

Modelarea scurgerii de suprafață în zonele urbane ținând cont de schimbările climatice: Nørrebro, Danemarca

Raportul NR. 2

2016

Student doctorand: Ing. Alexandra Georgiana Ioan

Conducător de doctorat: Prof. univ. dr. ing. Anton Anton

CUPRINS

1.	INTRODUCERE.....	3
2.	MODALITATI DE MODELARE PROPUSE	5
3.	CALIBRAREA SCURGERII DE SUPRAFATA.....	10
4.	REZULTATE.....	14
4.1.	Rezultatele modelarii hidrologice.....	15
4.2.	Rezultatele modelarii hidraulice.....	16
4.2.1	Limita de inundatie	16
4.2.2	Adancimea inundatiei	17
4.2.3	Timpul de rulare si celulele umede.....	18
4.2.3	Aria inundata si volumul de inundatie	20
5.	CONCLUZII	22
6.	REFERINTE	22
7.	ANEXE.....	14

Lista figurilor

Figura 1 Legatura dintre principalele componente ale unui model de calcul de inundatii	5
Figura 2. Reprezentarea suprafetelor care sunt incluse in abordarea de modelare M1	6
Figura 3. Reprezentarea suprafetelor incluse in abordarea de modelare M2	7
Figura 4. Reprezentarea suprafetelor incluse in abordarea de modelare M3	9
Figura 5. Reprezentarea suprafetelor incluse in abordarea de modelare M4	9
Figura 6. Calibrarea modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M1 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani.....	10
Figura 7. Calibrarea modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M1 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani	11
Figura 8. Reprezentarea reprezentare fizica a sub-bazinelor de canalizare	12
Figura 9. Calibrarea modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M2 si M4 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 10. Calibrarea modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M2 si M4 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani.....	13Error! Bookmark not defined.
Figura 11. Metoda compararii modelelor.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 12. Volumul de ploaie acumulat introdus in modelul hidraulic pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani	15
Figura 13. Volumul de ploaie acumulat introdus in modelul hidraulic pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani.	15
Figura 14. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (stanga), respectiv limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (dreapta).	Error! Bookmark not defined.
Figura 15. Adancimea inundatiei calculata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (stanga), respectiv adancimea inundatiei calculata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (dreapta).	17
Figura 16. Timpul de rulare in raport cu numarul celulele care participa activ la calculul de inundatie pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani.	Error! Bookmark not defined.
Figura 17. Timpul de rulare in raport cu numarul celulele care participa activ la calculul de inundatie pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani. ..	Error! Bookmark not defined.
Figura 18. Aria inundata in raport cu volumul de inundatie pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani.....	Error! Bookmark not defined.
Figura 19. Aria inundata in raport cu volumul de inundatie pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani.....	2Error! Bookmark not defined.

1. INTRODUCERE

În ultimii ani inundațiile au cauzat pagube de miliarde de euro și numeroase pierderi de vieți omenești. În decursul viitoarelor decenii, evenimente meteorologice extreme sunt așteptate să devină din ce în ce mai frecvente datorită schimbărilor climatice (Arnbjerg-Nielsen, Leonardsen, & Madsen, 2015). Natura și intensitatea acestor fenomene variază în întreaga lume. În ultimii 30 de ani, schimbările în modelele de ploaie au fost observate în Danemarca sub forma de precipitații extreme. Aceste fenomene se evidențiază în special prin frecvența crescută a evenimentelor extreme dar și magnitudinea acestor evenimente este în creștere. (Arnbjerg-Nielsen, 2012).

Un studiu efectuat în Danemarca, spune că prognoza meteo a secolului 21 prezice o intensificare a ploilor torențiale cu care avem de a face în prezent. De exemplu, precipitațiile extreme, cu probabilitate de revenire de 100 ani vor crește cu 45 %. În prezent, sistemele de canalizare din Danemarca sunt proiectate să facă față unui eveniment cu probabilitate de apariție de 20 % dacă vorbim de apă pluvială, iar dacă sistemul de canalizare este combinat acesta a fost dimensionat astfel încât să nu fie inundat mai mult de o dată la 10 ani (în medie). Cu alte cuvinte, dacă nu se va face nimic pentru a nu mai permite preluarea apelor pluviale în totalitate de rețeaua clasică de canalizare, zonele urbane vor fi inundate de 3 ori mai des decât sunt inundate în prezent (Grum et al., 2006). Danemarca este una dintre țările care face foarte mari progrese în dezvoltarea unor noi sisteme de preluare a apelor pluviale orășenești.

Pentru a adapta orașele la aceste fenomene meteorologice extreme se pot folosi mai multe abordări. Una dintre acestea este cea conventională prin care se mărește capacitatea de transport și de înmagazinare a sistemului de canalizare, dar uneori aceasta este nefezabilă din cauza costurilor foarte mari de implementare. O altă abordare este adaptarea peisajului urban pentru managementul apelor de ploaie, abordare care este numită foarte des Low Impact Development (LID) sau Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) și implică elemente din Green Infrastructure (GI) (Fletcher et al., 2014). Există mai multe posibilități de reconstruirea orașelor luând în calcul spațial necesar apelor pluviale. Acest lucru va crea posibilitatea în cazul evenimentelor de precipitații extreme de a redirectiona apa de ploaie către zone special create pentru a fi inundate, cum ar fi parcurile din interiorul orașului sau zonele verzi din afara orașului. Aceasta abordare a devenit foarte populară în Danemarca în ultimii ani (The City of Copenhagen, 2015).

În acest context, acurătatea modelării scurgeriilor de suprafață provenite în urma evenimentelor de precipitații extreme din zonele urbane este foarte importantă, dar este dificil de realizat datorită complexității modelării infiltrațiilor în zonele verzi. (DHI, 2015). În funcție de practica locală, de disponibilitatea softurilor sau a datelor de intrare în model, în funcție de posibilitatea procesării acestor date, de timpul necesar rularii modelelor dar și de experiența modelatorului, modelarea scurgeriilor de suprafață provenite în urma evenimentelor de precipitații extreme din zonele urbane poate fi analizată folosind diferite abordări. Alegerea abordării corecte de modelare, folosirea corectă a ploilor de calcul în model și a parametrilor de calibrare trebuie făcută pe baza unor criterii foarte clare pentru a conduce la rezultate cât mai apropiate de realitate. În prezent există o nevoie la nivel mondial de standarde care să vină în ajutorul modelatorilor pentru a avea o abordare comună, potrivită pentru zona de proiect studiată.

Această cercetare se axează pe complexitatea modelării mișcărilor apelor de ploaie în zone urbane în timpul evenimentelor de precipitații extreme și pune accent pe zonele verzi și LID. Se vor aplica patru abordări diferite de modelare a scurgeriilor de suprafață provenite în urma evenimentelor de precipitații extreme din zonele urbane ținând cont de infiltrațiile din zonele verzi ale bazinului de canalizare Nørrebro, Danemarca. Nørrebro are o suprafață de 276 ha, iar modelarea sistemului de canalizare în această zonă se va face luând în calcul un număr mare de măsuri verzi-albastre, ca parte din Master Planul pentru Copenhaga, 2015 (The City of Copenhagen, 2015).

2. MODALITATI DE MODELARE PROPUSE

Principalul model hidrologic conceptual folosit in Danemarca pentru modelarea apei de ploaie este ‘**MOUSE Model A**’. Acesta abordează metoda “Time-Area” (“arie-timp”) luând in calcul o scurgere liniară și o suprafață permeabilă fixă. Aceasta metodă include pierderi de obicei minore sub forma de pierdere întârziată și un factor de reducere hidrologic, care este de obicei un factor folosit pentru calibrarea modelului hidrologic. Curba “Time-Area” descrie suprafața care contribuie cu apă de ploaie la scurgerile calculate in modelul hidrologic și este definită in funcție de aria bazinului de canalizare, timpul de concentrare (TOC) și forma zonei de captare. Recent in Danemarca modelul conceptual ‘**MOUSE Model A**’ este înlocuit cu modelul hidrologic conceptual ‘**MOUSE Model B**’. Aceasta metodă de calcul este bazată pe calculul unui rezervor nonliniar care este descris de către ecuația unei cinemate. Aceasta ecuație presupune condiții de curgere uniforme pe suprafață și o distribuție uniformă a precipitațiilor.

Sistemul fizic inclus in model este alcătuit din următoarele componente: modelul scurgerii de suprafață (bazine de canalizare), sistemul de canalizare și suprafața 2D (suprafața terenului):

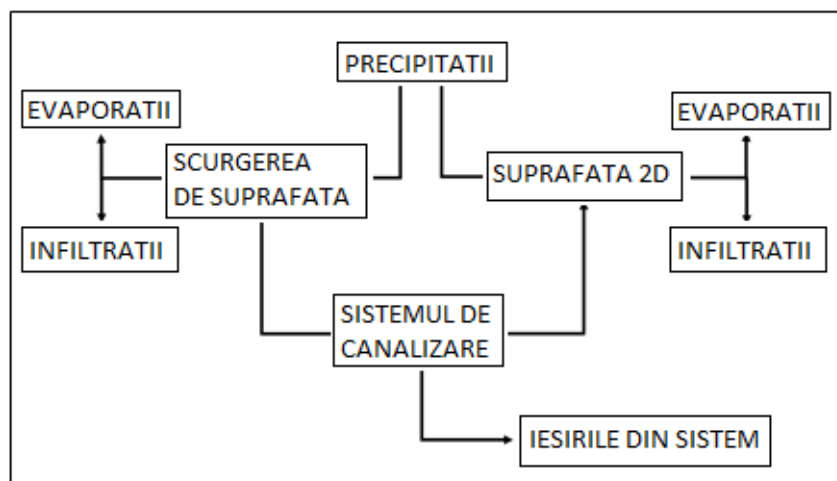


Figura (1): Legătura dintre principalele componente ale unui model de calcul de inundații

Modelul hidrologic al rețelei de canalizare reprezintă situația existentă a sistemului, care a fost îmbunătățit cu 36 de subproiecte (soluții verzi-albastre) ca parte din Master Planul pentru Copenhaga, 2015 (The City of Copenhagen, 2015) care au rolul de a ajuta rețeaua de canalizare existent la transportul volumelor de precipitații extreme.

Prima abordare de modelare aleasa pentru acest studiu (**M1**) include o pierdere initiala in calculul modelului hidrologic, atat pentru scurgerea de suprafata de pe suprafetele permeabile cat si pentru scurgerea de suprafata de pe suprafetele nepermeabile. Modelul conceptual folosit aici este ‘MOUSE Model A’. Scurgerile de suprafata de pe suprafetele permeabile (zonele verzi, parcurile,) si nepermeabile (acoperisuri, drumuri, parcari) sunt reduse prin pierderile initiale. Valoarea acestora este considerata 0,0006 m. Aceste pierderi sunt limitate, ceea ce inseamna ca o data cu marirea intensitatii evenimentului de ploaie importanta acestor pierderi scade, iar scurgerile se aproprie de 100% in cazul evenimentelor extreme (DHI, 2015).

In acest caz permeabilitatea zonelor care contribuie la model va fi inclusa in analiza. Scurgerile din zonele nepermeabile vor fi reduse dupa cum urmeaza: scurgeriile de pe acoperisuri vor fi reduse cu 5%, scurgeriile de pe sosele vor fi reduse cu 10%, iar scurgeriile din parcari vor fi reduse cu 15% (Ramboll). Pentru aceasta analiza factorul hidrologic de reducere folosit va fi 1, ceea ce inseamna ca toate pierderile vor fi incluse doar in pierderile initiale.

