

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

Építőmérnöki Kar

**Ágens-alapú lefolyás-szimuláció digitális domborzatmodellen:**

*egy hiperlokális csapadék adatokat integráló  
térinformációs keretrendszer bemutatása*

**Szerző:**

Baranyai Dániel

**Konzulensek:**

Dr. Wirth Ervin, Dr. Lovas Tamás

2020. Budapest

## 1. CÉLKITŰZÉSEK

Feladat esőzés utáni lefolyás szimuláció megvalósítása domborzatmodell segítségével. Célunk, egy olyan keretrendszer elkészítése mely képes szimulálni egy valós-idejű csapadékeloszlást, majd annak lefolyását. E keretrendszer három fő komponensből épül fel, mindet Python programozási nyelvben hoztuk létre. Ezen három alkotóelem:

- Egy tetszőlegesen választott vízgyűjtő terület és annak befoglaló téglalapja alapján meghatározott domborzatmodell, amely a szimuláció során állandó, statikus réteg.
- Adott területen meghatározott, valós-idejű csapadékeloszlás ami egy dinamikus réteggént határozható meg, melyet minden szimuláció előtt, egy alkalmazásprogramozási felület (API) segítségével kérünk le egy időjárási adatokat szolgáltató honlapról.
- A lefolyás definiálása.

## 2. BEVEZETÉS

Wirth disszertációjában tanulmányozta a térbeli és időbeli mikroszimulációkat, pl.: ágens-alapú modellek, sejtautomaták (Wirth, 2017). A munkámban megvizsgálom ezen módszerek alkalmazását a hidrológia területén.

### 2.1. Sejtautomaták

A sejtautomaták elhelyezése legkönnyebben egy rácsban képzelhető el. A rácsok által meghatározott négyzeteket sejteknek nevezzük. A sejteket szabállyal (szabályokkal) látjuk el melyek ennek függvényében cselekszenek. A szabályok általában valamilyen környezeti történés-alapúak, de ezek lehetnek olyan szabályok is, melyek az idő függvényében változnak/alakulnak.

#### 2.1.1. Lefolyásszimuláció és sejtautomaták

A víz terepen történő eloszlása nem elszigetelt folyamat, és nem is fejezhető ki a jelenlegi hidrológiai modelleket leíró egyenletekkel, hanem a komplex csapadék-lefolyási folyamat része. A csapadék-lefolyási folyamat a hidrológiai körforgás egyik alkotóeleme, amely befolyásolja a vízkészlet-gazdálkodást, a tájökológiát és a georendszerek működését. Különböző állapotú csapadék kerül a vízmedencébe, és folyamatok sorozatát indítja el, amelyek

során a víz a hidrológiai rendszer élettelen és élő komponensein keresztül vándorol. A folyamat tehát a folyó dinamikájának része, és függ a vízmérleg-összetevők, például a csapadék és az evapotranszpiráció változékonyságától. (J., & Podhoranyi, M. 2013).

A celluláris megoldás esetén lesznek maradó, nem mozgó sejtek melyek a domborzati modellt reprezentálják. Illetve ezen sejteken szülehetnek újabb sejtek, melyek képviselik a vízmagasság oszlopokat. Keressük azokat a cellákat, sejteket melyeken található valamekkora vízoszlop, és ezen cellákról próbáljuk valamilyen szabályszerűség alapján a celláról a környezetére vándoroltatni a vízoszlopok részét. A szabály minden nem mozgó, statikus sejteken egységes.

## 2.2. Ágens típusok

Az ágenseket Russell a következő öt főtípusokként határozta meg (Russell & Norvig, 2005).

- Egyszerű reflex ágensek.
- Modell alapú reflex ágensek.
- Cél-alapú ágensek.
- Hasznosság-alapú ágensek.
- Tanuló ágensek.

### 2.2.1. Egyszerű reflex ágensek

Az egyszerű reflex ágensek csak az aktuális percepció alapján hatnak, figyelmen kívül hagyva a percepció történetének többi részét. Az ágens függvény a feltétel-cselekvés szabályon alapul: "ha feltétel, akkor cselekvés".

Ez az ágens funkció csak akkor sikerül, ha a környezet teljes mértékben megfigyelhető. Egyes reflex ágensek információkat tartalmazhatnak a jelenlegi állapotukról is, amely lehetővé teszi számukra, hogy figyelmen kívül hagyják azokat a körülményeket, amelyek működtetői már be vannak kapcsolva.

A végtelen hurkok gyakran elkerülhetetlenek a részlegesen megfigyelhető környezetben működő egyszerű reflex ágenseknél. Megjegyzés: ha az ágens véletlenszerűen tudja kiválasztani a műveleteit, lehetséges, hogy a végtelen hurkok elől menekülhet. (Russell & Norvig, 2005).

### *2.2.2. Modell-alapú reflex ágensek*

A modell-alapú ágens képes kezelni a részben megfigyelhető környezeteket. Jelenlegi állapota az ágensben tárolódik, fenntartva valamilyen struktúrát, amely leírja a világ azon részét, amely nem látható. Ezt a "világ működéséről" szóló ismeretet a világ modelljének nevezzük, innét ered a "modell-alapú ágens" elnevezés. A modell alapú reflex ágenseknek valamilyen belső modellt kell fenntartaniuk, amely az észlelési előzményektől függ, és ezáltal tükrözi a jelenlegi állapot legalább néhány megfigyeletlen aspektusát. Az észlelt történet és a cselekvés környezeti hatása belső modell alkalmazásával határozható meg. Ezután ugyanúgy választ egy műveletet, mint a reflexszer. Az ágensek modelleket is használhatnak más szerek viselkedésének leírására és előrejelzésére a környezetben. (*Russell & Norvig, 2005*).

### *2.2.3. Cél-alapú ágensek*

A cél-alapú ágensek tovább bővítik a modell-alapú ügynökök képességeit a "cél" információk felhasználásával. A cél információk a kívánatos helyzeteket írják le. Ez lehetővé teszi az ágens számára, hogy több lehetőség közül választhasson, kiválasztva azt, amelyik elér egy cél állapotot. A keresés és a tervezés a mesterséges intelligencia azon területei, amelyek az ügynök céljait elérő cselekvési szekvenciák felkutatására szolgálnak. (*Russell & Norvig, 2005*).

