

Klimatanpassning av dagvattensystem – ett axplock av forskningsresultat

Climate change adaptation of stormwater systems – research highlights



Ico Broekhuizen, Luleå tekniska universitet, ico.broekhuizen@ltu.se

Sammanfattning

Klimatanpassning är en stor utmaning för samhällsbyggandet och det krävs ny kunskap om hur detta ska göras. I artikeln ges ett axplock av intressanta internationella forskningsresultat som rör klimatanpassning av dagvattensystem. Förändringar i nederbörd går redan att urskilja i observerade data, och dessutom kan de vara starkare i bebyggda områden. Osäkerhet i prognoser av framtida regn gör att erforderlig dimensionering av dagvattensystem kan vara oklar. Dimensionering baserad på långtidssimulering kan ge bättre statistik angående systemets funktion än dimensionering baserad på ett enskilt regntillfälle. Blå-grön infrastruktur kan bidra med minskning av avrinningsvolym och -flöden, men deras funktion är inte garanterad samtidigt som de kräver underhåll och att de byggs på rätt sätt. På avrinningsområdesnivå kan blå-grön infrastruktur tydligt minska flöden, men att hitta tillräckligt med utrymme i befintlig bebyggelse kan vara svårt.

Abstract

Climate change adaptation of urban areas is a major challenge and new knowledge is needed on how to do this. This article provides an overview of interesting international research results related to climate change adaptation of stormwater systems. Changes in precipitation are already discernible in observed data and may be stronger in built-up areas. Uncertainty in forecasts of future rainfall means that the required sizing of stormwater systems can be uncertain. Sizing based on long-term simulations can provide a better statistical description of system performance. Blue-green infrastructure can contribute to the reduction of runoff volumes and flows, but their functioning is not guaranteed, and they require maintenance and proper construction. At the catchment level, blue-green infrastructure can clearly reduce flows, but finding sufficient space in existing urban development can be difficult.

Key words: climate change, adaptation, stormwater, blue-green infrastructure, nature-based solutions, dimensioning, maintenance

Inledning

Det är numera välkänd att utsläpp av växthusgaser leder till klimatförändringar som kan leda till bland annat förändrade nederbördsmonster. Att anpassa våra städer till klimatförändringens effekter är och kommer fortsätta att vara en stor utmaning där det är viktigt att ta till sig de senaste utvecklingarna för att hitta effektiva lösningar. Forskning inom området är starkt växande och många bra idéer kan hämtas om hur klimatanpassning kan ske och vad som ska betraktas. I denna artikel ges ett xplock av några intressanta inslag från de senaste årens forskning.

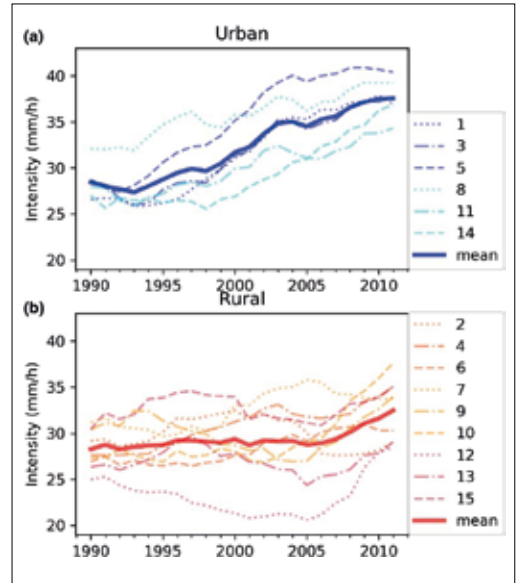
Artikeln är baserad på en presentation som författaren gav under Svenskt Vattens konferens Rörnät och Klimat 2024.