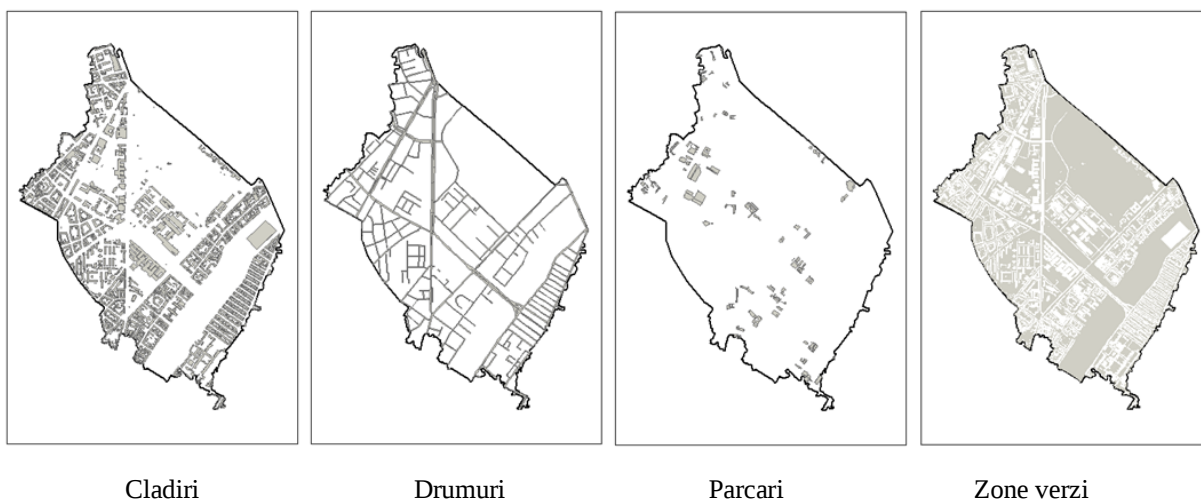


Figura (2): Reprezentarea suprafetelor care sunt incluse in abordarea de modelare **M1**

Scurgerile de suprafata provenite de pe suprafetele permeabile vor depinde in primul rand de capacitatea de infiltratie a solului. Este de asteptat ca suprafetele permeabile din mediul urban cum ar fi parcurile si gradinile sa genereze scurgeri de suprafata indiferent de frecventa si perioada evenimentului. Aceasta scurgere de suprafata devine semnificativa o data cu marirea perioadei de revenire a evenimentului de precipitatii.

În general scurgerile de suprafață provenite de pe zonele verzi nu sunt luate în calcul atunci când este proiectat sistemul de canalizare deoarece se presupune că în cazul unui eveniment de 10 ani capacitatea de infiltrație a zonelor verzi va fi suficient de mare ca să nu genereze scurgere de suprafață.

În cazul de față, pentru o analiză mai apropiată de realitate în zona Nørrebro unde 60% din suprafața bazinului de canalizare este alcătuit din zone permeabile, scurgerile de suprafață de pe zonele verzi va fi incluse în calcul modelului hidrologic.

A doua abordare de modelare (**M2**) introduce în calculul modelului hidrologic doar scurgerile de suprafață provenite de pe zone nepermeabile, iar în modelul hidraulic acestea vor contribui direct la încărcarea sistemului de drenaj. Modelul conceptual de scurgere folosit aici va fi ‘MOUSE Model A’ ceea ce înseamnă că scurgerile de suprafață provenite de pe zone nepermeabile vor fi calculate la fel ca și în cazul abordării de modelare **M1**. Diferența între abordările **M2** și **M1** este că în cazul abordării de modelare **M2** scurgerile de suprafață provenite de pe suprafețele permeabile vor fi aplicate direct pe suprafața terenului 2D. Astfel, parte din aceste scurgeri de suprafață vor fi transportate pe teren către zonele depresionare unde vor rămâne blocate, se vor evapora sau infiltra în sol înainte de a se transforma în scurgeri care încarcă sistemului de canalizare.

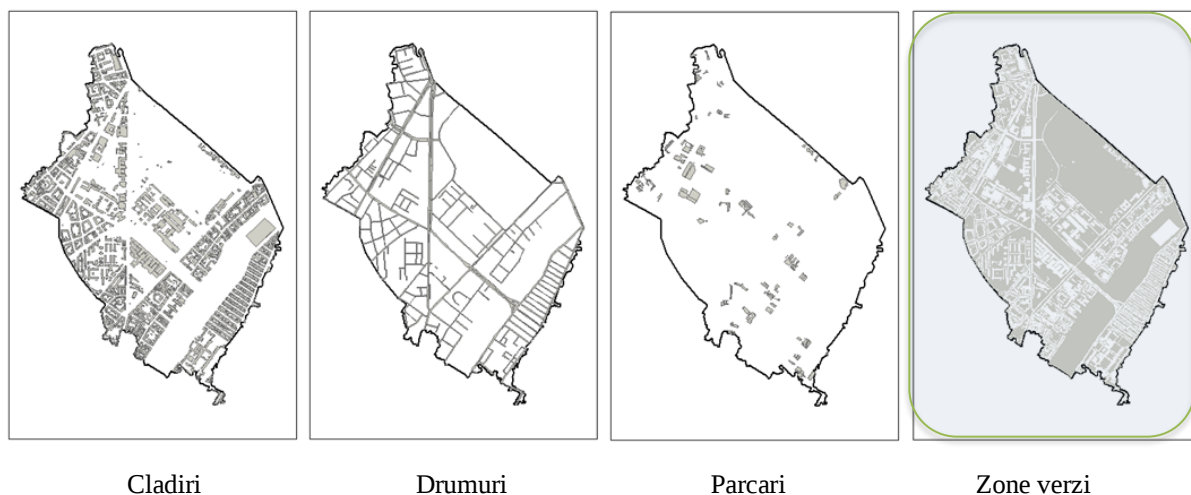


Figura (3): Reprezentarea suprafețelor incluse în abordarea de modelare **M2**

A treia abordare de modelare (**M3**) este de a împărți procentual bazinele de canalizare în suprafețe nepermeabile și suprafețe permeabile, considerând astfel că toate subbazinele de canalizare sunt identice.

Modelul conceptual de scurgere folosit aici este "MOUSE Model B", model care aplica ecuatia lui Horton:

$$I_H(t) = I_{Imin} + (I_{Imax} - I_{Imin}) \cdot e^{-k_a \cdot t} \quad , \text{ unde:}$$

$I_H(t)$ = infiltratia Horton (m/s)

I_{Imin} = capacitatea initiala (maxima) de infiltrare (m/s)

I_{Imax} = capacitatea finala (minima) de infiltrare (m/s)

k_a = constanta empirica (factor de timp) (s^{-1})

t = timpul de incepere a ploii (s)

Suprafetele nepermeabile sunt impartite in suprafete abrupte (acoperisuri) și suprafete plane (parcari) in timp ce zonele permeabile sunt impartite in zone permabile unde capacitatea de infiltratie este mare, medie si mica. In acest studiu pentru usurinta calculului presupunerea este ca toate suprafetele nepermeabile din model sunt plate si toate zonele permeabile au o capacitate de infiltratie medie.

Bazinul Nørrebro este impartit in 40% zone nepermeabile plate si 60% zone permeabile cu o capacitatea de infiltratie medie. Suprafete nepermeabile cum ar fi acoperisurile, drumurile si zone de parcare sunt reduse de pierderile initiale, care, in acest caz, acesta este împărțit în: 5×10^{-5} m pierderi initiale in zonele umede si 6×10^{-4} m pierderi initiale immagazinate. Scurgerile de suprafata provenite de pe suprafetele nepermeabile sunt deasemenea reduse de pierderile initiale: 5×10^{-5} m pierderi initiale in zonele umede and 4×10^{-2} m pierderi initiale immagazinate.

Aceasta metoda permite luarea in considerare a infiltratiilor pentru zonele permeabile in care infiltratiile scad exponential si o capacitate de infiltratie mare la inceputul evenimentului de precipitatii. Proprietatile solului sunt reprezentate de parametrii de intrare pentru acest model conceptual.

In bazinul Nørrebro tipul de sol este argilos si pe baza parametrilor de infiltratii din literatura capacitatea maxima de infiltrare a fost stabilita 5×10^{-5} m/s si va fi redusa in timpul evenimentului de ploaie pana la 1×10^{-6} m/s.

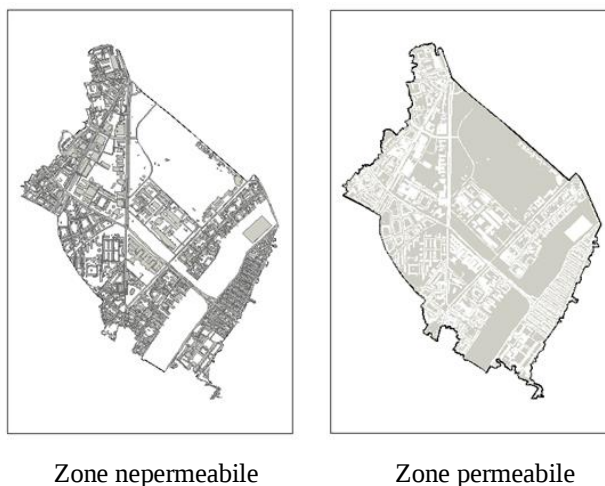


Figure (4): Reprezentarea suprafetelor incluse in abordarea de modelare **M3**

Cea de a patra abordare de modelare (**M4**) este aceea de a include numai scurgerile de suprafata de pe zonele nepermeabile calculate cu modelul conceptual de scurgere "MOUSE Model B" ca incarcare directa a sistemului de canalizare. Scurgerea din zonele nepermeabile vor fi calculate la fel ca in abordarea de modelare M1.

Asemenea abordarii de modelare M2, in modelarea M4 scurgerile de suprafata de pe zonele permeabile vor fi introduse direct modelul de suprafață 2D. Pentru ca acest lucru sa fie posibil, precipitatiile vor fi prelucrate in prealabil, in scopul de a exclude pierderile si a include astfel doar scurgerile de suprafata. Pierderile initiale vor fi considerate: 5×10^{-5} m pierderi initiale in zonele umede si 4×10^{-2} m pierderi initiale immagazinate. In ceea ce priveste infiltratiile considerate, acestea vor fi considerate: capacitatea maxima de infiltrare 5×10^{-5} m/s urmand sa fie redusa in timpul evenimentului de ploaie pana la 1×10^{-6} m/s.

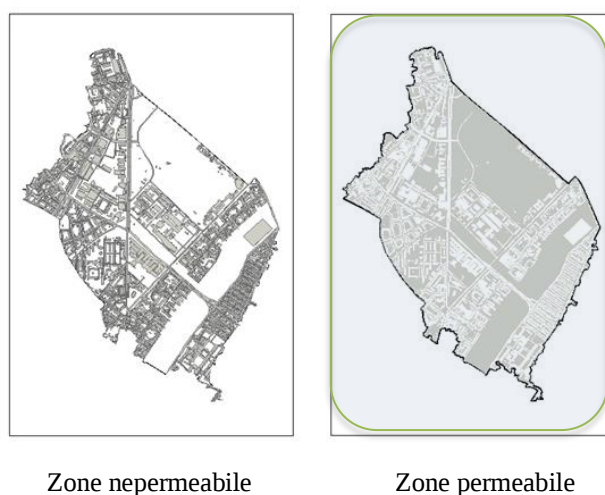


Figura (5): Reprezentarea suprafetelor incluse in abordarea de modelare **M4**

3. CALIBRAREA SCURGERII DE SUPRAFATA

O calibrare pe baza unor valori masurate nu va fi posibila, in cadrul acestei cercetari, deoarece observatiile de inundatii nu sunt disponibile. Cu toate acestea, o calibrare a modelelor folosite in cele 4 modalitati de modelare propuse se va face prin metoda compararii modelelor. Acest lucru va permite investigarea diferitelor alegeri care trebuie sa fie facute in procesul de modelare hidrologica pentru a obtine o reprezentare cat mai reala a suprafetei inundate. Folosirea unor parametri hidrologici diferiti sau modificarea parametrilor hidrologici ar putea avea un impact foarte mare asupra calculului scurgerilor de suprafata. De obicei, scurgerile de suprafata de pe zonele verzi nu sunt incluse atunci cand un nou sistem de canalizare este proiectat deoarece se presupune ca in cazul unui eveniment de 10 ani capacitatea de infiltratie a zonelor verzi va fi suficient de mare cat sa nu genereze scurgere de suprafata. In Nørrebro 60% din bazinul de canalizare reprezinta zona permeabila. Pentru o analiza mai realista a inundatiei urbane scurgerile de suprafata de pe zonele verzi vor fi incluse. In acest studiu, modelul hidrologic folosit pentru calibrare este "MOUSE Model B" folosit si in metoda de modelare M3. In urma rularii modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani, a rezultat ca in zonele permeabile ploile nu se pot infiltra complet. Astfel, o calibrare a modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M1 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 a aratat ca 7% din evenimentul de precipitatii studiat nu se mai poate infiltra contribuind astfel la volumele transportate de reseaua de canalizare.

