
11. G. Nicolescu, V. Purcarea-Ciulacu, A. Vladimirescu et al., "Could malaria re-emerge in Romania?" *International Journal of Infectious Diseases*, vol. 45, supplement 1, pp. 187–188, 2016.
12. Helena, F. Bruneel, G. Burchard et al., "Management of imported malaria in Europe. European Centre for Disease Prevention and Control," *Malaria Journal*, vol. 11, article 328, 2012.
13. Holbrook, M. R.; Shope, R. E.; Barrett, A. D. T. Use of Recombinant E Protein Domain III-Based Enzyme-Linked Immunosorbent Assays for Differentiation of Tick-Borne Encephalitis Serocomplex Flaviviruses from Mosquito-Borne Flaviviruses. *Journal of Clinical Microbiology* **2004**, 42 (9), 4101–4110. <https://doi.org/10.1128/jcm.42.9.4101-4110.2004>.
14. Hubálek, Z.; Rudolf, I. Tick-Borne Viruses in Europe. *Parasitol Res* **2012**, 111 (1), 9–36. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-2910-1>.
15. Huppert, A.; Katriel, G. Mathematical Modelling and Prediction in Infectious Disease Epidemiology. *Clinical Microbiology and Infection* **2013**, 19 (11), 999–1005. <https://doi.org/10.1111/1469-0691.12308>.
16. J. A. Patz and S. H. Olson, "Malaria risk and temperature: Influences from global climate change and local land use practices," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 103, no. 15, pp. 5635–5636, 2006.

17. J. Crawley and B. Nahlen, "Prevention and treatment of malaria in young African children," *Seminars in Pediatric Infectious Diseases*, vol. 15, no. 3, pp. 169–180, 2004.
18. Kerlik, J.; Avdičová, M.; Musilová, M.; Béréšová, J.; Mezencev, R. Breast Milk as Route of Tick-Borne Encephalitis Virus Transmission from Mother to Infant. *Emerg Infect Dis* **2022**, 28 (5), 1060–1061. <https://doi.org/10.3201/eid2805.212457>.
19. Kruger, A. Rech, X.-Z. Su, and E. Tannich, "Two cases of " autochthonous *Plasmodium falciparum* malaria in Germany with evidence for local transmission by indigenous *Anopheles plumbeus*," *Tropical Medicine and International Health*, vol. 6, no. 12, pp. 983–985, 2001.
20. Kwasnik, M.; Rola, J.; Rozek, W. Tick-Borne Encephalitis—Review of the Current Status. *Journal of Clinical Medicine* **2023**, 12 (20), 6603. <https://doi.org/10.3390/jcm12206603>.
21. L. Ivanescu, C. Roman, D. Acatrinei, L. Ciuca, and L. Miron, "Malaria-the risk of the re-emergence in Romania," in *Ion Ionescu de la Brad*, Lucrari Stiintifice-Medicina Veterinara and ~ Universitatea de Stiinte Agricole si Medicina Veterinara, Eds., vol. 58, no 2, pp. 248–253, Ion Ionescu de la Brad University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Iasi, Iasi,
22. Lindgren, E. Climate Change, Tick-Borne Encephalitis and Vaccination Needs in Sweden—a Prediction Model. *Ecological Modelling* **1998**, 110 (1), 55–63. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(98\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(98)00041-6).
23. Lipowski, D.; Popiel, M.; Perlejewski, K.; Nakamura, S.; Bukowska-Oško, I.; Rządkiwicz, E.; Dzieciatkowski, T.; Milecka, A.; Wenski, W.; Ciszek, M.; Dębska-Ślizień, A.; Ignacak, E.; Cortes, K. C.; Pawełczyk, A.; Horban, A.; Radkowski, M.; Laskus, T. A Cluster of Fatal Tick-Borne Encephalitis Virus Infection in Organ Transplant Setting. *J Infect Dis* **2017**, 215 (6), 896–901. <https://doi.org/10.1093/infdis/jix040>.
24. M. Buneci, *Metode Numerice—Aspecte Teoretice si Practice*, Academica Brancu, Targu-Jiu, Romania, 2009. ^
25. M. E. Sinka, M. J. Bangs, S. Manguin et al., "The dominant *Anopheles* vectors of human malaria in Africa, Europe and the Middle East: occurrence data, distribution maps and biologic precis," *Parasites & Vectors*, vol. 3, article 117, 2010.
26. M. J. Bouma, H. E. Sondorp, and H. J. van der Kaay, "Climate change and periodic epidemic malaria," *The Lancet*, vol. 343, no. 8910, p. 1440, 1994.