Regn i ett förändrande klimat

Klimatförändringar är inte endast någonting som kommer att hända, utan de pågår redan i full fart. Värmare luft kan innehålla mer vatten (ungefär 7% per grad uppvärmning) vilket såklart leder till mer vatten som kan bli regn (se t.ex. Singer och Michaelides, 2017). Utöver det så kan klimatförändringar även påverka atmosfäriska cirkulationsmonster. Effekten av detta är svårare att förutse eftersom upplösningen på klimatmodeller är begränsad. Även intensifiering av regn går redan nu att se i mätdata. Fowler et al. (2021) genomförde en meta-studie av 55 studier som analyserat trender i observationer av kortvarig (1–3 timmar) nederbörd. 28 av studierna visade på en ökande trend och endast en studie (från sydöstra USA) visade på en nedgång.

Det är sedan tidigare känt att urbana områden också kan påverka nederbörd både i själva området och nedvinds. Därför ska redan viss försiktighet beaktas när data från mer glesbebyggda områden används för att summera nederbördsstatistik för tätort. Det kan vara så att den observerade ökningen av nederbörd blir ännu starkare i urbana områden än runt omkring. Detta har t.ex. visats kring Kuala Lumpur, Malaysia (Li et al., 2020). Figur 1 visar att den ökande trenden är mycket starkare i urbana områden (övre panel) än i rurala områden (nedre panel). Detta gäller för timvärden av nederbörd – för längre regn blir effekten mindre tydlig.

En svårighet med undersökningar av regn i dagvat-



Figur 1: Observerade trender i nederbördsintensitet (5% högsta timvärden) vid olika regnmätare i och runt omkring Kuala Lumpur, Malaysia. Källa och copyright: Li et al. (2020), Creative Commons Attribution License.

tensammanhang är att upplösningen hos studier kan vara låg jämfört med dimensionerande varaktighet för designregn. Studien från det föregående stycket har t.ex. använt timmesvärden av nederbörd (och även de finns inte alltid att tillgå), medan dimensionerande varaktighet i dagvattensammanhang kan vara ännu mindre, t.ex. 15 minuter. Därför ska viss försiktighet beaktas när resultat från sådana studier tillämpas på ännu kortare varaktigheter.

Osäkerhet i regnprognoser

Att skapa prognoser för regn under framtida klimatförhållanden är en komplex process, som bland annat innebär att man ska välja bland flera alternativ för:

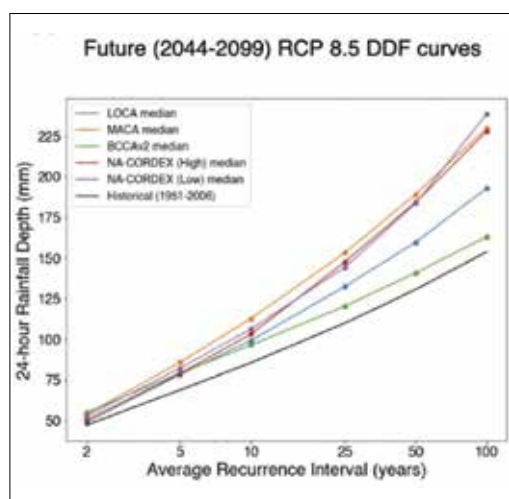
- Utsläpp av växthusgaser
- Global klimatmodell
- Regional klimatmodell
- Metod för tidsmässig nedskalering
- Metod för rumslig nedskalering

Om hänsyn tas till alla dessa osäkerheter så får man inte endast ett möjligt värde för framtida regnintensitet, utan resultatet blir ett spann av möjliga värden. Det slutgiltiga dimensionerande regnet beror

då också på om man väljer t.ex. medelvärdet eller ett mer extremt fall, t.ex. 95:e percentil.

Sammanlagt betyder det att det finns stora osäkerheter kring vilken regnintensitet(er) dagvattenssystem ska designas för. Figur 2 ger en överblick av hur stor variationen av nederbördsmängd kan vara för amerikanska förhållanden endast på grund av val av klimatmodell (Lopez-Cantu et al., 2022). Det finns inte ett rätt val för någon av osäkerhetskällorna som har nämnts ovan, utan varje alternativ har sina för- och nackdelar. Olika alternativ leder även till skillnader i t.ex. erforderlig dimension på rörledningar: i en studie i tre amerikanska städer visades det att olika val kan leda till ledningsdimensioner mellan 675 och 1050 mm (Cook et al., 2020).

