

EN UNDERSÖKNING AV SKELETTJORDSKONSTRUKTIONER MED HYDRAULISK MODELLERING I MIKE URBAN+ AN INVESTIGATION OF STRUCTURAL SOILS USING HYDRAULIC MODELING IN MIKE URBAN+



Carl Edström
Vättersvägen 28, 12050 Årsta
Epost: kalle.edstrom@gmail.com

Sammanfattning

Skelettjordskonstruktioner är en anläggning som till en början var tänkt för att skapa gynnsamma förhållanden för träd i stadsmiljöer. På senare tid har den även börjat att användas som en anläggning för hållbar dagvattenhantering med fördröjning och rening. Med en bärförmåga som kan hantera ovanliggande laster samtidigt som den skapar gynnsamma förhållanden för träd och hanterar dagvatten kan skelettjordskonstruktioner ses som en multifunktionell anläggning. I arbetet har intervjuer med kommunanställda gjorts för att undersöka hur användningen av skelettjordskonstruktioner ser ut idag och hur ansvarsfördelningen kring dem ser ut. De anläggs ofta med trädens hälsa i fokus men rening och fördröjning ses också som sekundära funktioner. Ingen eventuell fördröjning i skelettjordar har tagits i beaktning vid dimensionering av ledningsnät. En fallstudie med hydraulisk modellering i MIKE URBAN+ har också gjorts för att undersöka skelettjordskonstruktioners hydrauliska funktion och hur de kan minska belastningen på ledningsnätet med avseende på toppflöden, reducerad volym och fördröjning. Inkluderandet av skelettjordar ger en liten reduktion av flödestopp, flödesvolym samt trycklinjen vid 10- och 30-årsregn. Att skelettjordarna inte ger en större reduktion i det här fallet bedöms bero på att avrinningen till skelettjordarna är för liten i jämförelse med den totala flödesvolymen i röret.

Abstract

Urbanization with growing and denser cities in combination with climate change requires a smart land use with multifunctional facilities. One such example is structural soils that have a bearing capacity to handle loads, create favorable conditions for trees and handle stormwater with purification and delay. In this study, interviews with municipal employees have been conducted to investigate the use of structural soils today and the division of responsibilities for them. They are often planned with the health of the trees in focus, purification and delay are seen as secondary functions. Delay in structural soil has not been considered when designing stormwater networks. A case study using hydraulic modeling in MIKE URBAN+ was conducted to investigate the hydraulic capacity of structural soils and how they can reduce the load on the stormwater network with respect to peak flows, reduced volume and delay. The inclusion of structural soils results in a small reduction in peak flow, flow volume and the hydraulic grade line during the 10- and 30-year rain events. The reason that the structural soils do not give a greater reduction in this case is considered to be because the drainage from the structural soils is too small compared to the total flow volume in the pipe.

Keywords: MIKE URBAN+; structural soil; stormwater management; hydraulic modelling

Inledning

Urbanisering med växande och tätare städer i kombination med en klimatförändring som förväntas kunna ge extremare väder kräver ett smart markanvändande där flera funktioner kan uppfyllas på en och samma yta. Ett exempel på en sådan lösning är skelettjordar som kan fungera som ett underjordiskt magasin för hantering av dagvatten samtidigt som det skapar goda förhållanden för träd att växa i hårdgjorda stadsmiljöer och ger en bärighet nog för att klara av laster från trafik (Larm och Blecken, 2019). En skelettjordskonstruktion är en konstgjord anläggning som karakteriseras av en struktur med bärighet samtidigt som den har hålrum som ger utrymme till trädens rötter och kan magasinera vatten.

I dagens urbana miljöer dominerar hårdgjorda ytor som omöjliggör infiltration av dagvatten till den underliggande jorden. Det kan i sin tur leda till problem vid kraftiga regn då ledningsnätets kapacitet kan överskridas och resultera i översvämningar och förorenade vattendrag. Som en dagvattenanläggning kan skelettjordskonstruktioner fylla funktioner som rening och flödesutjämning av dagvatten när det får infiltrera ned i anläggningen. Ytterligare fördelar är att träd i urbana miljöer kan utöver sin estetiska funktion även bidra med hydrologiska fördelar där trädskronorna kan fånga upp regn samtidigt som trädens rötter kan skapa förhållanden som ökar infiltrationen (Berland et al., 2017).

