



# Hydrologisk modellering av gröna tak



Gröna tak är en allt vanligare dagvattenåtgärd för att minska avrinningsvolymen vid regn i urbana områden. Utvärdering av gröna tak och deras effekt på dagvattensystemet analyseras ofta med modeller. Det finns dock många olika modeller och det är inte klart hur bra de olika modellerna är. Därför har en jämförelse av fyra olika modeller gjorts med data från två olika gröna tak i olika klimat. Resultaten visar att den allra enklaste modellen har sämre prestanda än mer komplexa modeller. Av de mer komplexa modeller så är olika modeller bättre eller sämre beroende på vilka nyckeltal används för att utvärdera modellens prestanda.



VINNOVA



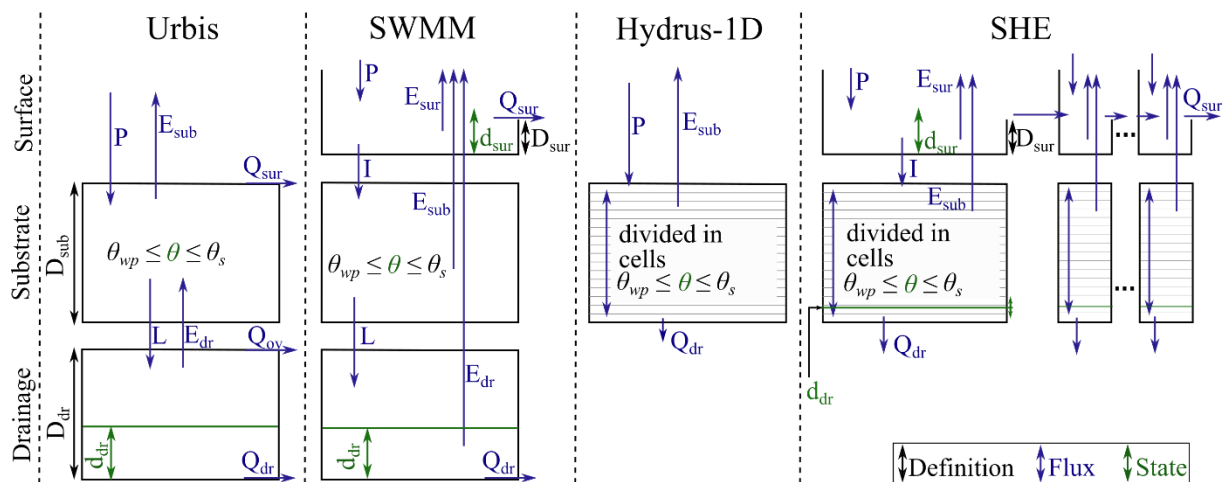
DAG&NÄT  
VID LULEÅ TEKNISKA UNIVERSITET

## Introduktion – varför modellera gröna tak?

Urbanisering har lett till allt mer hårdgjort yta i urbana områden, som leder till större avrinningsvolymmer som kan orsaka översvämningar. Dessutom minskas avdunstning som har en kylande effekt och därmed blir städer varmare. Ett sätt att motverka de effekter är att använda gröna tak. Matematiska modeller kan då användas som räkneverktyg både för att bättre förstå takets prestanda, men också för att förutse effekt av gröna tak på hela dagvattensystemet. Modeller kan också användas för att studera dagvattensystemets prestanda, både under nutida och framtida klimatförhållanden.

## Jämförelse av modeller

Eftersom gröna tak har blivit en populär typ av dagvattenanläggning så har också flera hydrologiska modeller tagits fram eller används för att simulera de. Dessa varierar från enkla, konceptuella modeller till detaljerade, fysiskt baserade modeller. I bästa fallet kan en modell användas för alla olika tak i olika storlekar samt i alla olika klimatförhållanden. Det finns dock få studier som har jämfört olika modeller för att försöka hitta svar på frågan vilken modell kommer närmast den idealiska situationen. Därför har den här studien undersökt fyra olika modeller. Dessa är Urbis (en enkel konceptuell modell), EPA SWMM (en liten mer komplicerad konceptuell modell), HYDRUS (en 1-dimensionell fysiskt baserad modell), och MIKE SHE (kombinerad 1D/2D fysiskt baserad). En överblick av deras modellstruktur visas i Figur 1.