I praktiken arbetas det ofta med en förenklad klimatkfaktor. Till exempel rekommenderas minst 1,25 i P110 (Svenskt Vatten, 2016). Dessa faktorer kommer att uppdateras ibland (Olsson och Gatti, 2023) för att spegla nya utvecklingar. En enskild faktor är lätt att arbeta med och är därför av praktisk betydelse, dock kan den aldrig återspegla alla osäkra faktorer som påverkar framtidens nederbörd. Det är viktigt att beakta det vid planering av dagvattenssystem, genom att designa flexibla system eller att ha kvar möjligheten att ta extra åtgärder senare om det skulle bli nödvändigt (Lopez-Cantu et al., 2022).



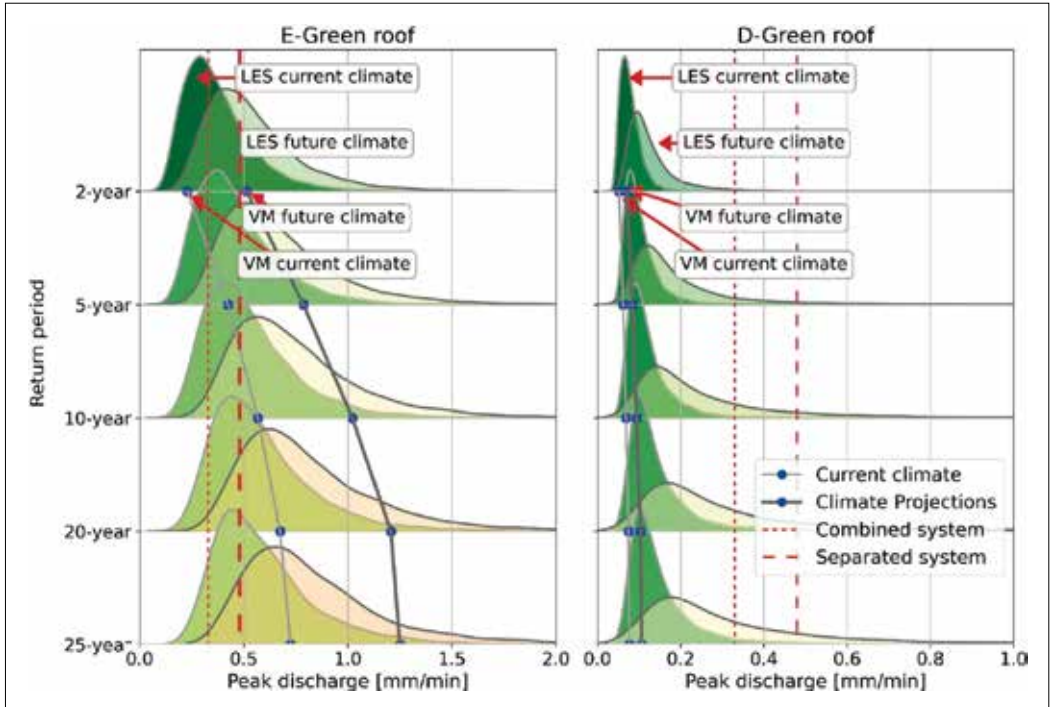
Figur 2: Osäkerhet i regnintensitet orsakad av skillnader mellan olika klimatmodeller i Nordamerika. Källa och copyright: Cantu et al. (2022), Creative Commons Attribution License.

Dimensionering av dagvattenssystem – enskilda händelser eller tidsserier?

