

A városi zöldfelületek szerepe az árvízveszély csökkentésében: A kínai Zhengzhou Erqi kerületének GIS-modellezési esettanulmánya

Xiaoyan ZHANG¹, Xinyu WANG², TÖRÖK Zsolt Győző³

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földtudományi Doktori Iskola, Térképészet-geoinformatika Program

²Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet

³Eötvös Loránd Tudományegyetem, Térképtudományi és Geoinformatikai Intézet

E-mail: ¹zxy@student.elte.hu, ²wang.xinyu@phd.uni-mate.hu, ³zoltorok@map.elte.hu

DOI: [10.30921/GK.76.2024.3-4.1](https://doi.org/10.30921/GK.76.2024.3-4.1)

Absztrakt

A városi területeken előforduló áradások gyakoribb előfordulásával és súlyosbodásával a modern várostervezés fokozott figyelmet fordít a városi zöldfelület és a felszíni lefolyás kapcsolatának a tanulmányozására, különösen a zöldfelületek térbeli elhelyezkedésének és a lefolyáscsillapítás összefüggésének feltárására. Tanulmányunkban a kínai Zhengzhou város Erqi kerületének példáján vizsgáljuk a városi zöldfelületek elhelyezkedése és a lefolyás csillapítási hatékonyság közötti összefüggését. Célunk a zöldterületek térbeli szerkezete és lefolyáscsillapításának mértékének megértése az ellenállóbb városok tervezése érdekében. Vizsgálatunkban GIS-plattformon, a D8 algoritmus felhasználásával modellezzük a lehetséges felszíni lefolyást a városi mintaterületen. Az árvízveszély felmérést utcaszinten is elvégezzük, hogy feltárjuk a zöldfelületekre nehezedő lefolyási terhelést. A zöldfelületi lefolyáscsillapítás hatékonyságának heterogenitási jellemzőit és a városi árvízveszélyt vizsgáljuk, amely referenciaként szolgálhat a városi árvízveszély csökkentésének tervezéséhez.

Abstract

In modern urban planning, there is an increasing focus on the relationship between urban green spaces and surface runoff. This is because floods in urban areas are becoming more frequent and severe, partly due to global climate change. The aim of our research was to explore how the spatial location of green spaces affects the attenuation of runoff. We conducted this study in the Erqi district of Zhengzhou, China. Our main objective was to understand the spatial structure and heterogeneity of green areas and their effectiveness in mitigating runoff. Our findings can be used to design more resilient cities in the future. Additionally, we conducted flood risk assessments at the street level to determine the amount of runoff on green areas. We analysed the heterogeneity characteristics of the effectiveness of green surface runoff attenuation and urban inundation risk in the district. Our study can be used as a reference for planning urban flood risk reduction.

1. A különböző városi zöldterületek szerepe

Az urbanizáció növekedésével világszerte folyamatosan változnak a városi területhasználati típusok (Hao et al. 2008), míg a globális klimatikus változásokkal a csapadékmintázatok is átalakulnak. A hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadék következményeként a mesterséges felszínborítottságú, nem vízáteresztő városi területeken a gyors felszíni lefolyás miatt villámáradások következhetnek be. A lefolyás mennyiségének növekedése és elhúzódó időtartama fokozza a városi árvízveszély kockázatát, amelyek jelentős veszélyt jelentenek a városok ökológiai tájképére és a lakók biztonságára (Kochan 2005).

Esettanulmányunkban a kínai Zhengzhou nagyváros Erqi kerületét vizsgáljuk. Kutatásunk térinformatikai és hidrológiai modellezést alkalmaz a városi zöldterületek térbeli elhelyezkedése és a felszíni lefolyás csillapításának hatékonysága közötti kapcsolat feltárásához. A különböző típusú zöldterületek lefolyás-elyelési hatékonysága eltérő, és Erqi kerületben ezek a típusok az északkeleti és a délkeleti területrészekben nagyon különböző módon fordulnak elő. A vizsgálat ezt a markáns térbeli heterogenitást felhasználva azt kívánja megmutatni, hogy Zhengzhou városban, különösen pedig az Erqi kerületben a jövőbeni zöldterületi tervezéssel hatékonyan csökkenthető a városi árvízveszély.

A városi zöldfelületek a városon belüli, növényzettel borított területeket jelentik, amelyek felszínét jellemzően fák, cserjék, vagy fű borítja, de ide tartoznak a zöldtetők vagy a vízfelületek

az ún. „kék” felületek is. Ezek a városi ökoszisztémák létfontosságú alapjai, amelyek elősegítik a különböző térbeli folyamatok összekapcsolhatóságát. Hatásuk a városi csapadékvíz körforgására különösen figyelemre méltó (Cilliers et al. 2013). A felszíni lefolyás leegyszerűsítve a lehulló csapadék talajba vagy vízelnyelő felületbe történt beszívargása utáni vízmennyiséget jelenti. A városok felhasználhatják a városi zöldfelületeket a felszíni lefolyás szabályozására. A tudósok a lefolyás természetes formáját a városi zöldfelületeken azzal a céllal modellezték, hogy utánozzák a természetes lefolyási folyamatokat, és csökkentsék a felesleges felszíni lefolyást. Yao Lei példával szemléltette, hogy Pekingben a zöldterületek vízelnyelő képessége hogyan csökkenti a városi árvizek kockázatát (Yao et al. 2015). Silvennoinen finnországi esettanulmányában bizonyította, hogy a különböző léptékű városi zöldfelületek – a városi lefolyások kezelésével kapcsolatos szolgáltatásokként – gazdaságilag is hasznosítható ökoszisztémát kínálnak (Silvennoinen et al. 2017). A zöldfelületek jelentős szerepet játszanak a városi áradások mérséklésében, különösen a hirtelen vízlefolyás mennyiségének csökkentésével (Mentens et al. 2006; Zhang et al. 2015).