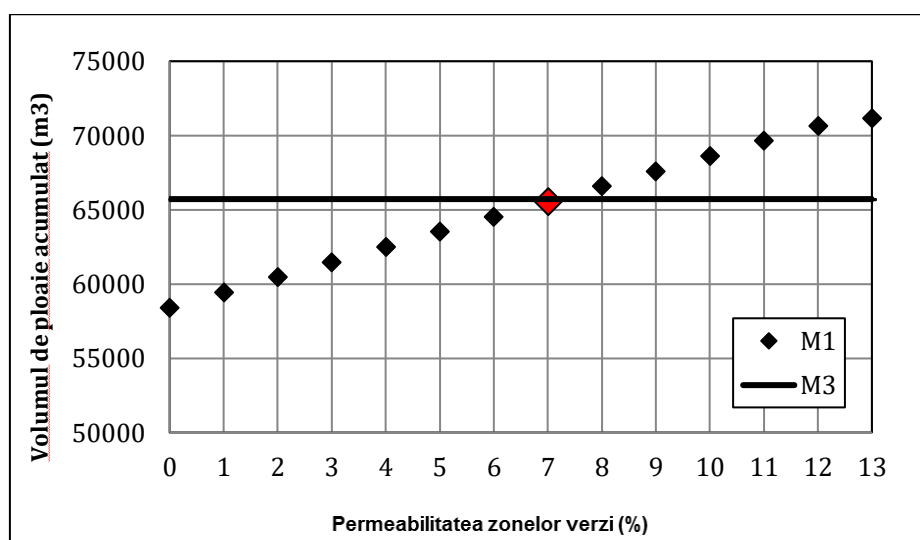


Figura (6): Calibrarea modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M1 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani

Conform acestei cercetari suprafetele permeabile din bazinul de canalizare Nørrebo vor genera o scurgere de suprafata semnificativa in urma unui eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani. Dupa cum se arata in figura de mai jos, dupa calibrarea modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M1 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3, 42% din evenimentul de precipitatii studiat va genera scurgeri de suprafata, dupa excluderea pierderilor initiale si a infiltratiilor, contribuind astfel la volumele transportate de reseaua de canalizare.

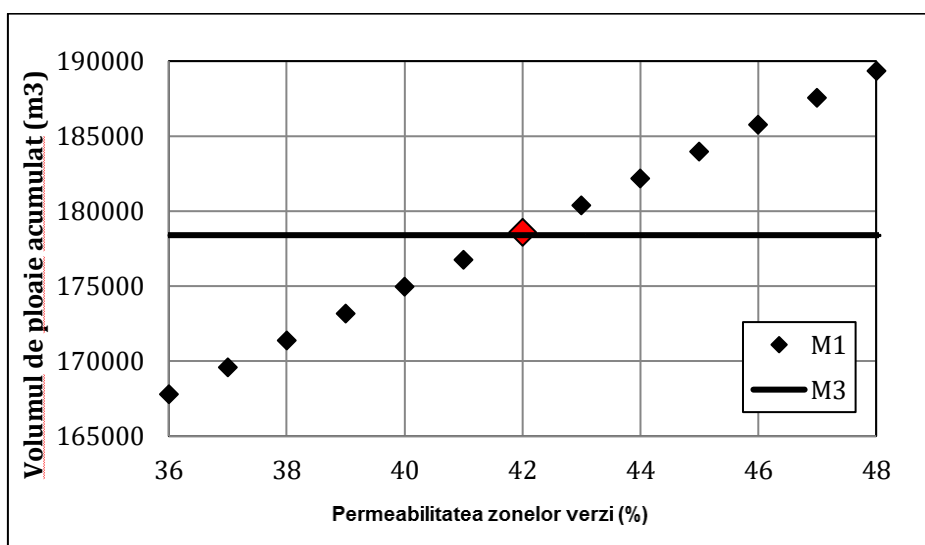


Figura (7): Calibrarea modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M1 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani

In Danemarca o modalitate foarte des intalnita de modelare a inundatiilor in zonele urbane este ca atat zonele permeabile cat si cele nepermeabile sa fie conectate la nodurile sistemului de canalizare contribuind astfel in mod direct la volumele transportate de reseaua de canalizare. Acesta este un fapt care poate genera o incarcare nerealista a sistemului de canalizare in cazul in care scurgerile de suprafata devin importante cantitativ, in timpul precipitatiilor extreme. Modelul hidrologic este creat astfel incat un sub-bazin poate fi conectat la un singur nod al sistemului de canalizare, dar mai multe sub-bazine de canalizare pot fi conectate la acelasi nod al sistemului. Acest lucru inseamna ca in cazul in care suprafata totala a sub-bazinelor conectate la acelasi nod al sistemului este mare la evenimente extreme, scurgerea de suprafata care incarca sistemul de canalizare va fi atat de mare incat se

va crea o instabilitate in modelul hidraulic al sistemului de canalizare generand inundatii in zone in care in realitate aceste nu vor exista.

Pentru a conecta sub-bazinele de canalizare intr-un mod cat mai realist, bazinul de canalizare Nørrebo a fost modelat cu ajutorul unui model hidrologic detaliat unde sub-bazinele create respecta o panta pozitiva de surgere.

Pentru a exclude eventualele diferente care ar putea sa apara in urma schimbarilor formelor sub-bazinelor de canalizare, acelasi model de retea si aceeasi reprezentare fizica a sub-bazinelor de canalizare a fost folosita in toate cele patru abordari de modelare detaliate mai sus.



Figure (8): Reprezentarea fizica a sub-bazinelor de canalizare

Pentru o abordare mai realista de modelare in abordarile **M2** si **M4** scurgerile de suprafata provenite de pe suprafetele permeabile vor fi aplicate direct pe suprafata terenului 2D. Astfel, parte din aceste scurgeri de suprafata vor fi transportate pe teren catre zonele depresionare unde vor ramane blocate, se vor evapora sau infiltra in sol inainte de a se transforma in scurgeri care incarca sistemului de canalizare.

Pentru a putea reproduce acest lucru, in conditiile in care reprezentarea fizica a sub-bazinelor de canalizare nu se schimba, este necesara efectuarea unor ajustari ale parametrilor de scurgere. In cazul abordarii de modelare M2 permeabilitatea zonelor verzi a fost setata la "0%", iar in cazul abordarii de modelare M4 capacitatea minima de infiltrare a fost setata la 1 m/s. In acest fel scurgerile de pe zonele verzi conectate direct la sistemul de canalizare vor fi excluse, iar volumele de scurgere care s-ar putea suprapune vor fi evitate.

În urma rularii modelului hidrologic folosit în metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de apariție de o dată la 10 ani, a rezultat că în zonele permeabile ploile nu se pot infiltra complet. Astfel, o calibrare a modelului hidrologic folosit în metodele de modelare M2 și M4 cu ajutorul modelului hidrologic folosit în metoda de modelare M3 a arătat volumul de ploaie acumulat ce vor fi aplicate direct pe suprafața terenului 2D.

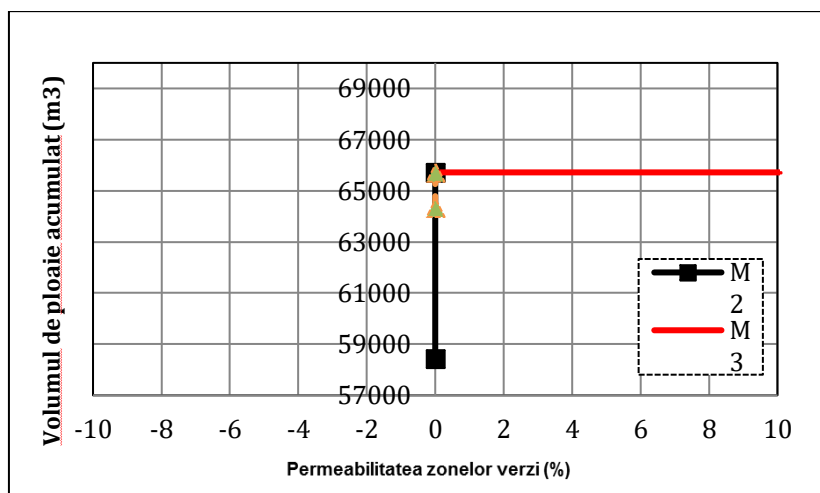


Figura (9): Calibrarea modelului hidrologic folosit în metoda de modelare M2 și M4 cu ajutorul modelului hidrologic folosit în metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de apariție de o dată la 10 ani

De asemenea, suprafețele permeabile din bazinul de canalizare Nørrebo vor genera o scurgere de suprafață semnificativă în urma unui eveniment cu probabilitate de apariție de o dată la 100 ani. Astfel, o calibrare a modelului hidrologic folosit în metodele de modelare M2 și M4 cu ajutorul modelului hidrologic folosit în metoda de modelare M3 a arătat volumul de ploaie acumulat ce vor fi aplicate direct pe suprafața terenului 2D.

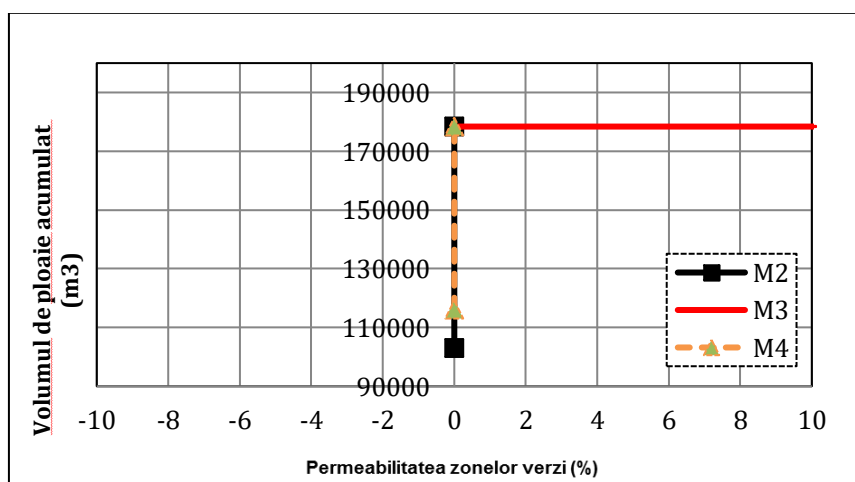


Figura (10): Calibrarea modelului hidrologic folosit în metoda de modelare M2 și M4 cu ajutorul modelului hidrologic folosit în metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de apariție de o dată la 100 ani

4. REZULTATE

În acest studiu sunt utilizate diferite metode de comparare a abordărilor de modelare propuse și performanțele acestora. Comparatia se va face pe baza unor criterii comune de comparare:

- Scurgerea de suprafață de pe suprafețele nepermeabile și scurgerea de suprafață de pe suprafețele permeabile este aplicată modelului de rețea (M1 vs M3);
- Scurgerea de suprafață de pe suprafețele nepermeabile sunt aplicate modelului de rețea și scurgerea de suprafață de pe suprafețele permeabile este aplicată direct pe suprafața 2D (M2 vs M4);
- Scurgerea de suprafață de pe suprafețele nepermeabile și scurgerea de suprafață de pe suprafețele permeabile este calculată folosind modelul conceptual A (M1 vs M2);
- Scurgerea de suprafață de pe suprafețele nepermeabile și scurgerea de suprafață de pe suprafețele permeabile este calculată folosind modelul conceptual B (M3 vs M4).