Ovan har det diskuterats hur klimatscenarier och klimatmodeller kan användas för att ta fram en klimatkfaktor som sedan används för att öka dimensionerande nederbörd. Dimensionerande nederbörden beräknas i Sverige oftast med Dahlströms ekvation (Svensson et al., 2020). Detta arbetssätt användes ursprungligen för dimensionering av ledningsbaserade system men har senare även använts för naturbaserade dagvattenlösningar. En skillnad är dock att naturbaserade lösningar håller kvar vatten under en längre tid, vilket betyder att även tidigare regn kan påverka deras funktion. Dessutom kan växtligheten i naturbaserade lösningar ta skada under längre torrperioder, vilket kan minska funktionen (såväl vad gäller flödesfördröjning, flödesminskning och reningseffekt) och öka risken för skada genom erosion. Frågan uppstår därför om dimensionering baserad på enskilda händelser fortfarande är tillräckligt.

En alternativ metod kan vara att använda långtidssimulering för att designa, en metod som utvärderades av Pons et al. (2022). På det sättet tas det inte endast fram en design för ett enskilt regntillfälle, utan man använder en hydrologisk modell för att uppskatta hur ofta olika avrinningsflöden kommer att uppstå. Det är fortfarande möjligt att få en uppskattning av anläggningens prestanda för t.ex. ett 50-års regn – men istället för ett enskilt värde blir resultatet en sannolikhetsfördelning som visar hur sannolika olika värden för exempelvis avrinning är.

Figur 3 (se nästa sida) visar ett exempel på hur resultatet kan se ut för två olika gröna tak under såväl nuvarande som framtida klimatförhållanden (Pons et al., 2022). Sannolikhetsfördelningen visar hur stor chansen är att ett vist värde för avrinningen överskrids och ger därmed bättre statistiskt underlag för anläggningens design. Dessutom får man även information om systemets prestanda när det dimensionerande flödet överskrids vilket saknas i den traditionella metoden.



Figur 3: Exempel på långtidssimulering för design av gröna tak. Local Event Sampling (LES) utgår ifrån långtidssimulering och resulterar i en sannolikhetsfördelning för avrinningen från taket. Variational Method (VM) anger det högsta flöde (blå prick) som kan uppnås med ett enskilt dimensionerande regn. De röde linjerna ange vad för fallstudien i Norge var maximalt tillåtet flöde till ledningssystemet. Källa och copyright: Pons et al. (2022), Creative Commons Attribution Licence (CC BY-NC-ND 4.0).

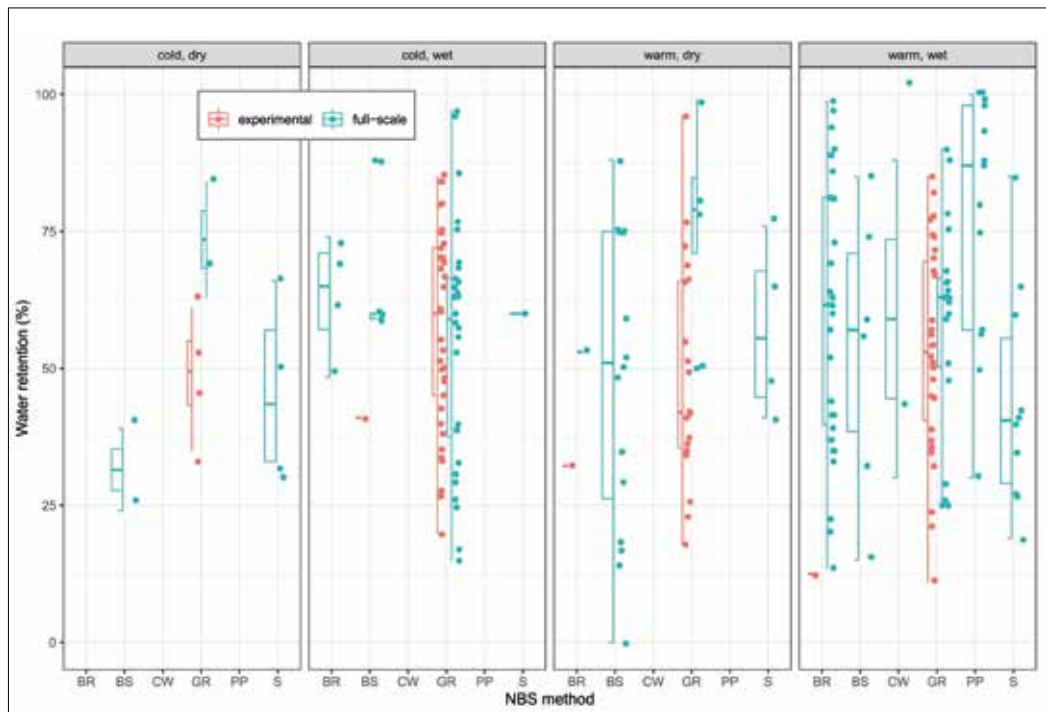
Blå-grön infrastruktur för hållbar dagvattenhantering