### *2.2.4. Hasznosság-alapú ágensek*

A cél-alapú ágensek csak a cél állapotokat és a nem cél állapotokat különböztetik meg. Meg lehet határozni annak mértékét, hogy egy adott állapot mennyire kívánatos. Ez az intézkedés olyan segédfunkció használatával érhető el, amely az állapotot az állapot hasznosságának mértékéhez hozzárendeli. Egy általánosabb teljesítménymérőnek lehetővé kell tennie a különböző világ állapotok összehasonlítását aszerint, hogy pontosan mennyire örülnének az ágenseknek. A hasznosság kifejezéssel leírható, hogy az ágens mennyire "boldog".

A racionális hasznosság-alapú ágens azt a műveletet választja, amely maximalizálja a cselekvés kimenetelének várható hasznosságát - vagyis azt, amit az ágens átlagosan elvár, figyelembe véve az egyes eredmények valószínűségét és hasznosságát. A segédprogram-alapú ágenseknek le kell modelleznie és nyomon kell követnie a környezetét, azokat a feladatokat, amelyek rengeteg kutatással jártak az észlelés, az ábrázolás, az érvelés és a tanulás terén. (*Russell & Norvig, 2005*).

### 2.2.5. Tanuló ágensek

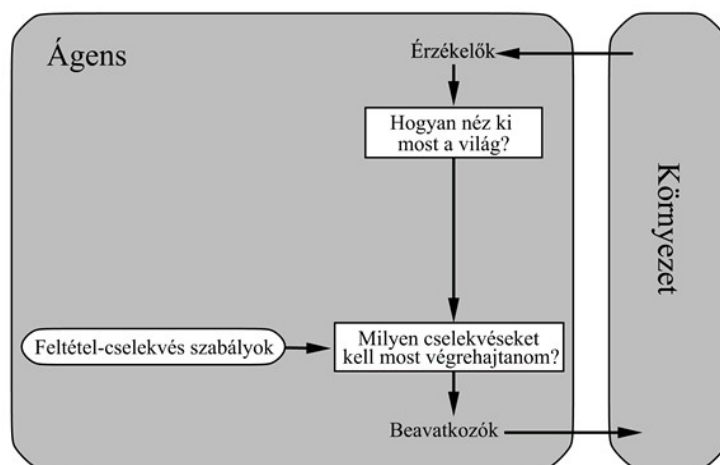
A tanuláshoz megvan az az előnye, hogy lehetővé teszi az ágensek számára, hogy kezdetben ismeretlen környezetekben működjenek, és kompetensebbé váljanak, mint amennyit egyedüli kezdeti tudása megengedhet. A legfontosabb különbség a „tanulási elem”, és a „teljesítményelem” között, hogy az első felelős a fejlesztésekért, az utóbbi pedig a külső tevékenységek kiválasztásáért felel.

A tanulási elem a "kritikus" visszajelzést használja arra, hogy az ágens hogyan teljesít, és meghatározza, hogyan kell módosítani a teljesítményelemet a jövőbeni jobb teljesítmény érdekében. A teljesítményelem az, amit korábban a teljes ágenseknek tekintettünk: érzékeléseket vesz fel és dönt a cselekvésekről.

A tananyag utolsó összetevője a "probléma-generátor". Feladata olyan tevékenységek javaslata, amelyek új és informatív tapasztalatokhoz vezetnek. (Russell & Norvig, 2005).

### 2.3. Választott ágens

Az általunk megfogalmazott keretrendszer megalkotásához célszerű egy olyan ágens típust választani, amely leginkább alkalmas az előzetesen definiált használatra. Tehát, képes legyen érzékelni a környezetét és az abban elhelyezkedő más ágenseket, illetve alkalmas az érzékelés és a definiált szabályok szerinti cselekvésre. Ezen feltételeknek leginkább az egyszerű reflex ágens felel meg, így választásunk e típus használatára esett (1. ábra).



1. ábra: Egyszerű reflex ágens működési elve  
(Russell & Norvig, 2005)

### 2.2.1. Lefolyásszimuláció és ágensek

Korábban az ágensek használatát lefolyás szimuláció esetén Reaney, S. M. a következőképp definiálta. „Az ágensek olyan szoftverkomponensek, amelyek képesek átmenni és reagálni a helyi környezetükre. Ebben az alkalmazásban az ágensek nyomon követik a víz útját a vízgyűjtőn keresztül. Információval rendelkeznek a helyi környezetükről, és ezek alapján meghozzák a döntést a továbblépés helyéről. Egy adott modell-iteráción belül az ágensek képesek az aktuális sejtben maradni, beszivárogni a talajba vagy behatolni a szomszédos sejtbe. A hidrológiai környezet aktuális állapotáról a környezet szolgáltat információkat.“ (Reaney 2008)

Az ágensek alkalmazásával, hasonlóképpen járunk el, mint a sejtautomaták esetén. A különbség abban rejlik, hogy az előbbieken említett sejteket, ágensekként kezeljük, ami lehetővé teszi, hogy maguk az ágensek képesek hordozni a szabályokat és döntést hoznak, környezetük\* függvényében.

\*Lehet statikus és dinamikus réteg is.

### 2.3. Ágens avagy sejtautomaták

Tehát van két modellezési módszerünk melyek mindegyike megfelelne az általunk kidolgozott felépítésnek. Azonban a sejtautomaták használata során szükségesszerű volt kétállású sejtautomatát használni, ami bonyolította a modellt. A szabályok meghatározása ágensek esetén egyszerűbbnek bizonyultak, mint a sejtautomaták során.