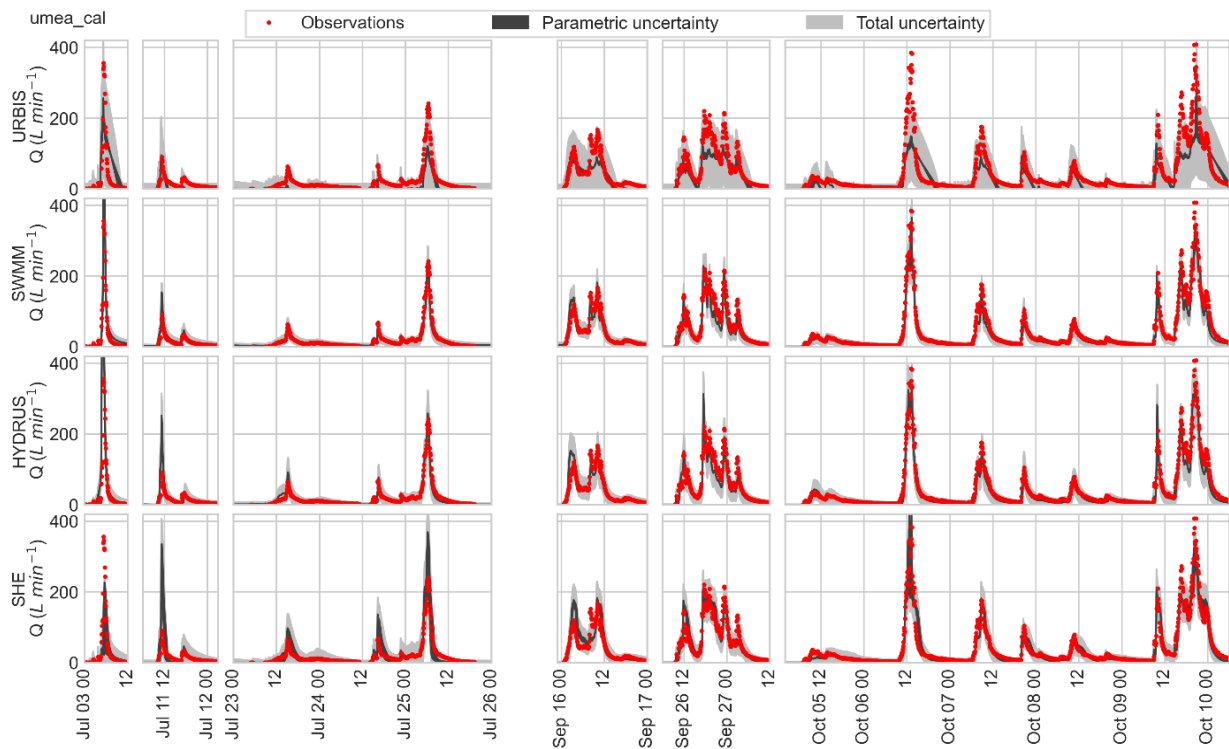
Figur 1: översikt av modellstruktur på fyra olika modeller för gröna tak. Bild © Broekhuizen et al. (2021).

Jämförelsen utfördes med data från två fullskaliga gröna tak: ett i Umeå och ett i Lyon, Frankrike. För båda tak användes två separata perioder som var ungefär en månad lång. För kalibreringen användes en så kallad Bayesiansk kalibrering, som resulterar i sannolikhetsfördelningar (dvs. uppskattningar inkl. kvantifierad osäkerhet) för både modellparametrar och flödet från taket.

## Modellprognoser

I Figur 2 visas en översikt av modellprognoser för kalibreringsperioden för taket i Umeå. Det syns tydligt att prognoser från Urbis har ganska stor osäkerhetsmarginal (se ljusgrå bandet i figuren) och därmed följer prognoserna inte samma flödesförlopp som observationerna. För de större regntillfällena på 6 oktober och 9-10 oktober underskattar Urbis flödestoppen.

De andra tre modeller gör ett bättre jobb på att förutse händelseförloppet under de olika regnfällen, utan det allra första tillfälle som visas. Där blir det ganska stora skillnader mellan modeller:



Figur 2: flödesprognoser för utvalda regntillfällen för kalibreringsperioden för gröna taket i Umeå. Bild © Broekhuizen et al. (2021).

SWMM och Hydrus har ett maxflöde på mer än 400 L/min, medan SHE har ett topp på strax över 200 L/min. Vid olika tillfällen är det olika modeller som har högst och lägst flöde.

Liknande figurer som Figur 2 gjordes också för två valideringsperioder och för taket i Lyon. Modellens prestanda kan då sammanfattas på olika sätt, se Figur 3. Vad gäller osäkerheten i modellprognosen så har Urbis störst osäkerhet (bredast ljusgrå band i Figur 2) medan SWMM har minst osäkerhet. Hög osäkerhet är oönskvärt i praktiken, eftersom det betyder att t.ex. dimensionerande flöde för en viss skydds nivå kan bli högre.