Valójában ugyanaz a zöldfelület a körülményektől függően különböző szerepet tölthet be, amelyet a hozzá kapcsolható, egyedi heterogenitási attribútum-érték határoz meg. A zöldfelületek sokfélesége a különböző típusokban és szerveződésekben mutatkozik meg. Ez tükröződhet például a vegetáció típusában, a tajminőségben, a domborzati jellemzőkben vagy a vízháztartásban. Az olyan tényezők, mint a zöldfelületek mérete, típusa vagy elhelyezkedése döntően hozzájárulnak lefolyáscsillapítási hatékonyságukhoz. Ezen tényezők, tehát a térbeli attribútumok döntő szerepet játszanak a felszíni lefolyás szabályozásában. A városi zöldfelületek attribútumheterogenitása a lefolyáscsillapítás térbeli skálájának megfelelően öröklődik (Razzaghi-Pearsall 2023). Byungsun Yang (2021) szerint a nagyobb zöldfelületi arány hatékonyabban csökkenti a

városi lefolyást. Kong Haochen és mások (2023) feltárták a vízmegtartó, „szivacsos” létesítmények, például a zöldtetők, tetőtéri kertek, a növényzettel borított árkok és esőkertek fontos szerepét a városi áradások következményeinek, például az áradások okozta szennyeződés enyhítésében. Boongaling és munkatársai (2018) a Calumpang-vízválasztó szerepét vizsgálva a Fülöp-szigeteken azt találták, hogy a mező- és erdőgazdálkodás területének növekedése csökkentheti a hirtelen felszíni lefolyást. A zöldfelületek és egyéb átérésztő felületborítások területének növelése és térbeli elhelyezkedésének módosítása a vízlefolyás konvergenciapályáját és idejét változtatja meg, ami hatással van a városi elöntés kockázatára (Zheng 2020). A területek térbeli elhelyezkedése jelentősen befolyásolja a felszíni lefolyás csillapításának hatékonyságát. Azonban a zöldfelületek hatásfoka a lefolyás csillapításában heterogenitást mutat, ami szorosan összefügg a városi árvízveszéllyel. A városi zöldfelületek térbeli elrendeződése így a városfejlesztés kontextusában – pl. értékes ökológiai szolgáltatások nyújtásával – nélkülözhetetlen szerepet játszik. Azzal, hogy a következőkben a zöldfelületek helyfüggő hatékonyságára összpontosítunk a lefolyás csillapításában, fel tudjuk mérni a zöldfelületekre a különböző területeken nehezedő lefolyási nyomást.

2. A vizsgált terület bemutatása

Zhengzhou város Kínában, a központi Henan Tartományban, az északi mérsékelt, kontinentális monszun éghajlati övezetben fekszik (Qiao 2020). Ez a terület az ország közép-alföldi gazdasági övezetének magja. A hatalmas kiterjedésű, több mint tízmilliósq Zhengzhou városon belül az Erqi kerület) a központi városrész, amelynek összterülete körülbelül 156,2 km². A kerület – a kínai közigazgatási rendszerben szokásos módon – a főbb utakról elnevezett lakókörzetekből, valamint községekből áll. Tanulmányunkban ezeket a megjelöléseket (pl. „Yima út”) nem



1. ábra Részlet Cholnoky Jenő 1905-os térképéből (balra) – Erqi Kerület földrajzi helyzete és közigazgatási beosztása (jobb oldalon)

egy utakra, hanem a közigazgatási egységekre vonatkozóan használjuk a továbbiakban.

Magyar kutatóként 1896-ban Cholnoky Jenő geográfus és mérnök kínai tanulmányútján egy kissé keletebbre haladt el a Sárga-folyótól (Hoang-ho) délre fekvő mai óriásvárostól. Cholnoky útja során fontos természetföldrajzi, pl. hidrográfiai-hidrologiai megfigyeléseket tett. Szempontunkból különösen érdekes 1905-ben megjelent tanulmánya, amelyben a Kínai-alföld hidrográfiai és talajtani viszonyait részletesen tárgyalta (Cholnoky 1905). Tanulmánya mellékleteként közölte az általa szerkesztett „Kínai Nagy Alföld szerkezetének térképe” című, színes morfológiai térképét. Ezen, a több mint száz évvel ezelőtt készült geográfiai pillanatkép részletén is láthatjuk az akkor még kevésbé ismert terület változatos formakincsét. Tanulmányának végén Cholnoky a dagályhullám okozta áradás jelenségét írja le, míg ebben a tanulmányunkban mi a csapadék okozta városi áradásvesztélyt tanulmányozzuk (1. ábra).