Många studier har visat på hur avrinningsvolymerna och flöden kan minskas och fördröjas med blå-grön infrastruktur (Rujner et al., 2022; Tirpak et al., 2021). Dessa mer naturbaserade lösningar försöker att hålla kvar eller fördröja vatten och i många fall även att tillåta infiltrering i marken och avdunstning. På så sätt kan dagvattensystem anpassas för att ta hand om de större regnvolymer som väntas komma under framtida klimatförhållanden. Genom att efterlikna naturen bidrar de till att lösa översvämningsproblem istället för att flytta problemen nedströms vilket större dagvattenledningar skulle göra. Dessutom kan de bidra med rening av dagvatten, ökad biodiversitet i städer och minskning av urbana värmeöar. Det är därför naturbaserade dagvattenlösningar nämns som förstahandsval i förslaget till EU:s kommande uppdatering av direktivet om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse (Europaparlamentet, 2024), vilket

även är första gången som dagvatten ingår i direktivet.

Att blå-grön infrastruktur kan fungera betyder dock inte att det alltid fungerar som det är tänkt. En jämförelse av forskningsdata från 170 studier med totalt 327 anläggningar (Figur 4) visar att det finns en stor variation vad gäller vattenhållningskapacitet i anläggningarna (Kõiv-Vainik et al., 2022). Skillnaderna kan bero bland annat på anläggningens konstruktion, igensättning och underhållsstatus, och hur mycket regn och/eller avrinning den tar emot.

En viktig faktor för att uppnå bra prestanda är underhåll av anläggningen. En studie av svenska dagvattendammar visade att hälften av 25 dagvattendammar (mellan 3 och 26 år gamla) var i behov av mindre underhåll (Al-Rubaei et al., 2017). Problem som upptäcktes vid anläggningarna var t.ex. tjocka sedimentlager, växtlighet som minskade funktionen, igensättning av utlopp, eller att anläggningen var helt instängslad och därmed inte tillgänglig för underhåll.



Figur 4: Variation i hydrologisk prestanda hos sex olika blå-gröna dagvattenanläggningar i fyra olika klimat. Dagvattenlösningar som inkluderas är biofilter (BR), infiltrationsyta (BS), våtmark (CW), gröna tak (GR), permeabel ytbeläggning (PP) och dike (S). Källa och copyright: Kóiv-Vainik et al. (2022), CC BY 4.0.

En liknande studie på 26 biofilter (upp till sex år gamla) hittade större problem: 40% av anläggningarna hade otillräcklig kapacitet för att hantera dimensionerande regn (Beryani et al., 2021). Nedskräpning och igensättning var de vanligaste problemen. Det upptäcktes även flera konstruktionsfel, såsom för lite djup för lagring på ytan pga. för mycket filtermaterial eller för lågt placerad bräddpunkt. Detta visar vikten av bra förståelse för hur systemet ska fungera inte bara hos den som designar det, men även hos de som bygger.