### 2.4 Geomorfológia

A Shuttle Radar Topography Mission (továbbiakban: SRTM) DEM-ek valószínűleg a legnagyobb hatással voltak a fejlődő világ azon régiói domborzati viszonyainak tanulmányozására, amelyekre vonatkozóan korábban nem volt elérhető megbízható, nagy felbontású digitális topográfia. Viszonylag kevés kivételtől eltekintve a nem poláris világ nagy részében ma már szinte teljes topográfiai lefedettség érhető el, amely alapot nyújt a különféle tájak új elemzéséhez. Még ott is, ahol korábban DEM-ek voltak, az SRTM adatok a minőség és a lefedettség egységességét biztosítják, amely megbízhatóbb szintézist tesz lehetővé tágabb régiókban, országhatároktól függetlenül. Az abszolút függőleges pontosság jobb, mint 9 méter, ami azt jelzi, hogy az SRTM majdnem kétszeres mértékben javította a 16 m-es abszolút tervezési célját (Farr, T. G. és mtsai. 2007). Ezen felül, az SRTM használata elősegíti a

keretrendszer egyszerűségét, mivel így bármely területre alkalmas, melyre rendelkezésre áll ezen modell. Jelenleg adatvezérelt korban vagyunk; élnünk kell a lehetőséggel, hogy ennyi adat áll rendelkezésre, lehetőség szerint minél jobban fel kell használni, alkalmazni azt lehető legszélesebb körben. (Guo, H., és mtsai. 2014).

### **3. TESZT TERÜLET**

A terület kiválasztása során figyelembe vettük a vízfolyások esetén rendelkezésre álló, folyamatos mérési adatokat. Majd ezt Magyarország területére szűkítettük, pontosabb magyarországi vízfolyások vízgyűjtőire. Így a szűkítések során a választás a Zala folyóra esett. A mérési adatokat a következő honlapról érhetjük el: <http://www.hydroinfo.hu/>. Jelen tanulmány nem tér ki ezen mérési adatok és a szimulációs során keletkezett adatok elemzésére, feldolgozására.

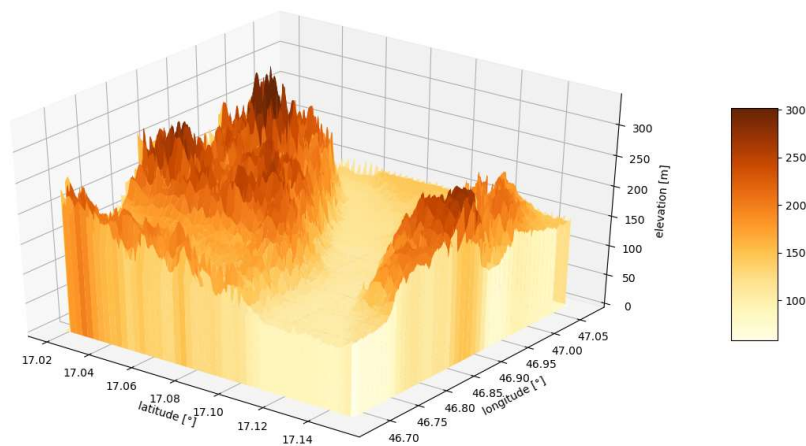
#### *3.1. Domborzatmodell*

Az általunk kiválasztott vízgyűjtőterület esetünkben Zalabér és környékére esik (2. ábra).





modell verifikációja miatt, ez által megerősíthető, hogy a szimuláció során a vízegység száma nem változik. A Későbbieknek a fal használatával feltöltéseket, annak nélkülözésével a lefolyásokat tudjuk vizsgálni. A domborzati modellünk vonatkozási rendszere, koordináta rendszere a WGS-84 földrajzi rendszer, mely hosszúság és szélesség alapú. Az elhelyezés azért is szükséges, mivel így lehetséges a tájékozódás az esőzési adatok lekérése folyamán, illetve a modellünk közelebb kerül a valósághoz. Ezen tömb egy statikus réteggént értelmezhető, tehát értékei a szimulációtól függetlenül állandó értékek.

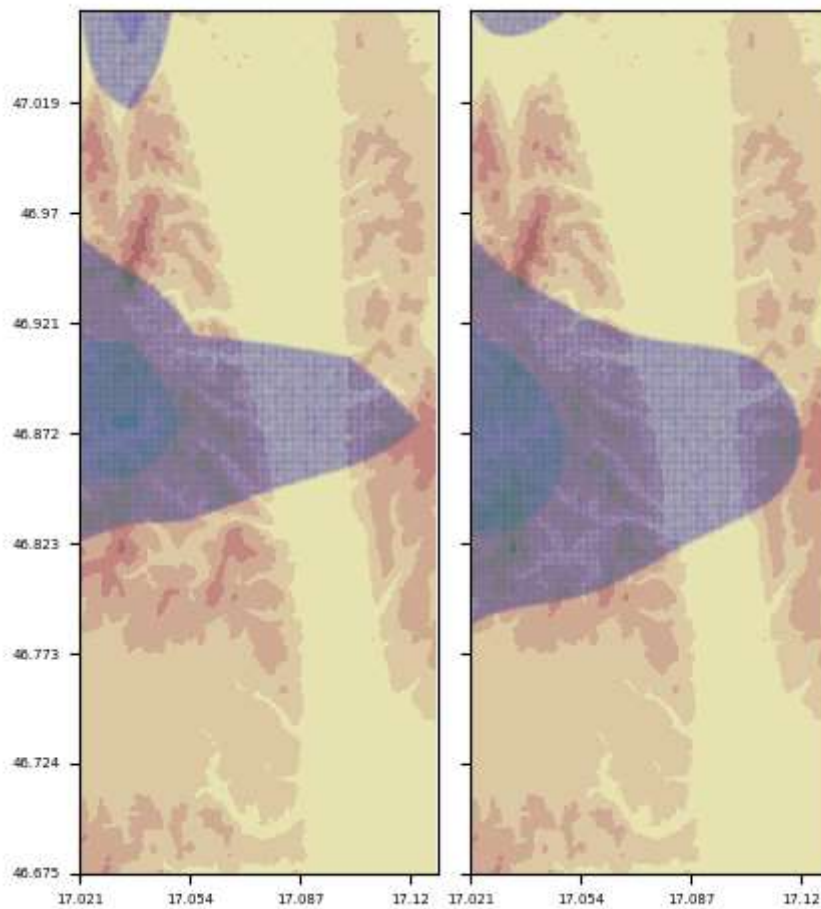


3. ábra: A digitális modell 3D-s megjelenítése,  
WGS84 ellipszoidi koordináta rendszer,  
magassági adatok EGM96 geoid feletti magasságok

### 3.2. Csapadékeloszlás

Mivel rendelkezésre áll a végleges terep, így a következő lépésünk a csapadék meghatározása. A meglévő területünket felbontjuk egy pl (6 x 6) méretű mintavételi mátrixra, és e pontokon csapadék adatokat kérünk le egy API segítségével. A mátrix értékein kerekítést, nagyítást és zajosítást hajtunk végre, így egy ‘álzivatar’ mátrixot képezve.