Denna artikel avser att undersöka hur användandet av skelettjordskonstruktioner ser ut idag och vilken potential de har som en anläggning för dagvattenhantering. Syftet kan delas in i två delar där den första är att genom intervjuer med personer på kommuner klargöra hur skelettjordskonstruktioner används idag, hur deras uppbyggnad ser ut och hur ansvarsfördelningen kring dem ser ut. Den andra delen består av att genom modellering i MIKE URBAN+ undersöka skelettjordskonstruktioners hydrauliska funktion och om de kan minska belastningen på ledningsnätet med avseende på toppflöden, reducerad volym och fördröjning. Artikeln är en sammanfattning av mitt examensarbete (Edström, 2020) där fler detaljer angående studien är presenterade.

Metod

Intervjuer

Skelettjordskonstruktioner är multifunktionella anläggningar som kan vara önskvärda i städer där ytorna är begränsade. Men en multifunktionell anläggning kan också innebära problem om det finns osäkerheter kring vem som ansvarar för vad när det är flera avdelningar på kommunen som är involverade i de olika funktionerna. För att undersöka hur den befintliga situationen kring skelettjordskonstruktioner ser ut i kommuner har intervjuer gjorts med kommunanställda som har en koppling till användandet av skelettjordskonstruktioner.

Intervjuerna har utförts via samtal över telefon och mejl. Strukturen på intervjuerna har utgått från ett antal frågor där den intervjuade har fått utveckla och följdfrågor ställts. Fem personer från olika kommuner och med en variation av yrkestitlar intervjuades och en sammanställning av dessa kan ses i Tabell 1.

Tabell 1 Sammanställning av de intervjuade.

Person Nr.	Kommun	Titel
1	Stockholms stad	Miljöspecialist
2	Nacka	Dagvattenspecialist
3	Malmö stad	Landskapsarkitekt
4	Alingsås	Stadsträdgårdsmästare
5	Haninge	Dagvatteningenjör

Hydraulisk modellering

För att undersöka den hydrauliska kapaciteten hos skelettjordar och hur de kan påverka belastningen på ledningsnätet har en fallstudie gjorts. Studien har gjorts för ett område i Barkarbystaden, som är en ny stadsdel i Järfälla kommun, norr om Stockholm. En befintlig modell som är uppbyggd i programvaran MIKE URBAN (MU) från DHI erhöles från Norconsult, Tyréns samt Järfälla kommun. Modellen har sedan importerats till den nyare programvaran MIKE URBAN+ (MU+), också från DHI, för denna studie. Då den befintliga modellen täcker hela stadsdelen har en avgränsning gjorts till att begränsa studien till att placera skelettjordar i en gata på den norra delen av Barkarbystaden där de tar hand om dagvatten från gatan.

Den delen av stadsdelen har ännu inte blivit bebyggd och det finns därför ingen mätdata att tillgå därifrån. Handberäkningar för hur den tilltänkta skelettjordskonstruktionen ska fungera och för att ha något att jämföra modellens resultat med har därför gjorts.

Skelettjordskonstruktionerna som tillämpats i studien har baserats på en typritning för träd i hårdgjord yta med kolmakadam från Stockholms stad samt Edges (2020) handbok för BGG-system. Vatten leds där ner i skelettjordskonstruktionen via brunnar och infiltrationsrör. Skelettjordskonstruktionen dräneras sedan med ett dräneringsrör som är placerat 20 cm över skelettjordens botten och kopplat till ledningsnätet med en flödesreglering. Huvudledningen som går längsmed gatan får dagvatten från fyra olika källor:

1. Avrinning från gatan
2. Kvartersmark
3. Anslutande ledningar
4. Avrinning från närliggande gator

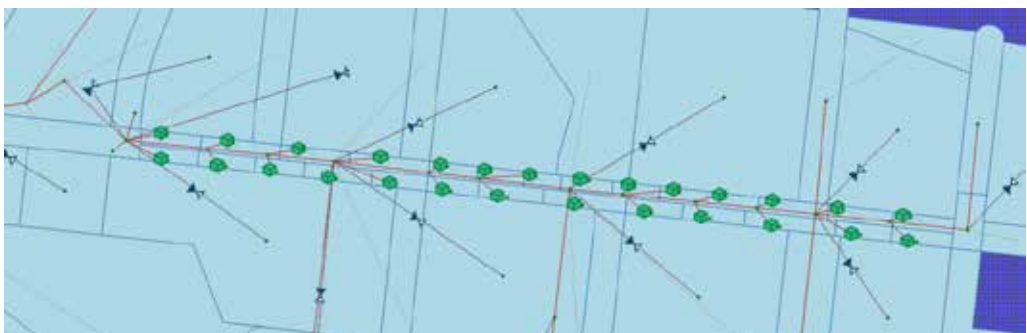
Det är enbart tillskottet från avrinning från gatan som skelettjordarna i denna studie kommer att hantera. För att modellera skelettjordar längsmed gatan i den befintliga modellen har det antagits att träd anlagda i skelettjordar med hårdgjord yta finns på båda sidor av vägen med ett avstånd på 10 meter mellan träden. En brunn med infiltrationsrör enligt typritning för träd i hårdgjord yta med kolmakadam från Stockholms stad antas kunna förse två träd med dagvatten och avståndet mellan två brunnar sätts därför till 20 m.

Med det i åtanke har de fem större avrinningsområdena i den befintliga modellen delats upp i 27 mindre avrinningsområden med storlek mellan 100–240 m². Medelvärdet och medianen för avrinningsområdenas storlek är 157 m² respektive 154 m². Som referenspunkt för avrinningsområdenas storlek kan en jämförelse göras med dem i Hammarby sjöstad där varje brunn hade ett bidragande avrinningsområde på ca 110 m² (Alm, 2005).

Soakaway

För att modellera skelettjordar i MU+ har den inbyggda soakaway-modulen valts som tillvägagångssätt. Soakaway-modulen är en nod-typ som kan användas för hydraulisk modellering av blå-gröna lösningar. Noden kan likt andra noder i MU+ kopplas till ett ledningsnät för att studera infiltrationslösningars hydrauliska effekt (DHI, 2020). Modulens uppbyggnad kan liknas vid ett magasin där dess geometri, interna porositet, vattennivå och exfiltration ut ur magasinet definieras. Det finns tre olika sätt att definiera infiltrationen till den omkringliggande marken: en konstant infiltrationshastighet, ingen infiltration samt en infiltration som är proportionerlig mot vattennivån i modulen. Proportionalitetskonstanten anges som den mättade hydrauliska konduktiviteten hos den omkringliggande jorden (DHI, 2020). För denna studie har den sistnämnda metoden valts.

Då marken i området består till stor del av lera med inslag av morän och berg har den mättade hydrauliska konduktiviteten satts till 10⁻⁸ m/s vilket är mycket lågt och infiltrationen ut är väldigt begränsad.



Figur 1 Den färdiga modelluppbyggnaden för studieområdet.

När det gäller skelettjordskonstruktioners kapacitet att hantera dagvatten bedöms det vara förmågan att transportera in vatten i konstruktionen som begränsar funktionen vid dimensionerande flöden och inte att själva skelettjorden riskeras att bli mättad (Larm & Blecken, 2019). Men då uppgifter saknas för infiltrationskapaciteten hos infiltrationsrören till skelettjorden antas ett maximalt infiltrationsflöde på 5 l/s. Det tillämpas i modellen som en flödesreglering i infiltrationsröret.

Då marken består av lera som förhindrar infiltration ut ur skelettjorden kopplas ett dräneringsrör från skelettjorden till ledningsnätet för att tömma det på vatten. Dräneringsröret har satts till att vara på en höjd på 20 cm över botten och har en flödesreglering som varierats mellan 0,5–5 l/s vid olika simuleringar. Detta för att undersöka hur olika flödesregleringar påverkar fyllnadsgraden i magasinet och belastningen på ledningsnätet. I Figur 1 ses den färdiga modelluppbyggnaden med soakaway-moduler.

För att undersöka skelettjordskonstruktionernas funktion vid olika storlek på den belastande nederbörden kördes simuleringar med fyra olika CDS-regn. De fyra olika regnen var ett 2-årsregn med fyra timmars varaktighet, ett 5-årsregn med fyra timmars varaktighet, ett 10-årsregn med fyra timmars varaktighet och ett 30-årsregn med tre timmars varaktighet. Flödet i dräneringsröret reglerades till 0,5, 1, 2, 3 och 5 l/s vid olika simuleringar för de fyra regnen.