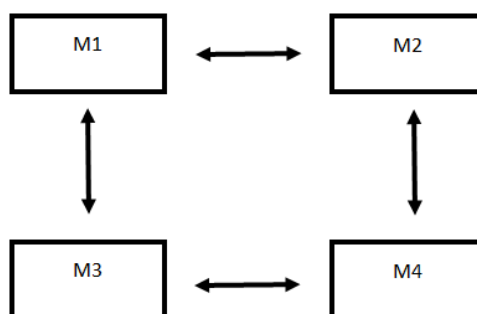


Figura (11): metoda comparării modelelor

4.1. Rezultatele modelarii hidrologice

In acest studiu modelul hidrologic folosit pentru calibrare este "MOUSE Model B" folosit in metoda de modelare M3. In urma rularii modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani, a rezultat ca in zonele permeabile ploile nu se pot infiltra complet. Astfel, in urma calibrarii modelelor hidrologice folosite in metodele de modelare M1, M2, M3 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 scurgerile de suprafata introduse in modelul hidraulic sunt aproximativ egale:

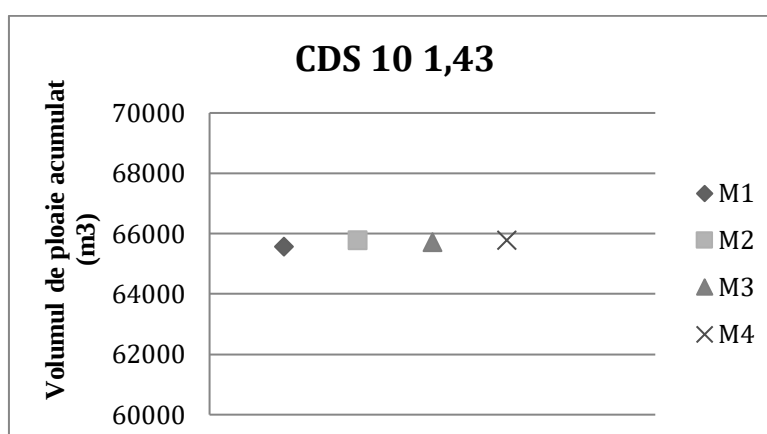


Figura (12): Volumul de ploaie acumulat introdus in modelul hidraulic pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani

De asemenea, in urma calibrarii modelelor hidrologice folosite in metodele de modelare M1, M2, M3 cu ajutorul modelului hidrologic folosit in metoda de modelare M3 pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani scurgerile de suprafata introduse in modelul hidraulic sunt aproximativ egale:

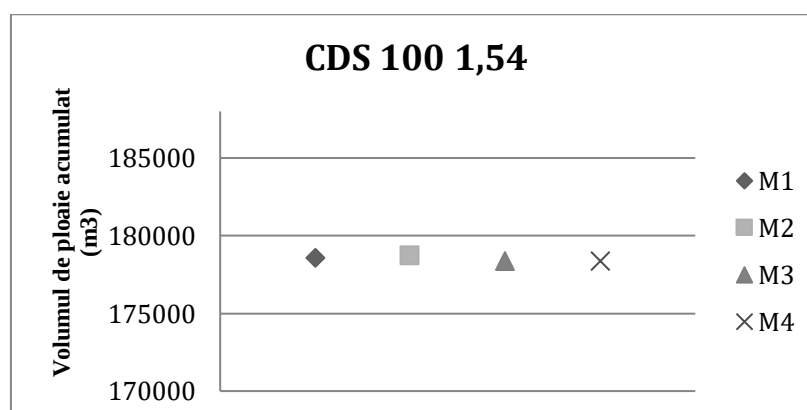


Figura (13): Volumul de ploaie acumulat introdus in modelul hidraulic pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani

4.2. REZULTATELE MODELARII HIDRAULICE

4.2.1 Limita de inundatie

În Danemarca, cea mai utilizată metodă de modelare a inundațiilor în zonele urbane este aceea de a considera atât zonele permeabile cât și cele nepermeabile conectate la nodurile sistemului de canalizare contribuind astfel în mod direct la volumele transportate de rețeaua de canalizare (M1 și M3). În urma rezultatelor obținute s-a observat faptul că această abordare poate genera o încărcare nerealistă a sistemului de canalizare în cazul în care scurgerile de suprafață devin importante cantitativ ($> \text{CDS}100$). Au fost observate zone unde datorită faptului că scurgerea de suprafață a încărcat sistemul de canalizare s-a creat o instabilitate în modelul hidraulic al sistemului de canalizare generând astfel inundații în zone în care inundațiile nu ar fi trebuit să fie însemnate cantitativ. De asemenea, s-a observat faptul că în cazul abordărilor de modelare M2 și M4 unde scurgerile de suprafață provenite de pe suprafețele permeabile au fost aplicate direct pe suprafața terenului 2D, o parte din scurgerile de suprafață au fost transportate pe teren către zonele depresionare unde au rămas blocate. În cazul unui eveniment de precipitații cu probabilitatea de apariție o dată la 10 ani nu au fost observate încărcări importante ale sistemului de canalizare, aportul zonelor verzi fiind foarte mic.

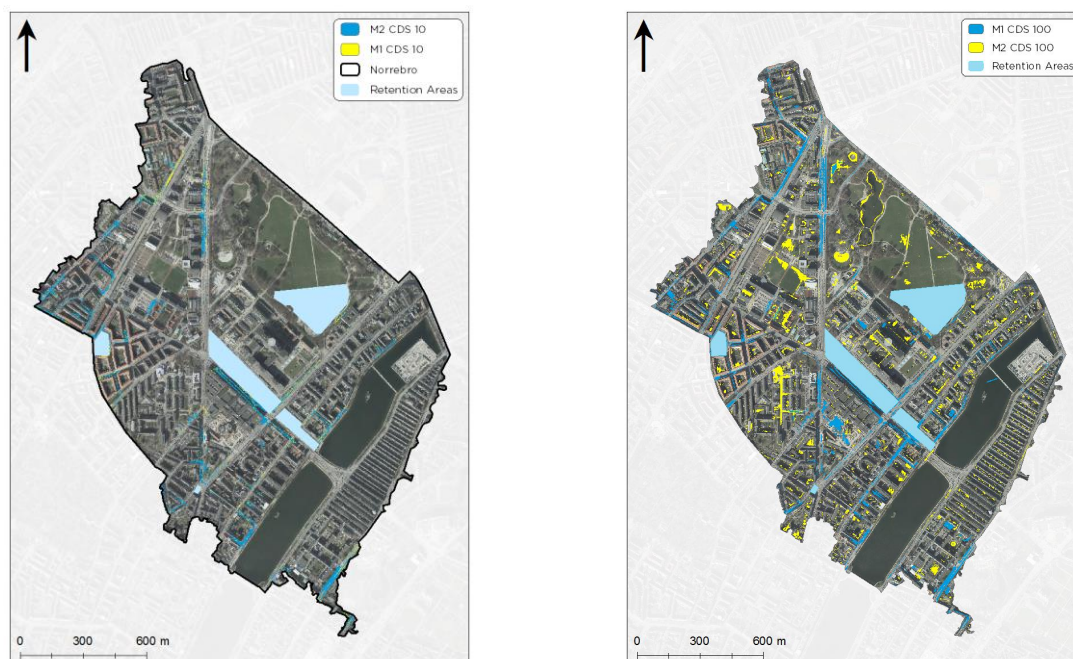


Figura (14): Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (stanga), respectiv limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (dreapta)

4.2.2 Adancimea inundatiei

Adancimea apei pentru fiecare eveniment de precipitatii rezultat este reprezentata pe intervale de adancime in nuante diferite de albastru (albastru inchis pentru adancimile mari si albastru deschis pentru adancimile mici).

Modelul hidraulic al retelei de existente canalizare a fost imbunatatit cu cele 36 de sub-proiecte (solutii verzi-albastre) ca parte din Master Planul pentru Copenhaga, 2015 (The City of Copenhagen, 2015), acestea avand rolul de a transporta mare parte din volumele de precipitatii. Astfel, in cazul unui eveniment de precipitatii cu probabilitatea de aparitie de o data la 10 ani, zona Nørrebro este protejata.

In cazul unui eveniment de precipitatii cu probabilitatea de aparitie de o data la 100 ani zonele inundate si adancimea inundatiei difera in functie metoda de modelare aleasa. In cazul in care bazinele de canalizare sunt conectate direct la sistem, volumele de precipitatii vor fi transportate de catre sistemul existent si dupa ce capacitatea acestuia de transport este depasita, apa va fi transportata de solutiile verzi-albastre (M1 si M3). In cazul metodelor de modelare M2 si M4 scurgerile de suprafata de pe zonele verzi nefiind conectate direct la sistem volume importante de precipitatii vor ramane blocate in zonele depresionare.

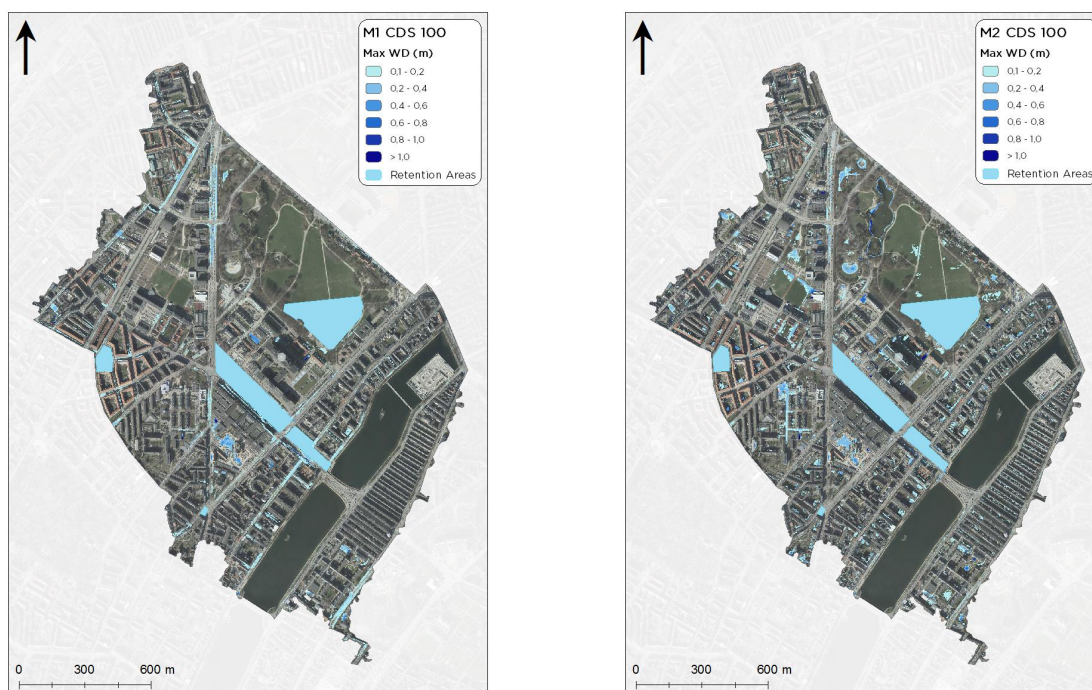


Figura (15): Adancimea inundatiei calculata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (stanga), respectiv adancimea inundatiei calculata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (dreapta)

4.2.3 Timpul de rulare si celulele umede

Timpul de rulare a unui model reprezinta durata de timp necesara pentru a efectua un proces de calcul si este proportionala cu numarul de transformari unitare efectuate. Rezolutia modelului este cea care da numarul de celule umede (celulele care participa activ la calculul de inundatie) si numarul de celule uscate (celulele care nu participa activ la calculul de inundatie).

Alegerea rezolutia modelului conduce la determinarea timpului de calcul si acest lucru trebuie sa tina cont atat de calitatea rezultatelor ce urmeaza sa fie obtinute cat si de timpul necesar pentru prognoza. Desigur, un model 1D-2D cum este cel de fata, ar trebui sa ofere o estimare mai realista a suprafetei de inundații, dar nu este o modalitate ideala de calcul daca rezultatele se doresc in timp real deoarece necesita un timp de calcul mai lung decat modelele 1D.

In cercetarea aici prezentata rezolutia modelului este de 1,6 m ceea ce duce la un timp de rulare marit. In urma analizei timpilor de rulare a modelelor s-a concluzionat faptul ca timpul de rulare creste direct proportional cu numarul de celule umede, obtinandu-se astfel un timp de rulare de pana la 36 de ore in cazul unui eveniment de precipitatii cu probabilitatea de aparitie o data la 10 ani si un timp de rulare de 60 de ore in cazul unui eveniment de precipitatii cu probabilitatea de aparitie o data la 100 ani.