Az elmúlt években Zhengzhou területe rohamosan fejlődött, a város felszínborítottsága ezzel együtt drámai mértékben átalakult, így a városi vizesedés súlyos mértékűvé vált (Yipeng 2020). Északkeleten a hatalmas üzleti kerület, az Erqi-emlékmű, a Zhengzhou vasútállomás található, míg délnyugaton teljesen eltérő, változatos terepviszonyok tapasztalhatók: zöldterületek, források, mély völgyek és szakadékok váltakoznak (amit jól mutat, hogy itt a relatív magasságkülönbség 151,9 m). A kutatásban vizsgált terület délkeleti részén jóval több a zöldfelület mint az északkeleti oldalon. Ez a jellegzetesség teszi különösen alkalmassá a városi felszíni lefolyás és a zöldfelületi elrendezés kapcsolatának vizsgálatára (2. ábra).



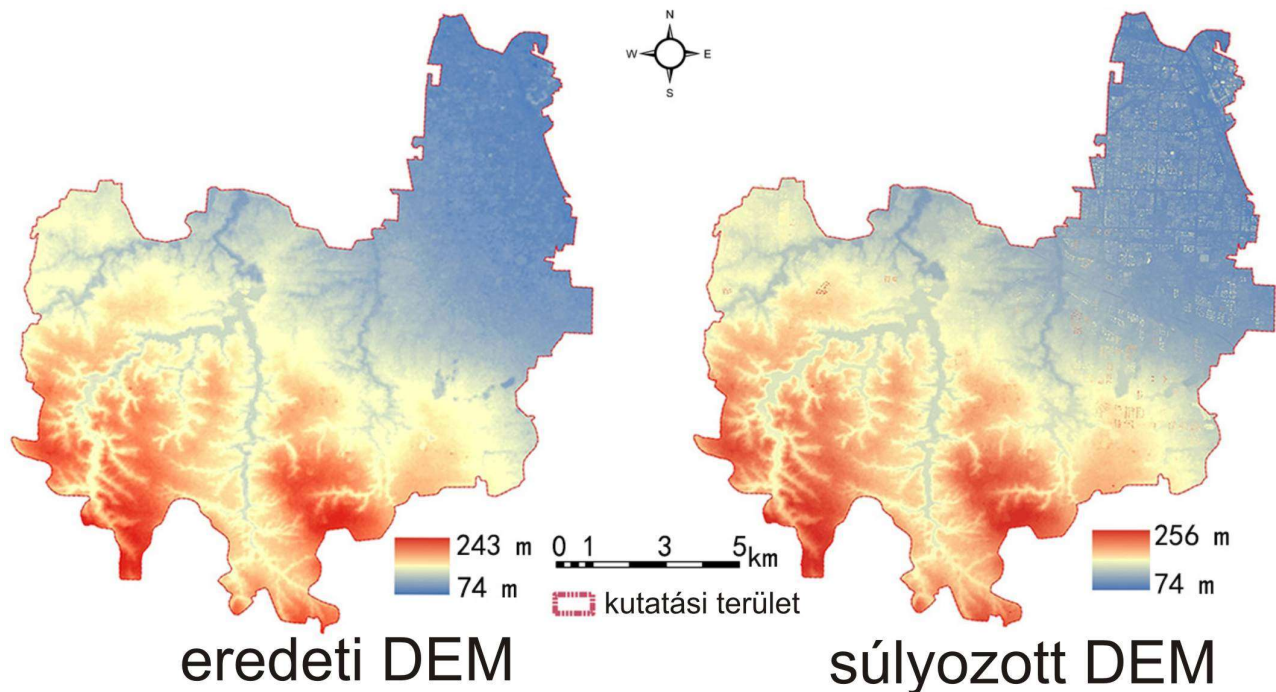
2. ábra Az Erqi Kerület északkeleti (balra) és délnyugati részére jellemző, eltérő környezettípusok

3. Adatok és előfeldolgozásuk

A vizsgálatunkban felhasznált távérzékelési adatok közé tartoznak az Egyesült Államok Geológiai Szolgálatától (USGS) 2020-ban beszerzett, 10 méteres felbontású Sentinel-2-L2A-műholdképek. A tervezési adatokat, például a helyszín beépítési adatait, az úthálózatot és a víztestadatokat digitális formában a kínai Nemzeti Földrajzi Információs Szolgálattól szereztük be (<https://www.tianditu.gov.cn/>). Az épületmagasságok, a valós útszélesség és a folyók mélységi adatait terepi mérésekkel pontosítottuk.

Az éves éjszakai fénykibocsátás (NTL) adatai az NPP-VIIRS-műholdtól származnak, amelyek szabadon hozzáférhetőek a weben (elérhetőek a https://eogdata.mines.edu/nighttime_light/ oldalon). Ezek az adatok tájékoztatást nyújtanak az éjszakai fénykibocsátásról, amely az urbanizáció és az emberi tevékenység indikátoraként használható.

A felhasznált, 12,5 méteres felbontású, digitális magasságmodell (DEM) adatai az ALOS-1-ből származnak, amely nagy pontosságot kínál. A fenti adatok együttes alkalmazásával javítottuk a digitális magassági modellt (3. ábra).