Resultat och Diskussion

Utformning

Gällande utformningen av skelettjordskonstruktionerna använde 4 av 5 en uppbyggnad likt stockholmsholmsmetoden i Stockholms stads handbok. Person Nr. 2 från Nacka kommun hänvisade till en egen lösning som tagits fram och beskrivs i kommunens egen tekniska handbok. Dess utformning kan där beskrivas som en större förstärkt låda där dagvatten leds in till skelettjorden.

Användningen av nedspolat material som biokol i skelettjordarna skiljde sig mellan de intervjuade där två kommuner inte använt det (varav en där skelettjordar inte anlagts), en inte visste och två har

använt det. Person Nr. 3 från Malmö stad berättade att olika varianter hade testats vid anläggandet av skelettjordar för att undersöka dess effekt. Där har tillsatsmaterial som provats i trädgropen varit pimpsten och grönkompost. Även att sopa ned pimpsten i skelettdelen har testats, då med kvoten 50 l/m³. I ett nytt projekt där ska även en biokolsinblandning tillsammans med pimpsten och grönkompost testas.

Primär funktion vid anläggning

Fyra av fem sa att skelettjordens primära fokus vid anläggandet hade varit att skapa gynnsamma förhållanden för träd. Trafikkontoret i kommunen ser enbart skelettjordarna som en åtgärd för att förse träden med tillräckligt med volym och vatten enligt Person Nr. 1 från Stockholms stad. De på exploateringskontoret ser dock också till att utnyttja dem för dagvattenhantering där det ses som en åtgärd för både rening och volym. Vid dimensionering prioriteras deras effekt för rening. Detta med hänsyn till åtgärdsnivåer. Person Nr. 2 berättade att de ser skelettjordarna som en vattenåtgärd där det är rening som prioriteras vid planering och projektering. Eventuell fördröjning är en sekundär funktion.

Träden har ofta varit prioriterat vid anläggandet av skelettjordar men Person Nr. 3 vill egentligen inte säga att det handlar om en prioritering av det ena eller det andra, utan snarare om en helhetsbild. Det handlar om att skapa en bra stadsmiljö och då se till en komplett bild. Träd har en viktig påverkan för stadsmiljön, stadsbilden och människors hälsa i staden men att kunna ta hand om dagvatten och skyfall är också av stor vikt.

Fördröjning vid dimensionering

Alla de fem tillfrågade svarade nej på att en preliminär fördröjning från skelettjordar har tagits i beaktning vid dimensionering av dagvattenledningsnät och/eller nedströms liggande fördröjningsåtgärder. Person Nr. 1 sa att de i Stockholms stad istället ser det som en extra kapacitet och säkerhetsmarginal. En anledning till att de inte tar det i beaktning i Nacka kommun är enligt Person Nr. 2 att de inte känner att de har kontroll över hur de sköts och att det är oklart hur deras hydrauliska funktion är.

Ansvarsfördelning

Vem som ansvarar för skelettjordarna beror på vilket stadie det gäller. I Stockholms stad har enligt Person Nr. 1 exploateringskontoret ansvar för dimensionering och projektering. Men när skelettjordarna är anlagda är det Trafikkontoret som sköter driften då skelettjordarna oftast är anlagda i samband med väg. Hos Person Nr. 3 i Malmö är det gata som ansvarar för planering och anläggning av skelettjordar. Då detta är en relativt ny anläggning har ingen tydlig ansvarsfördelning gjorts än mellan olika avdelningar men det antas vara trafik och gatukontoret som bär med sig ansvaret efter anläggning. I Alingsås och Haninge där Person Nr. 4 och Person Nr. 5 är verksamma var det trafikavdelningen som har ansvaret för skelettjordarna.

Ansvar för VA-enheten

Ingen av de intervjuade svarade att VA-enheten har något ansvar att följa skelettjordarnas fördröjningsfunktion. Både Person Nr. 1 och Person Nr. 2 hävdade att det kan vara en anledning till att de inte räknar med dess fördröjning vid dimensionering. Att de inte har kontroll över hur de sköts och det finns osäkerheter för anläggningarnas hydrauliska funktion över tid. Då det kan var många nya frågor som dyker upp med hanterandet av skelettjordar kan det bli aktuellt för VA-enheten att involveras

senare enligt Person Nr. 3. Men i dagsläget har VA-enheten inget ansvar för driften.

Modellering

De resultat som analyserats för respektive CDS-regn är storleken på flödestoppen, tidpunkt för flödestoppen, flödesvolym samt trycklinjen vid 10- och 30-årsregnen. Resultaten är tagna i en punkt precis nedströms i ledningen då alla de 27 modulerna är påkopplade till ledningsnätet. En tabell med sammanställning av resultatet kan ses i Tabell 2 nedan.