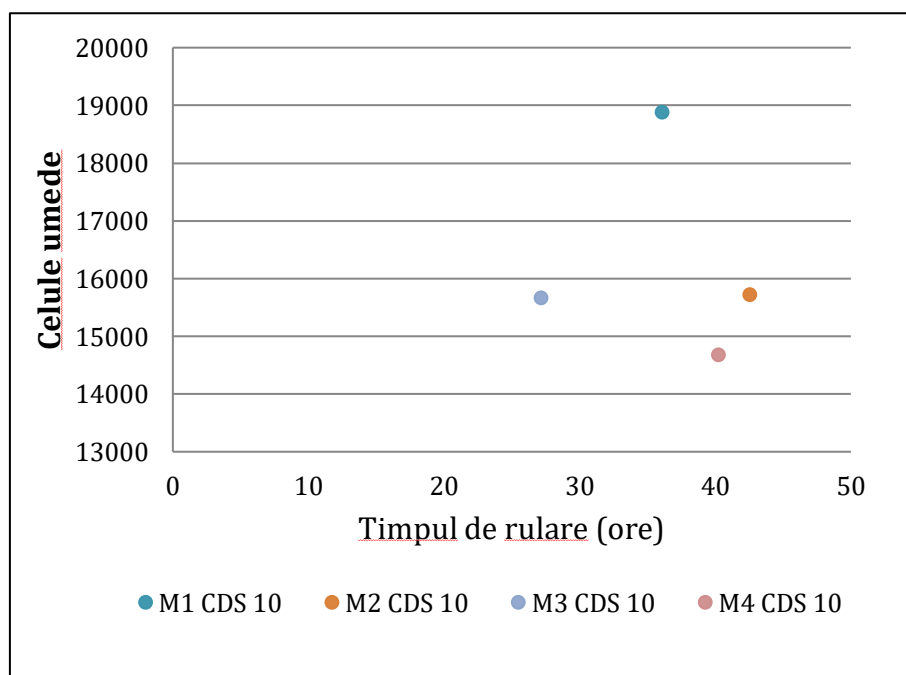


Figura (16): Timpul de rulare in raport cu numarul celulele care participa activ la calculul de inundatie pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani

În cazul introducerii scurgerilor de suprafață direct pe suprafața 2D, numărul celulelor active crește, ceea ce duce la timpi de rulare mai mari: 43 de ore în cazul unui eveniment de precipitații cu probabilitatea de apariție o dată la 10 ani și un timp de rulare de 116 de ore în cazul unui eveniment de precipitații cu probabilitatea de apariție o dată la 100 ani.

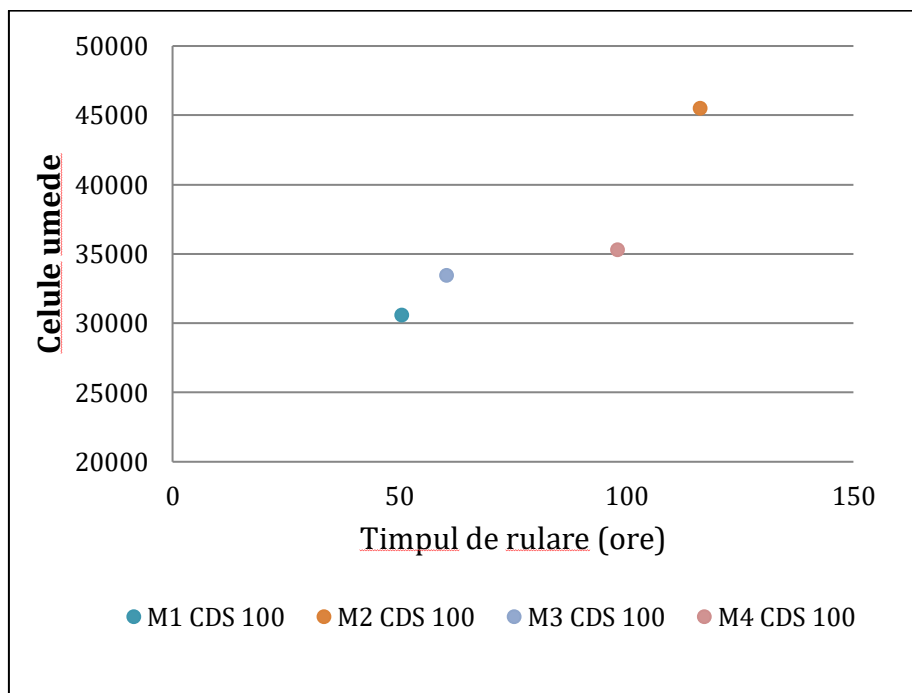


Figura (17): Timpul de rulare în raport cu numărul celulele care participă activ la calculul de inundație pentru un eveniment cu probabilitate de apariție de o dată la 100 ani

4.2.3 Aria inundata si volumul de inundatie

În urma analizei suprafețelor inundate în raport cu volumul de inundatie pentru fiecare dintre cele 4 modele a rezultat faptul că nu există o legătură directă între aria inundată și volumul de inundatie atunci când sunt studiate precipitații neînsemnate cantitativ ($< \text{CDS } 10$), de cele mai multe ori chiar dacă aria inundată este foarte mare, deoarece adâncimea apei nu depășește câțiva milimetri și volumele de inundatii nu cresc semnificativ o dată cu extinderea zonei inundate.

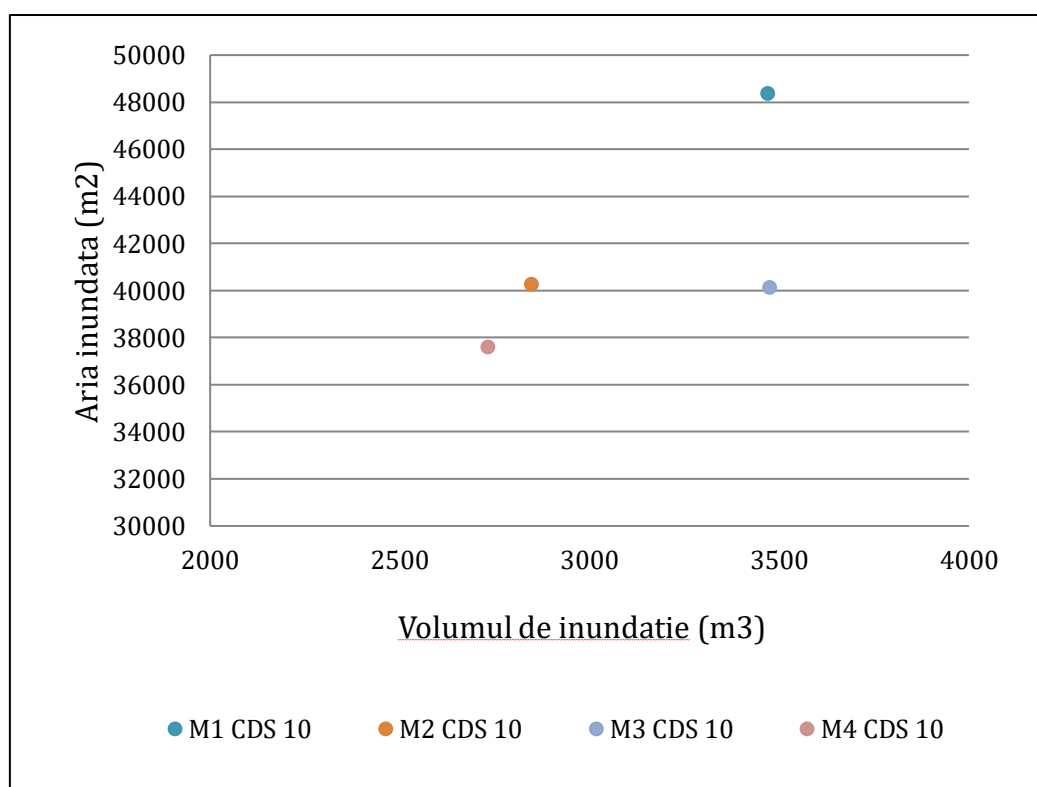


Figura (18): Aria inundată în raport cu volumul de inundatie pentru un eveniment cu probabilitate de apariție de o dată la 10 ani

În situația în care atât suprafețele permeabile cât și cele nepermeabile sunt conectate direct la sistemul de canalizare, atât aria observată de inundatie cât și volumul de inundatie calculat sunt sun mai mici decât în cazul în care doar suprafețele nepermeabile sunt conectate direct de sistemul de canalizare. Acest lucru se întâmplă pentru că o mare parte din scurgerile de suprafață provenite de pe suprafețele permeabile au fost transportate pe teren către zonele depresionare unde au rămas blocate înainte de a ajunge în sistemului de canalizare

In cazul in care se studiaza evenimentele de precipitatii sunt extreme ($> \text{CDS } 100$) atunci volumul de inundatie este direct proportional cu aria inundata, de data aceasta adancimea inundatiei depasind 10 cm.

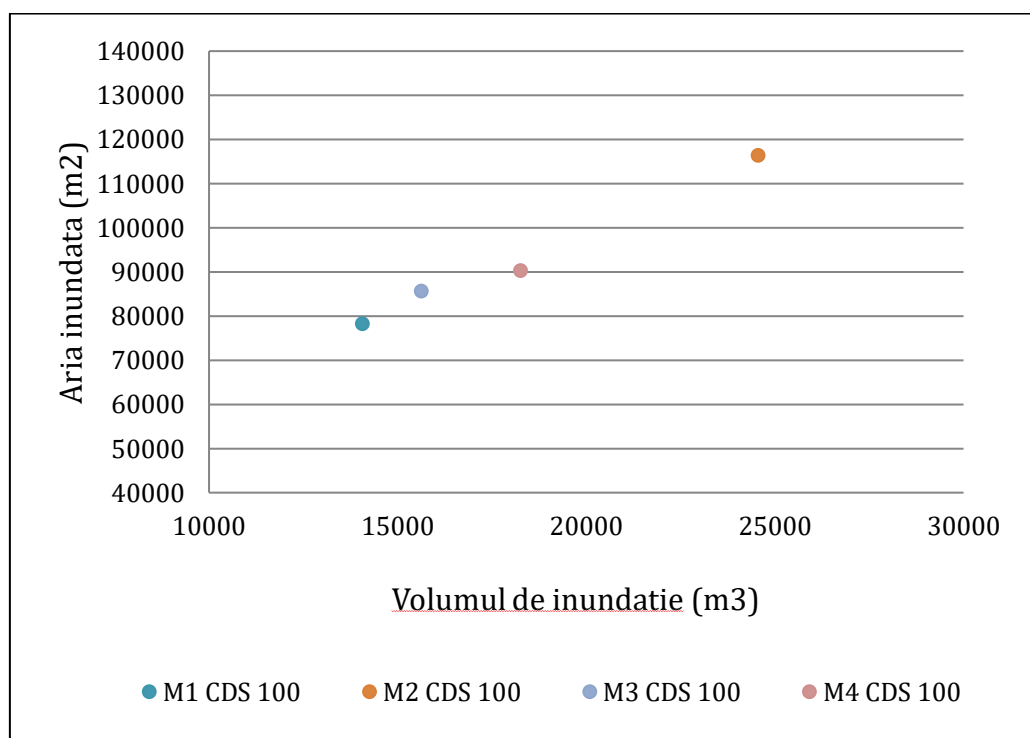


Figura (19): Aria inundata in raport cu volumul de inundatie pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani

5. CONCLUZII

Zonele verzi fara sistem de drenaj trebuie tratate cu atentie, in special in cazul zonelor verzi foarte extinse (parcuri). Daca o zona verde foarte mare este conectata intr-un singur punct la sistemul de canalizare va cauza o inundatie nerealistica in jurul punctului de conectare.

In urma rezultatelor obtinute s-a observat faptul ca a considera atat zonele permeabile cat si cele nepermeabile conectate la nodurile sistemului de canalizare contribuind astfel in mod direct la volumele de apa transportate de reseaua de canalizare (M1 si M3), iar aceasta abordare poate genera o incarcare nerealista a sistemului de canalizare in cazul in care scurgerile de suprafata devin importante cantitativ. De asemenea, s-a observat faptul ca in cazul metodelor de modelare M2 si M4 unde scurgerile de suprafata provenite de pe suprafetele permeabile au fost aplicate direct pe suprafata terenului 2D, o parte din scurgerile de suprafata au ramas blocate in zonele depresionare. Metodele de modelare M2 si M4 reusesc sa simuleze mai bine realitatea, insa principalul dezavantaj al acestor metode este timpul de rulare, care poate sa fie dublul sau chiar triplul timpului de rulare in metodele de modelare M1 si M3.