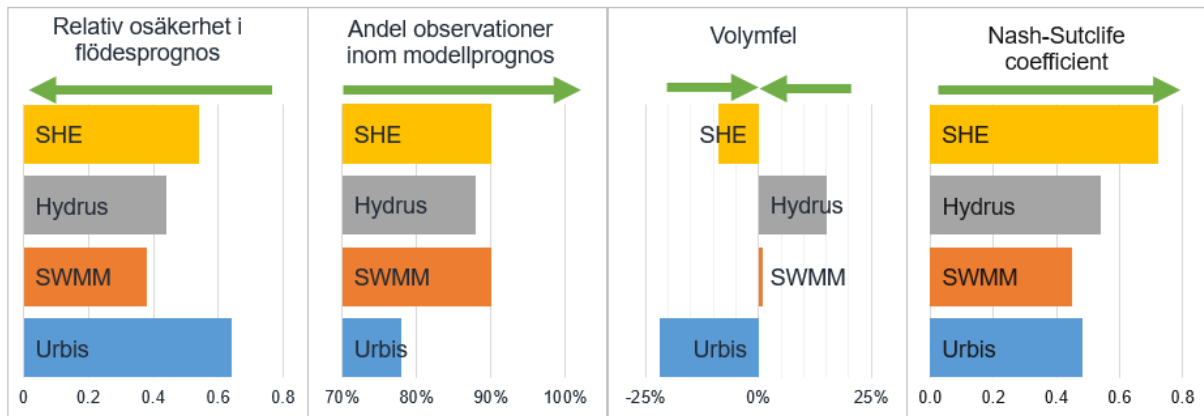
Pålitligheten av modellprognoser kvantifieras genom att räkna andel observationer som ligger nästan inom modellens prognos för varje tidssteg, desto fler observationer ligger där desto pålitligare är modellen. Här syns det att Urbis är minst träffsäker och de andra tre modeller ligger på ungefär samma nivå. Även då orkar modellerna 'bara' vara träffsäker för ungefär 90% av alla observationer. Det betyder att det finns en eller flera processer i taket som inte representeras på ett fullständigt adekvat sätt av modellerna.

Eftersom gröna tak, som andra gröna dagvattensystem, syftar på att behålla en mer naturlig vattenbalans, så är felet i avrinningsvolym en viktig aspekt på modellerna. Där syns det att SHE och SWMM har bäst prestanda. Medelvärde på volymfelet i de olika perioderna är lägst för SWMM, men det berör dels på att SWMM underskattar avrinningsvolymen i vissa perioder och överskattar i andra perioder. MIKE SHE har faktiskt bäst prestanda när det gäller totala avrinningsvolymen. SHE har även bäst prestanda enligt Nash-Sutcliffe koefficienten, som visar hur nära medianvärdet på prognosen ligger till observationerna.

## Modellprestanda – sammanfattning

Vilken indikator på modellprestanda är viktigast berör på studiens ändamål och det går därför inte att säga vilken modell har bäst prestanda allmänt. Det kan dock nämnas att Urbis

oftast har sämst prestanda och därför kan det anses vara för enkelt för modellering av gröna tak. Av de övriga modeller erbjuder SWMM en bra balans mellan pålitlighet och noggrannhet av modellprognoser, men MIKE SHE har bättre prestanda för avrinningsvolymen.



Figur 3: sammanfattning av modellprestanda över alla kalibrerings- och valideringsperioder med hjälp av olika indikatorer för modellprestanda. Gröna pilarna indikerar vad det optimala värdet är för de olika indikatorerna.

## Praktiska aspekter

Inte bara modellprestanda, men även hur enkelt modellen är att använda avgör hur värdefullt modellen är i praktiken. Där kan det nämnas att SWMM erbjuder en bra balans mellan att vara enkelt att arbeta med samtidigt som modellresultat blir pålitliga. Dessutom är SWMM ursprungligen en modell för större dagvattensystem och det gör det lätt att integrera modellering av gröna tak och resten av avrinningsområdet.

För både Hydrus och MIKE SHE gäller att modeller är mer fysiskt baserade än SWMM. Detta är fördelaktigt om modellen ska användas till att testa olika konfigurationer på gröna tak. Även när modellen används för att simulera gröna tak under framtida klimatförhållanden så är det bra att ha en fysisk bas i modellen, eftersom det ökar förtroendet att modellen kan representera ändringar i de fysiska förhållandena på ett bra sätt. MIKE SHE är unik bland modellerna som testades här i att använda detaljerad topografisk data för att simulera ytavrinning. För mer komplex gestaltning av gröna tak (t.ex. med lutningar i olika riktningar och vinklar och icke-rektangulära tak) betyder det att det är möjligt att explicit representera takets gestaltning i modellen. Därmed kan modellen förväntas vara mer pålitligt under såna förhållanden.

## Ytterligare information

Denna skrift har tagits fram inom VINNOVA-projektet GrönNano3 (2018-00441) och är baserad på följande publikation (i samarbete med INSA Lyon), som är gratis tillgänglig för de som vill läsa mer utförligt om modellering av gröna tak:

- Broekhuizen, I., Sandoval, S., Gao, H., Mendez-Rios, F., Leonhardt, G., Bertrand-Krajewski, J.-L., Viklander, M., 2021. Performance comparison of green roof hydrological models for full-scale field sites. *Journal of Hydrology X* 12, 100093. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2021.100093>

### Bilder

Omslagsbild (vänster): LGCIE-DEEP.  
Omslagsbild (höger): Ico Broekhuizen.

**Ico Broekhuizen**  
Biträdande universitetslektor  
[ico.broekhuizen@ltu.se](mailto:ico.broekhuizen@ltu.se)