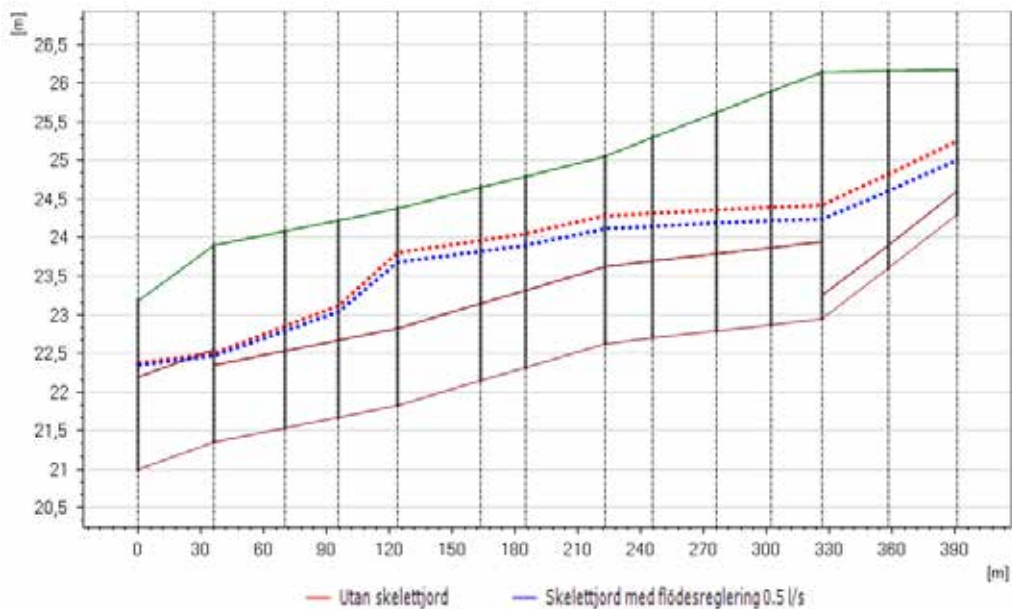
Oavsett vilket regn som simuleringen körts med tycks resultaten vara relativt jämna. Inkluderandet av skelettjordskonstruktionerna ger en reducering av toppflödet med runt fyra procent och en reducering av den totala volymen med ca en procent. För den ackumulerade flödesvolymen i röret nedströms syns en svag indikation på att inkluderandet av modulerna ger en aningen större procentuell reduktion vid mindre regn. De här resultaten kan också förväntas med modellens uppbyggnad där dräneringsrörets höjd över botten gör att en del av volymen aldrig når ledningsnätet via dräneringsröret. Vid 2-årsregnet stiger vattennivån bara några centimeter över dräneringsrörets höjd och majoriteten av vattnet som rinner in i modulen stannar där. Men även om den procentuella reduceringen

Tabell 2 Sammanställning av resultat för röret nedströms där alla de 27 modulerna bidrar till ledningsnätet.

	2-år	5-år	10-år	30-år
Δ Topplöde (l/s)	42	56	88	79
Δ Topplöde (%)	4,0	4,0	4,4	3,2
Δ Ackumulerat flöde (m ³)	41	35	36	41
Δ Ackumulerat flöde (%)	1,8	1,1	0,78	0,82
Δ Tid för flödestopp (min)	0	0	0	0
Andel av total flödesvolym (%)	2,5	2,9	3,4	3,4

Tabell 3 Sammanställning av resultat för skelettjordskonstruktionerna med översvämmade brunnar och fyllnadsgrad i modulerna.

	2-år	5-år	10-år	30-år
Översvämmade brunnar (av 27)	0	1	17	10
Fyllnadsgrad (%)	21	28	45	52



Figur 2 Trycklinjen vid simulering av ett 30-årsregn med och utan skelettjordar.

av flödesvolymen är som störst vid 2-årsregnet är reduceringen liten. Det gäller även för de andra resultaten och kan förklaras med att avrinningen till skelettjordarna helt enkelt är för liten i jämförelse med den totala volymen i röret nedströms. Som kan ses i Tabell 2 ovan är den dränerade flödesvolymen från skelettjordarna runt 3% av den totala volymen vatten som flödar i röret nedströms. Förutom avrinning från gatan i studieområdet får den studerade ledningen även bidrag från tre andra källor.