Alegerea abordarii corecte de modelare, flosirea corecta a ploilor de calcul in model si a parametrilor de calibrare trebuie facuta pe baza unor criterii foarte clare pentru a simula cat mai bine realitatea.

In prezent exista o nevoie la nivel mondial de standarde care sa vina in ajutorul modelatorilor pentru a avea o abordare comuna, potrivita pentru zona de proiect studiata. Aceasta cercetare poate ghida modelatorul in alegerea celei mai potrivite abordari de modelare.

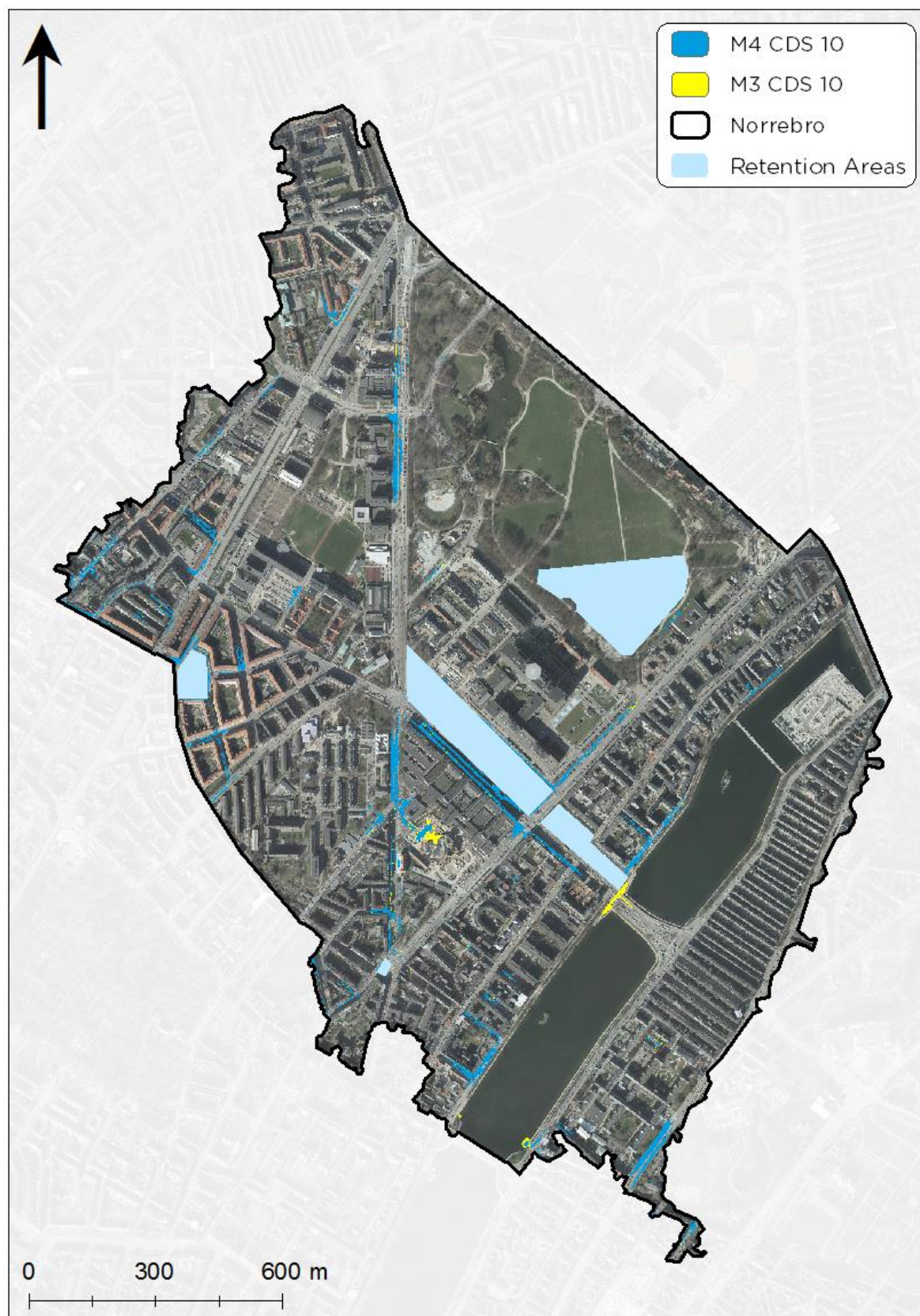
Referinte

- Ambjerg-Nielsen, K. (2012). Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water Journal*, 9(2), 57–65. <http://doi.org/Doi10.1080/1573062x.2011.630091>
- Ambjerg-Nielsen, K., Leonardsen, L., & Madsen, H. (2015). Evaluating adaptation options for urban flooding based on new high-end emission scenario regional climate model simulations. *Climate Research*, 64(1), 73–84. <http://doi.org/10.3354/cr01299>
- DHI. (2015). Storm Water Runoff from Green Urban Areas - Modellers' Guideline, (March), 39.
- DHI. (2016). Runoff Reference manual, 1– 50.
- Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ... Viklander, M. (2014). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 9006(September), 1–18. <http://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- The City of Copenhagen. (2015). Climate Change Adaptation and Investment Statement - Part 1, (october).

ANEXA 1. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M2 vs M1)



ANEXA 2. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M4 vs M3)



ANEXA 3. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M1 vs M3)



ANEXA 4. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M2 vs M4)



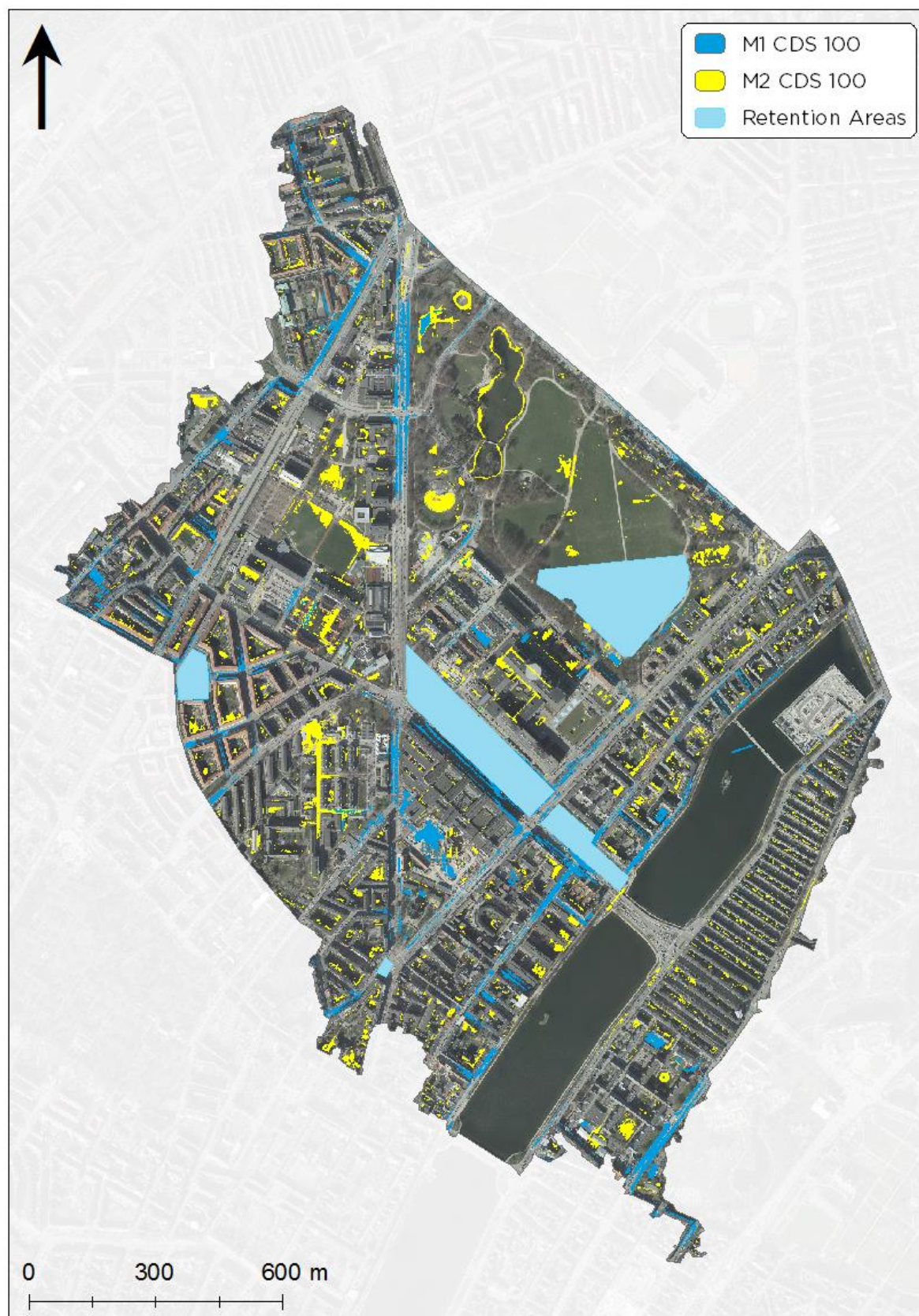
ANEXA 5. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M1 vs M3)



ANEXA 6. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M4 vs M2)



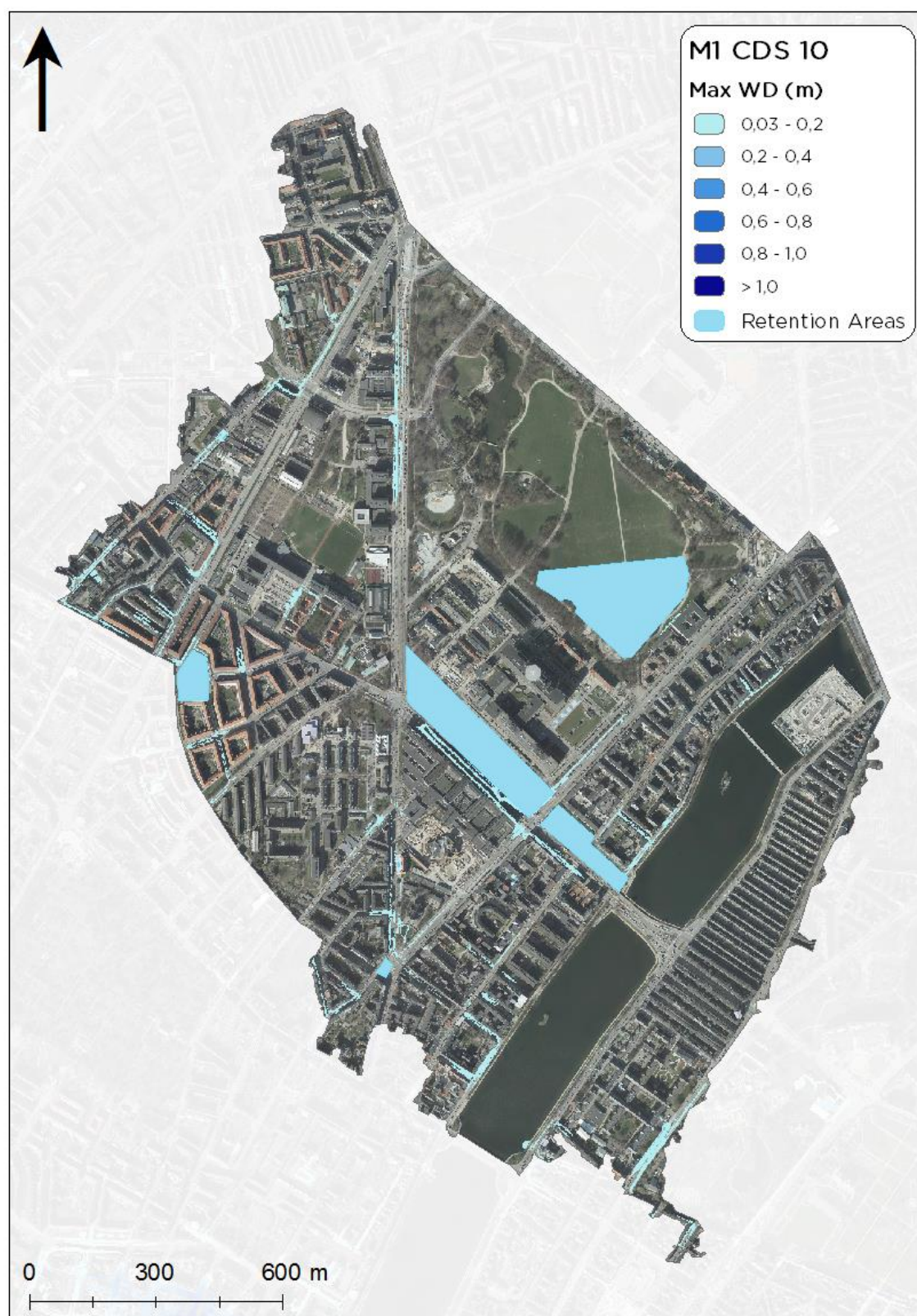
ANEXA 7. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M1 vs M2)