27. Mittova, V.; Tsetskhladze, Z. R.; Motsonelidze, C.; Palumbo, R.; Vicidomini, C.; Roviello, G. N. Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV): Epidemiology, Diagnosis, Therapeutic Approaches and Some Molecular Aspects—An Updated Review. *Microbiology Research* **2024**, 15 (4), 2619–2649. <https://doi.org/10.3390/microbiolres15040174>.
28. N. Gabriela and V. Purcarea-Ciulacu, ~ *Modelul de stratificare a zonelor de risc de re-emergent,a si al strategiei de supraveghere si control al malariei în Romania* ^ , Ars Docendi-Universitatea din Bucuresti, 2012.
29. O. S. Knottnerus, *Malaria Around the North Sea: A Survey*, Springer, Berlin, Germany, 2002.
30. P. Martens, R. S. Kovats, S. Nijhof et al., "Climate change and future populations at risk of malaria," *Global Environmental Change*, vol. 9, pp. S89–S107, 1999.
31. Parasca Larisa, Matitut Simona, and L. Miron, "International travel increase and malaria importation in Romania, 2007–2012," *Lucrari Stiintifice*, vol. 56, no. 15, pp. 330–339, 2013.
32. Parasca Larisa, Sulesco Tatiana, L. Miron, and T. Lidia, "Identification of sibling species of the *Anopheles maculipennis* complex (Diptera:culicidae) by a Polymerase Chain Reaction Assay," *Lucrari Stiintifice*, vol. 55, no. 14, pp. 791–795, 2012.
33. R. Neghina, A. M. Neghina, I. Marincu, and I. Iacobiciu, "International travel increase and malaria importation in Romania, 2008-2009," *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, vol. 11, no. 9, pp. 1285–1288, 2011.

34. R. Neghina, A.-M. Neghina, L. D. Giurgiu, I. Marincu, and I. Iacobiciu, "Import of malaria in a Romanian Western County," *Travel Medicine and Infectious Disease*, vol. 6, no. 4, pp. 215–218, 2008.
35. R. W. Snow and K. Marsh, "The consequences of reducing transmission of *Plasmodium falciparum* in Africa," *Advances in Parasitology*, vol. 52, pp. 235–264, 2002.
36. R. W. Snow, C. A. Guerra, A. M. Noor, H. Y. Myint, and S. I. Hay, "The global distribution of clinical episodes of *Plasmodium falciparum* malaria," *Nature*, vol. 434, no. 7030, pp. 214–217, 2005.
37. Randolph, S. E. Ticks and Tick-Borne Disease Systems in Space and from Space. In *Advances in Parasitology; Remote Sensing and Geographical Information Systems in Epidemiology*; Academic Press, 2000; Vol. 47, pp 217–243. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(00\)47010-7](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(00)47010-7).
38. Randolph, S. Predicting the Risk of Tick-Borne Diseases. *International Journal of Medical Microbiology* **2002**, *291*, 6–10. [https://doi.org/10.1016/S1438-4221\(02\)80002-9](https://doi.org/10.1016/S1438-4221(02)80002-9).
39. Romania, 2015.
40. S. I. Hay, E. A. Okiro, P. W. Gething et al., "Estimating the global clinical burden of plasmodium falciparum malaria in 2007," *PLoS Medicine*, vol. 7, no. 6, Article ID e1000290, 2010.
41. Vilibic-Cavlek, T.; Krmar, S.; Bogdanic, M.; Tomljenovic, M.; Barbic, L.; Roncevic, D.; Sabadi, D.; Vucelja, M.; Santini, M.; Hunjak, B.; Stevanovic, V.; Boljetic, M.; Bjedov, L.; Masovic, V.; Potocnik-Hunjadi, T.; Lakoseljic, D.; Al-Mufleh, M.; Savic, V. An Overview of Tick-Borne Encephalitis Epidemiology in Endemic Regions of Continental Croatia, 2017–2023. *Microorganisms* **2024**, *12* (2), 386. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12020386>.
42. Wahlberg, P.; Saikku, P.; Brummer-Korvenkontio, M. Tick-Borne Viral Encephalitis in Finland. The Clinical Features of Kumlinge Disease during 1959–1987. *Journal of Internal Medicine* **1989**, *225* (3), 173–177. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.1989.tb00059.x>.
43. Worku, D. A. Tick-Borne Encephalitis (TBE): From Tick to Pathology. *Journal of Clinical Medicine* **2023**, *12* (21), 6859. <https://doi.org/10.3390/jcm12216859>.