Blå-grön infrastruktur i avrinningsområden

En stor skillnad finns också mellan att testa en enskild anläggning och att testa om implementering av åtgärder i ett avrinningsområde kan ha tillräckligt stor effekt för att motverka effekterna av klimatförändring. Svaret beror såklart på vilket område man tittar på. Man kan dock kolla på studier för liknande områden. En sådan studie i Österrike studerade ett område på 1.3 km² med nästan hälften hårdgjord

yta. Även om olika åtgärder (lagringssystem, gröna tak, och genomsläpplig ytbeläggning) visade sig kunna minska översvämningar inom området, så fanns det ändå en påtaglig ökning av översvämningens riskerna i området givet framtida klimatförändringar (Funke et al., 2023).

I en relaterad studie har det även undersökts vilken effekt som kan uppstå på avrinningsområdesnivå genom olika fel eller försämring av funktion av dagvattenanläggningar. Visa funktionsstörningar hade ingen effekt på avrinningsområdesnivå, medans andra kunde leda till en mångdubbling av översvämning- eller bräddningsvolymen (Funke och Kleidorfer, 2024).

En bestående utmaning med implementering av blå-grön infrastruktur är att tillgänglig yta är begränsad, särskilt när det handlar om klimatanpassning av befintlig bebyggelse. Därför är det extra viktigt att hitta lösningar som är ytteffektiva och som kan implementeras i befintlig infrastruktur för att öka mö-

jligheten att minska flöden. Ett exempel på en sådan åtgärd är att lägga till flödesrestriktioner i svackdiken, där det ofta finns en del potentiell lagringskapacitet som inte utnyttjas. En studie från USA visade att detta kan minska flödesvolymen med 17 % (Winston et al., 2019). I Sverige har det visats att flödesvolymen kan minskas med 26 % för ett 1-års regn till 0 procent för 50-års regn med en relativt begränsad strypning av utflödet (Mantilla et al., 2024).

Från början har naturbaserade dagvattenlösning-

ar använts i syfte att hantera vatten på ett mer hållbart sätt. Under senare år har de också blivit alltmer uppmärksammade för ytterligare fördelar, t.ex. ökad biodiversitet, minskning av urbana värmeöar, bättre luftkvalitet, och trevligare boendemiljö (se t.ex. Veerkamp et al., 2021). Flera metoder har även tagits fram för att kvantifiera värdet av olika ekosystemtjänster, vilket kan bidra till att engagera fler parter och att öka implementering av naturbaserade dagvattenlösningar (Hamann et al., 2020).