Majd a mátrix elemei közt interpolációt hajtunk végre, mely lehet lineáris vagy köbös; ezt esőzési tömbnek nevezzük. A számításokat megkönnyítve az interpolált esőzési tömböt milliméter élességgel.

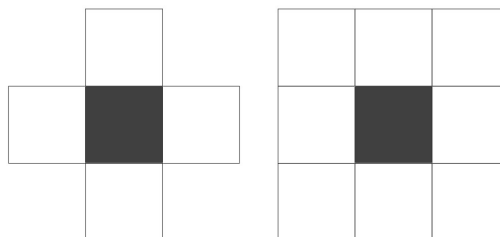


4. ábra: Lineáris- (bal), illetve körös- (jobb), csapadékeloszlási térkép álzivatarral

## 4. MÓDSZERTAN

### 4.1. Szomszédság kezelése

A vízegységek mozgását/folyását egyértelműen a környezetük befolyásolja. Szimulációs mikrokörnyezetüket Moore szomszédsággal tenzorok formájában ragadjuk meg, írjuk le.



5. ábra: von Neumann, Moore- (jobbaldalt) féle szomszédság

Milliméter alapú a modell és valamennyi vízegység véletlenszerűen kiértékelődik valamennyi szimulációs körben, különösen figyelve a szálak szinkronizálására. Tehát egység időben nem képes elmenni egy víz... A szimuláció, vízegységek vízegység értéke megfeleltethető egy milliméter csapadékkal.

#### 4.2. *Vízfolyás definiálása*

A lefolyásnak kétféle folyási típusa van, elsődleges azaz kvázi felület tenzor alapú, illetve másodlagos azaz vízszintgradiens tenzor alapú.

##### 4.2.1 *Vízfolyás lejtők alapján*

Alapfeltevések:

- Amennyiben a felszín több irányba lejt (akár 3 irányba), úgy a víz több irányba fog folyni.
- Alapvetően egy csúcsról egy felületi esés, akár 8 irányba is folyhat.
- Nem trendfelület alapján, egyirányba történik a folyás.
- A vízegység egy cellán, mint felületi megoszló terhelés jelentkezik a szimulációs modellben.

A bevezetett kvázi-lejtőfelület tenzor egyenesen arányos a lejtő meredekséggel, azt részletesebben kezeli.

Elméleti alapon képzeljük el egy olyan tömböt mely szintjeinek száma megegyezik a maximális környezet (szomszédok) számával (nyolc) és teljes területe azonos a domborzati modellével. Tehát a szomszédok vertikális kiemelésen esnek át, egymásra halmozódnak, ezzel megalkotva a tenzort, mely numerikusan egy optimális vektorizált megoldás. Minden elemre igaz lesz, hogy szomszédai száma nyolc, ugyanis a kereten nem keletkezhetsz csapadék, nem jöhet létre vízmozgás, így azt csak szomszédként vesszük figyelembe, nem pedig vizsgálati pontként, ami a maximális szomszéd szám értékét (8) eredményezi. A szomszédok a következőképp lettek definiálva. Ha a vizsgált pont sorban foglalt helye az „x” és oszlopban foglalt helye pedig „y” akkor a szomszédok a következők:

$$\begin{array}{cccccc} (x - 1, y - 1), & (x, y - 1), & (x + 1, y - 1), & (x - 1, y), & (x + 1, y), & \\ & (x - 1, y + 1), & (x, y + 1), & (x + 1, y + 1) & & \end{array}$$

$(x-1,y+1)$	$(x,y+1)$	$(x+1,y+1)$
$(x-1,y)$	$(x,y)$	$(x+1,y)$
$(x-1,y-1)$	$(x,y-1)$	$(x+1,y-1)$

6. ábra: Szomszédok pozíciója, Moore szomszédság; 4 él és 4 csúcsszomszéd

Megjegyzés: vizsgálatok folytak hexagon tesszellációval/szomszédsággal is, de azokat ideiglenesen mellőztük újramintavételezési problémák, indexelési nehézségek miatt.

A pont  $(x,y)$ , és a szomszédai közt vizsgáljuk a domborzati magasság különbséget (pont magassága – szomszéd magasság), ha ez az érték kisebb, mint 0 akkor a pontunk alacsonyabban van, mint a szomszéd, így ezekkel a szomszédokkal nem foglalkozunk. Megmaradtak azok a szomszédok melyek alacsonyabban vannak, mint a vizsgált pont, ezután vesszük a magasság különbségük  $(\Delta h)$  négyzetét, összegezzük az elméleti cellatávolság (30 méter) négyzetével, és vesszük a gyökét, hogy megkapjuk az átfogó értékét (Pitagorasz-tétel). Négyzetre emeléssel - szimbolikusan - az átfogót egy lejtőfelületté alakítjuk, úgymond kiterítjük, hogy egy területi, felületi méretet kaphassunk. A későbbiekben ezt kvázi-felületnek nevezzük:

$$F_{kvázi} = \sqrt{(\Delta h^2 + 30^2)}^2 \quad (1)$$

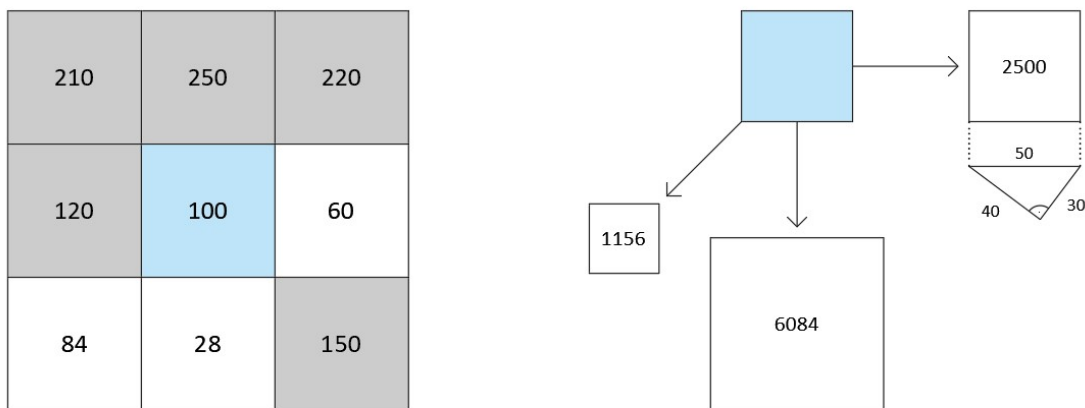
Ezt minden szomszédra ismétljük és szintenként feltöltjük a tömbünket ezekkel az értékekkel, így létrehozva a már adatokat tartalmazó több szintű tömböt, tenzort. A vizsgált ponthoz tartozó kvázi felületeket (tehát a szomszédainak a kvázi felületeit) összegezzük, majd elemenként ezeket leosztjuk az elemek összegével, azaz normalizáljuk. Ezt növekvő sorrendbe rendezzük, és elemenként kumulatív összegét számítunk. A kumulatív összegre azért van szükség, hogy a szomszédok közt kialakuljon egy valószínűségi intervallum.

Minden vízegység minden körben egy véletlenszerű 0 és 1 közötti értékkel rendelkezik; vizsgáljuk, hogy melyik intervallumba esik, és ez alapján kezdődhet el a szomszédon a lefolyási mozgás. Így a vízegységek egy valószínűség-alapú eloszlást követnek. Ezek után további

elemzést folytatunk, még hozzá vizsgáljuk a pontnak a vízmagasság és a domborzatmagasság (későbbiekben összegzett magasság) összegének és a szomszéd összegzett magasságnak a különbségét. Ha ezen érték nagyobb vagy egyenlő, mint 2 milliméter (2) akkor a vízegység áthaladhat erre a szomszédra. A folyamat ábrán, a „Van-e hely?” feltétellel azonos.

$$h_{xy,domborzat} + h_{xy,víz} - h_{szomszéd,domborzat} - h_{szomszéd,víz} \geq 2 [mm] \quad (2)$$

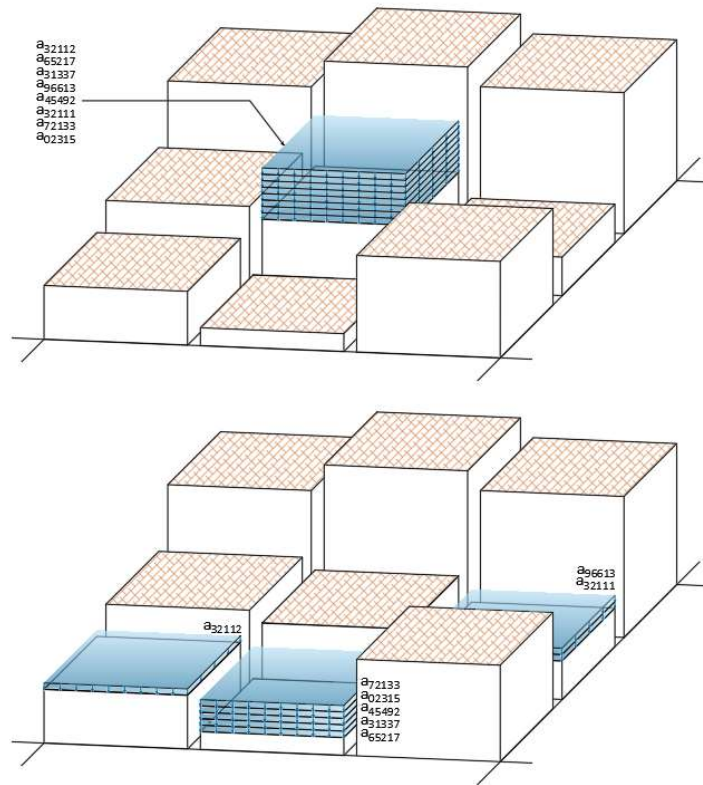
Az áthaladásuk azért lehetséges, mert egy vízegység értéke 1 mm, így ha ezen vízegység átmegy, akkor mindkét felen 1-es érték lesz, így megteremtve a vízszintes helyzetet, amely magyarázza a 2 milliméter értéket. Azonban ekkor felmerülhet egy olyan hiba, hogy azonos domborzati magasságú szomszédra nem megy át víz, ez azért van mivel korábban definiáltuk, hogy csak annak lehet lefolyása, amelyik szomszéd rendelkezik kvázi felülettel. Ilyen esetekben, az elsődleges lefolyás helyett a másodlagos lefolyás lép életbe (lsd. 4.2.1. fejezet).



7. ábra: kvázi-felület tenzor alapú eloszlás

$$t(k)=[0, 0, 0, 0, 0, 0.118, 0.256, 0.626, 0]$$

$$T(k)_{\text{kumulatív}}=[0, 0, 0, 0, 0, 0.118, 0.374, 1, 1]$$



8. ábra: sztochasztikus szimuláció egy realizációja (megvalósulása)