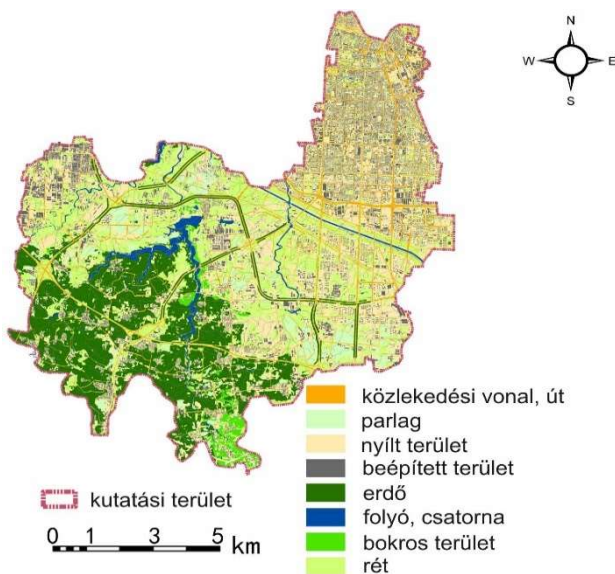
3. ábra A digitális magassági modell (DEM) javítása

Előfeldolgozást – például légköri korrekciót és koordinátaregisztrációt – követően a PCA-ISO módszert használják a műholdképek felügyelet nélküli osztályozására. Az adatokat a térinformatikában szokásos módon az NDVI/VDVI és más indexeléssel javítják, majd kombinálják a magas értékű adatok vizuális értelmezésével a végeredmény megszerzéséhez. A földhasználati típusokat nyolc, illetve négy kategóriába soroltuk, és az „Osztályozási útmutató” szerint konszolidáltuk a kínai kormány természeti erőforrásokkal foglalkozó minisztériumának előírásai szerint (https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-11/22/content_5563311.htm, (1. táblázat, 4. ábra).

3. Hidrológiai modellezés

Az egydimenziós (1D), az egydimenziós csőhálózati, a kétdimenziós árvízi (1D-2D) vagy a kétszeresen egydimenziós (1D-1D) modellektől (Djordjević et al. 2004; Alho–Aaltonen 2008; Yu–Huang 2014) eltérően a D8 (nyolc irányú) áramlási algoritmus a vizsgált területet egy kétdimenziós rácshálózatra bontja, majd a digitális magassági modell alapján minden rácscsompontra kiszámítja a lefolyási áramlás irányát. Ez a módszer tükrözi a terepviszonyok hatását a lefolyás kialakulására. Az elemzésben azonban a berácsozott felületre vonatkozóan nagy pontosságú magassági adatokra van szükség a felhasznált digitális magassági modellnél, mivel ez alapvetően befolyásolja az elemzés megbízhatóságát.

Ennek a problémának a megoldására tanulmányunkban egy olyan GIS-modellt alkalmazunk, amely több tényezőt is figyelembe vesz: a magasságot, a földhasználat típusát, a mérnöki építkezés súlyozott hozzájárulását és az összefolyó áramlások felhalmozódását. Ezen további tényezők figyelembevételével a térinformatikai modellben mind a hatékonyság, mind a felbontás növelhető, így a szimuláció pontosabbá válik. Ez lehetővé teszi az átfogóbb elemzést a terep felszíni lefolyásra gyakorolt hatásáról (Su 2020). A tanulmányban az ArcGIS-



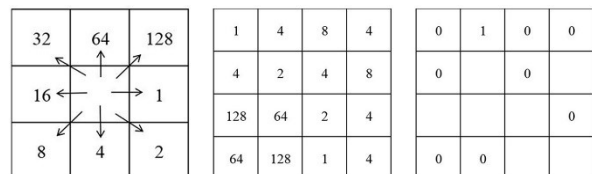
4. ábra Az Erqi körzet földhasználati térképe

Táblázat 1. Kínai földhasználati osztályozás

	Nyolcas osztályozás	Négyes osztályozás	Földhasználati típusok
1	erdős terület	zöldterület	fás zöldterület
2	bokros terület		bokros zöldterület
3	rét		főként gyepes terület
4	folyó, csatorna	vízi terület	vizes élőhelyek, szárazföld és vizek
5	parlag	mezőgazdasági terület	művelt földterületek, kertek és mezőgazdasági létesítmények területe
6	közlekedési vonal, út	kemény talajú terület	közlekedési célú terület
7	nyílt terület		kereskedelmi szolgáltatásokra és közszolgáltatásokra használt terület
8	beépített terület		lakóterület, közigazgatási és közszolgáltatási terület, különleges terület

platform Arc Hydro, azaz hidrológiai modulját használjuk domborzatelemzéssel kombinálva. Az Arc Hydro algoritmusok halmaza, amelynek funkcionalitása magába foglalja a digitális magassági modell generálását, a depressziók automatikus feltöltését, az áramlás irányának és az áramlási felhalmozódásnak a térbeli elemzését.

A tanulmányban az Arc Hydro alkalmazásával integráljuk a térbeli elemeket a felszíni hidrológiai elemzésbe, amely szempont gyakran hiányzik más hidrológiai modellekből. Ebbe beletartozik a terepnek vízgyűjtők és vízválasztók szerinti felosztása és lehatárolása, ezzel biztosítva további információkat a felszíni hidrológiai elemzéshez. Az Arc Hydro-eszköz-modul az ArcGIS-platformon lehetővé teszi a kutatók számára, hogy átfogó felületi, hidrológiai elemzést készítsenek a domborzatelemzés és a térinformáció beépítésével, amely alapvető feltétel a felszíni vizek viselkedésének jobb megértéséhez egy adott területen (Zheng et al. 2018). Így lehetséges pontosabban kiszámítani a teljes folyamat mértékét a vízgyűjtő medencére, átfogóan kalkulálni a vízfolyás irányát, vízgyűjtőjét, valamint végül kivonni a vízhálózati rendszert, hogy ezzel előállítsuk a felszíni esővíz lefolyási modelljét és hidrológiai eloszlását (5. ábra).