För tidpunkten av flödestoppen är det ingen skillnad vid simulering med eller utan soakaway-moduler vilket gäller för alla de fyra CDS-regnen. Vad det beror på bedöms kunna ha tre olika förklaringar. En är att det bidragande flödet från dräneringsrören inte är tillräckligt stort i jämförelse med det totala flödet i ledningen för att fördröja flödestoppen. Den andra är att det är möjligt att en fördröjning av toppen sker men att den är för liten för att uppfattas av tidsstegen på en minut. En tredje är att inställningarna för skelettjordskonstruktionerna i modellen är felaktiga med konsekvensen att förloppet från avrinning till

flöde i dräneringsröret sker snabbare än vad det bör göra. Med resultaten från simuleringarna bedöms den första förklaringen ha störst betydelse där flödet från dräneringsrören är för litet i förhållande till det totala flödet för att generera en fördröjning. Det utesluter dock inte de andra två förklaringarna.

Som Alm (2005) beskriver är det inte den tillgängliga porvolymen som begränsar dess hydrauliska kapacitet, utan förmågan att transportera in vatten i skelettjorden. Det överensstämmer med resultaten från simuleringarna när en ser till fyllnadsgraden på soakaway-modulerna som kan ses i Tabell 3.

Vid simuleringen med ett 30-årsregn med tre timmars varaktighet erhöles en fyllnadsgrad på 52% för modulen som var kopplad till ett avrinningsområde på 156 m². Där understiger vattennivån markytan med en liten marginal och brunnen är nära på att svämma över. Då skelettjordskonstruktionen enbart är fylld till hälften är det tydligt att det finns outnyttjad kapacitet för att magasinera mer vatten.

I Figur 2 nedan ses den högsta trycklinjen i

brunnarna vid simulering med och utan skelettjordar. Vattennivån i brunnarna överstiger inte marknivån vid någon av de två simuleringarna och inkludering av skelettjordar kan ses ge en något lägre trycklinje. Ledningen i gatan har dimensionerats för att kunna hantera ett 30-årsregn utan att marköversvämning sker och även om en sänkning av trycklinjen sker bedöms den inte vara till den grad att en lägre dimension på röret kan användas. Skelettjordarna bedöms därmed ge en säkerhetsmarginal och ses istället som en ökad kapacitet i röret.

Slutsats

Med sin bärformåga uppvisar skelettjordskonstruktioner en multifunktionalitet där de skapar gynnsamma förhållanden för träd, hanterar ovanliggande laster och hanterar dagvatten med funktion som rening och fördröjning. Då skelettjordarna vanligtvis anläggs i samband med väg är det ofta trafik- eller gatu-avdelningen på kommunen som har ansvaret för dem. Ingen av kommunerna har tagit en preliminär fördröjning från skelettjordar i beaktning vid dimensionering av dagvattenledningsnät. Påverkan på belastningen på ledningsnätet bedöms bero på hur stor del av det totala flödet i ledningsnätet som avleds till skelettjordarna. I fallstudien är det summerade flödet som leds via skelettjordskonstruktionerna till ledningsnätet för litet för att ha en påtaglig effekt på ledningsnätet. Men en viss reducering av flödesvolymen, flödestoppen och trycklinjen ges vilket bedöms kunna agera som en säkerhetsmarginal.

Litteratur

- Alm, H. (2005) Skelettjord – att hantera trafikdagvatten i stadsmiljö. Stockholm: Stockholm Vatten AB. 2005 – 24.
- Berland, A., Shiflett, S.A., Shuster, W.D., Garmestani, A.S., Goddard, H.C., Herrmann, D.L., Hopton, M.E. (2017) The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning*, 162, ss.167-177.
- Edge. (2020). Levande gaturum – en handbok i Blågröngrå system.
- Edström, C. (2020) Skelettjordskonstruktioner En undersökning av dess funktion med hydraulisk modellering i MIKE URBAN+. Master Thesis, Division of Water Resources Engineering TVVR 20/5009, Lund University.
- DHI. (2020). MIKE URBAN+ Collection System - User Guide.
- Larm, T., Blecken, G. (2019) Utformning och dimensionering av anläggningar för rening och flödesutjämning av dagvatten. Svenskt Vatten AB. Rapport Nr: 2019-20