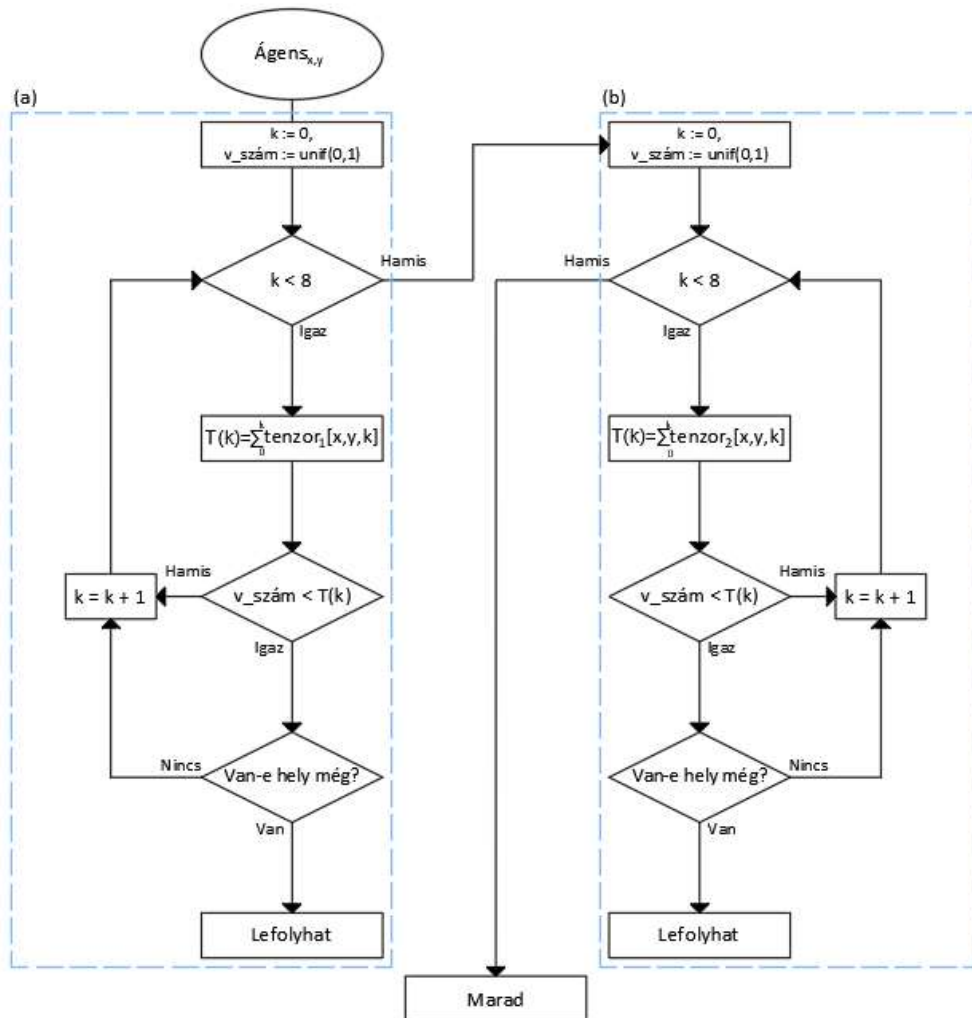
#### 4.2.1. A másodlagos folyás

A másodlagos folyás akkor fordulhat elő, ha már a víz elér egy lokális minimumot, és ott próbál szétterülni. Ez esetben is valószínűséget számítunk, azonban itt jelenlegi pont összegzett magasság és a szomszédok egyenkénti összegzett magasság különbségből képezzük a valószínűséget (3). Ezen értéket minden ponthoz számítjuk az összes szomszédja esetében, így ismét egy tenzort kapunk. Egy pontra vizsgálva a tenzor értékein kumulatív összegzést végzünk, ezzel megalkotva az intervallumokat (ahogy korábban is tettük ezt, az elsődleges lefolyás esetén).

$$h_{xy,domborzat} + h_{xy,víz} - h_{szomszéd,domborzat} - h_{szomszéd,víz} \quad (3)$$

Ha a véletlenszerű számunk kisebb, mint az éppen vizsgált szomszéd kumulatív értéke akkor tovább haladhatunk az elemzéssel, ha nem, akkor vizsgáljuk a következő szomszédot, ugyanezzel a véletlenszerű számmal. A további feltétel-vizsgálat azonos a korábbiakban említett számítással, összegzett magasságkülönbségek értéke nagyobb/egyenlő, mint 2 milliméter (2). Ha e lépés sem lehetséges, akkor az a vízegység pozícióját megtartja, nem változtatja. Minden szimulációs lépésben egy vízegység csak egy lépést tehet meg, mely vagy

az elsődleges mozgás vagy a másodlagos mozgás vagy pozíciótartás. Minden körben, véletlenszerűen futunk végig az összes vízegységen, majd ezután ismételjük folyamatosan ezeket a vizsgálatokat.



9. ábra: Lefolyás folyamatábrája, bemutatja a két tenzor alapú lefolyás közötti kapcsolatot. Kávzi-felület tenzor alapú lefolyás (a), illetve vízgradiens tenzor lefolyásának folyamata (b).