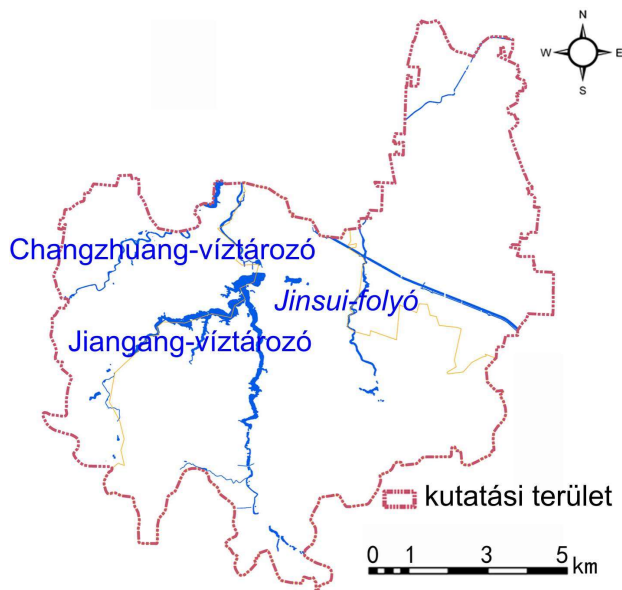
5. ábra A D8 egyirányú áramlási algoritmus működési elve: irányok kódolása, áramlási irányok, felhalmozás

4. Eredmények és elemzések

A lehetséges felszíni lefolyás elemzése

A városi felületeken számos, különböző méretű mélyedés található, ami kihívást jelent a pontos vízáramlási irányok kiszámításában (Ren et al. 2020). Ezért az ArcGIS-ben funkcionális eszközöket használnak a mélyedések kitöltésére, az áramlási irányok kiszámítására, az áramlási akkumulációs számítások elvégzésére és végül a folyóhálózat kinyerésére. Az itt alkalmazott, Strahler-féle folyamminősítési módszernél a folyókat hatkülönböző szintbe soroljuk. A Strahler-besorolás a folyók osztályozásának kritériuma, elsősorban a folyó mellékfolyóinak száma alapján. Két azonos szintű folyó összeolvadásakor magasabb szintű folyó keletkezik. Ezen az osztályozáson keresztül a folyórendszer főbb folyóinak és mellékfolyóinak összefüggése világossá válik. Az eredmények azt mutatják, hogy a hatodik szintű, eredeti lefolyást elsősorban a vizsgált terület nyugati részén található fontos folyók, mint a Changzhuang- és Jiangang- víztározó, a Jinsui-folyó képviselik (6. ábra).

A finomított árvízszimuláció és kockázatértékelés megvalósításához össze kell kapcsolnunk a lefolyást a földhasználati együtthatójának súlyozott értékével, hogy az eredmények értelmezhetőbbek és pontosabbak legyenek. A magasabb lefolyási együttható azt jelzi, hogy egy terület hajlamosabb a felszíni lefolyásra, így ott nagyobb az árvízveszély. A folyóvíztesteken belül a lefolyási együtthatót 0-ra állítjuk, mivel ez a lefolyás nem vesz részt a felszíni folyamatokban. Erdők és gyepek, erős esővíz-beszivárgással és növényi lombkorona felfogásával 0,1-es együtthatót adnak. A művelt földek magas mesterséges meliorációval, jó permeabilitású, laza talajjal 0,15-



6. ábra A főbb vízfolyások a területen

ös együttthatót kapnak. Városi terek és üres telkek intenzív emberi tevékenységgel és kevésbé áthatolható felületekkel – figyelembe véve a vízelvezetési projekteket – 0,4-es együttthatót kapnak, míg a burkolt utaknál és lakóépületeknél az együtttható 0,9.

A súlyozott eredmények felfedik a vizsgált területen a lefolyás egyenetlen eloszlását. A blokkokat egységekként véve a lefolyási, illetve felhalmozási állapotok szerint a vizsgált terület határozottan három részre osztható. Ezek sorrendben: 1. Erqi városi tömbök csoportjai (amelyek jellemzők a Jingguang út, Daxue út, Yima út és további főutak mentén); 2. az új kerületek csoportjai (főleg a Songshan út és Houzhai község északkeleti részében); 3. az ipari csoportok (elsősorban Mazhai község az északi részen (ld. 7. ábra).



7. ábra A súlyozott lefolyás áramlási vonalai és a terület jellemző típusai

Elárasztási kockázatelemzés

Számításokat végeztünk az árvíz kockázat értékelésére a fenti területeken a lefolyást egy 300×300 méteres rácshálón belül összegezve. Az eredmények alapján a területek a következő öt típus valamelyikébe tartoznak (2. táblázat).

