

En introduktion till dagvattenflödesmodellering i gröna tak

Gröna tak ses idag som ett alternativ för dagvattenhantering i urbana områden där det lokala ledningsnätet inte har kapacitet nog att hantera framtidens regnmängder. I detta projekt utvecklas modeller som syftar till att optimera och validera gröna tak så att deras funktion kan användas på bästa sätt med störst effekt. Målet är att utveckla verktyg och riktlinjer för hur gröna tak kan användas.

Foto: Pär Johansson.



Figur 1: Gröna tak är vanliga i den nybyggda stadsdelen Kvillebäcken i Göteborg för att omhänderta dagvatten. Bilden är tagen i slutet på juli efter en längre torr period varför taken är röda.

Varför modellera flöde genom gröna tak?

Innan vi börjar med utmaningarna i att modellerna dagvattenflöden i gröna tak måste vi först ställa två frågor: vad är gröna tak och varför ska vi forska på dem? Gröna tak definieras som tak som antingen helt eller delvis är täckta i vegetation. Vanligast är att denna växtlighet utgörs av olika gräsarter eller andra låga växter såsom sedum. Det finns också exempel på tak med buskar och även träd. Växtligheten planteras vanligen i ett dräneringslager som undertill täcks

med en barriär som förhindrar rötterna från att orsaka skada på byggnaden och stoppar eventuella läckage.

Ökande översvämningsrisk

Det viktigaste argumentet till varför forskning på gröna tak behövs är de växande problemen med dagvattenhanteringen i våra städer. Under de senaste åren har det rapporterats om flera fall där bristande dagvattenkapacitet lett till svåra skador och översvämningsrisker. Dessa problem kan inte lösas enkelt eftersom det krävs omfattande och kostsamma ombyggnationer av dagvattennätet i städerna. Läget förvärras ytterligare av den pågående urbaniseringen och de

prognosticerade ökningarna av årsmedelnederbörden och intensiteten i de enskilda skyfallen. Globala klimatmodeller förutser markant ökande regnmängder, och vi kan redan idag se en ökning mot vad som uppmätts tidigare [1]. Därför är det viktigt att åtgärder vidtas för att kunna ta hand om denna ökning, särskilt i urbana områden där de stora hårdgjorda ytorna inte omhändertar dagvatten från skyfall på samma sätt som grönytor gör. Dessa problem tillsammans kräver innovativa och alternativa lösningar som tar sin utgångspunkt i de förutsättningar som finns i den urbana miljön och som inte förlitar sig enbart på dagvattennätet. Därmed kan gröna och blåa tak spela en roll i att lösa problemen med ökande regnmängder. I en tidigare artikel diskuterade vi hur numeriska modelleringstekniker kan användas för att optimera placering av de gröna och blåa taken baserat på hur utsatt en plats är för slagregn [2]. I denna artikel fokuserar vi på modelleringstekniker för att förbättra själva materialen i taket för att optimera dess funktion.

Saknas dimensioneringsanvisningar

Generellt saknas teknisk information för gröna taksystems verkliga prestanda. För att kunna dimensionera ett grönt tak behövs information om hur mycket regn som hålls kvar i vegetationen och i jordblandningen, hur lång tid det tar innan taket är helt torrt och hur mycket regn som kan fördröjas under ett skyfall över ett givet tidsintervall. Det är också bra att veta vilken typ av växtlighet och jord som fungerar bäst under givna klimatförhållanden. Denna typ av teknisk information skulle kunna användas som ett verktyg vid stadsplanering för att minska översvämningsrisken genom att komplettera det existerande dagvattennätet med gröna och blåa tak. Informationen kan också användas för att utreda urbana grundvattenförhållanden, liksom för takproducenter för att utvärdera och utveckla sina lösningar vidare. Detta gynnar i förlängningen alla inblandade parter, från takproducent till allmänheten i stort.



Kaj Pettersson
Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers



Pär Johansson
Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers



Angela Sasic Kalagasidis
Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, Chalmers

Klima 2050 och Trondheim

Faktorerna ovan studeras på en mängd olika nivåer med olika tekniska specialister i detta projekt som är en del av forskningscentret Klima 2050, lokaliserat vid NTNU och Sintef i Trondheim, Norge. Projektet finansieras av Formas och bedrivs i samarbete med VegTech AB, SMHI och Göteborgs Stad genom Lokalförvaltningen, Förvaltnings AB Framtiden, Kretslopp och vatten samt Miljöförvaltningen. Inom detta projekt ingår både utveckling av numeriska modelleringsverktyg och delning av data från storskaliga fältförsök som pågår framförallt i Trondheim. Det största fältförsöket innehåller flera takkonfigurationer där både klimatdata och data om takets prestanda samlas in och används för ett flertal forskningsområden, däribland dagvattenflödesmodellering [3]. Denna data kommer kunna användas för att validera modellerna som beskrivs i denna artikel. Eftersom försöken pågår i full skala kommer de bidra med ovärderlig data för att validera modellerna på en större skala än enbart baserat på laborativa försök.