*tenzor1 := szűrt és normalizált kvázilejtőfelület tenzor*

*tenzor 2 :=szűrt és normalizált vízszintgradiens tenzor*

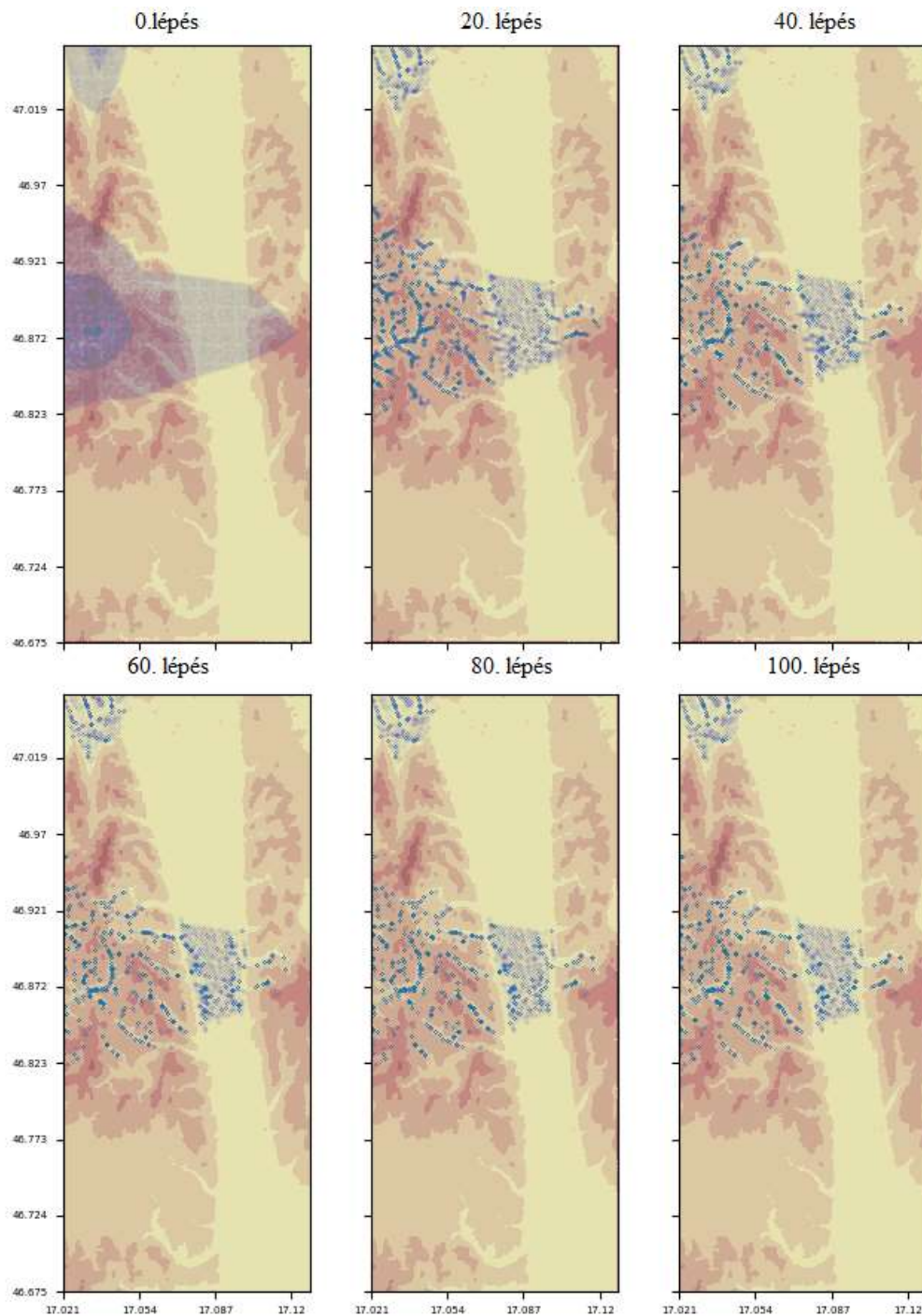
## 5. EREDMÉNYEK

A tanulmány során kiderült, hogy az így megalkotott keretrendszer egyszerűnek bizonyult, mivel a bemeneti igénye kevés, illetve pár szabályokon alapuló módszert követ.

A korábbiakban említett három eljárás elkészítése után végeredményünk egy olyan szimulációs program, mely egy terület adott időben időjárási, esőzési adatokat képes integrálni a keretrendszerbe, ezen vízegységek képesek általunk definiált szabályok alapján mozogni (a digitális domborzati modell alapján), illetve ezek a szimulációs lépések megtekinthetők, bármely pontjában lekérhető vízmagassági adat. Ellenőrzések során megbizonyosodtunk arról, hogy a lefolyás végbemegy, illetve a kezdeti vízegységek összege azonos a bármelyik lépés esetén lekért vízegység összegével. A szimulációs lépések közt az ágens számnak változatlanoknak kell lennie, különben elvi hibás lenne.

Az ágens szám az esőzési adatok függvényében növekszik vagy csökken, lassítva vagy gyorsítva a lefutási időt. Ezen minta során 135017 ágens szerepel, aminek darabja egy milliméter esőnek felel meg egy egész órán át (mm/h).





9. ábra: Szimulációs kép, a kezdeti állapottól 100-as lépésig. Az ágensek mindegyikét azonos kék színnel jelöltük skálázás nélkül, átlátszósággal, sötétebb kék helyeken magasabb az ágensek száma.

Egy kisebb példa esetén jól látható a folyamatok részeredményei méterben kifejezve. Jelen esetben egy ágens jelentsen egy milliméternyi csapadékot. Ha ugyanezen kiindulási adatokkal szimuláljuk le többször, akkor a végeredmények között lehetséges az eltérés a valószínűség figyelembe vételével.

1. táblázat: Kiindulási vízmagasság

[0. 0. 0. 0. 0. ]  
[0. 0. 0. 0. 0. ]  
[0. 0. 0. 0. 0. ]  
[0. 0.003 0. 0. 0. ]  
[0. 0.003 0.002 0.002 0. ]  
[0. 0. 0. 0. 0. ]

2. táblázat: Kiindulási domborzat magasság

[999. 999. 999. 999. 999.]  
[999. 102. 109. 106. 999.]  
[999. 107. 108. 109. 999.]  
[999. 112. 111. 110. 999.]  
[999. 113. 113. 110. 999.]  
[999. 999. 999. 999. 999.]

Szimulációs lépés: 0

Megfigyelt ágens: agent\_1

Ágens pozíció: (3, 1)

Környezete: [(2, 0), (3, 0), (4, 0), (2, 1), (4, 1), (2, 2), (3, 2), (4, 2)]

Környezetének kvázi-felület normalizált értéke:

[0, 0, 0, 0.3373, 0, 0.3341, 0.3286, 0 ]

Kumulatív összege:

[0, 0, 0, 0.3373, 0.3373, 0.6714, 1, 1 ]

véletlenszám: 0.3963

véletlenszám < kumulatív\_összeg[0]:

Hamis

...

véletlenszám < kumulatív\_összeg[5]: Igaz

0.3963 < 0.6714

Szimulációs lépés: 0

3. táblázat: Vízmagasság változása agent\_1

mozgásának hatására

[0. 0. 0. 0. 0. ]  
[0. 0. 0. 0. 0. ]  
[0. 0. 0.001 0. 0. ]  
[0. 0.002 0. 0. 0. ]  
[0. 0.003 0.002 0.002 0. ]  
[0. 0. 0. 0. 0. ]

Van-e még hely?: Igaz  
Folyás típus: Kvázi-felület alapú  
Ágens új pozíció: (2, 2)

4. táblázat: Összegzett magasság változása agent\_1  
mozgásának hatására

[999.	999.	999.	999.	999.]
[999.	102.	109.	106.	999.]
[999.	107.	108.0001	109.	999.]
[999.	112.0002	111.	110.	999.]
[999.	113.0003	113.0002	110.0002	999.]
[999.	999.	999.	999.	999.]