Megfigyelhető, hogy ritkán találhatók igazán magas árvízveszélyeztetettségű területek (csupán $1,32 \text{ km}^2$, azaz a vizsgált terület 0,85%-a ilyen). Ezek elsősorban a terület keleti részén vannak, amelyek azonban sűrűn lakottak, és ahol virágzik a kereskedelem. Itt az épített fedettség jellemző, például a városi épületek, utak és terek borítják a felszín jelentős hányadát.

Az alacsony árvízveszélyeztetettségű területek a vizsgált terület több mint felét ($78,52 \text{ km}^2$, 50,26%) teszik ki, és elsősorban a nyugati külvárosokban találhatóak. Az itteni, nagy kiterjedésű erdők, gyepek, termőföldek a jó vízáteresztő képességű, zöld erőforrásokban gazdag zónákba esnek. Jellemzőek ezen a részen egyenetlenek a terepviszonyok. Az árvíz kockázat háttömbökre történő lebontásával az utcák alapján, a Changjiang út, a

Táblázat 2. Az elárasztási kockázat értékelése az Erqi kerületben

Kockázati szint	Terület (km ²)	Összes terület (km ²)	Résarány (%)
magas árvízveszélyeztetettségű övezet	1,32	156,20	0,85
magasabb árvízveszélyeztetettségű övezet	10,43		6,68
közepes árvízveszélyeztetettségű övezet	22,16		14,19
alacsonyabb árvízveszélyeztetettségű övezet	43,77		28,02
alacsony árvízveszélyeztetettségű övezet	78,52		50,26

Jianzhong út és a Mifengzhang út és a környező lakókerületek vannak a leginkább kitéve az árvízveszélynek. Ez drámai valósággá vált Zhengzhouban 2021 júliusában a több mint háromszáz halálos áldozatot követelő, ún. „7,20”-as, heves esőzés okozta katasztrófában, amelyet követően a fenti területeken ráadásul súlyos vizesedés következett be (Li et al. 2023). Általánosságban elmondható, hogy a mintaterületen belül az erősen urbanizálódott területeken sokkal nagyobb a vízlefolás, mint a hegyvidéki területeken, ezért az északkeleti, városi területek a magas árvízveszélyű régiók (8. ábra).

A zöldfelületek vízelnyelési hatékonyságának elemzése

A különböző területhasználati módok eltérő mennyiségű csapadékot nyelnek el. A kutatási adatok azt mutatják, hogy a

víztestek mellett a zöldfelületek szívják fel a legnagyobb mennyiségű felszíni lefolyó vizet. A módszer szerint először kiszámítjuk a teljes lefolyás mennyiségét az eredeti digitális magassági modellekből, majd kiszámítjuk a teljes lefolyást a különböző földhasználati típusok súlyozása után. Ezt kivonva az előző értékből megkapjuk a zöldterületek okozta lefolyási különbséget. Az így kapott érték tehát azt mutatja meg, milyen hatékonysággal nyelik el a zöldfelületek a vízlefolást (9. ábra).