Referenser

- Al-Rubaei, A.M., Merriman, L.S., Hunt, W.F., Viklander, M., Marsalek, J., Blecken, G.-T., 2017. Survey of the Operational Status of 25 Swedish Municipal Stormwater Management Ponds. *Journal of Environmental Engineering* 143, 05017001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001203)
- Beryani, A., Goldstein, A., Al-Rubaei, A.M., Viklander, M., Hunt, W.F., Blecken, G.-T., 2021. Survey of the operational status of twenty-six urban stormwater biofilter facilities in Sweden. *Journal of Environmental Management* 297, 113375. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113375>
- Cook, L.M., McGinnis, S., Samaras, C., 2020. The effect of modeling choices on updating intensity-duration-frequency curves and stormwater infrastructure designs for climate change. *Climatic Change* 159, 289–308. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02649-6>
- Europaparlamentet, 2024. Direktiv om rening av avloppsvatten från tätbebyggelse, 2022/0345(COD).
- Fowler, H.J., Lenderink, G., Prein, A.F., Westra, S., Allan, R.P., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Do, H.X., Guerreiro, S., Haerter, J.O., Kendon, E.J., Lewis, E., Schaer, C., Sharma, A., Villarini, G., Wasko, C., Zhang, X., 2021. Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nat Rev Earth Environ* 2, 107–122. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00128-6>
- Funke, F., Kleidorfer, M., 2024. Sensitivity of sustainable urban drainage systems to precipitation events and malfunctions. *Blue-Green Systems* 6, 33–52. <https://doi.org/10.2166/bgs.2024.046>
- Funke, F., Reinstaller, S., Kleidorfer, M., 2023. Impact of urban drainage malfunctions and blue-green measures on urban flooding. Presented at the Novatech 2023, Lyon, France.
- Hamann, F., Blecken, G.-T., Ashley, R.M., Viklander, M., 2020. Valuing the Multiple Benefits of Blue-Green Infrastructure for a Swedish Case Study: Contrasting the Economic Assessment Tools B&ST and TEEB. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment* 6. [https://doi.org/10.1061/\(JSWBAY\).0000919](https://doi.org/10.1061/(JSWBAY).0000919)
- Koiv-Vainik, M., Kill, K., Espenberg, M., Uuemaa, E., Teemusk, A., Maddison, M., Palta, M.M., Török, L., Mander, Ü., Scholz, M., Kasak, K., 2022. Urban stormwater retention capacity of nature-based solutions at different climatic conditions. *Nature-Based Solutions* 2, 100038. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100038>
- Li, Y., Fowler, H.J., Argüeso, D., Blenkinsop, S., Evans, J.P., Lenderink, G., Yan, X., Guerreiro, S.B., Lewis, E., Li, X.-F., 2020. Strong Intensification of Hourly Rainfall Extremes by Urbanization. *Geophysical Research Letters* 47, e2020GL088758. <https://doi.org/10.1029/2020GL088758>
- Lopez-Cantu, T., Webber, M.K., Samaras, C., 2022. Incorporating uncertainty from downscaled rainfall projections into climate resilience planning in U.S. cities. *Environ. Res.: Infrastruct. Sustain.* 2, 045006. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ac8a6c>
- Mantilla, I., Flanagan, K., Broekhuizen, I., Muthanna, T.M., Marsalek, J., Viklander, M., 2024. Retrofit of grass swales with outflow controls for enhancing drainage capacity. *Journal of Hydrology* 639, artikel 131637. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131637>
- Olsson, J., Gatti, M., 2023. Vilka klimatfaktorer är viktigast? Del 1. *Vatten* 2023–3.
- Pons, V., Muthanna, T.M., Sivertsen, E., Bertrand-Krajewski, J.-L., 2022. Revising green roof design methods with downscaling model of rainfall time series. *Water Science and Technology* 85, 1363–1371. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.023>
- Rujner, H., Leonhardt, G., Flanagan, K., Marsalek, J., Viklander, M., 2022. Green infrastructure drainage of a commercial plaza without directly connected impervious areas: a case study. *Water Science and Technology* 86, 2777–2793. <https://doi.org/10.2166/wst.2022.381>
- Singer, M.B., Michaelides, K., 2017. Deciphering the expression of climate change within the Lower Colorado River basin by stochastic simulation of convective rainfall. *Environ. Res. Lett.* 12, 104011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8e50>
- Svenskt Vatten, 2016. P110 – Avledning av dag-, drän- och spillvatten.
- Svensson, G., Berg, P., Dahlström, B., Hernebring, C., Olsson, J., 2020. Nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem – State of the art (No. M148). *Svenskt Vatten*.
- Tirpak, R.A., Winston, R.J., Simpson, I.M., Dorsey, J.D., Grimm, A.G., Pieschek, R.L., Petrovskis, E.A., Carpenter, D.D., 2021. Hydrologic impacts of retrofitted low impact development in a commercial parking lot. *Journal of Hydrology* 592, 125773. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125773>
- Veerkamp, C.J., Schipper, A.M., Hedlund, K., Lazarova, T., Nordin, A., Hanson, H.I., 2021. A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue infrastructure. *Ecosystem Services* 52, 101367. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101367>
- Winston, R.J., Powell, J.T., Hunt, W.F., 2019. Retrofitting a grass swale with rock check dams: hydrologic impacts. *Urban Water Journal* 16, 404–411. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1455881>