



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar

Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék



LIFE
Városi Eső

Budapest éghajlati előrejelzés

Csapadékvíz-elvezető/visszatartó rendszerek
méretezésénél alkalmazható csapadék
idősorok és csapadékmáximo-függvény
értékek

ÖSSZEÁLLÍTOTTA:

HORVÁTH-VARGA LAURA (BME)

DR. HONTI MÁRK (BME)

BUDAPEST

2024

Csapadéktevékenység változásának előrejelzése méretezési feladatokhoz

A városi hidrológia területéhez kapcsolódó feladatokhoz a lokálisan jellemző csapadéktevékenység részletes időbeli és térbeli ismerete szükséges.

Az éghajlatváltozás következtében átalakuló csapadékviszonyok miatt a csapadékvíz-gazdálkodási tervezés során érdemes nemcsak a jelen állapotot, hanem a jövőben lehetséges változásokat is figyelembe venni. Ez az éghajlati előrejelzések eredményeként előálló meteorológiai idősorokkal lehetséges. A regionális klímamodellek eredményei a nagy cellaméretűek (átlagosan 10-25 km) következtében, amelyek elfedik a lokális jelenségeket, direktben nem jól alkalmazhatók városi környezetben. Emellett a városi vízgyűjtők lefolyásainak egyik jellemzője a rövid összegyülekezési idő, ezért a méretezési feladatok és a dinamikus lefolyás szimulációval történő hálózati elemzések elvégzéséhez finom időbeli felbontású (min. 5-10 perc) csapadék idősorokra van szükség, azonban a regionális klímamodellekből ezek nem áll rendelkezésre.

A csapadék mellett szükség lehet egyéb éghajlati elemek idősoraira is, melyekből a vízgyűjtő olyan egyéb folyamatait is számíthatjuk, mint például a párolgás. Ezek esetében jellemzően nem az időbeli felbontás a gond, hanem a térbeli felbontás, vagyis a vizsgált helyszínre lokálisan érvényes idősorok.

A távlati időszakokra vonatkozó éghajlati idősorok előállításának módszertana

A távlati időszakokra előrejelzett éghajlati idősorokat időjárás-generátor és leskálázó modellek együttes alkalmazásával állítottuk elő.

A sztochasztikus időjárás-generátorok olyan számítógépes modellek, amelyeket szintetikus időjárási idősorokat készítenek („generálnak”) egy adott helyszínre az ott mért éghajlati idősorok statisztikai jellemzőinek elemzéséből, míg a leskálázó modellek statisztikai alapon, az idősorokat adott szabályrendszer szerint bontják finomabb térbeli és/vagy időbeli felbontásra.

A ~10 perces csapadék idősorokat két lépésben állítottuk elő. Első lépésben a regionális klímamodellek napi idősoraiból óra felbontású idősorokat generáltunk, majd a második lépésben az órák idősorokból ~10 perces (7,5 perc) idősorokat hoztunk létre leskalázással. Az alkalmazott csapadék-generátor modell Neyman-Scott-féle (Cowpertwait, 1991), a leskálázó modell mikrokanonikus kaszkád-alapú (Molnar és Burlando, 2005).

A generálás és leskálázás elvégzéséhez szükség volt az adott helyszínekre számított modellparaméterekre. A modellek paramétereinek számításához a vizsgált helyszínen mért finom időbeli felbontású (jelen esetben órák és 10 perces) csapadék idősorok statisztikai elemzését végeztük el és határoztuk meg a paramétereket modelltől függően. A mért idősorokra számított paraméterek csak a jelen időszakra teszik lehetővé az idősorok generálását és leskálázását. A modellparaméterek az éghajlatváltozás következtében a csapadéktevékenység változása mentén változnak, ezért a regionális klímamodellek finomabb felbontásra hozásához szükséges lépés a paraméterek változásának becslése a távlati időszakokra is. Mivel a jövőbeli időszakokra többségében csak napi léptékű előrejelzések állnak rendelkezésünkre, ezért a változások

becslésénél is csak ebből tudunk kiindulni. A klímamodellek jelen (mért idősorral megegyező időszak) és jövő (~2030-2050, ~2050-2070) időszakaira számított statisztikai jellemzők relatív változása alapján becsültük meg településenként a csapadékviszonyok jövőbeni alakulását. A változás mértékével módosítottuk a csapadékgenerátor jelenre számított paramétereit, és létrehoztuk az órák idősorokat. A 10 percre való lebontásnál már nem vettünk figyelembe egyéb változást, hanem a jelen időszakra meghatározott paraméterekkel hajtottuk végre a leskálázást.

A napi hőmérséklet, relatív nedvesség, globálsugárzás és szélsébség idősorokat az UKCP09 időjárásgenerátorral (Kilsby és társai, 2007) állítottuk elő.