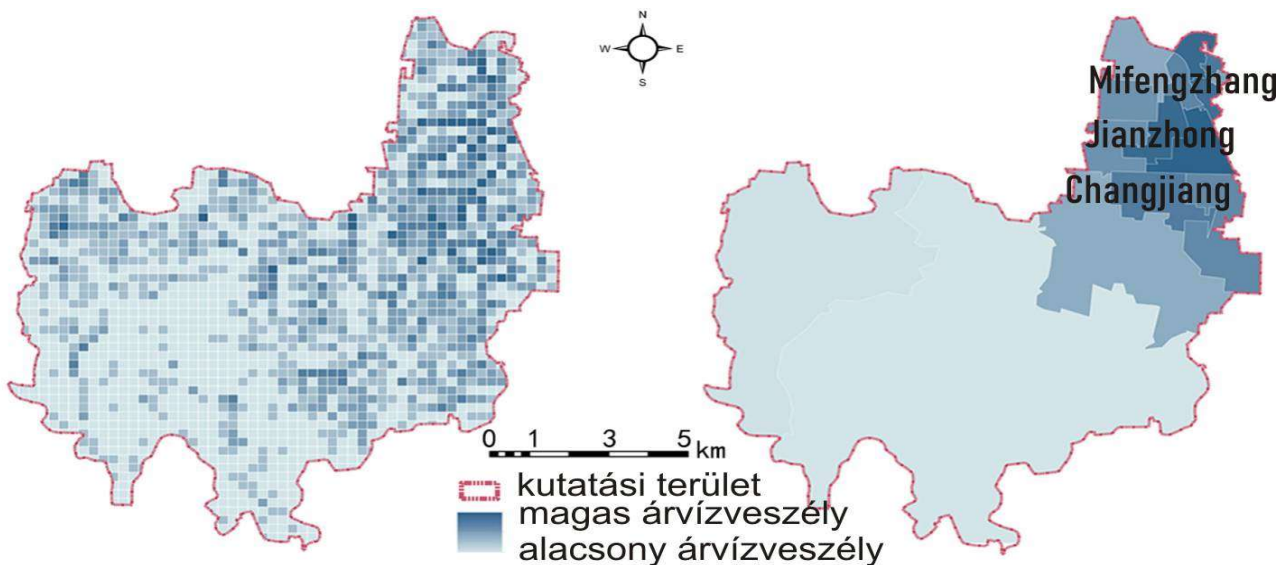
5. Következtetések és kitekintés

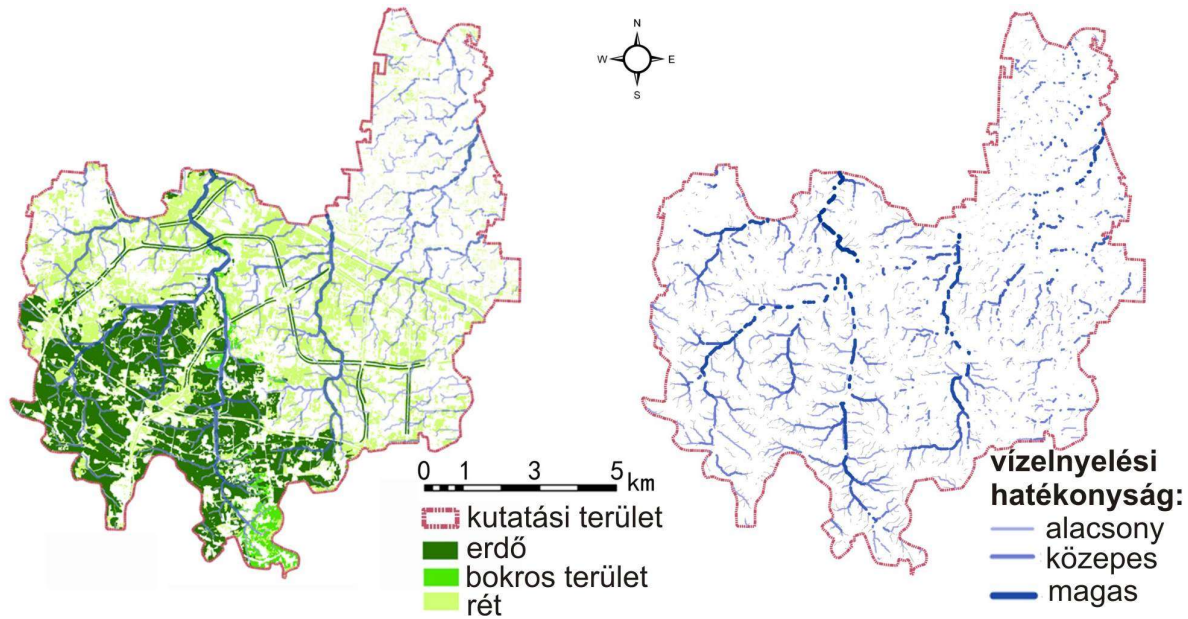
(1) A kínai Zhengzhou város Erqi kerületében erős térbeli heterogenitás tapasztalható a városi árvízveszély és a zöldterületek lefolyási hatékonysága között a három térbeli nagyságrendben: nagy (külvárosi), közepes (utcai) és kicsi (300 m × 300 m rács) végzett elemzésünk szerint.

(2) Tanulmányunkban a térbeli heterogenitásnál a domborzati modell és a földhasználati típus hatásait vettük figyelembe. A zöldfelületek különösen fontosak, míg a kemény, vízzáró felületek akadályozzák az anyag- és energiaáramlást. A zöldfelületek és víztestek egyre jelentősebb szerepet játszanak a városi árvízveszélyek szabályozásában. A városi zöldfelületek jövőbeni szerepe kulcsfontosságú a felszíni lefolyás elnyelésében.

(3) Megállapítható, hogy heterogenitás tapasztalható a különböző zöldfelületek abszorpciós lefolyási hatékonyságában (3. táblázat).

Tanulmányunkban a városi zöldfelületek lefolyáscsillapító képessége egy küszöbérték. A városi zöldfelületek térbeli heterogenitásának fő okai az egyenetlen csapadékeloszlás, a különbségek a földhasználatban és a felszínborításban. Ezen kívül az alkalmazott domborzati modell is jelentős szerepet játszik. A földhasználati típus befolyásolja a zöldfelületek térbeli heterogenitását a lefolyási folyamat csillapítása során, míg a

**8. ábra** Városi árvízveszélyének többléptékű értékelése



9. ábra A zöldfelületek vízelnyelési hatékonysága

domborzati modell a felszíni lefolyás konvergenciáját inkább a lefolyás kialakulásának forrásához közelebb befolyásolja.

Táblázat 3. Különböző zöldterületek hatékonysága a lefolyáscsillapításban

A zöldfelület térbeli mérete	Hatékonyság a lefolyás elnyelésében	
	magas	alacsony
nagy	városi terület	külvárosok
középső	városi utcák	külvárosi utcák
kicsi	beépített terület	beépítetlen terület

Az ebben a vizsgálatban megfigyelt térbeli eltéréseken kívül olyan tényezők, mint például a zöldfelületek mérete, eloszlása, alakja jellemzői is befolyásolják a lefolyáscsillapítás hatékonyságát. Jövőbeli kutatásainkban átfogóbban, más területekkel összehasonlítva kívánjuk vizsgálni ezeket a faktorokat, hogy teljesebben feltárjuk a különböző városi zöldterületek és a felszíni lefolyás közötti kapcsolatrendszerét.