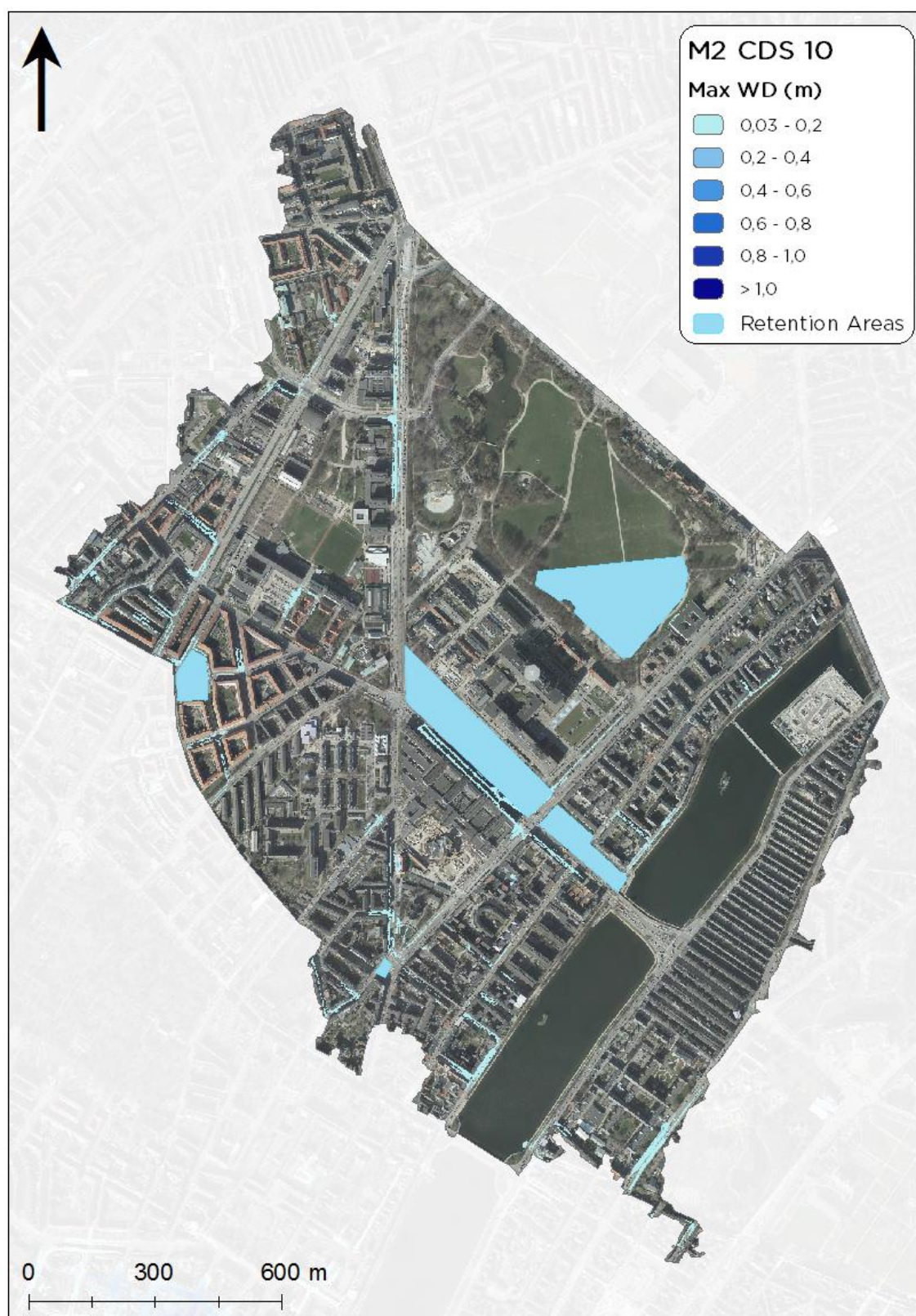
ANEXA 8. Limita de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M3 vs M4)



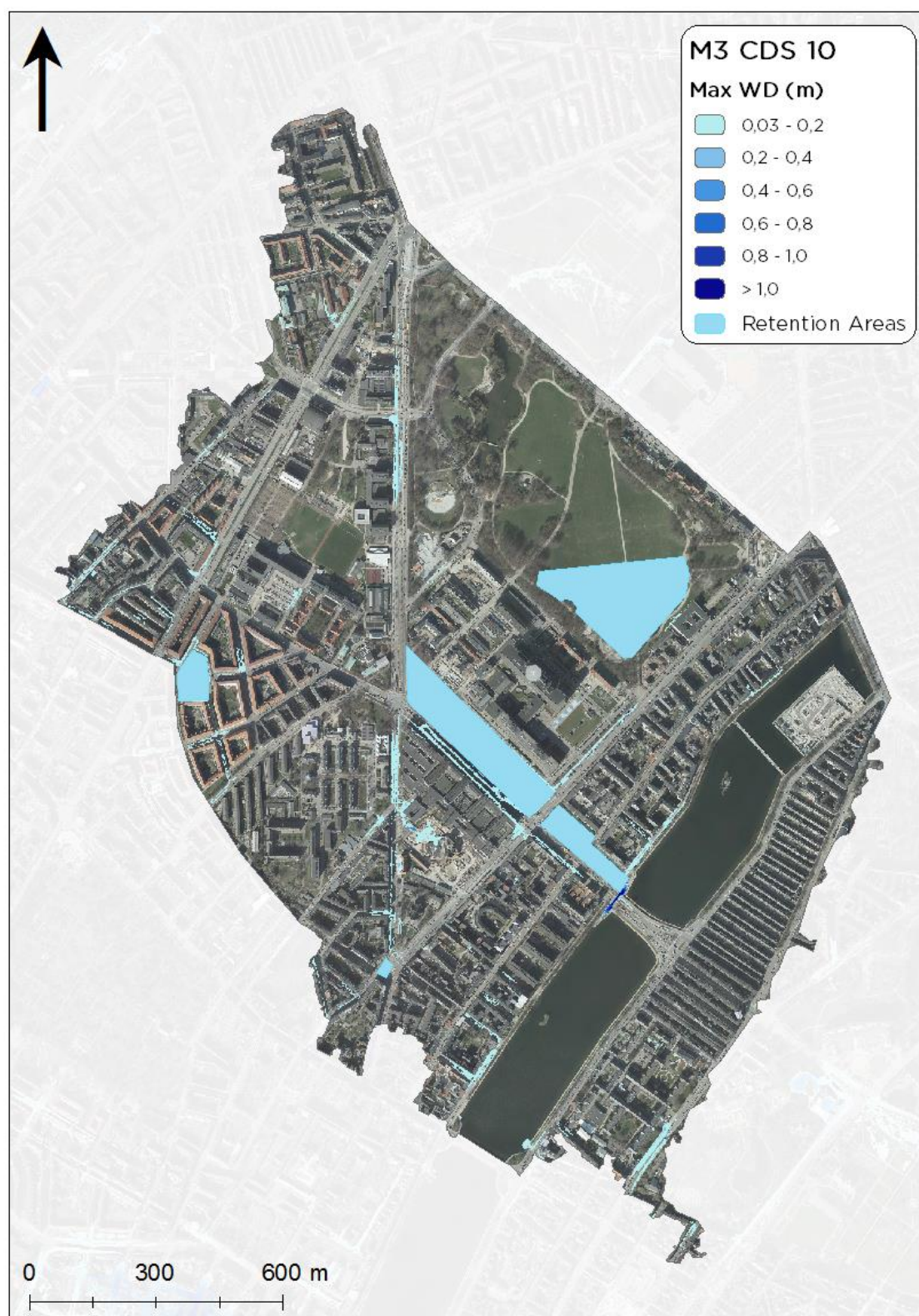
ANEXA 9. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M1)



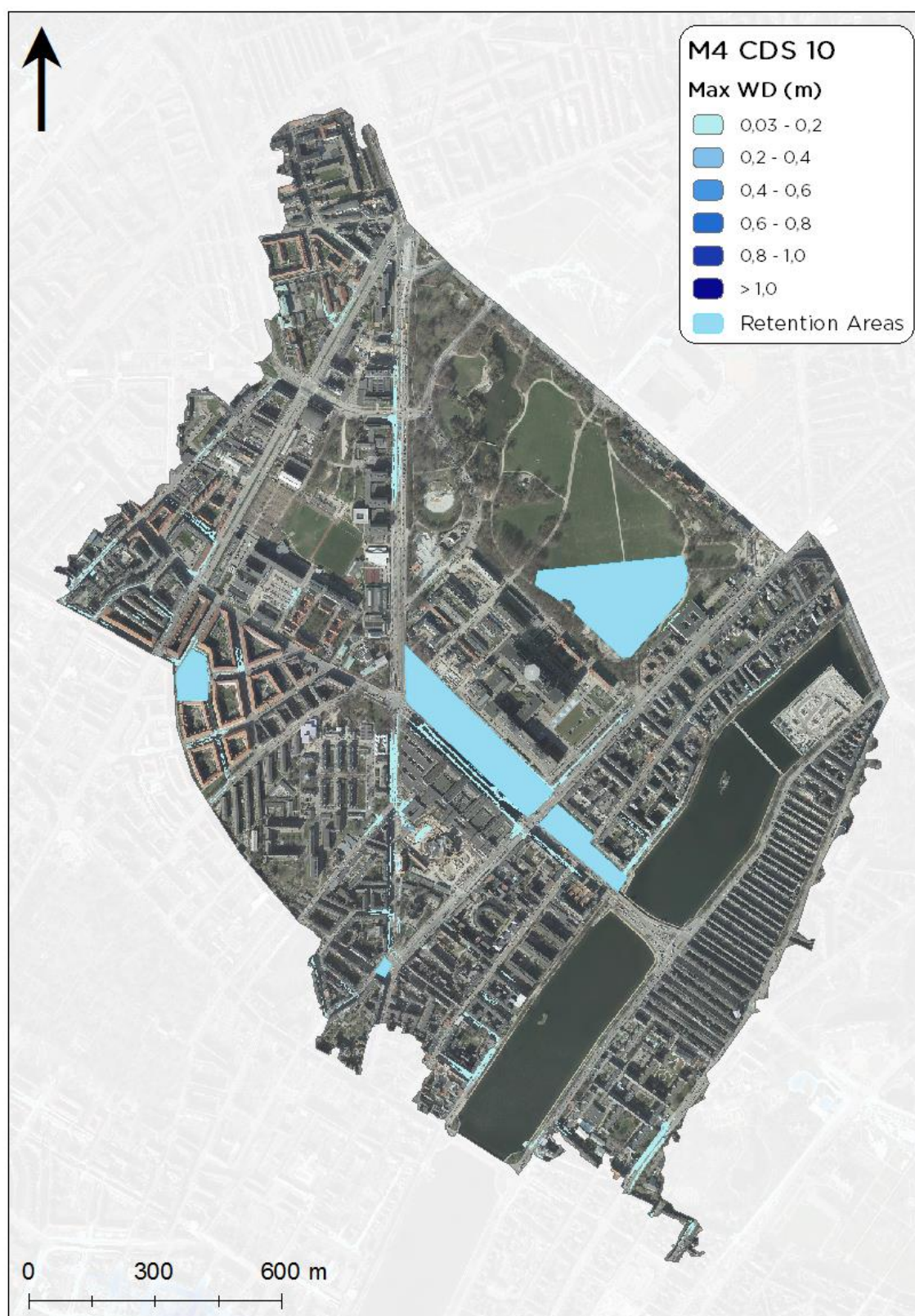
ANEXA 10. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M2)