Användning av computational fluid dynamics

I projektet används computational fluid dynamics (CFD) som är en numerisk metodik som används för att lösa ekvationer för strömning av olika media. Metodiken används för att modellera en stor mängd ingenjörspå problem på den mikroskopiska till makroskopiska skalan. Exempelvis kan en enskild partikels rörelse i en vätska modelleras liksom luftflödet kring bilar och tåg. Det är ofta nödvändigt att studera problemen på flera nivåer för att skapa förståelse för vilka som är de viktigaste parametrarna i ett givet fall. Det kan handla om gravitation, partiklar som stöter emot varandra, hastigheten på flödet, densitet och viskositet på vätskan, med mera.

CFD är ett kraftfullt verktyg för att få bäst precision på lösningen på ett problem till lägst antal beräkningar på kortast tid. Nackdelarna med metodiken är framförallt svårigheten i att korrekt definiera problemet och bygga upp beräkningsdomänen för att fånga alla de inblandade fysikaliska processerna med tillräcklig precision. Generellt är dessa beräkningar relativt kostsamma när det gäller beräkningskapacitet och den tid som krävs för att lösa problemet. Beroende på problemets komplexitet kan det ta från timmar

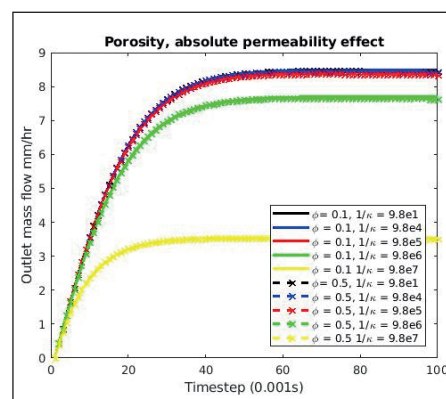
upp till månader för att nå tillräcklig precision.

Tillämpning på gröna tak

För att använda CFD för att beräkna vattenflödet genom gröna tak vid ett skyfall krävs att flödesmodeller för jord (eller grundvattenflöde) används, vilka i sin tur härleds ur de allmänna flödesekvationerna. Det grundläggande antagandet är att flödet är mycket långsamt vilket innebär att vätskans viskositet är av stor vikt. Dessutom måste jordens fysikaliska egenskaper tas i beaktande och därför måste varje jordtyps eller jordsammansättnings specifika egenskaper mätas med stor precision. Vidare kan kapillärsugning i mikroskalan ha stor påverkan på resultatet när jorden är torr och lite eller ingen vätska finns närvarande. Olika modeller för grundvattenflöde finns tillgängliga vilka varierar stort i komplexitet beroende på inom vilket område de tillämpas och kraven på precision i detta. Vi kommer inte diskutera dessa modeller utan fokuserar här på de grundläggande modellerna och svårigheterna i att ta hänsyn till en varierande mängd vätska i jorden, vilket är av stor vikt för att modellera gröna taks avrinning efter ett skyfall med CFD.

Grundläggande modeller för grundvattenflöde

Förenklade CFD-modeller kan användas för att fånga avrinningen från gröna tak med antagandet att stora mängder vatten redan finns i jorden. Detta antagande gör det möjligt att bortse från kapillära effekter som uppkommer mellan jordpartiklarna vilket ger ett betydligt enklare ekvationssystem som löses med snabbare beräkningar än annars. Som nämnts tidigare krävs exakt information om jordens fysikaliska egenskaper, och speciellt jordens porositet och permeabilitet. Porositeten definieras som kvoten mellan luften i materialet i förhållande till den totala volymen (luft och fast materia) i en given jordmängd. Permeabiliteten är något mer komplex och definieras som ett mått på jordens motstånd mot en vätskas (eller gas) flöde genom jorden. Denna tar hänsyn till porstrukturen och anslutningarna mellan luftfyllda porer inuti jorden. Dessa egenskaper har mycket skild påverkan på vattenavrinningen för en given jordblandning. Generellt är permeabiliteten den dominerande parametern för att definiera vattenavrinningen, se figur 2. Detta beror på att permeabiliteten varierar med en