Irodalomjegyzék

Alho, Petteri – Aaltonen, Juha 2008. Comparing a 1D hydraulic model with a 2D hydraulic model for the simulation of extreme glacial outburst floods. *Hydrological Processes: an International Journal*, 22. pp. 1537–1547. <https://doi.org/10.1002/hyp.6692>

Boongaling, Cheamson Garret K – Faustino-Eslava, Decibel V – Lansigan, Felino P. 2018. Modeling land use change impacts on hydrology and the use of landscape metrics as tools for watershed management: The case of an ungauged catchment in the Philippines. *Land use policy*, 72. pp. 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.042>

Cholnoky Jenő 1905: Folyószabályozás és talajjavítás Kínában. *Vízügyi Közlemények*, XXI. füzet. 100 o.

Cilliers, Sarel – Cilliers, Juaneé – Lubbe, Rina – Siebert, Stefan 2013. Ecosystem services of urban green spaces in African countries—perspectives and challenges. *Urban Ecosystems*, 16. pp. 681–702. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0254-3>

Djordjević, Slobodan – Prodanović, Dušan – Walters, Godfrey A. 2004. Simulation of transcritical flow in pipe/channel networks. *Journal of hydraulic engineering*, 130. pp. 1167–1178. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2004\)130:12\(1167\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:12(1167))

Hao, Xingming – Chen, Yaning – Xu, Changchun – Li, Weihong 2008. Impacts of climate change and human activities on the surface runoff in the Tarim River Basin over the last fifty years. *Water resources management*, 22. pp. 1159–1171. <https://doi.org/10.1007/s11269-007-9218-4>

Kochan, Donald J. 2005. Runoff and Reality: Externalities, Economics, and Traceability Issues in Urban Runoff Regulation. *Chap. L. Rev*, Vol. 9. p. 409.

Kong, Haochen – Guo, Zhongyun – Zhang, Xiangyang 2023. Discussion on the Application of Sponge City Concept in Urban Planning and Rainwater Management. *Urban Development*, pp. 120–122. <https://doi.org/10.18686/wc.v5i2.73>

Li, Yan – Ye, S. – Wu, Q. – Wu, Y. – Qian, S. 2023. Analysis and countermeasures of the “7.20” flood in Zhengzhou. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(6). pp. 3782–3798, <https://doi.org/10.1080/13467581.2023.2208195>

- Mentens, J. – Raes, D. – Hermy, M. 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and urban planning*, 77. pp. 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.02.010>
- Fangyu, Q. 2020. Research on Outdoor Environment Design of Zhengzhou Residential District Based on Sponge City Theory. Diplomamunka (kínai nyelven), Zhengzhou University.
- Razzaghi Asl, S. – Pearsall, H. 2023. How do spatial factors of green spaces contribute to flood regulation in urban areas? A systematic mapping approach. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 47(5). pp. 702–720. <https://doi.org/10.1177/03091333231156511>
- Ren, K. – Ma, L. – Yang, G. – Zhang, H. – Guo, L. 2020. The GIS hydrological model application. *China-Arab States Science and Technology Forum* (Sino-English text). pp. 135–137.
- Silvennoinen, Sveta – Taka, Maija – Yli-Pelkonen, Vesa – Koivusalo, Harri – Ollikainen, Markku – Setälä, Heikki 2017. Monetary value of urban green space as an ecosystem service provider: A case study of urban runoff management in Finland. *Ecosystem services*, 28. pp. 17–27. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.013>
- Su, Jiongheng 2020. Key technology and optimization method of GIS hydrological modeling for flood risk assessment. Diplomamunka (kínai nyelven), Guangdong University of Technology.
- Yang, Byungsun – Lee, Dong Kun 2021. Planning strategy for the reduction of runoff using urban green space. *Sustainability*, 13. p. 2238. <https://doi.org/10.3390/su13042238>
- Yao, L. – Chen, L. – Wei, W. – Sun, R. 2015. Potential reduction in urban runoff by green spaces in Beijing: A scenario analysis. *Urban Green*, 14. pp. 300–308. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.02.014>
- Yipeng, Pan 2020. Study on the comprehensive risk evaluation of urban waterlogging disaster. Diplomamunka (kínai nyelven), Zhengzhou University.
- Yu, Haijun – Huang, Guoru 2014. A coupled 1D and 2D hydrodynamic model for free-surface flows. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – *Water Management*, Thomas Telford Ltd. pp. 523–531. <https://doi.org/10.1680/wama.13.00146>
- Zhang, Biao – Li, Na – Wang, Shuo 2015. Effect of urban green space changes on the role of rainwater runoff reduction in Beijing, China. *Landscape and urban planning*, 140. pp. 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.03.014>
- Zheng, Linlin. 2020. The influence of green space spatial layout on surface runoff distribution in Luohe City. Diplomamunka (kínai nyelven), Henan Agricultural University.
- Zheng, Linlin – Bai, Tian – He, Ruizhen – Liu, Manshu – Luo, Yinghan – Tian, Guoxing 2018. Simulation analysis of rainwater runoff in Luohe city based on SWMM model, *Journal of Henan Agricultural University*, 52. pp. 793–800.



Felhívás

Az MFTTT vezetése megköszöni tagjainak a 2024. évben felajánlott

személyi jövedelemadójuk 1%-át.

Megköszönve eddigi bizalmunkat, reméljük 2025. évben is megtisztelnek felajánlásukkal.

Adószámunk: 19815675-2-42

Címünk: 1111 Budapest, Budafoki út 59.

Közhasznú Társaságunk továbbra is számít tagtársaink támogatására.