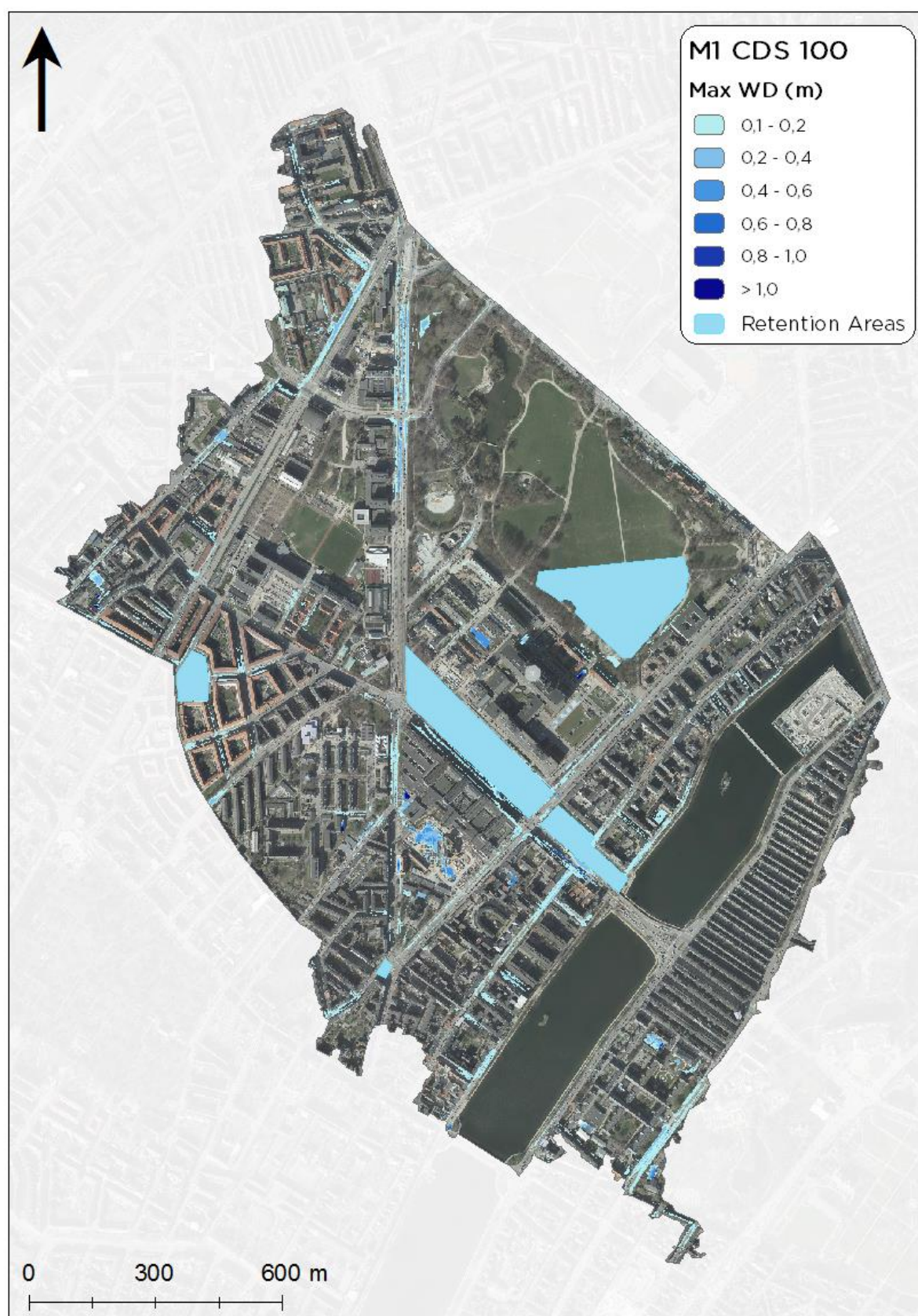
ANEXA 11. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M3)



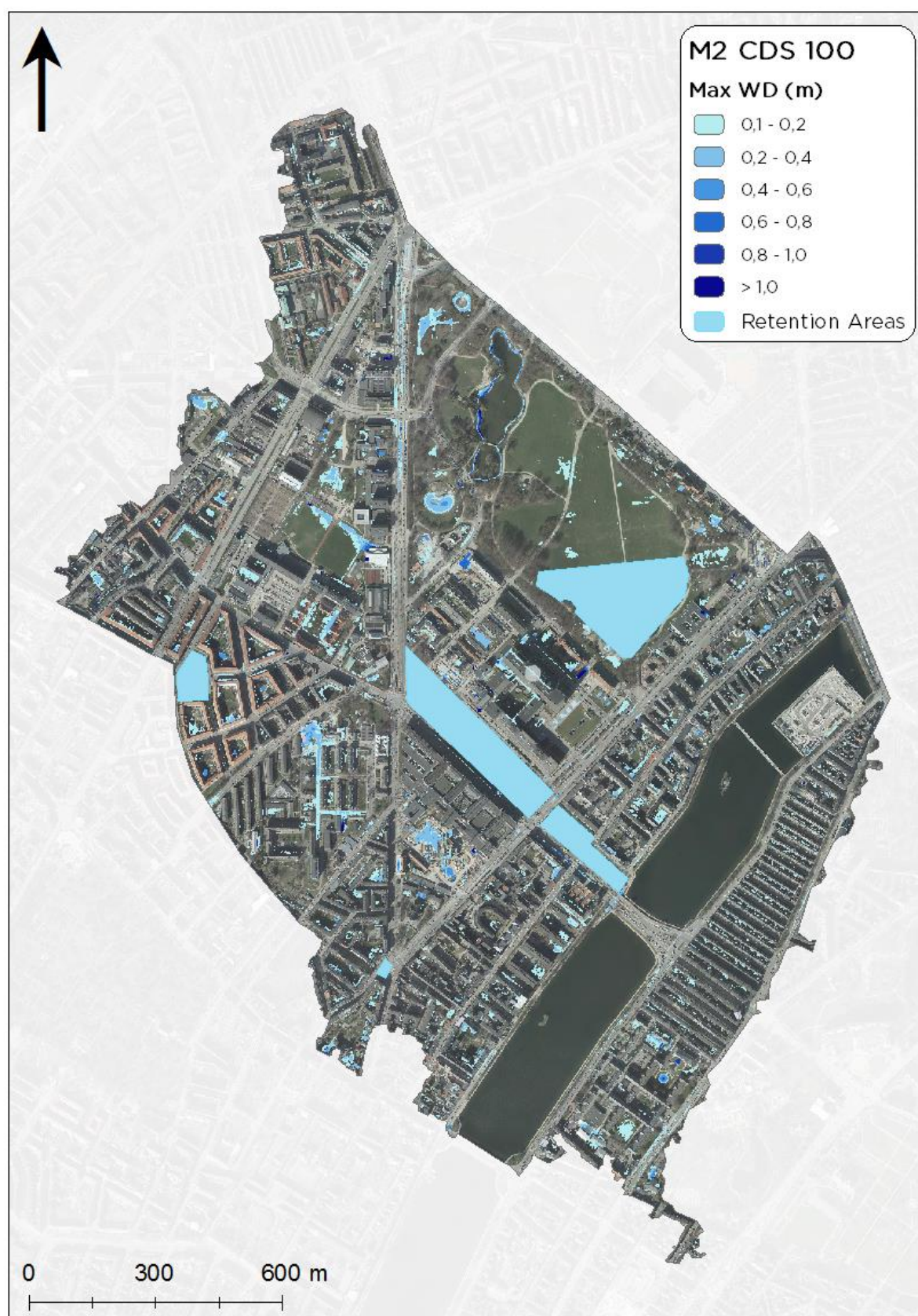
ANEXA 12. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 10 ani (M4)



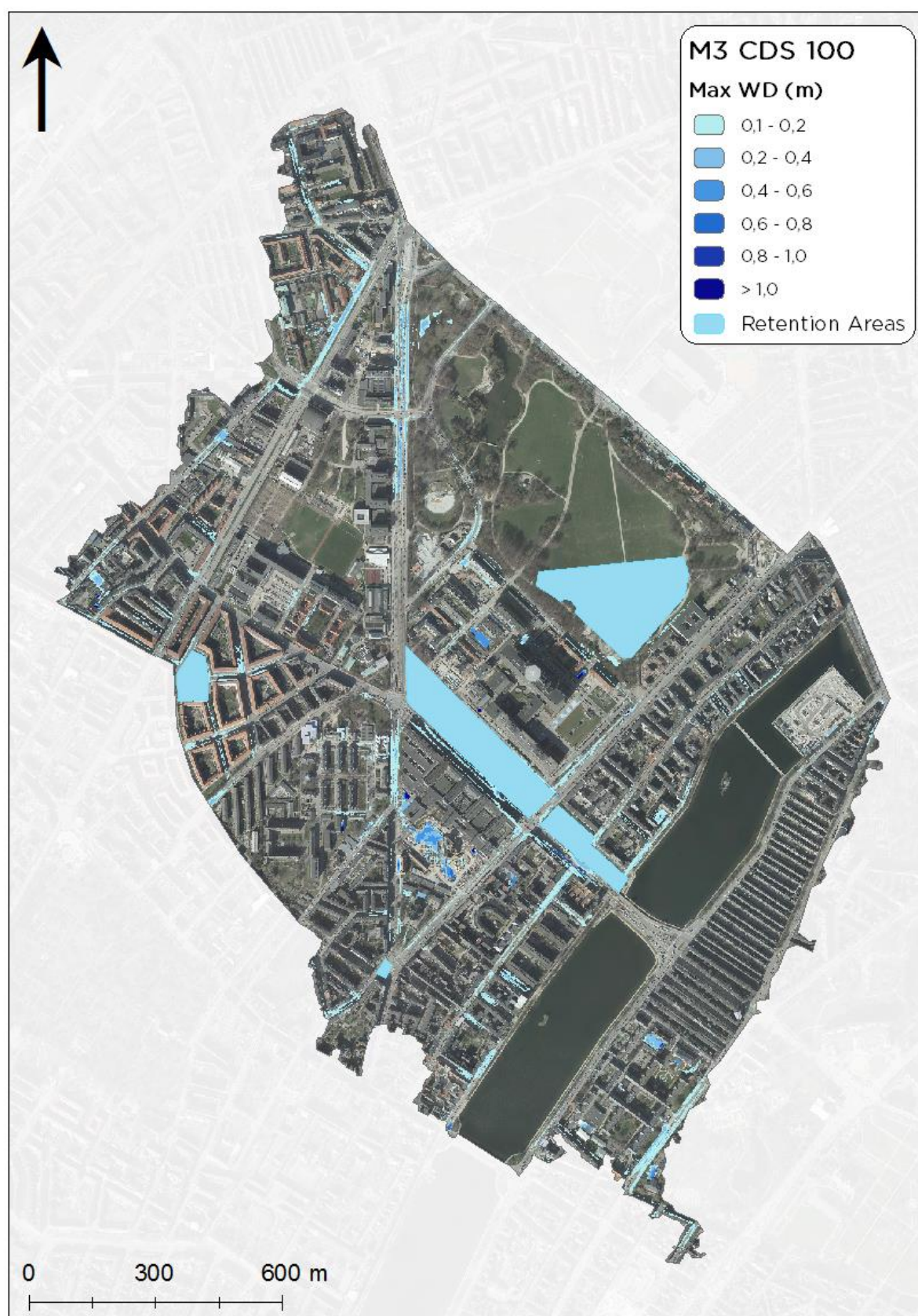
ANEXA 13. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M1)



ANEXA 14. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M2)



ANEXA 15. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M3)



ANEXA 16. Adancimea de inundatie observata pentru un eveniment cu probabilitate de aparitie de o data la 100 ani (M4)