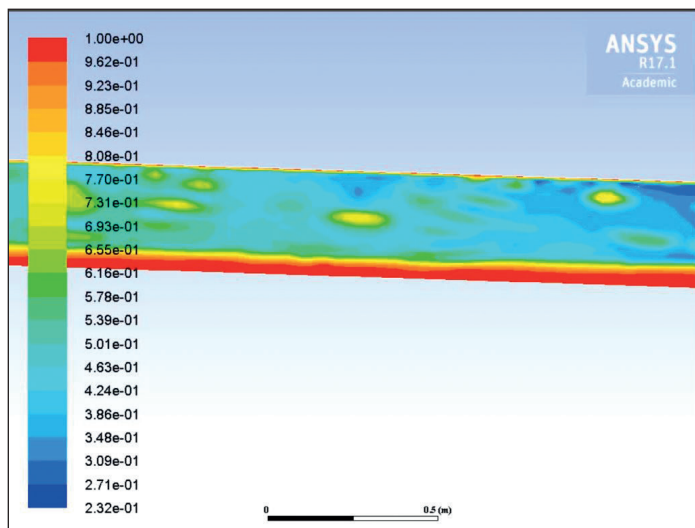


Figur 2: Avrinning i förhållande till förändrade materialegenskaper. De överlappande linjerna indikerar att permeabiliteten har större påverkan på avrinningen jämfört med porositeten.

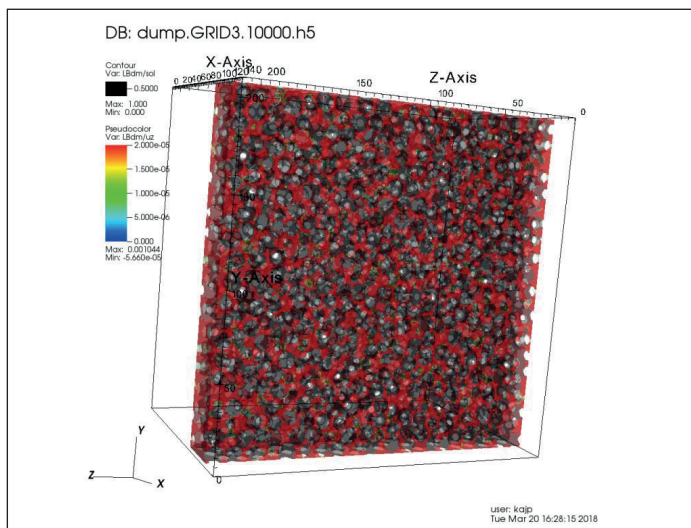
faktor 10^{12} , beroende på jordtypen. För de jordtyper som används i gröna tak varierar permeabiliteten kring 10^{-7} m². I praktiken innebär det att avrinningstiden varierar mellan 15–20 minuter. Den högsta avrinningen sker inom ett par minuter efter att skyfallet börjat, men är beroende på takets geometri och storlek i förhållande till skyfallets intensitet och varaktighet. I beräkningarna är det möjligt att se hur ett fortsatt skyfall påverkar ett tak med högt vatteninnehåll. Det är tydligt att detta påverkar flödesmönstret efter att taket vattenmättats, se figur 3. Även om det är möjligt att modellera flödesmönstret i ett tak med högt vatteninnehåll måste vi även ta hänsyn till hur flödesmönstret är i gröna tak som inte innehåller något vatten från början. Denna faktor gör beräkningarna mer komplicerade.

Variabel vattenmättnadsgrad

En av de svåraste utmaningarna när det gäller modellering av flödet genom gröna tak handlar om mättnadsgraden. Mättnadsgraden definieras som procentandelen av en vätska som finns i en specifik volym jord där den totala volymen utgörs av vätska, gas och fast materia. Detta värde är av särskild vikt i de fall där jorden torkar ut så att den kvarvarande vätskemängden är mycket låg. Detta medför att kapillärsugning spelar en viktig roll i flödet när vätska återintroduceras via nederbörd. Vid en hög mättnadsgrad är kapillärsugning mindre dominant och dess effekt på vätskans rörelse genom jorden bortses därför från i CFD-beräkningarna. Huvudsäket till detta är svårigheten att numeriskt beskriva processen. Varje material eller komposition har mycket avvikande egenskaper med avseende på förändrad mättnadsgrad och dessutom har samma material olika egenskaper



Figur 3: Volymandel vatten i dräneringslagret [-], skala från 0 till 1. Notera lutningens inverkan på volymandelen (mer vatten, rött, i figurens högra del).



Figur 4: Flödes hastighet i x-riktning (längs axeln) i porskala. Partikeldiameter 22 enheter (0.74 mm), beräkningsdomänens storlek 210 x 210 x 70 enheter (15 x 15 x 5 mm).

vid uppfuktning och uttorkning. För att med hög precision fånga effekten av variabel mätnadsgrad måste omfattande och tidskrävande experiment utföras för att kunna bestämma koefficienterna i modellerna som beskriver denna process.