A távlati időszakokra vonatkozó éghajlati idősorok előállításához alkalmazott bemeneti adatok és helyszínek

A regionális klímamodellek által szolgáltatott eredmények időbeli leskálázását négy budapesti helyszínrre készítettük el, amelyeknél automatán mérő meteorológiai állomások találhatók. Az állomások az Országos Meteorológiai Szolgálat mérőhálózatának részei:

- 44527 jelölésű állomás: Budapest Pestszentlőrinc (XVIII. kerület, koordináták: 47.4292, 19.1822, mért idősorok mérési időszaka: 2001-2021)
- 44121 jelölésű állomás: Budapest Belterület (II. kerület, koordináták: 47.5111, 19.0281, mért idősorok mérési időszaka: 1998-2021)
- 44165 jelölésű állomás: Budapest Újpest (IV. kerület, koordináták: 47.5733, 19.075, mért idősorok mérési időszaka: 2002-2021)
- 44505 jelölésű állomás: Budapest Lágymányos (XI. kerület, koordináták: 47.4747, 19.0619, mért idősorok mérési időszaka: 2000-2021)

A mért idősorokból a következőket alkalmaztuk a modellek kalibrálásához:

- 10 perces felbontású csapadék [mm],
- Napi hőmérséklet (maximum, minimum, átlag) [°C]
- Napi globálsugárzás összeg [J/cm²]
- Szélsébség napi átlaga [m/s]
- Relatív nedvesség napi átlaga [%]

A regionális klímamodellek idősoraiból a következőket alkalmaztuk a kalibráláshoz és a generált és leskálázott idősorok előállításához:

- Napi csapadék [mm],
- Napi hőmérséklet (maximum, minimum, átlag) [°C]
- Napi globálsugárzás összeg [J/cm²]
- Szélsébség napi átlaga [m/s]
- Relatív nedvesség napi átlaga [%]

Az EURO-CORDEX szimulációk a CMIP5 hosszú távú kísérletek globális éghajlati szimulációit veszik figyelembe a 2100-ig tartó időszakra. Ezek az üvegházhatású gázok kibocsátási forgatókönyvein alapulnak (reprezentatív koncentrációs útvonalak, RCP-k), amelyek a 21. század után a sugárzási kényszer $4,5 \text{ W/m}^2$ -nél történő stabilizálódásának (RCP4.5), a 21. század végén a sugárzási kényszer $8,5 \text{ W/m}^2$ -t meghaladó növekedésének (RCP8.5), valamint a 21. századon belül a sugárzási kényszer $3,0 \text{ W/m}^2$ -nél történő csúcsra jutásának és az azt követő csökkenésének (RCP2.6, más néven RCP3-PD) felelnek meg (pl. Moss et al, 2010; Van Vuuren et al., 2011).

A számításokat 15 különböző EURO-CORDEX regionális klímamodell szimulációból kiindulva, közepes emisszió forgatókönyv (rcp4.5) figyelembevételével végeztük el. Ebben a forgatókönyvben már sokkal jelentősebb szerepet játszanak a klímaváltozás mérséklésére törekvő rendelkezések, intézkedések az RCP 8.5-höz és az RCP 6.0-hoz viszonyítva.

Az alkalmazott regionális klímamodell-globális cirkulációs modell párosításokat az 1. táblázat foglalja össze. A szimulációs időszakok az egyes modellek esetén: 1951-2100 (150 év). A négy budapesti helyszín mindegyikére megkerestük, hogy melyik számítási rácsegységbe esnek, és mindegyikre külön-külön letöltöttük a regionális modellek által az adott területekre generált napi felbontású előrejelzett idősorokat.

1. táblázat – Az alkalmazott RCM-GCM párosítások

Regionális klímamodell (RCM)	Vezérlő globális klímamodell (GCM)	Fejlesztő intézet	Forgatókönyv
ALADIN53	CNRM-CM5	CNRM	rcp4.5
CCLM4-8-17	MPI-ESM-LR	CLMcom	rcp4.5
RCA4	CanESM2	SMHI	rcp4.5
RCA4	CNRM-CM5	SMHI	rcp4.5
RCA4	CSIRO-Mk3-6-0	SMHI	rcp4.5
RCA4	EC-EARTH	SMHI	rcp4.5
RCA4	IPSL-CM5A-MR	SMHI	rcp4.5
RCA4	MIROC5	SMHI	rcp4.5
RCA4	HadGEM2-ES	SMHI	rcp4.5
RCA4	MPI-ESM-LR	SMHI	rcp4.5
RCA4	NorESM1-M	SMHI	rcp4.5
RCA4	GFDL-ESM2M	SMHI	rcp4.5
REMO2009	MPI-ESM-LR	MPI-CSC	rcp4.5
WRF331F	IPSL-CM5A-MR	PSL-INERIS	rcp4.5
WRF341I	CanESM2	UCAN	rcp4.5

Csapadékvíz-elvezető/visszatartó rendszerek méretezésénél alkalmazható csapadék idősorok leírása

A csapadékvíz elvezető/visszatartó rendszerek méretezéséhez egy 7,5 perces időbeli felbontású csapadék és a hozzá tartozó napi felbontású csapadék és egyéb éghajlati jellemzőket tartalmazó idősor került kiválasztásra (2030-2050), amelyek lehetővé teszik az éghajlatváltozás által módosított csapadéktevékenység hatásainak figyelembevételét a tervezés során. Az idősorokat 1-10 éves visszatérési idejű csapadékesemények vizsgálathoz vagy többéves léptékű elemzésekhez ajánljuk.

7,5 perces idősorban szereplő megnevezések

(Budapest 2030 2050 7 5min csapadek.txt):

- year – év
- month – hónap
- rain – 7,5 perces csapadék összeg [mm]

Napi idősorban szereplő megnevezések („Budapest_2030_2050_daily_csapadek.txt”):

- year – év
- month – hónap
- rain – napi csapadék összeg [mm]
- tmean_generated - napi hőmérséklet (átlag) [°C]
- tmin_generated - napi hőmérséklet (minimum) [°C]
- tmax_generated - napi hőmérséklet (maximum) [°C]
- rh_generated - relatív nedvesség napi átlaga [%]
- globrad_generated - napi globálisugárzás összeg [J/cm²]
- wind_generated - szélsebesség napi átlaga [m/s]

A csapadékmaximum-függvények értékeinek változása

A csapadékmaximum-függvények a csapadékvíz-elvezető rendszerek méretezéséhez és vizsgálatához szolgáltatnak bemeneti adatot. Az értékei megadják, hogy egy adott időtartamú csapadék mekkora csapadékintenzitással jelentkezik átlagos visszatérési idő (előfordulási gyakoriság) mellett. A csapadékmaximum-függvények értékeit 1, 2, 4, 5 és 10 éves visszatérési időkre és a 10, 20, 30, 60, 120 és 180 perces csapadékidőtartamok esetére határoztuk meg. A két távlati időszakra számított új függvény értékeket az 2-3. táblázatok tartalmazzák. A 15 darab regionális klímamodell leskálázott idősoraiból számított intenzitás értékeinek mediánját, 7-es és 93-as percentilisét adtuk meg. A jelenre számított függvényértékek növekedést mutatnak a jövőben, és a növekmény nagyobb a visszatérési idő (vagyis az előfordulási gyakoriság csökkenésével) és a percentilis növekedésével. A 2030-2050-es időszakra intenzívebb csapadékokat jeleztünk előre, mint 2050-2070-re. A változások mértéke pár százaléktól akár közel 100%-ig terjedhet (lásd: a mediánhoz és a 93-as percentilishoz tartozó ábrák).

2. táblázat. Állomás 44527: Csapadékmaximum-függvény becsült értékei ~2030-2050-re (Percentilisek: 15 darab regionális klímamodell 10 percre leskálázott 15*50 darab idősorából számítva).

	Visszatérési idő [év]														
	1			2			4			5			10		
	Percentilis														
Csapadék-időtartam [perc]	7	50	93	7	50	93	7	50	93	7	50	93	7	50	93
10	39.44	46.27	59.50	59.98	81.72	102.83	86.87	116.45	143.68	93.69	124.57	157.53	116.48	150.10	207.61
20	27.47	32.34	42.30	39.16	54.27	68.19	60.58	80.36	99.74	66.95	88.54	112.27	93.62	125.38	162.68
30	21.35	25.03	33.06	32.07	45.09	55.90	48.26	64.55	80.12	52.84	69.76	88.71	67.50	91.27	116.39
60	10.62	13.65	16.33	18.18	25.35	31.45	27.86	37.52	46.79	30.61	42.04	52.09	40.10	56.90	70.56
120	6.87	8.43	10.16	8.22	11.60	15.17	13.06	18.71	23.75	15.85	22.64	28.07	32.42	44.64	53.12
180	4.17	5.49	6.14	7.18	10.08	11.85	10.59	15.75	17.57	11.83	17.49	19.94	16.35	22.93	29.21

3. táblázat. Állomás 44527: Csapadékmaximum-függvény becsült értékei ~2050-2070-re (Percentilisek: 15 darab regionális klímamodell 10 percre leskálázott 15*50 darab idősorából számítva).

	Visszatérési idő [év]														
	1			2			4			5			10		
	Percentilis														
	7	50	93	7	50	93	7	50	93	7	50	93	7	50	93
Csapadék-időtartam [perc]															
10	35.91	47.11	62.52	55.64	81.33	107.85	72.95	112.03	147.44	78.72	120.46	160.21	97.90	154.83	201.90
20	25.15	33.00	43.79	36.08	52.74	69.93	50.04	76.85	101.15	55.61	85.10	113.18	77.55	122.64	159.92
30	19.65	25.78	34.21	30.18	44.11	58.49	40.38	62.01	81.61	43.94	67.24	89.43	56.32	89.07	116.14
60	10.29	13.50	17.91	17.14	25.06	33.22	24.14	37.07	48.80	26.65	40.78	54.24	35.61	56.31	73.43
120	6.31	8.28	10.99	8.16	11.93	15.81	12.67	19.45	25.60	15.11	23.13	30.76	28.48	45.03	58.73
180	4.29	5.63	7.46	6.71	9.81	13.00	9.70	14.89	19.60	10.87	16.64	22.13	15.45	24.44	31.87