A képen fekete, Grafika, szimbólum, sziluett látható

Automatikusan generált leírásA képen Grafika, képernyőkép, Grafikus tervezés, Acélkék látható

Automatikusan generált leírás

A képen Grafika, Grafikus tervezés, Betűtípus, képernyőkép látható

Automatikusan generált leírás

Budapest éghajlati előrejelzés

Csapadékvíz-elvezető/visszatartó rendszerek méretezésénél alkalmazható csapadék idősorok és csapadékmaximum-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 cellaméretek (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 szabályrendszert 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 órás idősorokból ~10 perces (7,5 perc) idősorokat hoztunk létre leksálázással. 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 modellparamétekre. A modellek paramétereinek számításához a vizsgált helyszínen mért finom időbeli felbontású (jelen esetben órás 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 pataméterek 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 órás 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 szélsebesség 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 helyszínre 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]
* Szélsebesség 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]
* Szélsebesség 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 W/m²-nél történő stabilizálódásának (RCP4.5), a 21. század végén a sugárzási kényszer 8,5 W/m²-t meghaladó növekedésének (RCP8.5), valamint a 21. századon belül a sugárzási kényszer 3,0 W/m²-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 globálsugárzás 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 percentilishez 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 | | | | | | | | | | | | | | |
| Csapadék-időtartam [perc] | 7 | 50 | 93 | 7 | 50 | 93 | 7 | 50 | 93 | 7 | 50 | 93 | 7 | 50 | 93 |
| 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 |