Teoretisk implementering

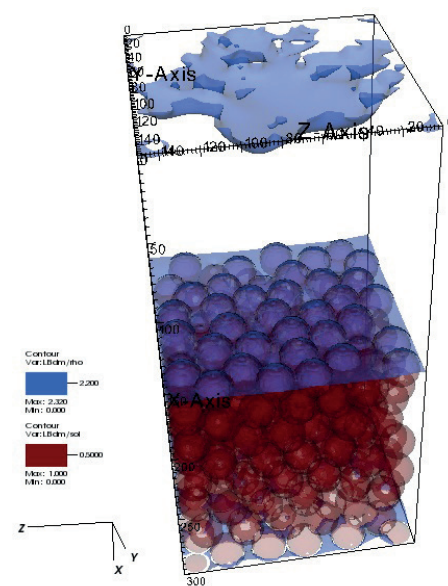
En annan utmaning när det gäller variabel vattenmätnadsgrad i CFD-modeller handlar om hur själva mätnadsgraden ska kunna följas i tiden. Denna representeras av ett nummer mellan 0 och 1. I CFD-modeller med mer än en fluid måste gränsskiktet mellan fluiderna följas, se *figur 4*. Det görs vanligtvis med hjälp av en volymandelsvariabel som är mellan 0 och 1, se *figur 5*. Faktum är att både vattenmätnadsgraden och volymandelsvariabeln i princip är identiska eftersom de båda beskriver mängden av en viss vätska i en specifik volym. Problemet är dock att ekvationerna som används för att lösa ut dessa inte är identiska där vattenmätnadsgraden innehåller ytterligare en parameter. Denna fränkoppling av de båda variablerna ger en mängd felaktigheter i lösningen av hela systemet, vilket ger oanvändbara resultat. För att rätta till detta problem krävs en korrektionsfaktor som måste tas fram genom tidskrävande experiment för varje enskilt beräkningsfall. En annan metod för att ta hänsyn till fränkopplingen är att lösa vattenmätnadsgraden i mindre skala. Tyvärr är detta fortfarande en öppen fråga och ett utforskat område.

Pågående forskning

Hittills har vi sett att vattenmättade modeller är relativt enkla att använda

men att det är nödvändigt att ta hänsyn till effekten av låg vätskemängd. Detta kräver arbete på porskala, se *figur 5*, vilket direkt löser kapillärflödet utan att det krävs några experimentellt baserade antaganden. Våra resultat hittills visar att under normal nederbörd har gravitationens lika stor inverkan på vattenmätnadsgraden som kapillärugningen över tid, vilken därför inte kan negligeras. En viktig punkt i modelleringen är att tidsskalan för vattenmätnad av de jordtyper som vi studerat inte skiljer sig drastiskt från den tid efter slagregn som avrinning sker. Skillnaden kan vara en faktor 5–15 och detta gör det möjligt att följa en varierande vattenmätnadsgrad i en tillräckligt hög tidsupplösning istället för att förlita sig på medelvärden över längre tidsskalor. När väl effekten av den variabla vattenmätnadsgraden har blivit implementerad i modellerna kan vi fokusera på effekterna från varierande temperatur liksom vegetationens inverkan på fördröjning av dagvatten och avrinning.

Allteftersom projektet framskrider hoppas vi kunna utveckla verktyg och riktlinjer för hur intressenter kan använda och bygga gröna tak. I detta inkluderas en metodik och CFD-simuleringsriktlinjer som kan användas på en mängd olika fall och klimatförhållanden. Denna flexibilitet kommer ge stor hjälp till alla som är intresserade av att använda gröna tak, från storskaliga projekt till enskilda användare och mindre leverantörer. Målsättningen är att ta fram så mycket detaljerad information som möjligt till minsta beräkningsbehov liksom att fånga mer komplexa effekter och utvärdera deras



Figur 5: Samverkan mellan luft och vatten på pornivå, testsimulering. Partikeldiameter 22 enheter (0.74 mm), beräkningsdomänens 150 x 150 x 300 enheter (5 x 5 x 10 mm).

inverkan på hur gröna tak presterar. Slutligen måste de utmaningar som diskuteras i denna artikel lösas innan några fullständiga modeller kan presenteras. Detta arbete pågår på en mängd olika fronter vilket gör att lösningar bör kunna tas fram inom en nära framtid. ■

Läs mer om **Klima 2050:**
www.klima2050.no/

Referenser

- [1] SMHI. KLIMATOLOGI Nr. 47, 2017 www.smhi.se
- [2] Johansson, P., Sasic Kalagasidis, A., Pettersson, K., Krajnovic, S., Kjellström, E. *Tak i urbana miljöer för att minska risken för översvämning vid skyfall*. Bygg & teknik Nr. 4, 2016.
- [3] Hamouz, V., Lohne, J., Wood, J. R., Muthana, T. M. *Hydrological performance of LECA-based roofs in cold climates*. Water. 2018, 4