Szimulációs lépés: 0  
Megfigyelt ágens: agent\_8  
Ágens pozíció: (4, 3)  
Környezete: [(3, 2), (4, 2), (5, 2), (3, 3), (5, 3), (3, 4), (4, 4), (5, 4)]  
Környezetének kvázilejtő felület normalizált értéke:  
[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 ]  
Kvázi-felület alapú folyás: Hamis  
Normalizált magasság különbség:  
[0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0 ]  
Kumulatív összege:  
[0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1 ]  
véletlenszám: 0.2243  
véletlenszám < kumulatív\_összege[0]:  
Hamis  
...  
véletlenszám <  
kumulatív\_összege[3]: 0.2243 < 1.0  
Van-e még hely?: Igaz  
Folyás típus: Diffúzív eloszlás  
Ágens új pozíció: (3, 3)

Szimulációs lépés: 0

5. táblázat: Vízmagasság változása agent\_8  
mozgásának hatására

[0.	0.	0.	0.	0.]
[0.	0.	0.	0.	0.]
[0.	0.	0.0001	0.	0.]
[0.	0.0002	0.	0.0001	0.]
[0.	0.0003	0.0002	0.0001	0.]
[0.	0.	0.	0.	0.]

6. táblázat: Összegzett magasság változása agent\_8  
mozgásának hatására

[999.	999.	999.	999.	999.]
[999.	102.	109.	106.	999.]
[999.	107.	108.0001	109.	999.]
[999.	112.0002	111.	110.0001	999.]
[999.	113.0003	113.0002	110.0001	999.]
[999.	999.	999.	999.	999.]

Szimulációs lépés: 0

Megfigyelt ágens: agent\_3

Ágens pozíció: (4, 1)

Környezete: [(3, 0), (4, 0), (5, 0), (3, 1),  
(5, 1), (3, 2), (4, 2), (5, 2)]

Környezetének kvázilejtő felület  
normalizált értéke:

[0, 0, 0, 0,4992, 0, 0,5008, 0, 0 ]

Kumulatív összege:

[0, 0, 0, 0,4992, 0,4992, 1, 1, 1 ]

véletlenszám: 0.7843

véletlenszám < kumulatív\_összege[0]:

Hamis

...

véletlenszám <

kumulatív\_összege[5]: 0.7843 < 1.0

Van-e még hely?: Igaz

Folyás típus: Kvázi-felület alapú

Ágens új pozíció: (3, 2)

Szimulációs lépés: 0

7. táblázat: Vízmagasság változása agent\_3  
mozgásának hatására

[0. 0. 0. 0. 0. ]

[0. 0. 0. 0. 0. ]

[0. 0. 0.0001 0. 0. ]

[0. 0.0002 0.0001 0.0001 0. ]

[0. 0.0002 0.0002 0.0001 0. ]

[0. 0. 0. 0. 0. ]

8. táblázat: Összegzett magasság változása agent\_3  
mozgásának hatására

[999. 999. 999. 999. 999.]

[999. 102. 109. 106. 999.]

[999. 107. 108.0001 109. 999.]

[999. 112.0002 111.0001 110.001 999.]

[999. 113.0002 113.0002 110.0001 999.]

[999. 999. 999. 999. 999.]

### 5.1 Szimulációs napló értelmezése

A szimulációs lépésszámból ellenőrizhető, hogy az adott ágenseken teljesen végbe ment-e az elemzés vagy sem, ezzel is szűrve az olyan elvi hibák egyikét, mint például: egy szimulációs kör alatti, ugyan azon ágens többszöri futása. Az ágenseknek saját azonosítójuk van, ez teszi lehetővé ágens cselekmények nyomon követését. Mivel az ágens vezérlés teljesen véletlenszerű így az első ágensünk „agent\_1” lett, aki bemutatja a kvázi-felület alapú lefolyást (3. táblázat). Veszi környezetét, annak kvázi-felület normalizált értékét, majd a kumulatív összegek közt keresi azt a szomszédot, amely a véletlenszám értéknél kisebb. Megjegyzés: A véletlenszám értéke körönként illetve lefolyás típus váltás során változik, az iteráció során állandó. Az „agent\_8” nevű ágens nem képes a kvázi-felület alapú folyásra mivel szomszédjainak domborzati magassága nagyobb az ő pozícióján lévő domborzatnál. Így kénytelen diffúzív eloszlásra vizsgálatot végezni, amely lehetségesnek bizonyul (5. táblázat).

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm a Kék Bolygó Klímavédelmi Alapítványnak, hogy támogatja munkám a Fontus Vízügyi Hallgatói Program keretében.

## 7. IRODALOM

- Cirbus, J., & Podhoranyi, M. (2013). Cellular automata for the flow simulations on the earth surface, optimization computation process. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 7(6), 2149.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., ... & Seal, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2).
- Guo, H., Wang, L., Chen, F., & Liang, D. (2014). Scientific big data and digital earth. *Chinese science bulletin*, 59(35), 5066-507
- Kummu, M., Tes, S., Yin, S., Adamson, P., Józsa, J., Koponen, J., ... & Sarkkula, J. (2014). Water balance analysis for the Tonle Sap Lake–floodplain system. *Hydrological Processes*, 28(4), 1722-1733.
- Reaney, S. M. (2008). The use of agent based modelling techniques in hydrology: determining the spatial and temporal origin of channel flow in semi-arid catchments. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 33(2), 317-327.
- Russell, S., & Norvig, P. (2005). In *Mesterséges intelligencia–modern megközelítésben. Magyar fordítás fordító közösség által. Panem*, 31-36.
- Toffoli, T., & Margolus, N. (1987). *Cellular automata machines: a new environment for modeling*. MIT press.
- USGS. (2015). Shuttle radar topography mission (SRTM) 1 Arc-Second global. US Geological Survey.
- Wirth, E. (2017). *Ágens-alapú modellek a térinformatikában*. PhD értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem