

# Vatten

#4  
2023  
Årgång 79

Tidskrift för vattenvård

Hur blev den  
kommunala infrastrukturen  
en offentlig angelägenhet  
i Sverige? Sid 175

# Ledaren

Blev du förvånad när du hittade denna tidskrift i brevlådan? Ja, det är faktiskt ett nytt nummer av tidskriften Vatten du håller i handen!

Lagom till åttionde årgången är det dags för ett nytt och modernare utseende. Den senaste stora ändringen av tidskriftens layout kom 2005 så det var hög tid för ett nytt utseende. Jag hoppas att den nya layouten faller er läsare i smaken. Hör gärna av er med ris eller ros.

Innehållet kommer ni att känna igen, det handlar om vatten i alla tänkbara olika aspekter. Jag önskar en trevlig vinterledighet och ett riktigt gott vattenår 2024.



Trevlig läsning!  
*Magnus Persson,*  
redaktör

# Innehåll

I blickpunkten .....	147
Föreningsmeddelanden .....	148
Pressreleaser .....	151
Litteratur .....	159
Grönområdets och designregns påverkan på avrinningskoefficienter för dimensionering av dagvatten- anläggningar .....	160
Hur blev den kommunala infrastrukturen en offentlig angelägenhet i Sverige? Gator, vatten och sanitet i ett historiskt perspektiv .....	175
Walls or the wall, that is the question .....	186
Hur medveten grönytedesign och infiltrationskapacitet kan påverka stadens översvämningsrisker .....	197

## FÖRENINGEN **Vatten**

[www.foreningenvatten.se](http://www.foreningenvatten.se)  
[www.tidskriftenvatten.se](http://www.tidskriftenvatten.se)

Föreningen Vatten ska verka för vård av och rätt hushållning med vattentillgångarna och en god vattenmiljö. Föreningens medlemmar är personliga eller stödjande.

Årsavgift 2023 för personlig medlem är 200:- (pensionärer och studerande 100:-) och för stödjande från 8 900:-. Medlemmarna får tidskriften VATTEN utan kostnad, stödjande får tre exemplar av tidskriften. Alla frågor rörande medlemskap i Föreningen Vatten handhas av kansliet.

Föreningen Vatten är ansluten till Water Environment Federation (WEF) i USA.

### STYRELSE

Magnus Berglund, ordförande  
Olof Nilsson, vice ordförande  
Marinette Hagman, sekreterare  
Thor Wahlberg, skattmästare  
Magnus Persson, redaktör  
Jesper Olsson, ledamot  
Irina Persson, ledamot  
Malin Denninger, ledamot  
Johanna Weglin Nilsson, ledamot  
Rebecka Engström Gustafsson, webb-  
redaktör

WEF/House of Delegates, Magnus Arnell

*Kontaktuppgifter till styrelsen finns på vår hemsida.*

### KANSLI

Föreningen Vatten, c/o Föreningshuset Sedab  
Lumaparksvägen 7, 120 31 Stockholm  
Telefon 08-121 513 28  
Telefontid måndag-fredag 08.00-12.00  
E-post [kansliet@foreningenvatten.se](mailto:kansliet@foreningenvatten.se)

### TIDSKRIFTEN VATTEN

Utges av Föreningen Vatten.  
*Journal of Water Management and Research  
published by the Swedish Association for  
Water.*

### REDAKTION

Rolf Larsson, ansv. utg. 046-222 73 98  
Magnus Persson, redaktör 046-222 89 90  
Adress: Teknisk Vattenresurslära, Lunds  
Universitet, Box 118, S-221 00 Lund  
E-post [Magnus.Persson@tvrl.lth.se](mailto:Magnus.Persson@tvrl.lth.se)  
Annonser: Kontakta redaktionen

ISSN 0042-2886

Upplaga: 800 ex.  
Produktion: McDowell Advertising  
Omslagsbild: Haväng, Österlen, foto:  
Pamela McDowell  
Tryck: Åbergs, Tomelilla, januari 2023

Föreningen Vattens plusgiro: 280378-1  
och bankgiro: 569-4328

# En ny era för vår älskade tidskrift!

*Med ett nyp av kreativitet och en dos av innovation, är vi överlyckliga att ge ut vår nydesignade layout. Det är inte bara en visuell förnying – det är vår vision som tagit form, en blandning av tradition och modernitet.*

Stora applåder till våra egna layoutmagiker, Magnus Person och Marlene Roos! Deras fingertoppskänsla för design har väckt våra sidor till liv, smält samman skönhet och funktionalitet på ett sätt som både ögat och sinnet uppskattar.

Vi dyker in i denna uppfräschade värld med en inbjudan till er, våra kära läsare: utforska varje hörn och vrå av vår nya layout. Vi hoppas att den ska kittla era sinnen och berika er läsoplevelse.

## Årets Vattenpristagare

Föreningen Vatten har nyligen haft äran att utse årets Vattenpristagare – individer som har utmärkt sig genom sina banbrytande insatser inom vattenvården. Dessa pristagare har inte bara visat på exceptionellt engagemang i sitt arbete, utan de har också aktivt bidragit till att förnya och utveckla branschen.

Deras arbete har inneburit signifikanta framsteg för vattenvårdens utveckling, där de har kombinerat innovativa idéer med



praktisk tillämpning. Genom sitt arbete har de inte bara påverkat nuvarande metoder och processer, utan även spelat en kritisk roll i att sprida kunskap och medvetenhet om vattenvårdens vikt.

I samband med detta, ser vi fram emot att personligen möta dessa inspirerande pristagare. Vi planerar att dela ut priserna under Vattendagen, som äger rum den 20

mars 2024. Detta evenemang utgör en unik möjlighet att inte bara fira dessa framstående bidrag, utan också att engagera sig i dialog och utbyte kring framtida innovationer och trender inom vattenvården – boka in det redan idag.

## Spännande utmaning

Den nyligen avkunnade PFAS- domen har kastat en spännande utmaning i vårt knä. Vi behöver ta oss an denna uppgift – att rena vårt dricksvatten från dessa luriga ämnen. Det kommer att kräva en symfoni av samarbete och innovation, men tillsammans kan vi skapa en hälsosammare framtid.

Så, låt oss bläddra igenom dessa nyskapade sidor med ett leende på läpparna och en förväntansfull blick mot framtiden. Tillsammans skriver vi nästa kapitel i vår tidskrifts historia – ett kapitel fyllt av äventyr, kunskap och otaliga droppar av vishet!

Magnus Berglund  
Ordförande Föreningen Vatten

*Föreningen Vatten önskar alla medlemmar ett*

# Gott Nytt År!

# Hydrologisektionen

*Hydrologisektionens årliga seminarium gick av stapeln den 8 november och handlade i år om "Återkomsttider i samhällsplanering".*

Det var en fullspäckad dag med en blandning av föreläsare från SMHI, Boverket, Sweco, Vattenfall, Afry, Ramböll och IF Skadeförsäkring. Ämnet är ständigt aktuellt, inte minst nu med stormarna Babet och Hans nära i minnet. Vi slog faktiskt

nytt rekord för sektionen i antalet anmälda.

Föredragshållarna presenterade hur återkomsttider beräknas och används i samhällsbyggnad och hur förekomsten av extrema händelser förändras med klimatet.

Föredrag varvades med gruppdiskussioner och mingelstunder i det interaktiva verktyget GatherTown som sektionen använder för andra året i rad.

Stort tack till alla föredragshållare och deltagare!

Victor Pelin



# Norra regionkommittén

*Hydrologisektionens årliga seminarium gick av stapeln den 8 november och handlade i år om "Återkomsttider i samhällsplanering".*

Norra regionkommittén har arrangerat en serie lunchföredrag under hösten om olika pågående vattenrelaterade projekt i norra Sverige. Norra regionkommittén arbetar även med planer på att ordna en regionträff under 2024. Formerna för detta är under framtagande men just nu ser det ut som vi vill prova fysiska möten i fyra lokala HUBBar, men gemensamt inledande föredrag och avslutande diskussion kring ett tema.

## **HÖSTENS LUNCHFÖREDRAG**

### **September: Rening av dagvatten med filterteknik – utvärdering av två anläggningar i Sundsvalls kommun**

Sundsvall vatten har byggt två olika anläggningar för långtgående rening av dagvatten. Den ena anläggningen är ett specialbyggt biofilter och den andra en kompakt anläggning med zeolitfilter. Båda anläggningarna har utvärderats av Luleå tekniska universitet (LTU). Anna Maria Kullberg, dagvattensamordnare på MSVA, berättade om de två olika anläggningarna och de driftserfarenheter som de har så här långt, och gav en sammanfattning av LTU:s utvärderingar.

### **Oktober: Forskning som pågår kring dagvatten och snöhantering**

Det pågår mycket forskning om dagvatten och snö, bl a. inom Vinnovas kompetenscentrum Drizzle och ett flertal nya, aktuella projekt som finansierats av bl a Formas och Naturvårdsverket. Med 45 anställda är VA-teknik på Luleå tekniska universitet, LTU numera en av världens största forskargrupper inom dagvatten. Godecke Blecken, professor på LTU berättade om nya och pågående spännande projekt som LTU har inom området.

### **November: Möjligheter med slampyrolys i norra Sverige**

Vad krävs för att göra slam till resurs och inte en kostnadsbärande? Jonas Hultin, Sweco berättade om grundprinciper och viktiga överväganden för slampyrolys i norra Sverige baserat på försök som gjorts.

### **Reduktion i kommunala markbäddar**

Markbäddar kan vara ett alternativ för kommunal avloppsvattenrening i landsortsområden på grund av lågt tillsynsbehov, låga kostnader och tålighet för varierande belastning. Men vilken

reduktion kan förväntas i en kommunal markbädd? I två projekt med MittSverige Vatten & Avfall som projektägare och Svenskt Vatten som huvudfinansierare har en kommunal markbädd i Nordanstigs kommun undersökts. Elin Ulinder, Forsknings- och utvecklingsingenjör på RISE, presenterade resultat från mätningar av organiskt material, näringsämnen, smittämnen och läkemedelsrester och en jämförelse mellan markbäddens två olika bäddmaterial – naturgrus och bergkross. Reduktion av läkemedelsrester jämfördes med motsvarande reduktion hos ett reningsverk med satsvis biologisk rening i Sundsvalls kommun.

### **December: Teknisk vatten i Boden – en möjliggörare för grön industriomställning**

Vatten är en maktfaktor i den gröna industriomställningen och för framtida samhällsutveckling. Magnus Bäckström, VA-strateg på Bodens kommun berättade om arbetet som bedrivs vid Boden industrial park i samband med etablering av ny grön industri.

# Vatten 2023 i Göteborg

*Föreningen Vatten var med i programkommittén till Vatten 2023.*

*Vi ordnade totalt fyra seminarium.*

Det första seminariet handlade om Vattenhantering vid planläggning. Där presenterades först SOU:n Vattenfrågor vid planläggning och byggande som utreder tre olika vattenfrågor i plan- och bygglagen (PBL): miljö kvalitetsnormer för vatten, dagvatten och dricksvatten. Efter det lyfte Kristina Hall från VA SYD IVA-huvudmäns svårigheter med vattenfrågor vid planläggning. Vattenfrågorna behöver få mer fokus i planeringen av våra städer, men fortfarande finns det mycket brister i stödet vid planläggning. Vilka hinder finns för att kunna genomföra en bra planering ur ett vattenperspektiv? Och vad behöver va-huvudmannen ta fram för underlag för att kunna få till en bra vattenplanering som säkrar inte bara dagens behov utan även framtidens?

Det andra seminariet handlade om morgondagens slamhantering. Under detta seminariepass presenterades ett axplock av hur framtidens slamhantering kan se ut. Mårten Henriksson från Umeva Energi AB presenterar byggnationen av en monoförbränningsanläggning för slam från Norrlands



kommuner. Aleksandra Lazic beskriver den planerade lösningen med torkning och pyrolys vid det nya reningsverket i Margeretelund och Ulrika Bruylant beskriver hur Eskilstunas långsiktiga slamstrategi ser ut.

Under seminariepasset Nya lagkrav pratade Johanna Lindqvist om VA-juridik. VA-juridik är inte ett eget rättsområde och frågorna som hanteras inom området spänner därför över flera olika rättsområden, såsom miljö rätt, plan- och bygglagstiftningen och offentlig rätt. På detta pass pratade även Johanna om nyheter inom VA-juridik. Efter Johanna berättade Föreningen Vattens ordförande Magnus Berglund om praktiska

erfarenheter kring dricksvattenföreskrifterna.

Det sista seminariet handlade om "från reningsverk till resursverk". Överföringen från reningsverk till resursverk behöver omfatta utvecklingen av nya innovativa processlösningar. Vid detta seminariepass fick åhörarna stifta bekantskap med 3 olika intressanta tekniker: Biogasleans lösning om maximering av biogas är en mycket intres-

sant lösning som kan revolutionera vår bransch och Easyminings kväveåtervinningsmetod kan ge ett intressant alternativ till konstgödning. Vi fick även lyssna på Andrea Carranza Munoz från IVL vars doktorandprojekt tar upp möjligheten att nyttja intern kolkälla i stället för extern kolkälla för en förbättrad kväverening vid våra reningsverk.

Föreningen Vatten hade även en monter där man kunde gissa var vattnet kom ifrån. Det var en uppskattad tävling och vinnarna vann en vattenflaska med Föreningen Vattens nya logo.

Tack för alla trevliga samtal med er som kom förbi montern!

## MILJONTALS MÄNNISKOR VID FLODELTAHOTAS AV ÖKADE RISKER

Vår studie visar att många risker faktiskt inte är kopplade till klimatet. Klimatförändringar är en global utmaning men andra viktiga riskfaktorer är lokala problem, till exempel befolkningstäthet och ineffektivt styre, säger forskaren Murray Scown.

Mer än en halv miljard människor lever och livnär sig idag vid olika floddeltan. Ny forskning från Lunds universitet, som inkluderar 49 deltan världen över, avslöjar att dessa områden står inför framtids-hot som kan omkullkasta livet för miljontals människor. Studien visar att befolkningstillväxt och otillräcklig beredskap utgör ett ännu större hot än klimatförändringarna, särskilt i Asien och Afrika.

Om deltaområden kollapsar kan det få enorma konsekvenser för global, hållbar utveckling. I värsta fall kan de gå förlorade till havet, andra konsekvenser är översvämningar, ökade salthalter i vatten, vilket kan påverka jordbruket, och förlust av ekosystem.

– Vår studie visar att många risker faktiskt inte är kopplade till klimatet. Klimatförändringar är en global utmaning men andra viktiga riskfaktorer är lokala problem, till exempel befolkningstäthet och ineffektivt styre. Riskerna för deltan kommer bara att öka med tiden, så det är nu vi måste agera, säger Murray Scown, biträdande universitetslektor vid Lund University Centre for Sustainability Studies, LUCSUS.

Forskarna har studerat 49 deltan i olika delar av världen och analyserat dem mot bakgrund av fem IPCC-scenarier för framtida global utveckling. Studien omfattar såväl kända liksom mer understuderade deltan, och identifierar möjliga risker för deltan som kan inträffa inom 80 år.

### Asiatiska megadeltan riskerar kollaps

Analysen visar att vissa risker är mer kritiska än andra – oavsett vilket framtidsscenario forskarna utgick ifrån. De omfattar: havsnivåhöjning, befolkningstäthet, ineffektiv styrning, ekonomisk kapacitet, sänkningar av markytan och jordbruksexpansion.

För vissa deltan är de fysiska riskerna särskilt uttalade: att markytan sänks är den högsta riskfaktorn för Mekongdeltat i Vietnam. Extrema havsnivåer är bland de mest oroväckande riskfaktorerna för deltan i Kina, på den koreanska halvön, och för Colorado- och Rhendeltana som ligger i Mexiko, respektive i Nederländerna.

I Nildeltat i Egypten, Nigerdeltat i Niger och Gangesdeltat i Bangladesh utgör den ökande befolkningstätheten det största hotet i vissa IPCC scenarier. För andra deltan är det i stället bristen på ekonomisk kapacitet och ineffektiv styrning som påverkar mest, exempelvis i Irrawaddydeltat i Myanmar och i Kongodeltat i Angola och i Demokratiska republiken Kongo.

– Sammantaget är det de asiatiska megadeltana som löper störst risk för kollaps, med konsekvenser för miljontals människor och för

miljön. De är under press från befolkningstillväxt, intensivt jordbruk, havsnivåhöjning och bristande beredskap, säger Murray Scown.

### En mix av klimatanpassningsåtgärder kommer krävas

Forskarna bakom studien framhåller att olika klimatanpassningsåtgärder kommer att behövas för att stävja och hantera olika riskfaktorer. De omfattar såväl infrastruktur som havsvallar, för att förhindra översvämningar, liksom olika naturbaserade lösningar. En åtgärd, som har använts i Rhendeltat, är att konstruera speciella landtytor som kan svämma över för att ge plats åt floden. Andra åtgärder fokuserar på att höja landnivån genom att använda flodsediment för att bygga upp deltan.

– I stället för att luta sig tillbaka måste regeringar tänka långsiktigt och lägga upp planer för att minska eller mildra risker. I Mekongdeltat, till exempel, gör den vietnamesiska regeringen stora ansträngningar för att begränsa framtida grundvattenutvinning i deltat för att minska sänkning av markytan och försaltning. Genom att analysera inte bara ett fåtal, utan 49 olika deltan, vill vi belysa vad som kan hända på global nivå om vi inte hanterar dessa risker. Studien kan också komplettera forskning på enskilda deltan, och identifiera insatser som behövs göras i mindre studerade deltan som Saõ Francisco i Brasilien eller Volta i Ghana, säger Murray Scown.

Lunds universitet  
2023-11-21

**RISE LEDER  
FORSKNING FÖR  
EFFEKTIVISERING AV  
VATTENANVÄNDNING  
I SVENSKA HUSHÅLL**

Den ökande bristen på vatten till följd av klimatförändringar och kapacitetsbrister i dricksvattenförsörjningssystemen har satt strålkastarljus på behovet av att effektivisera vattenanvändningen i hushåll runt om i Sverige. För att ta itu med denna utmaning tar nu RISE ledningen i ett projekt som syftar till att implementera och utvärdera lösningar för att minska vattenanvändningen.

- Vatten är en av våra mest värdefulla naturresurser, och med ökande påfrestningar på våra vattenförsörjningssystem är det avgörande att vi tar ansvar för att använda vatten på ett mer effektivt sätt. Vårt projekt är inriktat på att implementera och utvärdera olika kombinationer av lösningar för att minska vattenanvändningen i svenska hushåll. Genom att kombinera tekniska innovationer med beteendeförändringar vill vi skapa en grund för vattenbesparingar, säger Josefine Klingberg, projektledare på RISE.

Projektet, som involverar samarbete mellan flera aktörer i dricksvattnets värdekedja, kommer att omfatta flera fallstudier med familjer boende i villor och flerfamiljshus.

- I dessa studier kommer vi att undersöka en rad etablerade och nyare tekniska lösningar i kombination med kommunikationsstrategier för att påverka beteenden, säger Klingberg.

Genom att analysera resultaten

med hänsyn till bland annat användarupplevelse, juridiska och ekonomiska aspekter samt möjligheter till uppskalning kommer forskningsprojektet identifiera både målkonflikter och också samordna aktörerna som ingår eller har möjlighet att påverka systemet.

Delaktiga i projektet är Kungälv kommun, Laholmsbuktens VA, Värmdö kommun, Chalmers tekniska högskola AB, Ecoloop AB, IKEA of Sweden AB, Villeroy & Boch Gustavsberg AB och FM Mattsson AB.

*RISE  
2023-11-14*

**STRESSADE BAKTERIER HAR SVÅRT ATT ANPASSA SIG TILL TEMPERATURFÖRÄNDRINGAR**

Forskning vid en långtidsuppvärmd vik utanför Oskarshamn ger en sällsynt inblick i hur Östersjöns kustområden kommer att påverkas av klimatförändringar. Här har kylvatten från det närliggande kärnkraftverket höjt medeltemperaturen med i genomsnitt fem grader i 50 års tid. Ny forskning visar att den långvariga uppvärmningen stressar viktiga bakterier och gör ekosystemet mer sårbart.

Kombinationen av varmare och mer ostadigt klimat som väntas Östersjöns kustområden i framtiden bådär illa för de bakteriesamhällen som lever i bottensedimenten, och vars funktioner är viktiga för att behålla stabilitet i ekosystemet.

När medeltemperaturen stiger tappar nämligen bakterierna förmågan att anpassa sig till plötsliga temperaturförändringar, såsom värmeböljor, visar en ny experimentstudie som publicerats i den ansedda tidskriften ISME Journal.

- Trots att det har gått 50 år sedan temperaturen höjdes i viken har bakteriesamhällena som vi studerar inte lyckats anpassa sig fullt ut till det varmare klimatet. De är under konstant stress, vilket gör dem sämre på att hantera plötsliga temperaturskillnader, förklarar Anders Forsman, professor vid institutionen för biologi och miljö och en av medförfattarna till studien.

**Simulerar framtida väderfenomen**

I studien har forskarna bland annat undersökt hur mikroorganismerna som lever i den långtidsuppvärmda vikens bottensediment reagerar på simulerade värmeböljor i laboratoriemiljö. I nio dagar utsattes proverna för temperaturer mellan 6 och 35 grader, medan aktiviteten i bakteriesamhällena detaljstuderades. Mönstren jämfördes med prover från en närliggande opåverkad vik som också ingick i experimentet.

- Mycket av forskningen om effekter av klimatförändringar i akvatiska miljöer har bedrivits i laboratoriemiljö med enskilda eller ett fåtal arter som studeras på detaljnivå. Den långvariga uppvärmningen i viken utanför Oskarshamn gör att forskarna kan studera ett helt ekosystem i ett realistiskt framtidsscenario, förklarar medförfattaren professor Mark Dopson.



Resultaten visar att sammansättningen, artrikedomen och produktiviteten i bakteriesamhällen från den uppvärmda viken inte svarar på temperatur på samma sätt som i den intilliggande viken, där medeltemperaturen är mer normal.

Forskningsresultaten har nyligen presenterats för det amerikanska energidepartementet och en längre nyhet om studien finns att läsa på Lnu.se.

*Linnéuniversitetet  
2023-11-13*

## **FORSKARE SKA STUDERA VARFÖR DRABBADE VÄLJER ATT BO KVAR TROTS KLIMATHOT**

Vad får människor att stanna kvar på en plats trots återkommande stormar, översvämningar och skyfall? Med vetskapen om att deras hem hotas av klimatförändringar? Denna fråga är i fokus för ett nytt forskningsprojekt som ska undersöka vad som ligger bakom dessa val, och hur de kan komma att påverka framtida klimatanpassningsåtgärder.

– Klimatanpassning ses ofta som något väldigt tekniskt, till exempel infrastruktur som skyddsvalar eller omplacering av hus. Men det handlar minst lika mycket om existentiella frågor. Har vi rätt att bo kvar? Och vad är vi beredda att offra? Väljer du att lämna efter fem översvämningar eller tre stormar? Eller stannar du oavsett? Detta kommer att skilja sig åt mellan

olika grupper, och därför behöver vi mer kunskap, säger Professor Emily Boyd, föreståndare för Lund University Centre for Sustainability Studies, LUCSUS.

Hon leder ett nytt forskningsprojekt som omfattar studier, fältstudier och intervjuer med boenden på fem olika platser i världen. Städer och områden som alla har drabbats av olika väderhändelser, och i framtiden löper risk att påverkas av både havsnivåhöjningar och erosion: Malmö och Falsterbo i Sverige, Belém i Brasilien, Beira i Moçambique, Freeport på Bahamas och Voltadelat i Ghana.

### **Platsens betydelse undersöks**

Hon och hennes kollegor vill lyfta fram vad som knyter människor till en plats för att skapa en förstående kring hur samhällen kan fortleva under klimathot. Liksom forskning som visar att många aktivt väljer att bo kvar på landsbygden, eller forskning som visar att migranter tenderar att bo kvar på det ställe de först flyttar till, vill projektet ifrågasätta tesen att det är självklart att lämna en plats som tycks vara oattraktiv om bara möjligheterna finns, eller om man får en högre socioekonomisk status. Därmed vill forskarna nyanseera bilden av en framtid där miljoner av människor är på flykt på grund av ett förändrat klimat.

– Har du någonsin funderat på varför vissa människor aldrig lämnar den stad eller den plats där de föddes? Och varför andra lämnar så fort de kan, eller återvänder i vuxen ålder?, säger Emily Boyd.

Hon tror att intervjuvären kommer att handla om mer än att de boende inte har råd att lämna eller saknar alternativ att flytta till, att de har starka nätverk och familj som håller dem kvar, eller försäkringar som gör att de kan bygga upp sina hus igen om de förstörs.

– Vi tror att vi vet vad som motiverar människor, men det är ofta mer komplext än så. Därför vill vi prata med de som bor på dessa ställen. Vilka är deras tankar inför framtiden, deras förhoppningar och drömmar? Vad betyder ett lyckligt liv för dem? säger Emily Boyd.

### **Av betydelse för klimatanpassning**

Resultaten från projektet kan få stor betydelse för framtida klimatanpassningsåtgärder menar Emily Boyd. Specifikt åtgärder som handlar om att flytta människor från områden som riskerar att bli oboeliga i takt med att havsnivån stiger, eller återkommande stormar och översvämningar. Förstår vi inte varför människor stannar kvar, och vad de behöver för att leva meningsfulla liv, kommer det också att bli svårt att förmå grupper att flytta, påpekar hon.

– Vi måste kanske börja tänka om inom klimatanpassning, och utgå från att människor vill stanna istället för att flytta på sig. Har vi ett sådant perspektiv kan det öppna upp för olika sorts åtgärder, där omlokalisering ses som sista alternativet.

Att stadsplanerare och organisationer har en dialog med de boende är allra viktigast, menar Emily

Boyd. En sådan dialog kan ge nya perspektiv på hur samhällen bäst kan rusta sig för framtiden, under olika förutsättningar. Speciellt eftersom det kan komma att bli allt svårare att försäkra hus i utsatta områden, och att denna möjlighet inte finns i många delar av världen.

*Lunds universitet  
2023-11-08*

## NANOPARTIKLAR KAN BLI MINDRE GIFTIGA I VATTENMILJÖ

Att inte ha backat tillbaka i sina ambitioner, och att ha vågat satsa på experiment som var komplexa och tog lång tid att genomföra. Det är vad forskaren Tommy Cedervall är mest stolt över när han nu summerar det nyligen avslutade projektet Mistra Environmental Nanosafety. Åtta års finansiering om nanomaterials påverkan på akvatiska miljöer, organismer och celler har möjliggjort experiment och studier som annars aldrig hade gått att sälja in till en finansär.

– Vi har kunnat arbeta med samma sorts nanopartiklar i olika försök, och haft möjlighet att utveckla frågeställningar. Vi har till exempel gått från att testa partiklars påverkan på zooplankton och celler, i korttidsförsök till att genomföra komplexa långtidsstudier, säger Tommy Cedervall, som är forskare vid Biokemi och strukturbologi.

### Partiklar blir mindre toxiska

Ett av programmets viktigaste resultat är att olika metall- och plast-

partiklar blir mindre toxiska i kontakt med alger och annat organiskt material. Det beror på att det formas ett lager av molekyler runt partiklarna som minskar deras negativa påverkan på daphnier och olika sorts fiskceller. Dessa resultat är positiva för miljön eftersom det betyder att partiklar kanske är mindre skadliga för djur och natur än vad man tidigare trott. Ett annat resultat är att många nanopartiklar tycks försvinna snabbt ute i naturen.

Samtidigt har programmet identifierat att det finns stora skillnader i toxicitet beroende på om man gör korttidsförsök med höga koncentrationer på zooplankton och celler under 24 timmar, vilket idag är standard inom industrin, jämfört med långtidsstudier med lägre koncentrationer. Partiklar som inte var toxiska i de korta studierna, visade sig vara dödliga i de längre försöken.

– Långtidsförsöken visar att vi inte kan vara säkra på att något inte är farligt bara för att det inte är det i korttidstest. För oss var det viktigt att göra dessa tester eftersom de i större utsträckning efterliknar naturliga förhållanden. Det är mer troligt att akvatiska organismer utsätts för lägre koncentrationer under en längre tid, än högre koncentrationer under kortare tid.

### Testning i tolv våtmarker

Andra viktiga bidrag till forskningen är uppbyggnaden av tolv våtmarker för att testa hur olika partiklar sprids i och tas upp av alger, zooplankton och bottenlevande gråsuggor. Våtmarksexperimenten,

som letts av professor Lars-Anders Hansson vid Akvatisk ekologi, tog ett år att genomföra. De visar att polystyren-nanopartiklar tenderar att stanna kvar där de släpps ut och att de tas upp av gråsuggor, zooplankton och vissa alger, vilket på sikt kan leda till förändringar i art sammansättningen.

Tommy Cedervall är stolt över programmets bidrag till forskningen. Speciellt att forskarna, som kommer från sex olika universitet, har kunnat samarbeta kring experiment. Exempelvis användes samma partiklar i våtmarksexperimenten som i en design av en helt ny modell för att analysera vad som händer med partiklarna i kontakt med miljön. Simuleringarna visar att saltvatten ökar inbindningen, jämfört med sjövattnet, av naturligt förekommande material, vilket kan göra partiklarna mindre toxiska.

### Sällan man kan forska så grundligt

Åtta års finansiering har även tillåtit dem att forska färdigt om en fråga, menar han. Nu vet de tillräckligt om vilken potentiell skada plastpartiklar faktiskt kan bidra till. Det är en speciell känsla, eftersom det är väldigt sällan man som forskare tillåts att grundligt utforska ett område.

– Nanoplaster kan göra skada, även om de kanske inte finns kvar så länge i naturen, och verkar bli mindre toxiska med tiden. Nästa steg borde kanske handla om vad som händer i slutskedet, när det kan bildas många små molekyler från nanopartiklar inklusive nanoplasters nedbrytning.

Just detta arbete kommer inte att bli Tommy Cedervalls uppgift. Näst på tur att analysera för hans del är om det är möjligt att accelerera UV-inducerad nedbrytning av plaster och om slutprodukterna i så fall påverkar naturen.

*Lunds universitet  
2023-10-26*

## Ambiductor

### SMARTARE HANTERING AV MÄTDATA AVSLÖJAR SVAGHETERNA I VA-NÄTET

Behovet av investeringar i de kommunala VA-näten är omfattande och kostnaderna för service och underhåll ökar. För att möta utmaningarna och skapa en bättre bild av vilka åtgärder som bör prioriteras har svenska VAbolag utvecklat ett nytt system för hantering av mätdata i samarbete med teknikföretaget Ambiductor. En demoverision av analysverktyget Ambisolution visas upp på vattenmässan i Göteborg den 24-26 oktober.

– AmbiSolution är en plattform som validerar, presenterar och exporterar all data från mätare och andra sensorer. Vi kommer att ha en livedemo där man kan få se historiska data och momentan mätning via en faktisk demoanläggning i hallen, berättar Kalle Hultman, vd på Ambiductor.

AmbiSolution har utvecklats i samarbete med svenska VA-bolag för att lösa de många svåra uppgifter branschen står inför.

– Med stora investeringsbehov i distributionsnäten, många och

kostsamma läckage och låg nivå av digitalisering är behovet mycket stort av ett system som kan möta dessa utmaningar, förklarar Kalle Hultman.

Han poängterar att Ambisolution inte ska jämföras med allmänna IoT-plattformar som bara samlar in och visualiserar data.

– All data valideras och sparas tidsstyrt för flera års framtida behov. Data ägs av kunden och kan långtidslagras på en server inom den egna organisationen. Data förädlas för att hitta samband, anomalier och minskar behovet av rondering och fel fokuserade serviceinsatser.

VA-bolagen får genom systemet möjlighet att utföra läcksökning i nätet för att både detektera och lokalisera åtgärder. Alla mätare kan delas in i zoner för anpassad analys och visualisering. Zoner kan även innehålla andra sensorer såsom tryckgivare, tempgivare, turbiditetsgivare och regnmätare.

– Vi märker ett växande intresse för våra produkter och system som bygger på öppenhet och fabriksberoende. Mässan ger oss möjlighet att visa på styrkan med LoRa-tekniken där vi idag är branschledande samt nya sätt för våra kunder att hantera den insamlade datan för att spara resurser och utveckla verksamheten.

*Ambiductor  
2023-10-19*

## WWF

### DEN GLOBALA VATTENKRISEN – EN DYR AFFÄR FÖR VÅR LIVSMEDELS- PRODUKTION

Sötvatten behövs för allt liv på jorden, men spelar också en avgörande roll för vår ekonomi. Enligt en ny WWF-rapport uppgår det ekonomiska värdet genererat av världens alla sötvattensmiljöer till 58 biljoner dollar, lika mycket som 60 procent av världens samlade BNP. Men sjöar, floder, våtmarker och grundvatten hotas i allt högre grad.

– Värdet av sötvatten för vår miljö, hälsa, livsmedelsproduktion och ekonomi är enormt. Det är nu hög tid för regeringar och hela samhället att förstå att den globala vattenkrisen är här. Vi måste investera för att skydda vårt livsviktiga sötvatten, säger Gustaf Lind, generalsekreterare WWF.

Under de senaste 50 åren har världen förlorat en tredjedel av sina våtmarker och endast en tredjedel av världens långa floder är fortfarande fritt strömmande. Samtidigt hotas en tredjedel av alla sötvattensarter av utrotning. Denna katastrofala utveckling har bidragit till att allt fler människor drabbas av vattenbrist och osäker livsmedelsförsörjning när floder och sjöar torkar ut, föroreningarna ökar och även viktiga livsmedelskällor som till exempel sötvattensfisk minskar.

Som privatperson kan du minska din påverkan på biologisk mångfald och vattenåtgång genom dina vardagsinköp. Många svenskar köper importerade jordgubbar, blåbär och tomater. Stor del av dessa odlas i det spanska våtmarks-

området, världsarvet Doñana. Ett område känt för sin artrikedom och fantastiska fågelliv men som nu håller på att torka ut på grund av allt för intensivt och ibland även illegalt uttag av vatten till konstbevattning.

– Genom att undvika produkter som mandlar eller avokado, som ofta är odlade i områden där risken för påverkan på vatten är hög, samt köpa mer frukt och grönt i säsong kan den enskilde konsumenten bidra till att minska trycket på viktiga sötvattensmiljöer, säger Anna Richert, matexpert på WWF.

Även här i Sverige har vi rationaliserat jord- och skogsbruk och då förändrat vattnets naturliga väg genom landskapet. Exempelvis har en fjärdedel av Sveriges våtmarker dikats ut, vilket har gjort att livsmiljöer för djur och växter försvunnit. Det har också lett till att landskapets förmåga att buffra vatten över tid har försämrats.

– Allt fler kommuner upplever vattenbrist och låga grundvattennivåer. Utan tillgång till vatten kommer lantbruket i framtiden inte klara av att producera tillräckligt med livsmedel. Bara försommarens torka orsakade skördeförsturer på minst 20 procent, samtidigt som sensommarens stora regnmängder har inneburit en ekonomisk chock för många lantbrukare, säger Mats Johansson, vattenexpert på WWF.

För att kunna hantera och lösa vattenkrisen spelar livsmedel- och jordbrukssektorn en avgörande roll. Idag står jordbruket för cirka 70 procent av den globala vattenanvändningen, där konstbevatt-

ning utgör en stor del. I Sverige kommer vi precis som i stora delar av Sydeuropa behöva bevattna allt större arealer i jordbruket för att klara de allt oftare återkommande och längre perioderna med torka. Det kommer att kräva stora investeringar i jordbruket, men är också en chans att få till stånd robusta och långsiktig hållbara lösningar som kan bidra till att återställa och öka den biologiska mångfalden.

### Om rapporten:

Rapporten är den första i sitt slag att beräkna det ekonomiska värdet genererat av världens sötvattensmiljöer: 58 biljoner dollar per år (jämförbart med 60 procent av världens samlade BNP). Rapporten beskriver hur dessa värden hotas i allt högre grad och belyser hur investeringar i bättre vattenförvaltning och friska floder, sjöar, våtmarker och grundvatten är avgörande för att säkerställa vatten- och livsmedels säkerhet, minska katastrofrisker samt hantera klimat- och naturkriser.

### Om beräkningen:

Modellen fokuserar på de direkta och indirekta ekonomiska värdena av sötvattensmiljöer, som är monetärt kvantifierbara. Beräkningarna baseras på etablerade metoder och bygger på källor som använder bästa tillgängliga data om olika ekonomiska värden av sötvatten eller de bästa estimaten där data är begränsat eller inte tillgängligt.

Syftet med analysen är att ge en mer heltäckande bild av det ekonomiska nyttjandevärdet av sötvattenresurser. Rapporten esti-

merar det ekonomiska nyttjandevärdet genererat av sötvatten som (1) globalt (2) en ögonblicksbild av det årliga värdet 2021, (3) inkluderar floder, sjöar, reservoarer och våtmarker (kärr, mossar, träsk, torvmarker) och (4) mätt i monetära termer (US dollar), med användning av 2021-års penningvärde (US dollar), korrigerat för inflation. Analysen använder ett totalt ekonomiskt värde (TEV) för att beräkna värden för flera delkomponenter, och aggregeras sedan till ett totalt värde. Detta inkluderar a) värden för direkt användning, inklusive konsumtions- och icke-konsumtionsanvändning, och (b) indirekta användningsvärden, inklusive biologisk mångfald, skydd mot extrema händelser och miljöreglering.

Sötvattensmiljöer är dessutom sammankopplade till ekosystem i flodmyrningar och hav, inklusive andra oerhört värdefulla ekosystem som mangrove och koraller. Även om rapporten betonar hur sötvattensmiljöernas hälsa påverkar ekosystemen nedströms, försöker den inte kvantifiera dessa värden.

Det verkliga värdet av vatten och sötvattens ekosystem är ovärderligt eftersom vi inte kan leva utan vatten. Att estimerar det ekonomiska värdet av ekosystemtjänster innebär inte att sötvattensmiljöer bör monetariserar eller kommersialiseras.

Siffran 58 biljoner dollar kommer förhoppningsvis att hjälpa beslutsfattarna att inse värdet av vatten och sötvattens ekosystem – och det brådskande behovet av åtgärder för att skydda dem. Rapporten

beskriver siffran 58 biljoner dollar som likvärdigt med 60 procent av världens samlade BNP, det betyder inte att sötvatten står för 60 procent av BNP.

WWF  
2023-10-16

## Viable Cities

### LUND OCH STOCKHOLM I NY, KRAFTFULL KLIMAT-SATSNING

Nu tar klimatomställningen i Sverige ett stort kliv framåt. Lunds kommun och Stockholms stad har blivit beviljade medel för att utveckla ett kraftfullt verktyg för omställningen till klimatneutrala städer.

Omställningen som krävs för att skapa hållbara och klimatneutrala samhällen till 2030 kräver nya, djärva arbetssätt för att i grunden förändra våra sociala och ekonomiska system. För att hitta dessa nya vägar har Viable Cities och Vinnova tillsammans med ett antal pionjärstäder och andra nyckelaktörer satt igång utvecklingen av verktyget Systemdemonstratorer för klimatneutrala städer.

Nu är det klart vilka två städer som får medel att planera för systemdemonstratorer som kan bana väg för omställning i många städer: Lunds kommun och Stockholms stad. Lund och Stockholm finns med bland 23 städer i Sverige och 112 städer i Europa som mobiliserar kring missionen om klimatneutrala städer till 2030. Denna nya satsning är en del i denna mobilisering.

### Helhetsgrepp på komplexa utmaningar

Lunds kommun får medel för att planera en systemdemonstrator, CoAction Lund, i nordöstra delen av staden. Distriktet runt Brunns- hög, Ideon och Medicon Village är ett av Sveriges mest arbetsplatstäta områden med mycket trafik. Där ska de, tillsammans med en rad medaktörer, skapa ett mobilitets- system med minskade utsläpp och samtidigt behålla tillgängligheten. Mobilitetssystemet ska också kopplas till ett klimat neutralt energisystem i området.

– Intresset från olika aktörer i Lund har varit jättestort. Att så många organisationer här är beredda att göra vad som krävs och vill vara med i en sådan här satsning är väldigt roligt. När vi arbetar tillsammans i stor skala och tar ett krafttag kring svåra frågor som parkering, beteende och delning av energi kan vi nå målet om ett klimat neutralt Lund 2030, säger Markus Paulsson, projektledare för CoAction Lund.

I systemdemonstratorn Snabb- sam kommer Stockholms stad och dess partners att arbeta för en omfattande omställning av resvanor, ytanvändning och fordonsflotta i Stockholms innerstad. Detta som ett steg på vägen mot en utsläppsfri innerstad och ett klimatpositivt Stockholm 2030. I Snabbsam ska den miljözon som planeras i centrala Stockholm nyttjas både som motor och möjlighetsfönster i strävan mot ett transporteffektivt och utsläppsfritt transportsystem som på sikt sträcker sig långt utanför zonen gräns.

– För att minska utsläppen från transportsektorn och samtidigt höja livskvaliteten för de som bor och verkar i Stockholm krävs bred samverkan, mod och systemförståelse. För oss är Snabbsam ett ypperligt sammanhang att få till allt detta genom dialog, samarbete och gemensamt handlande med näringsliv, allmänhet och akademi. Tillsammans gör vi Stockholm till en mer attraktiv plats och bidrar med ett mindre klimatavtryck globalt, säger Gunilla Glantz, trafikdirektör, Stockholms stad.

### Vad är en systemdemonstrator?

Systemdemonstratorerna är tänkta att ta ett helhetsgrepp på komplexa utmaningar, som till exempel de i satsningarna ovan: utsläppsfria transporter, utsläppsfria områden och energipositiva stadsdelar. För att genomdriva förändringar inom sådana enorma områden behöver alla aktörer i samhället som berörs mobiliseras – näringsliv, myndigheter, kommun, region, civilsamhälle och akademi.

Dessutom behöver all kunskap som arbetet ger samlas så att insiktarna kan komma till nytta och bana väg för omställning på många platser, i Sverige och världen. De ska bidra till att skapa det "nya normala" inom kritiska områden, för att påskynda och stärka övergången till klimatneutralitet.

– Vi har tagit ett stort kliv närmare klimatneutrala städer nu när planeringen för två systemdemonstratorer kan sätta igång på riktigt. Vår ambition är att många städer runt om i Sverige och världen

kommer att kunna öka takten för omställningen tack vare detta, säger Viable Cities programchef Olga Kordas.

– Lund och Stockholm går nu i bräschen för städernas klimatomställning. Deras arbete i dessa satsningar kommer att generera kunskaper om hur omställningen kan gå till i praktiken, som andra städer kan dra nytta av. Det handlar bland annat om hur olika aktörer i samhället kan mobiliseras, nya sätt att arbeta med innovation och hur vi utnyttjar digitaliseringens möjligheter, säger Darja Isaksson, generaldirektör för Vinnova.

### FAKTA

- Idén om att utveckla verktyget Systemdemonstratorer för klimatneutrala städer har initierats av Viable Cities och Vinnova som en del i arbetet med mission Klimatneutrala städer 2030.
- Den har utforskats i en samskapande process mellan städerna i Viable Cities satsning Klimatneutrala städer 2030, de övriga myndigheter som ingår i samma satsning samt andra nyckelaktörer.
- Planeringsfasen för de två systemdemonstratorerna, i Lunds kommun och Stockholms stad,

kommer att pågå till sommaren 2024. Under denna fas kommer de att utveckla ramar och förutsättningar för att genomföra sina systemdemonstratorer.

- Under våren 2024 kommer de att kunna söka medel för implementering av dem 2024-2027.
- Den totala budgeten för genomförandet är 60 miljoner kronor för de tre åren, varav Viable Cities och Vinnova står för hälften av summan.

*Viable Cities  
2023-10-12*



# Litteratur

## Rapporter

### SNV

Naturvårdsverket har publicerat:

*OBS – samtliga rapporter finns även som PDF på [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)*

MIXiT: Towards quantifying impacts of microplastics on environmental and human health.  
978-91-620-7105-9

Naturen som kraftkälla. Om hur och varför naturen påverkar hälsan  
978-91-620-7116-5

Effektstudier av Naturvårdsverkets Miljöforskningsanslag  
978-91-620-7117-2

### HAV

Havs och Vattenmyndigheten har publicerat:

*OBS – samtliga rapporter finns även som PDF på [www.havochvatten.se](http://www.havochvatten.se)*

Vägledning för hydromorfologiska kvalitetsfaktorer enligt HVMFS 2019:25  
Bedömningsgrunder för sjöar, vattendrag, kustvatten och vatten i övergångszon.  
2023-9

Kartläggning av samrådsstrukturer inom fiskförvaltning i Sverige.  
2023:11

### SVU

Svenskt Vatten Utveckling har publicerat  
*OBS – rapporterna finns normalt som PDF under [www.svenskvatten.se](http://www.svenskvatten.se)*

Säkerhetshandbok för VA-verksamhet.  
P118

## Böcker

Hellberg, S., F. Söderbaum, A. Swain, J. Öjendal.  
Routledge Handbook of Water and Development.  
Routledge.  
9780367558765, Nov. 2023, £153.75

Wu, W. Sediment Transport Dynamics. CRC Press.  
9781032380285, Nov. 2023, £142.50

Roy, S., T.A. Tran, Z.Z. Chowdhury, Prathibha B.S. (Editors). Wastewater Treatment Using Green Synthesis. CRC Press.  
9781032379661, Nov. 2023, £86.25

Garg, V.K., A. Pandey, N. Kataria, C. Faggio (Editors). Pharmaceuticals in Aquatic Environments. Remediation Technologies and Future Challenges. CRC Press.  
9781032557632, Nov. 2023, £120.00

Holyoke, T.T. Water Politics. The Fragmentation of Western Water Policy. Routledge.  
9781032377292, Nov. 2023, £97.50



# Grönområdets och designregns påverkan på avrinningskoefficienter för dimensionering av dagvattenanläggningar

## Effects of green areas and design rains on runoff coefficients for design of stormwater facilities



Thomas Larm<sup>1</sup>, Anna Wahlsten<sup>1</sup>, Johan Kjellin<sup>2</sup>, Sara Ekeroth<sup>3</sup>, Jimmy Olsson<sup>4</sup>, Ico Broekhuizen<sup>5</sup>

<sup>1</sup> StormTac, Närkesgatan 8, 116 40 Stockholm, thomas.larm@stormtac.com, anna.wahlsten@stormtac.com

<sup>2</sup> Tyréns, Sturegatan 4, 784 31 Borlänge, johan.kjellin@tyrens.se

<sup>3</sup> Tyréns, Kungsängsgatan 5A, 1tr, 753 22 Uppsala, sara.ekeroth@tyrens.se

<sup>4</sup> Tyréns, Prästgatan 51, 831 34 Östersund, jimmy.olsson@tyrens.se

<sup>5</sup> Luleå Tekniska Universitet, 97187 Luleå, ico.broekhuizen@ltu.se

### Abstract

The effects of green areas on design flow ( $Q_{dim}$ ) and required flow detention volume ( $V_d$ ) were studied for different transport times, rain durations and rain intensities. The StormTac Web model was used for the calculations on a 36 ha urban catchment with green areas. Simulated runoff coefficients from different rain intensities and rain durations were used as input data, as well as new functions from literature data. The effects of 9 calculation cases were studied, where the following factors resulted in greater to smaller impact: (1) Return time; (2) Green areas, generally; (3) Average runoff coefficient, general uncertainty; (4) Functions impermeability-runoff coefficient; (5) Climate factor; (6) Linear function for green areas, rain intensity; (7) The Curve number method; (8) Rural and urban function, rain intensity and (9) Rain intensity. The same order of impact was valid for  $V_d$  except for the Curve number method which gives the 3rd largest and Rural and urban function the 5th largest impact. The variation of different specific assumptions regarding green areas and runoff coefficients gave  $Q_{dim} = 1\ 600\text{--}2\ 700$  l/s and  $V_d = 530\text{--}3\ 600$  m<sup>3</sup>, so the assumptions made in the calculations have a clear impact. The new functions for which the runoff coefficients are not static but varying with rain intensity and rain durations are recommended for further studies.

**Key words:** design flow detention volume runoff coefficients rain intensity

### Sammanfattning

Gröna ytors påverkan på dimensionerande flöden ( $Q_{dim}$ ) och erforderlig fördröjningsvolym ( $V_d$ ) studerades vid olika rinntider, regnvaraktigheter och regnintensiteter. Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web användes för beräkningarna på ett 36 ha stort urbant avrinningsområde med grönytor. Modellerade avrinnings-



koefficienter från olika regnintensiteter och regnvaraktigheter användes som indata, liksom nya samband baserade på data från litteraturstudier. Påverkan av 9 beräkningsfall med olika antaganden simulerades, där följande i storleksordning gav störst till minst påverkan på  $Q_{dim}$ : (1) Återkomsttid; (2) Grönytor, generell; (3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet; (4) Samband impermeabilitet-avrinningskoefficient; (5) Klimatfaktor; (6) Linjär funktion för grönytor, regnintensitet; (7) Kurvnummer-metoden, (8) Rural och urban funktion, regnintensitet och (9) Regnintensitet. Samma påverkansordning gällde för  $V_d$  utom för Kurvnummer-metoden med 3e största och Rural och urban funktion med 5e största påverkan. Variationen av olika specifika antaganden kring gröna ytor och avrinningskoefficienter gav  $Q_{dim} = 1\ 600\text{--}2\ 700\ \text{l/s}$  och  $V_d = 530\text{--}3\ 600\ \text{m}^3$ , så det spelar stor roll vilka antaganden som görs. De nya sambanden för vilka avrinningskoefficienterna inte är statistiska utan varierande med regnintensitet och regnvaraktighet rekommenderas att utredas vidare.

## Introduktion

Generellt bedöms en stor andel av äldre befintliga separata dagvattenledningar i Sverige vara dimensionerade för ett 2-årsregn. Sedan dess har det förtätats i många av dessa områden och i många fall utan att anlägga motsvarande erforderliga fördröjningsåtgärder eller åtgärder för att öka kapaciteten i mottagande ledningsnät. Detta samt klimatpåverkan medför att många ledningar idag inte ens klarar 2-årsregnet som det var beskaffat då, vilket ökar risken för alltmer frekventa översvämningar.

I många fall har, i brist på kunskap och data, de dimensionerande flödena inte beräknats med hänsyn till bidrag från gröna ytor, som ibland kan bidra till ökade flöden vid dimensionerande regn. Gröna ytors bidrag till ökade dimensionerande flöden beror på markförhållanden (Broekhuizen et al., 2019), markmättnad (Davidsen et al., 2018) och rinnsträckor med olika påverkan beroende på vilken rinntid som blir dimensionerande för flöden i ledningen och vilken regnvaraktighet som blir dimensionerande för en fördröjningsanläggning. För olika grönytor blir det olika faktorer som blir dimensionerande, något som det normalt ej har tagits hänsyn till vid dimensioneringen. Utöver olika antaganden för grönytor i området finns det flera andra faktorer som kan påverka beräknad dimensionerade flöde, däribland val av återkomsttid, klimatfaktor, och sättet att bestämma regnintensiteten. Det är dock oklart hur stor påverkan de olika faktorerna har relativt varandra, och därför är syftet med denna artikel att utreda detta.

Denna studie genomfördes inom det Vinnova-finansierade projektet SECURE i ett samarbete mellan

StormTac, Tyréns och Luleå tekniska universitet. I en litteraturstudie (Larm et al., 2023) jämfördes vanligen använda beräkningsmetoder och dimensionerande regn samt återkomsttider och klimateffekter, avseende deras påverkan på dimensionering av transportsystem och dagvattenanläggningar för flödesutjämning. Litteraturstudien kom fram till att avrinningskoefficienten är den mest osäkra parametern som även slår mest på resulterande dimensionerande flöde och erforderlig fördröjningsvolym. Förslag togs fram på nya avrinningskoefficienter inklusive en ny föreslagen metod för beräkning av avrinningskoefficienter som funktion av återkomsttid (år) respektive regnintensitet (l/s/ha), den senare specifikt för regnvaraktigheterna 10 och 15 min. Både den föreslagna beräkningsgången och de data som användes för de föreslagna sambanden mellan regnintensitet och avrinningskoefficienter från litteraturstudien utreddes vidare avseende hur regnintensitet och andra faktorer påverkar avrinningskoefficienten. Särskilt studerades påverkan av gröna ytors bidrag vid olika regnvaraktigheter och regnintensiteter, vilket redovisas i denna artikel tillsammans med en jämförelse av andra påverkande faktorer och beräkningsfall (metoder). Utöver litteraturdata över avrinningskoefficienter från grönytor har även nya avrinningskoefficienter för avrinning från parkytors använts från en hydraulisk markmodelleringsstudie av Tyréns (Kjellin et al., 2023).

Nackdelen med att använda återkomsttider istället för regnintensiteter som grund för en funktion för anpassning av avrinningskoefficienter är att återkomsttider förändras och regnintensiteter för en viss återkomsttid är olika för olika länder eller regioner. Därför har avrinningskoefficienten som funktion av

regnintensiteten och inte återkomsttiden valts att studeras här. I denna artikel kompletteras litteraturstudien (Larm et al., 2023) med en studie av mer data och påverkan på avrinningskoefficienterna av inte bara olika regnintensiteter utan även olika dimensionerande regnvaraktigheter och indirekt grönytors vattenmättnadsgrad. Enligt en rapport av Blomquist et al. (2016) ökar avrinningskoefficienten för icke hårdgjorda ytor, såsom gräs och skog, vid extrem nederbörd till ett värde inom 0,2–0,8 beroende på topografi (marklutning). För urbana grönytor kan det därför vara lämpligt att välja en högre avrinningskoefficient vid längre regnvaraktigheter och om marken är odränerad, ogenomsläpplig eller mättad.

Arbetet har finansierats av VINNOVA-projektet SECURE (dnr. 2021-02458). SVOA har bidragit med underlagskarta i GIS-format för avrinningsområdet Fagersjö.

## Metodik

Den första delen av denna artikel syftar till att ta fram ett samband mellan avrinningskoefficient och regnintensitet samt regnvaraktighet. Som indata användes resultat från simuleringar i HYDRUS-1D av Tyréns (Kjellin et al., 2023) med svenska blockregn (Dahlström, 2010) och 36 olika parkjordar inom jordtypen lerig sand (en sandjord med inslag av silt och lera). HYDRUS-1D är en hydraulisk markmodell som kan simulera mättade och omättade flöden i ett poröst medium (Šimůnek et al., 2009). För denna studie har HYDRUS-1D använts till att modellera infiltrationen i en markprofil samt kvantifiera hur stor andel av nederbörden som faller på en urban parkyta som ytavrinner. Avrinningskoefficienter beräknades för olika återkomsttider (2, 10, 20, 50 och 100 år) och regnvaraktigheter (10 min, 1 h, 2 h, 6 h, 12 h, 24 h och 96 h). Regnintensiteter beräknades med Dahlström (2010) för varaktigheter kortare än 24 h. För regn med varaktighet 24 h och 96 h användes istället Dahlström (1979) där Z-parametern antogs vara 18. För närmare beskrivning av modelleringsmetodik i HYDRUS-1D, se artikel (Kjellin et al., 2023) i detta nummer av Vatten.

I den andra delen av artikeln utvärderades effekten av nio olika faktorer för beräkningar av dimensionerande flöde och erforderlig fördröjningsvolym. Nedan

ges en kortfattad beskrivning av de faktorer (beräkningsfall med olika antaganden) som utretts, och med angivande av eventuell "standardvärde" som använts när andra faktorer testats:

**(1) Återkomsttid.** Normalt använda dimensionerande återkomsttider i Norden; 2, 5, 10 (standardvärde) och 100 år (Larm et al., 2023).

**(2) Grönytor, generellt.** Variationen av avrinningskoefficienter på grönytor från Blomqvist et al. (2016) applicerades på tre fall, varav två fall med antagandet att grönytor från hela området bidrar men med olika avrinningskoefficienter för grönytorna ( $\varphi_d = 0,10$  och  $0,80$  för alla grönytor) samt ett tredje fall att grönytor längst uppströms ej bidrar men där  $\varphi_d = 0,10$  används för grönytorna inom området.

**(3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet.** En antagen bedömd generell osäkerhet på beräknad avrinningskoefficient för avrinningsområden på 20 % används, enligt uppskattning av Wu et al. (2021). För beräkning av  $Q_{dim}$  används värden utan grönytor längst uppströms och för beräkning av  $V_d$  används värden inkl. grönytor längst uppströms.

**(4) Impermeabilitet – avrinningskoefficient.** Impermeabilitet är andel impermeabel (hårdgjord) yta i avrinningsområdet och detta beräknas ge viss avrinningskoefficient, beroende på vald metod för att konvertera impermeabilitet till avrinningskoefficient. Andel hårdgjorda ytor (impermeabilitet) har beräknats genom att simulera området i SCALGO Live. Tre olika samband mellan impermeabiliteten och beräknad avrinningskoefficient användes för att få fram en variation (StormTac, 2023; Larm et al., 2023). Ett fjärde fall med antagen avrinningskoefficient  $0,85$  för hela hårdgjorda ytan beräknades också (för vilket inga grönytor simulerades).

**(5) Klimatfaktor.** Normalt använda klimatfaktorer i Norden;  $1,0$ ,  $1,25$  (standardvärde) och  $1,4$  (Larm et al., 2023).

**(6) Linjär regression grönytor, regnintensitet.** Antagande att gröna ytor består av lerig sand och att den linjära funktionen från Figur 4 används, utan anpassning till regnvaraktighet.

**(7) Kurvnummer-metoden.** Den internationellt vedertagna kurvnummermetoden (CN) tillämpas här (USDA-SCS, 1986) för att få fram de avrinningskoeff-

ficienter som visas i tabellen och därefter använts i StormTac Web. Den ger beräknad avrinning för dimensionerande regndjup (mm) för olika s.k. CN-kurvor som representerar olika jordarter. För jämförelse med den antagna jordtypen lerig sand (inom jordklass A/B) antogs de liknande jordtyperna fin sand och silt med låg respektive hög kompaktion som används i SCALGO Live (SCALGO, 2023), vilket ger CN-kurvor som bedömts representera jorden för grönytor. Standard kurvnummer för antagna jordtyper användes enligt tabeller i SCALGO (2023), liksom beräkningar från ekvationerna för kurvnummer-metoden. CN-värdena visas i Tabell 4–5.

**(8) Rural och urban funktion, regnintensitet.** Generella funktioner framtagna i Larm et al. (2023) för rurala resp. urbana ytor användes för beräkning av avrinningskoefficienter från regnintensiteter.

**(9) Regnintensitet.** Undersökning av påverkan enbart av förändring i dimensionerande regnintensiteter (l/s/ha) som kan användas för platsen för fallstudien vilket i detta fall avser data för hela Sverige enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016; Dahlström, 2010) respektive nya regionsspecifika data som planeras att användas från Svenskt Vatten och SMHI (2020). Data från sydöstra Sverige användes i det senare fallet. Som standardvärden för övriga faktorer användes data för hela Sverige. Dessa data över regnintensiteter sammanställs i Larm et al. (2023) med beräkningar för aktuella rinn-tider och regnvaraktigheter.

Även de nya samband som tagits fram i arbetet med denna artikel har därmed inkluderats bland de utvärderade faktorerna (beräkningsfall 6 och 7), för att jämföra med resultaten från andra faktorer. Dessa nya samband innefattar avrinningskoefficienten som funktion av regnintensitet (och regnvaraktighet), något som traditionellt inte inkluderas i Rationella metoden men nämns i Svenskt Vatten P110 (Svenskt Vatten, 2016).

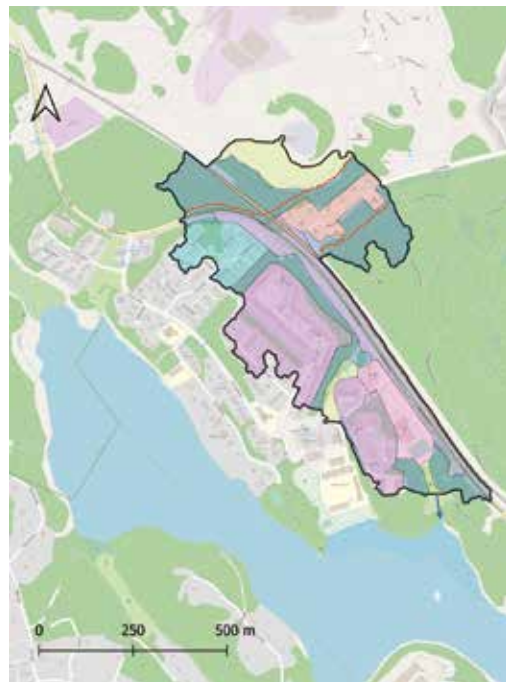
Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web (StormTac, 2023) användes för att beräkna dimensionerande flöden och erforderlig fördröjningsvolym för ett 36 ha stort avrinningsområde söder om Stockholm. Modellen beräknar dimensionerande flöden enligt den Rationella metoden och beräknar den maximala fördröjningsvolymen som erfordras, vid dimensionerande

regnvaraktighet och valt utflöde. I beräkningen av fördröjningsvolym tas även hänsyn till rinn-tidens fördröjande effekt enligt P110 (Svenskt Vatten, 2016), samt klimatfaktorer, olika återkomsttider på dimensionerande regn och reducerande flödesfaktorer med hänsyn till vattennivån i anläggningen i relation till dess utflöde. Beräkningarna inkluderar direkt nederbörd på anläggningsytan (StormTac, 2023). I modellberäkningarna ändrades en faktor åt gången medan övriga faktorer använde respektive standardvärde som anges ovan och i tabellerna nedan.

### Fallstudie

För ett delavrinningsområde till sjön Magelungen beläget i Fagersjö i Stockholms stad (Figur 1) beräknades dimensionerande flöden och erforderlig fördröjningsvolym för dagvattnet från området. Beräkningarna utfördes med StormTac Web, v23.3.1.

Avrinningsområdet för fallstudien visas i Tabell 1, med avrinningskoefficienter och area (ha) per markanvändning för området utan respektive med naturmark längst uppströms i området. Det är vedertaget att



Figur 1. Delavrinningsområdet till sjön Magelungen från SVOAs dagvattenmodell, 2022. Röda streck = vattendelare för ej bidragande naturmark vid  $Q_{dim}$ . Blå pil = dagvattenutlopp. Bakgrundskarta © OpenStreetMap contributors

Tabell 1. Dimensionerande avrinningskoefficienter ( $\varphi_d$ ) och area per markanvändning (ha) inom fallstudiens avrinningsområde.

Markanvändning	$\varphi_d$	Avrinningsområdet exkl. ej bidragande naturmark [ha]	Hela avrinnings- området [ha]
Väg 1 (Magelungsvägen)	0,85	0,44	0,44
Villaområde	0,35	2,0	2,0
Radhusområde	0,40	2,7	2,7
Flerfamiljshusområde	0,45	9,8	9,8
Centrumområde	0,70	2,1	2,1
Parkmark	0,10	3,7	3,7
Skogsmark	0,10	5,8	11,2
Banvall	0,50	0,67	0,67
Blandat grönområde	0,10	0,87	3,3
<b>Totalt</b>		<b>28</b>	<b>36</b>
Reducerad avrinningsyta ( $ha_{red}$ )		9,5	9,7
Dim. avrinningskoefficient		0,34	0,28

naturmark längst uppströms i området inte ger de högsta (dimensionerande) flödena med hänsyn till längre rinntid med lägre regnintensitet som följd. Dock blir dagvatten från hela området ofta dimensionerande för erforderlig fördröjningsvolym, speciellt när långa regnvaraktigheter blir dimensionerande (vilket blir fallet med mer kraftigt strypta utflöden, såsom valts i detta fall). Övriga dimensionerande indata visas i Tabell 2.

Utflödet 320 l/s har valts utifrån att det utgör

Tabell 2. Övriga dimensionerande indata.

Flödesreduktionsfaktor	2/3
Utflöde ( $Q_{out}$ )	320 l/s
Klimatfaktor	1,25
Dimensionerande rinnsträcka (för bägge fallen i Tabell 1)	1 070 m

beräknad naturmarksavrinning för hela området före exploateringen av området, enligt en empirisk funktion från P110 (Svenskt Vatten, 2016), implementerad i StormTac Web. Flödesreduktionsfaktorn 2/3 användes för att simulera ett utflöde genom bottenutlopp från t.ex. en torr damm, utan pumpat utflöde och utan flödesregulator. Det blir ett hypotetiskt scenario med tanke på att området dels varit bebyggt länge, dels för att utflöde till sjön inte behöver fördröjas så mycket som antagits.

## Resultat

Nedan beskrivs inledningsvis grönytors påverkan på beräkningarna, vilket utreds mer detaljerat än övriga

markanvändningars påverkan i denna artikel.

### Avrinningskoefficienten från grönytor som funktion av regnintensitet och regnvaraktighet inkl. markmättnad

Nedan redovisas resultat av simuleringar avseende dimensionerande avrinningskoefficient utförda av Tyréns 2023 (Kjellin et al., 2023) från olika parkjordar inom kategorin lerig sand (eng. sandy loam) för blockregn med olika regnintensitet, regnvaraktighet och återkomsttid. Avrinningskoefficienter från Tyréns simuleringar redovisas i Tabell 3 och i Figur 2 redovisas kurvor över resultaten. Diagrammet i Figur 2 visar att olika regnintensitet och varaktighet ger olika resulterande avrinningskoefficienter. Utifrån dessa data har funktioner tagits fram som beskriver sambandet mellan regnintensitet och avrinningskoefficient. De varaktighetsspecifika funktionerna bygger på blockregn och kan användas i kombination med den Rationella metoden.

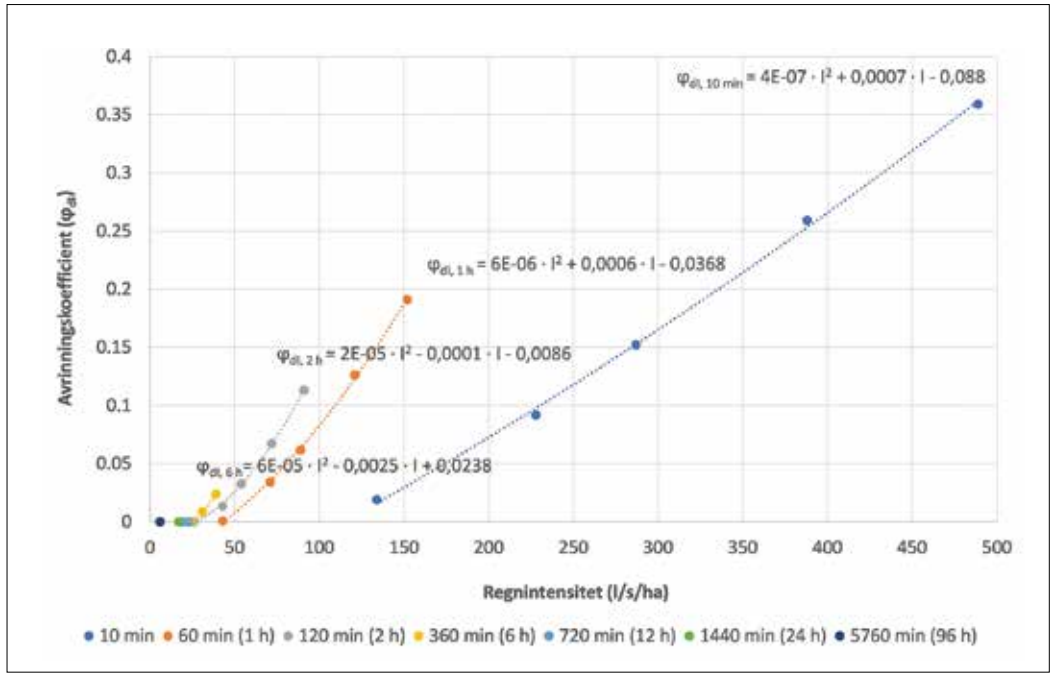
$\varphi_{dI}$  Dimensionerande avrinningskoefficient  $\varphi_d$  som funktion av regnintensitet I

I Regnintensitet (l/s/ha)

$t_r$  Regnvaraktighet (min)

I Figur 2 medtogs första nollan från Tabell 3 för respektive varaktighet som innehåller nollor. Nollresultaten visar att för lägre regnintensitet sker ingen avrinning. Funktioner för beräknad avrinningskoefficient ( $\varphi_{dI}$ ) visas för regnvaraktigheterna 10 min, 1 h, 2 h och 6 h, med bra passning till data ( $R^2=0,997-0,999$ ). För 12 h (720 min) fanns endast 1 värde på

Figur 2. Resultaten från Tyréns simuleringar av avrinningskoefficienter för parktyor av typen lerig sand, för olika regnintensiteter (I, l/s/ha) och regnvaraktigheter ( $t_r$ , min). Avrinningskoefficienterna är genomsnittsvärdet för de 36 simulerade jordarna.



avrinningskoefficient nära 0 (Tabell 3). För de längsta simulerade varaktigheterna 1440 min (24 h) och 5760 min (96 h) beräknas ingen avrinning ske ( $\varphi_{dI} = 0$ ).

Figur 2 visar också att avrinningskoefficienten blir ungefär densamma för ett lite kraftigare regn med intensiteten 71 l/s/ha vid 60 min regnvaraktighet som för ett mindre kraftigt regn med intensiteten 54 l/s/ha vid 120 min varaktighet. Detta trots att avrinningskoefficienten normalt ökar vid intensivare regn. Förklaringen är att mättnadsgraden ökar vid längre varaktighet (120 min), vilket minskar infiltrationskapaciteten.

I Figur 3 jämförs Tyréns simulerade avrinningskoefficienter för 10 minuters regnvaraktighet med avrinningskoefficienter från en dimensioneringsmanual för City of Woodland i Colorado, USA (City of Woodland Park, 2014), för en typ av jord (A&B-jord) som faller inom samma typ av jord som simulerades av Tyréns och som i Colorado används för beräkningar med Rationella metoden. Samma jämförande data finns i StormTac databas och har erhållits från litteraturstudier. Jämförelsen visar på liknande avrinningskoefficienter och att de följer ungefär samma samband mot

regnintensiteten, men med lite lägre avrinningskoefficienter vid lägre regnintensiteter respektive lite högre avrinningskoefficienter vid högre regnintensiteter för City of Woodland.

Diagrammet i Figur 4 visar två alternativa funktioner för beräkning av avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  som funktion av regnintensitet I, som ett försök att få fram och analysera en mer generell funktion mellan avrinningskoefficient och regnintensitet. De har bägge passningen  $R^2=0,87$  mot data, vilket blev sämre än passningen för kurvorna i Figur 2. Det är tydligt att regnvaraktigheten behöver inkluderas för att få en bättre passning och för att inkludera markmättnadens och regnvaraktighetens inverkan. Avrinningskoefficienten beror alltså av de två variablerna regnintensitet och regnvaraktighet.

Ett försök utfördes även att ta fram en linjär multivariat regressionsfunktion för beräkning av avrinningskoefficient för både regnintensitet och regnvaraktighet utifrån Tyréns modellberäkningar. En multivariat linjära regressionsanalys baseras på ”minsta kvadrat”-metoden för att anpassa en linje genom en

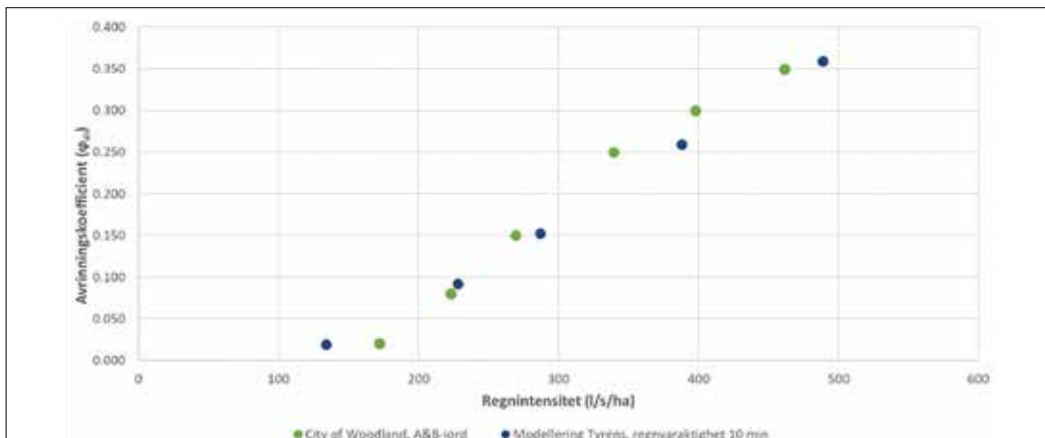
**Tabell 3.** Resultat från Tyréns simuleringar av dimensionerande avrinningskoefficienter som funktion av regnintensitet ( $\varphi_{dI}$ ) för parktyor (genomsnitt för de 36 olika jordarna) för olika återkomsttider (N, år), regnintensiteter (I, l/s/ha) och regnvaraktigheter ( $t_r$ , min).

N (år)	I (l/s/ha)	$t_r$ (min)	$\varphi_{dI}$
2	134	10	0,019
2	43	60	0,00072
2	26	120	0
2	12	360	0
2	8	720	0
2	4	1440	0
2	1	5760	0
10	228	10	0,092
10	71	60	0,034
10	43	120	0,014
10	19	360	0
10	12	720	0
10	7	1440	0
10	2	5760	0
20	287	10	0,15
20	89	60	0,062
20	54	120	0,033
20	24	360	0,00015
20	14	720	0
20	9	1440	0
20	3	5760	0
50	388	10	0,26
50	121	60	0,13
50	72	120	0,067
50	31	360	0,0087
50	19	720	0
50	12	1440	0
50	5	5760	0
100	489	10	0,36
100	152	60	0,19
100	91	120	0,11
100	39	360	0,024
100	23	720	0,000054
100	17	1440	0
100	6	5760	0

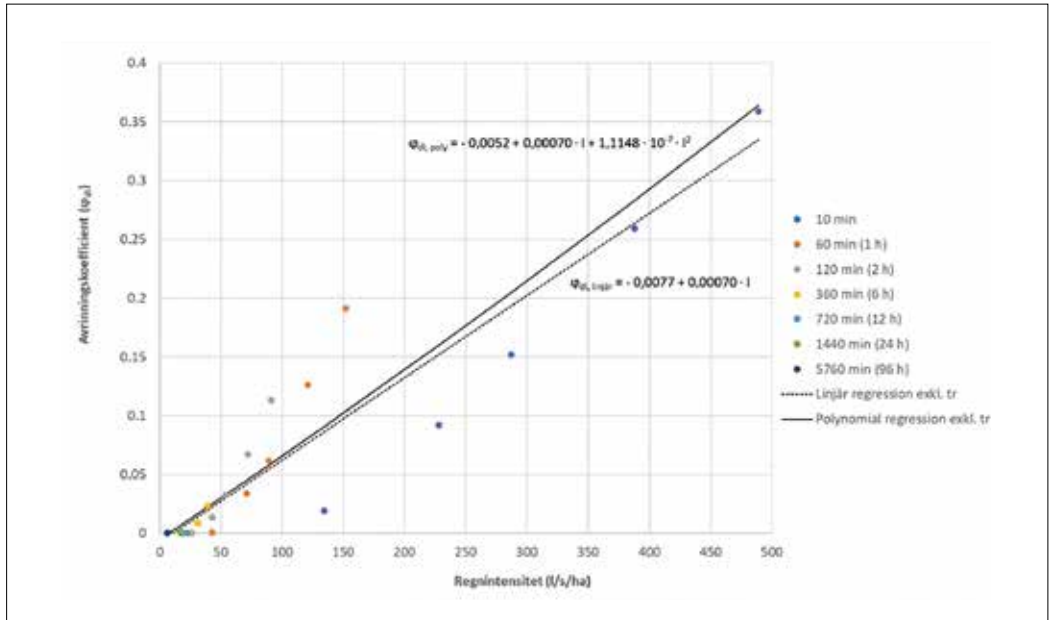
observationsmängd. Genom detta analyserades hur variabeln avrinningskoefficient ( $\varphi_{dI}$ ) påverkas av variablerna regnintensitet (I) och regnvaraktighet ( $t_r$ ). Modellerade avrinningskoefficienter som funktion av regnintensitet (l/s/ha) för olika regnvaraktigheter (min) från Tyréns användes som indata i simuleringarna. Data inkluderar på så vis markmättnadens påverkan där avrinningskoefficienten ökar med ökande markmättnad, d.v.s. även med ökad regnvaraktighet. En relativt stor spridning (osäkerhet) erhålls när hänsyn inte tas till skilda varaktigheter, men det kvarstår ändå ett samband mellan ökad regnintensitet och ökad avrinningskoefficient, vilket förväntades. Funktionen gav att regnintensiteten I fick större påverkan på beräknad avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  än regnvaraktigheten  $t_r$ . Enligt regressionsanalysen blev p-värdet för variabeln regnvaraktighet 0,96, vilket indikerar att den uppskattade effekten av variabeln regnvaraktighet inte går att skilja från slumpmässig variation. Därför kunde parametern  $t_r$  tas bort från sambandet och då erhöles den linjära funktion som redovisas i Figur 4. Den polynomiala funktionen i figuren gav marginellt bättre passning mot data och lite högre avrinningskoefficienter, särskilt vid högre regnintensitet.

Att regnvaraktigheten i den linjära multivariata funktionen hade en mycket liten betydelse jämfört med regnintensiteten på beräknad avrinningskoefficient beror på att regnintensitet och regnvaraktighet inte är oberoende variabler i datamängden som anpassningen

**Figur 3.** Jämförelse mellan resultaten från Tyréns simuleringar av avrinningskoefficienter för 10 minuters regnvaraktighet för lerig sand med resultat från City of Woodland för A&B-jord.



Figur 4. Resultat från modellerna med jordtypen lerig sand som använts i simuleringen av Tyréns, men kompletterad med genomförd linjär respektive polynomial regressionsanalys exkl. regnvaraktighet,  $t_r$



är utförd på. Detta då Tyréns endast har simulerat blockregn enligt Dahlströms intensitets- och varaktighetssamband, vilket innebär att varaktigheten indirekt definieras av intensiteten och återkomsttiden.

Vi rekommenderar därför att använda funktionerna från kurvorna från Figur 2 som bäst fångar sambanden mellan avrinningskoefficient, regnintensitet och varaktighet. De behöver kompletteras med fler funktioner för fler regnvaraktigheter för att kunna användas direkt i beräkningar av dimensionerande flöden och erforderlig fördröjning eftersom de bara visar exempel på avrinningskoefficienter vid några specifika regnvaraktigheter. Vilka specifika regnvaraktigheter som blir dimensionerande beror på beräknad rinntid avseende dimensionerande flöden och den regnvaraktighet som ger max fördröjningsvolym.

### Avrinningskoefficienten från övriga ytor som funktion av regnintensitet

Ekvationerna 1-3 från Larm et al. (2023), som redovisas nedan, föreslås användas tills vidare för att beräkna avrinningskoefficienten utifrån angiven regnintensitet (I) för andra rurala och urbana markanvändningstyper än gröna ytor med lerig sand. De är

framtagna utifrån metodik beskriven av Dhakal et al. (2013), med kompletterande data från Larm et al. (2023). De har beräknats utan funktion av regnvaraktighet, vilket rekommenderas utredas vidare så att regnvaraktigheten inkluderas även för dessa samband. Rurala områden avser en mer generell naturmark som kan anpassas för olika dimensionerande avrinningskoefficienter för naturmark, normalt kring 0,10 (0,02-0,50). Dessa värden utgör bedömda normala variationer för grönytor enligt data i StormTac Databas (StormTac, 2023) och enligt Larm et al. (2023).

Rurala områden (naturmark):

$$\varphi_{dI} = \varphi_d \cdot (1,22 \text{ LN}(I) - 5,67) \quad (1)$$

$\varphi_d$  Dimensionerande avrinningskoefficient utan justering och som används för Rationella metoden och i t.ex. P110 (Svenskt Vatten, 2016).

Diagrammet i Figur 5 jämför modellerade data från Tyréns för urbana parkytor (lerig sand), d.v.s. data som visas i Figur 4, med data från rurala områden enligt Ekv. 1 och med de ovan angivna avrinningskoefficienterna 0,1, 0,02 och 0,5. Diagrammet visar hur

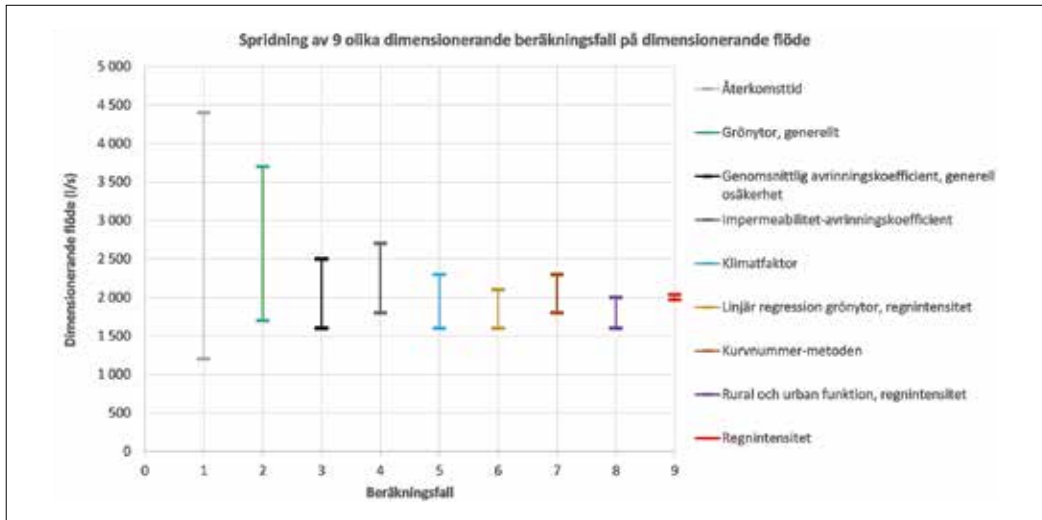




Tabell 4. Dimensionerande flöden  $Q_{dim}$  (l/s), dimensionerande rinntider  $t_c$  (time of concentration) och avrinningskoefficienter ( $\varphi_d$ ) för hela området Fagersjö med olika normala variationer på återkomsttider (år), klimatfaktorer (-), avrinningskoefficienter (-), regnintensiteter (l/s/ha) och grönytors bidrag.

BERÄKNINGSFALL MED OLIKA ANTAGANDEN	$Q_{dim}$ (l/s)	$t_c$ (min)	$\varphi_d$
<b>(1) Återkomsttid (år).</b> Klimatfaktor 1,25, avrinningskoefficient 0,34, ej grönyta längst bort			
2	1 200	16	0,34
5	1 600	16	0,34
10	2 000	16	0,34
100	4 400	16	0,34
<b>(2) Grönytor, generellt.</b> Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
Hela området, grönyta $\varphi_d = 0,1$	1 700	25	0,28
Ej grönyta längst bort, $\varphi_d = 0,1$ för övriga grönytor.	2 000	16	0,34
Hela området, grönyta $\varphi_d = 0,8$ (Blomquist et al., 2016)	3 700	25	0,64
<b>(3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet.</b> RSE = 20% (Wu et al., 2021), återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25, ej grönyta längst bort			
0,27	1 600	16	0,27
0,34	2 000	16	0,34
0,41	2 500	16	0,41
<b>(4) Impermeabilitet – avrinningskoefficient.</b> Andel hårdgjorda ytor (impermeabilitet) utifrån SCALGO Live och samband impermeabilitet-avrinningskoefficient. Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25, ej grönyta längst bort			
The simple method (1987). Hårdgjord area = 12 ha av 28 ha, I=43% ger $\varphi_d = 0,44$	2 700	16	0,44
Urbonas (1999). Hårdgjord area = 12 ha av 28 ha, I=43% ger $\varphi_d = 0,30$	1 800	16	0,30
Dhakal et al. (2012). Hårdgjord area = 12 ha av 28 ha, I=43% ger $\varphi_d = 0,32$	1 900	16	0,32
Hårdgjord yta 12 ha, $\varphi_d = 0,85$	2 200	16	0,85
<b>(5) Klimatfaktor.</b> Återkomsttid 10 år, avrinningskoefficient 0,34, ej grönyta längst bort			
1,0	1 600	16	0,34
1,25	2 000	16	0,34
1,4	2 300	16	0,34
<b>(6) Linjär regression grönytor, regnintensitet.</b> Gröna ytor utgörs av lerig sand. Återkomsttid 10 år			
Regression på parkmark och blandat grönområde ger $\varphi_d = 0,11$	2 100	16	0,34
Regression på parkmark, blandat grönområde och skogsmark ger $\varphi_d = 0,11$	2 100	16	0,34
Hela området, regr. parkmark, blandat grönområde och skogsmark ger $\varphi_d = 0,084$	1 600	25	0,28
<b>(7) Kurvnummer-metoden – Alla gröna ytor med låg eller hög kompaktering (SCALGO, 2023).</b>			
Återkomsttid 10 år, ej grönyta längst bort			
Fin sand, låg kompaktion, CN = 30 ger $\varphi_d = 0,0015$	1 800	16	0,30
Fin sand, hög kompaktion, CN = 68 ger $\varphi_d = 0,10$	2 000	16	0,34
Silt, låg kompaktion, CN = 55 ger $\varphi_d = 0,038$	1 900	16	0,31
Silt, hög kompaktion, CN = 79 ger $\varphi_d = 0,21$	2 300	16	0,38
<b>(8) Rural och urban funktion, regnintensitet.</b> Generella funktioner för rurala resp. urbana ytor (Larm et al., 2023). Återkomsttid 10 år, ej grönyta längst bort			
Rural ekvation för alla grönytor ger $\varphi_d = 0,062$	2 000	16	0,32
Både urban och rural ekvation för alla grönytor ger $\varphi_d = 0,39$ (urb) och 0,062 (rur)	1 600	16	0,27
<b>(9) Regnintensitet (l/s/ha).</b> Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25, avrinningskoefficient 0,34, ej grönyta längst bort			
Sverige, hela (2010)	2 000	16	0,34
Sverige, sydost (2020)	2 000	16	0,34

Figur 6. Dimensionerande flöden (l/s) för hela området Fagersjö med spridningen av 9 olika dimensionerande beräkningsfall på flödena.



En iteration från funktionerna i Figur 2 gav för  $t_c = 16$  min och  $I = 173$  l/s/ha en avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  kring 0,06–0,07 för parkmark och blandat grönområde vilket resulterade i ett beräknat marginellt lägre  $Q_{dim}$  än ovan nämnt standardfall kring 2 000 l/s, men inom samma storleksordning, också ca 2 000 l/s (endast ca 30–40 l/s lägre). Detta värde på  $Q_{dim}$  kommer alltså från en funktion av både regnintensitet och regnvaraktighet.

### Erforderlig fördröjningsvolym

Tabell 5 sammanställer spridningen av samma 9 beräkningsfall på erforderlig fördröjningsvolym,  $V_d$  ( $m^3$ ). Resultaten från Tabell 6 visualiseras i Figur 7 och visar att samma beräkningsfall, återkomsttid och grönytors bidrag, ger störst effekt även på erforderlig fördröjningsvolym ( $V_d$ ). Variationen på övriga fall följer också samma inbördes storleksförhållande, med undantag av att variationen blev större på  $V_d$  än för dimensionerande flöde för (9) Kurvnummer-metoden och (8) Rural och urban funktion. Standardfallet (Svenskt Vatten, 2016) gav  $V_d = 2\,400\,m^3$  och gav högre volym för fallet att inkludera grönytorna än att exkludera dessa, vilket gav  $2\,200\,m^3$ . Variationen av olika specifika antaganden kring gröna ytor och avrinningskoefficienter (beräkningsfall 4 och 6–8) gav  $V_d = 530\text{--}3\,600\,m^3$  så det spelar stor roll vilka antagan-

den som görs kring bl.a. hur gröna ytor påverkar  $V_d$ , ännu större roll än hur de påverkar  $Q_{dim}$ .

Att använda olika regnintensitetsdata för platsen gav  $V_d = 2\,400\,m^3$  med generella data för hela Sverige, respektive  $V_d = 2\,200\,m^3$  med data från sydöstra Sverige. Det senare skulle ge större spridning om fallstudien låg i sydvästra Sverige då  $V_d$  skulle öka till  $2\,600\,m^3$  om nya data från Svenskt Vatten och SMHI (2020) skulle användas.

En iteration från funktionerna i Figur 2 gav för  $t_r = 80$  min och  $I = 58$  l/s/ha en avrinningskoefficient  $\varphi_{dI}$  kring 0,02–0,03 för parkmark och blandat grönområde och ett något lägre beräknat  $V_d$  än ovan nämnt standardfall på  $2\,400\,m^3$ , nämligen ca  $2\,200\,m^3$ . Detta värde på  $V_d$  kommer alltså från en funktion av både regnintensitet och regnvaraktighet.

Rinntiden (koncentrationstiden) för flödesutjämnning när hela områdets dagvatten bidrar beräknades till 25 min, vilket gav en minskad fördröjningsvolym med hänsyn till rinntidens fördröjande effekt (Svenskt Vatten, 2016), men simuleringarna resulterade i en dimensionerande regnvaraktighet mellan 40–240 min som resulterat i beräknad erforderlig fördröjningsvolym (Tabell 5).

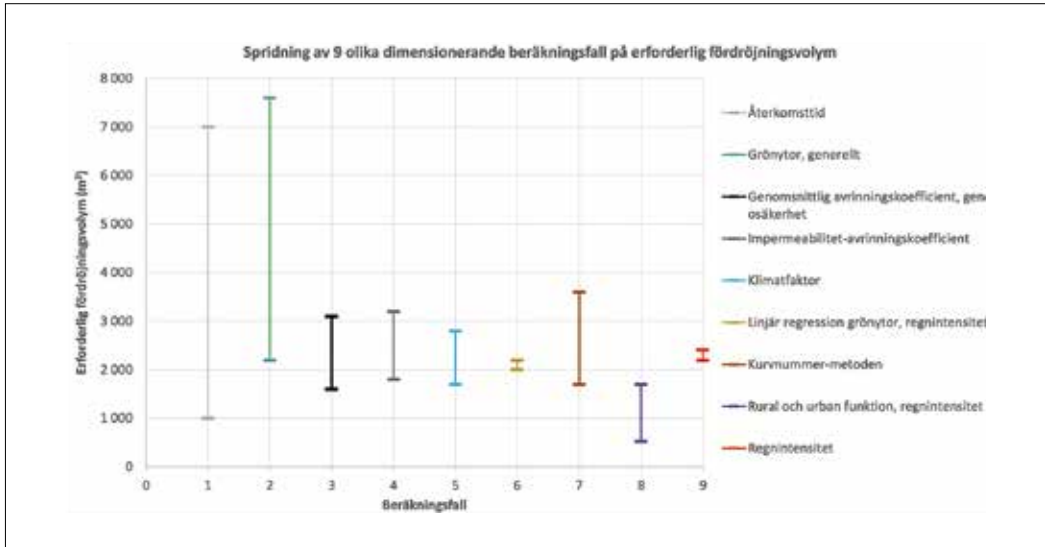
### Diskussion och fortsatt utredning

Även gröna ytor inom bebyggelsen såsom gräsmattor inom villaområden kan bli mättade, men skulle de

**Tabell 5.** Erforderliga fördröjningsvolymen  $V_d$  ( $m^3$ ), dimensionerande regnvaraktigheter  $t_r$  och avrinningskoefficienter ( $\varphi_d$ ) för hela området Fagersjö med olika normala variationer på återkomsttider (år), klimatfaktorer (-), avrinningskoefficienter (-), regnintensiteter ( $l/s/ha$ ) och grönytors bidrag.

BERÄKNINGSFALL MED OLIKA ANTAGANDEN	$V_d$ ( $m^3$ )	$t_r$ (min)	$\varphi_d$
<b>(1) Återkomsttid (år).</b> Avrinningskoefficient 0,28, klimatfaktor 1,25			
2	1 000	50	0,28
5	1 700	70	0,28
10	2 400	80	0,28
100	7 000	180	0,28
<b>(2) Grönytor, generellt.</b> Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
Ej grönyta längst bort ( $\varphi_d = 0,1$ för övriga grönytor)	2 200	70	0,34
Hela området, alla grönytor, $\varphi_d = 0,1$	2 400	80	0,28
Hela området, alla grönytor, $\varphi_d = 0,8$ (Blomquist et al., 2016)	7 600	240	0,64
<b>(3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet.</b> RSE = 20% (Wu et al., 2021), återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
0,22	1 600	60	0,22
0,28	2 400	80	0,28
0,34	3 100	100	0,34
<b>(4) Impermeabilitet – avrinningskoefficient.</b> Andel hårdgjorda ytor (impermeabilitet) utifrån SCALGO Live och samband impermeabilitet-avrinningskoefficient. Återkomsttid 10 år, klimatfaktor 1,25			
The simple method (1987). Hårdgjord area = 12 ha av 36 ha, $I=33\%$ ger $\varphi_d = 0,35$	3 200	110	0,35
Urbonas (1999). Hårdgjord area = 12 ha av 36 ha, $I=33\%$ ger $\varphi_d = 0,24$	1 800	70	0,24
Dhakal et al. (2012). Hårdgjord area = 12 ha av 36 ha, $I=33\%$ ger $\varphi_d = 0,28$	2 300	80	0,28
Hårdgjord yta 12 ha, $\varphi_d = 0,85$	2 400	80	0,85
<b>(5) Klimatfaktor.</b> Återkomsttid 10 år, avrinningskoefficient 0,28			
1,0	1 700	70	0,28
1,25	2 400	80	0,28
1,4	2 800	90	0,28
<b>(6) Linjär regression grönytor, regnintensitet.</b> Gröna ytor utgörs av lerig sand. Återkomsttid 10 år			
Hela området, regression på parkmark och blandat grönområde ger $\varphi_d = 0,033$	2 200	80	0,27
Hela området, regression på parkmark, blandat grönområde och skogsmark ger $\varphi_d = 0,037$	2 000	70	0,25
<b>(7) Kurvnummer-metoden – Alla gröna ytor med hög eller låg kompaktering (SCALGO, 2023).</b>			
Återkomsttid 10 år			
Fin sand, låg kompaktion, CN = 30 ger $\varphi_d = 0,0014$	1 700	70	0,23
Fin sand, hög kompaktion, CN = 68 ger $\varphi_d = 0,16$	2 700	90	0,31
Silt, låg kompaktion, CN = 55 ger $\varphi_d = 0,074$	2 200	80	0,27
Silt, hög kompaktion, CN = 79 ger $\varphi_d = 0,29$	3 600	120	0,38
<b>(8) Rural och urban funktion, regnintensitet.</b> Generella funktioner för rurala resp. urbana ytor (Larm et al., 2023). Återkomsttid 10 år			
Hela området, rural ekvation för alla grönytor ger $\varphi_d = 0$	1 700	70	0,23
Hela området, både urban och rural ekvation ger $\varphi_d = 0,32$ (urban) och $\varphi_d = 0,028$ (rural)	530	40	0,24
<b>(9) Regnintensitet (<math>l/s/ha</math>).</b> Återkomsttid 10 år, avrinningskoefficient 0,28, klimatfaktor 1,25			
Sverige, hela (Dahlström, 2010)	2 400	80	0,28
Sverige, sydost (Svenskt Vatten och SMHI, 2020)	2 200	80	0,28

Figur 7. Erforderliga fördröjningsvolym (m<sup>3</sup>) för hela området Fagersjö med påverkan av 9 olika beräkningsfall på erforderlig fördröjningsvolym.



räknas separat så skulle de vid beräkning av fördröjning och lång dimensionerande regnvaraktighet ge sänkt avrinningskoefficient jämfört med standardvärdet 0,10 i P110, varmed detta skulle sänka (inte höja) avrinningskoefficienten för villaområden, liksom det för urbana områden blir sänkta avrinningskoefficienter vid lång varaktighet. Gröna ytor kan dock bli mättade vid intensiva regn med kort varaktighet vilket ger ökad avrinningskoefficient och därmed avrinning. Detta kan resultera i översvämning lokalt uppströms ledningarna som inte är dimensionerade för detta.

För beräkning av erforderliga fördröjningsvolym visar resultat från fallstudien att för liknande fall med strypta utlopp med lång dimensionerande varaktighet (i detta fall ca 80 min) så indikerar användning av framtagen funktion med hänsyn till regnintensitet och regnvaraktighet att fördröjningsvolymen blir mindre än om nuvarande använda statistiska värden på avrinningskoefficienter enligt P110 skulle användas. Detta beror på låga dimensionerande regnintensiteter då den största andelen av regnet bedöms kunna infiltrera med liten avrinning som följd. Detta visar både simuleringarna från Tyréns och tidigare rapporterade samband från rural (och även urban) mark. Även om dimensionerande flöden inte ökade, utan snarare minskade något, när man beaktar regnintensitet och varaktighet

för denna fallstudie så kan det bli fallet för mindre områden med kortare rinntid och för kraftigare regn vid längre dimensionerande återkomsttid. Den stora variationen i resultat visar dock vikten av att välja rätt återkomsttid och att studera grönytornas bidrag mer detaljerat. I övrigt ligger variationerna och värdena för både dimensionerande flöden och fördröjningsvolym relativt lika.

Påverkan av återkomsttid och grönytor generellt och dess stora variation enligt resultaten från fallstudien bedöms bli mindre om man beaktar att man väljer återkomsttid efter vissa kriterier och att grönytornas maxvärde 0,8 bedöms vara överskattad för fallstudien, särskilt för de långa regnvaraktigheter som blir dimensionerande för erforderlig fördröjningsvolym.

Regnvaraktighetens betydelse (och därmed markmättnadens inverkan) för beräknad avrinningskoefficient bör analyseras vidare utifrån fler mätningar och andra samband. Tills vidare bedöms resultaten ge ett ungefärligt intervall på påverkan mellan regnintensitet och avrinningskoefficient.

Vi rekommenderar att för parkmark och liknande grönytor med jordtyp lerig sand att använda funktionerna från Figur 2 som bäst fångar sambanden mellan avrinningskoefficient, regnintensitet och varaktighet. De behöver kompletteras med fler funktioner för fler

regnvaraktigheter för att kunna användas direkt i beräkningar av dimensionerande flöden och erforderlig fördröjning. Vilka specifika regnvaraktigheter som blir dimensionerande beror på beräknad rinntid avseende dimensionerande flöden och den regnvaraktighet som ger max fördröjningsvolym.

För att möjliggöra vidare studier i olika projekt planeras följande implementeras i StormTac Webmodellen som en option till att använda statistiska avrinningskoefficienter från P110:

- För parkmark och liknande gröna ytor med jordtyp lerig sand kan funktionerna från Figur 2 efter komplettering med fler regnvaraktigheter användas.
- För skogsmark och gröna ytor som inte utgörs av sandig lera kan den generella ekvationen för rural mark (Ekv. 1) användas.
- För urbana och övriga mixade markanvändningar kan Ekv. 2-3 användas.

Dessa funktioner planeras framöver kontinuerligt att förbättras med nya data och metoder som en fortsättning på denna studie.

## Slutsatser

Simuleringarna från Tyréns visade att för en viss lägre regnintensitet så sker ingen avrinning från parkytor med jordtypen lerig sand. För de längsta simulerade varaktigheterna på 24 h och 96 h beräknas ingen avrinning ske oavsett återkomsttid på regnet (2–100 år). Beräkningarna visade dock även att avrinningskoefficienten blev ungefär densamma för ett lite kraftigare regn med kortare regnvaraktighet som för ett mindre kraftigt regn med längre varaktighet, trots att avrinningskoefficienten normalt ökar vid intensivare regn. Detta förklarades av att mättnadsgraden ökar vid längre varaktighet, vilket minskar infiltrationskapaciteten.

Mängden ytavrinning från en grönyta beror av markens vattenmättnad och oftast ökar markmättnaden, och därmed avrinningen, under en regnhändelse. Markmättnadens förändring beror både av hur länge regnet pågår och av regnets intensitet och utifrån detta behöver hänsyn tas till såväl regnintensitet som regnvaraktighet vid uppskattning av avrinningskoefficienter. Om endast regnintensitet tas hänsyn till fångas inte markmättnadsdynamiken, vilket ger bristande träffsäkerhet i uppskattning av ytavrinning. Detta

framgår tydligt av Figur 2 där de varaktighetsspecifikt anpassade ekvationerna följer datasetet med avrinningskoefficienter väl, medan funktionen som endast tar hänsyn till regnintensitet är betydligt sämre anpassad till datapunkterna (se Figur 4).

Känslighetsanalyserna visade att ansättning av grönytor är en viktig del i beräkning av flöden och fördröjningsvolym, både avseende vilka ytor som tas med i beräkningarna och hur avrinningskoefficienten ansätts. Litteraturdata samt Tyréns modellering av avrinning från grönytor visar att avrinningskoefficienten varierar kraftigt mellan olika varaktigheter, regnintensiteter eller återkomsttider. Detta bör tas hänsyn till vid beräkning av dimensionerande flöden för att välja tillräckliga dimensioner på ledningar och diken samt för att beräkna erforderlig fördröjningsvolym för att minska risken för översvämningar.

Känslighetsanalyserna visade även att följande faktorer i storleksordning gav störst till minst påverkan på det beräknade dimensionerande flödet: (1) Återkomsttid; (2) Grönytor, generellt; (3) Genomsnittlig avrinningskoefficient, generell osäkerhet; (4) Samband impermeabilitet-avrinningskoefficient; (5) Klimatfaktor; (6) Linjär funktion för grönytor, regnintensitet; (7) Kurvnummer-metoden; (8) Rural och urban funktion, regnintensitet och (9) Regnintensitet. Samma påverkansordning gällde för beräkning av erforderlig fördröjningsvolym, utom för Kurvnummer-metoden med 3e största påverkan och Rural och urban funktion med 5e största påverkan. Utifrån parametrarnas betydelse bör därför dagvatten- och avrinningsutredningar lägga ett förhållandevis stort fokus på de parametrar som ger störst inverkan på dimensionerande flöde och fördröjningsvolym, varav de allra viktigaste faktorerna är val av återkomsttid samt hur avrinning från grönytor representeras.

## Referenser

- Blomquist, D., Hammarlund, H., Härle, P., Karlsson, S. (2016) Riktlinjer för modellering av spillvattenförande system- och dagvattensystem. Svenskt Vatten Utveckling, rapport nr 2016 15.
- Broekhuizen, I., Muthanna, T.M., Leonhardt, G., Viklander, M. (2019) Urban Drainage Models for Green Areas: Structural Differences and Their Effects on Simulated Runoff. *Journal of Hydrology X* 5 (November): 100044. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2019.100044>.
- City of Woodland Park (2014) Drainage Criteria Manual, March 2014. <https://www.city-woodlandpark.org/DocumentCenter/View/2319/Drainage-Criteria-Manual-all-chapters-PDF>.
- Dahlström, B. (1979) Regional fördelning av nederbördsintensitet – en klimatologisk analys. Building Research Council in Sweden, Report R 18: 1979. 84 p- ISBN 91-540-2986-4.
- Dahlström, B. (2010) Regnintensitet – en molnfysikalisk betraktelse. Svenskt Vatten utveckling 2010-05.
- Davidsen, S., Löwe, R., Ravn, N.aH., Jensen, L.N., Arnbjerg-Nielsen, K. (2018) Initial Conditions of Urban permeable Surfaces in Rainfall-Runoff Models Using Horton's Infiltration. *Water Science and Technology* 77 (3): 662–69. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.580>.
- Kjellin, J., Ekeröth, S., Olsson, J., Andersson, E., Rigau, X.M., Broekhuizen, I. (2023) Minskning av översvämningsrisker genom medveten grönytedesign - Vad betyder infiltrationskapaciteten i grönytor för stadens översvämningsrisker och hur kan vi påverka den? *Vatten*, 79(4) 197-209 (detta nummer).
- Larm T., Larm, C., Wahlsten, A., Kjellin, J., Olsson, J., Broekhuizen, I. (2023) Metoder för beräkning av dimensionerande flöden till transportsystem och erforderlig fördröjningsvolym i dagvattenanläggningar – en internationell litteraturstudie. Rapport 2022-06-23 inom Vinnova-projektet SECURE – StormwatEr planning för inCreased Urban REsilience. StormTac, Tyréns och Luleå Tekniska Universitet. Rev 3, 2023-10-23.
- Šimúnek, J., Šejna, M., Saito, H., Sakai, M & van Genuchten, M. Th (2009). The HYDRUS-1D Software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media Version 4,08. Department of Environmental Sciences University of California Riverside.
- Svenskt Vatten och SMHI (2020) Rekommendationer vid val av nederbördsstatistik för dimensionering av dagvattensystem. PM april 2020.
- Penn, C.J., Bowen, J.M. (2018) Design and construction of phosphorus removal structures for improving water quality. Springer, USA.
- StormTac (2023) Dagvatten- och recipientmodellen StormTac Web. <https://www.stormtac.com/>.
- USDA-SCS (1986) Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release No. 55 (TR55). [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf).
- Wu, J., Larm, T., Wahlsten, A., Marsalek, J., Viklander, M. (2021) Uncertainty inherent to a conceptual model StormTac Web simulating urban runoff quantity, quality and control, *Urban Water Journal*.

# Hur blev den kommunala infrastrukturen en offentlig angelägenhet i Sverige? Gator, vatten och sanitet i ett historiskt perspektiv

How did municipal infrastructure become a public undertaking in Sweden? Streets, water and sanitation in a historical perspective.



Pär Blomkvist, Mälardalens universitet, Universitetsplan 1, 722 20 Västerås, par.blomkvist@mdu.se

## Abstract

The first contribution of the book lies in the historical comparison of infrastructural systems that normally are dealt with separately. The synthesis has been achieved mainly by an extensive literature review of research from a wide range of various fields and by using prime sources to some extent. Earlier results have been reinterpreted and research areas that communicate rarely have been brought together. The comparative and long-term perspective allows the discovery of similarities and differences in the development of arrangements around streets, water and sanitation (WS). By using the analytical lens of publicness, the book challenges the common belief that these three areas have always been public concerns or obligations. An assumption based on the fact that presently they indeed are public infrastructural systems. The second contribution is the connection of the historical development of these three sectors with research in medical, social, cultural, economic, technical, and political history highlighting the most important contextual factors in society at large that has profoundly affected streets, water and sanitation. The book shows how their respective evolution into public infrastructural systems has been strongly influenced by these factors. Finally, the book shows how the evolution in municipal streets, WS has left a historical legacy still affecting the way these infrasystems are managed today.

**Keywords:** policy and governance, utility/network management, water supply and treatment, infrastructure history, roads and streets

## Sammanfattning

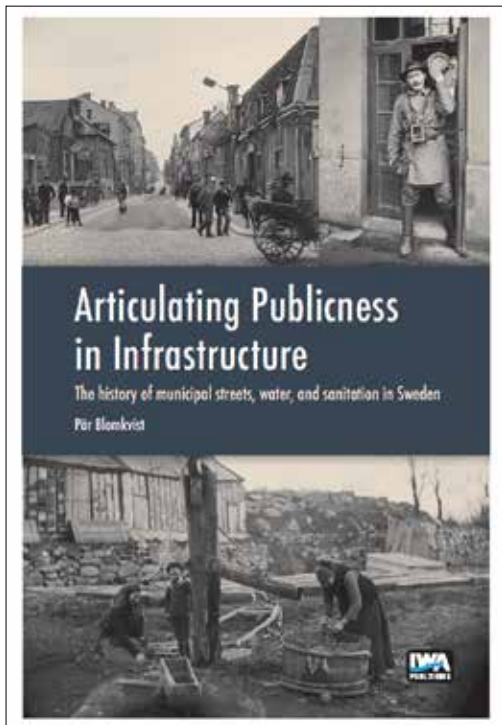
Bokens första bidrag ligger i den historiska jämförelsen av infrastruktursystem som normalt behandlas separat. Syntesen har uppnåtts huvudsakligen genom en omfattande litteraturgenomgång av forskning från ett brett spektrum av olika områden och genom att använda primära källor i viss utsträckning. Tidigare resultat har omtolkats och forskningsområden som inte så ofta kommunicerar har sammanförts. Det jämförande och långsiktiga

perspektivet gör det möjligt att upptäcka likheter och skillnader i utvecklingen av arrangemang kring gator, dricks-vatten och sanitet. Genom att använda begreppet publicness utmanar boken den allmänna uppfattningen att dessa tre områden alltid har varit offentliga angelägenheter. Ett antagande som bygger på det faktum att de för närvarande verkligen är offentliga infrastruktursystem. Boken andra bidrag är att koppla ihop den historiska utvecklingen av dessa tre sektorer med forskning inom medicinsk, social, kulturell, ekonomisk, teknisk och politisk historia som lyfter hur viktiga kontextuella faktorer i samhället i stort har påverkat gator, vatten och sanitet. Boken visar hur utvecklingen till offentliga infrastruktursystem har påverkats starkt av dessa faktorer. Slutligen visar boken hur utvecklingen av kommunala gator, vatten och sanitet har lämnat ett historiskt arv som fortfarande påverkar hur de hanteras idag.

**Inledning**

I den här artikeln presenter jag en ny bok som publicerades i september 2023, som handlar om den kommunala infrastrukturens historia i Sverige (figur 1). Boken är utgiven av International Water Association Publishing (IWAP) och baseras på en forskningsrapport inom projektet InfraMaint finansierat av MISTRA (Stiftelsen för miljöstrategisk forskning), under ledning av RISE (Sveriges forskningsinstitut). Boken kan laddas ner (Open access) från iwaponline.com. Under våren 2024 ges en bearbetad svensk översättning ut av Svensk Byggtjänst.

Figur 1. Bokens omslag.



Sedan jag startade forskningsprojektet har hotet från klimatkrisen och dess effekter på infrastruktursystem och samhälle blivit ännu tydligare. Hastigheten på klimatförändringarna är överraskande, och vår framtid verkar osäker. När boken kom ut hade Sverige och många andra länder i Europa upplevt ännu en extremt varm sommar med vattenbrist, kris i jordbruket och brinnande skogar, för att inte tala om avskogning, stigande havstemperaturer, smältande polaris, utrotning av vilda djur och rysk ekocid i Ukraina. Oregelbunden och kraftig nederbörd, översvämningar och klimat som löper amok är inga avlägsna prognoser, utan hård verklighet. Infrastrukturutveckling är avgörande för att anpassa samhället till de utmaningar som ligger framför oss. För att mildra effekterna av klimatkrisen, behöver kommunal infrastruktur, gator, vatten och sanitets-system renoveras och stärkas. Om vi inte gör något har vi snart klimatkrisen i våra källare.

**Utgångspunkter**

Undersökningen motiveras av att kommunal infrastruktur står inför gigantiska utmaningar, som inte enbart beror på klimatkris och extremväder. Vatten- och avloppsanläggningar, vägar och gator åldras och i många fall krävs omfattande underhåll. Infrastrukturen är i dåligt skick och kommunerna saknar ofta stöd, resurser och förmåga att hantera de stora investeringsbehoven som krävs. I en nyligen publicerad artikel redovisas att enligt Sveriges Kommuner och Landsting (SKL) finns ett eftersatt, och akut behov av, underhåll för cirka 18 % av det kommunala vägnätet, vilket motsvarar en kostnad på 12 miljarder kronor. Ett liknande underskott finns inom vatten- och avloppsinfrastruktur. Svenskt Vatten konstaterar att den beräknade nivån på reinvesteringar på 12 miljarder kronor i vat-



ten- och avloppsförsörjning behöver öka med 35 % för att säkra säkert dricksvatten. För att finansiera dessa investeringar behöver tarifferna fördubblas under de kommande 20 åren: ”Kort sagt, den långa perioden av underinvesteringar i underhåll och reparation av kritiska infrastrukturnätverk, ofta orsakad av kortsiktiga ekonomiska överväganden och en ”run-to-failure-mentalitet”, har lett till att underhållsskulden växer” (Alm et.al, 2021).

Dessutom lider kommunal infrastruktur brist på innovationer. Infrasytem har en teknisk och institutionell tröghet, ofta kallad stigberoende, som gör att tidiga beslut och teknikval påverkar hela systemet under mycket lång tid. Tidigare forskning (Blomkvist m.fl. 2019) visar att innovationer måste anpassas till befintliga tekniska och organisatoriska sammanhang och att innovationsdriven omvandling är helt avgörande för att mildra klimatkrisens effekter.

Vägar och gator, vatten och sanitet, är grundläggande för livet i moderna samhällen och så självklara att vi oftast tar dem för givna. Den enda gången vi lägger märke till dem är när de slutar fungera. Infrastrukturen har kort sagt blivit osynlig (Alm m.fl., 2021, Blomkvist och Kaijser, 1998). Författaren Charles Fishman (2011) använder begreppet ”brilliant invisibility” för att beskriva våra svårigheter att se och förstå underhållsbehovet i ett osynligt (VA-) system som i tystnad har rostat sönder under årtionden av försummelse: ”Den briljanta osynligheten hos våra vattensystem är deras största sårbarhet”.

Men systemen har inte alltid varit osynliga. Det är lätt att glömma att till exempel rörbundet VA inte är så gammalt egentligen. August Strindbergs ord, i ett brev från 1883, är en påminnelse om den fascination som toaletten väckte i slutet av artonhundratalet:

”Den mest glänsande uppfinning träffade jag i Hamburg. Der träckade man i något som liknade en soppskål och när man tittade sig om så var der ingenting att se, oaktadt man kunde svära på att man nedlagt ett par meter; skålen var så fin efter förrättningen att man kunnat äta äkta sköldpaddsuppa ur den” (Jakobsson, 1991).

I slutet av 1800-talet var byggandet av infrastruktur i ropet. Vägar, gator och broar sågs som ”konstbyggnader” och en modell av vattensystemet i Sunds-

vall fanns till och med utställd på den stora Stockholmsutställningen 1897, där det senaste inom teknik och industri presenterades.

Idag ser vi alltså både gator och vägar samt vatten och avlopp som gemensamma åtaganden. Det är lätt att tro att det vi idag tar för givet funnits sedan länge, men historien visar att så enkelt var det inte alls. Insikten att gator, vatten och avlopp inte alltid varit offentliga, så kallade ”public goods”, gör att jag skiljer mellan tidigmoderna arrangemang respektive moderna system för att tillhandahålla dessa tjänster. Det var först från och med början av 1800-talet, speciellt vad gäller dricksvatten och avlopp, som dessa servicearrangemang gradvis utvecklades till infrasytem. Med andra ord, arrangemangen systemiserades.

## Vägar och gator

Vägar och städernas gator har dock i viss mening varit kollektiva åtaganden sedan urminnes tider. I Kristoffers landslag från 1450-talet, stadgades att ”... alla skola bygga broar och röja vägar, så den som mindre äger i by som den vilken mera äger, var efter sina ägor.” Formuleringarna var hämtade direkt från Södermannalagen, från 1300-talet. I Upplandslagen från 1200-talet sades: ”Tarva byamän själva broar, andra än dem som till allmän väg höra då vill en bygga och annan ej, då gives den våld och vitsord, som bygga vill.” Att bygga väg kallades ofta att ”broa” på grund av att man använde trästockar som vägbeläggning. I Västgöotalagen från samma århundrade stadgades om tillåtelse (vitsord) för den som ville bygga en utfartsväg från den egna fastigheten över annans tomt. Magnus Erikssons landslag, 1350 (och Kristoffers landslag) innehöll liknande bestämmelser: ”Nu vilja bönder gata genom by lägga, det må de saklöse göra, om dem själva åsämjer.” Samma formuleringar följde med in i den berömda 1734 års lag och för de enskilda vägarna gäller ungefär samma bestämmelser än idag (Blomkvist, 2010).

Under väldigt lång tid var det alltså inte staten eller ”det offentliga” som utförde vägarbetet, trots att vägarna sågs som ett allmänintresse. Det var fastighetsägarnas ansvar att bygga och underhålla vägnätet, en sorts fastighetsskatt in natura: ”Alle, som å landet hemman äga eller bruka, skola vägar röjda, och broar bygga.” (1734 års lag §8). Landsbygdens vägar sköttes av de

jordägande bönderna och i städerna tog varje fastighetsägare ansvar för den bit av gatan som sträckte sig längs den egna tomten och ut till halva gatans bredd. Ansvaret gällde både tekniskt underhåll för att hålla gatan i farbart skick och att se till att smuts och sopor och på vintern snö avlägsnades. Härifrån kommer uttrycket att man ska ”sopa framför egen dörr” och det är en princip som gäller än idag. Öppna platser och torg var (och är) stadens offentliga uppgift. Både bygande och underhåll av vägar och gator skulle alltså skötas enligt den så kallade närhets- och nyttoprincipen. Den som bodde nära en väg eller gata ansågs ha mest nytta av den och skulle hålla den i farbart skick.

I och med industrialiseringen och de ökande transportbehoven och ännu tydligare med bilismens introduktion i stor skala från och med 1930-talet, med en explosionsartad ökning efter andra världskriget, förvandlades det svenska vägnätet gradvis till ett sammanhållet infrastrukturrellt system, som slutgiltigt blev en riksangelägenhet när de allmänna vägarna förstatligades 1944.

## Förmodernt dricksvatten

Vatten (och sanitet) har däremot under större delen av sin historia betraktats som en privatsak. Tvärtemot vad man kan tro var dricksvatten på den svenska landsbygden inte något som byn kollektivt engagerade sig i. Än mindre gällde detta avfall och latrin. De arrangemang som fanns för gemensam hantering av jakt, fiske, betesmarker, fåbodrar och liknande saknades; vatten och sanitet nämns inte över huvud taget i byns stadgar, byordningarna.

I städerna var situationen lite annorlunda. Där fanns offentliga brunnar som folk kunde använda. Men stadens motiv för att tillhandahålla vatten var inte främst att förse stadsborna med dricksvatten. Brandbekämpning och gatuhållning var de viktigaste skälen och dricksvattnet var en välkommen bieffekt. I en del städer konstruerades rudimentära ”proto-system” som med hjälp av borrhållningar skulle förse staden med dricksvatten från en källa i närheten. Den mest berömda av dessa är Kallebäcksledningen i Göteborg som byggdes i slutet av 1700-talet av stadens förmögna handelsmän (Bjur, 1988). I Malmö har man funnit rester av en ännu äldre vattenledning som bygg-

des redan under 1500-talet (Person, 1999). Men dessa tidiga proto-system blev inte långlivade och det går egentligen inte att hävda att de utgör det historiska ursprunget till dagens vattensystem.

I en historik om kommunal infrastruktur är det omöjligt att undvika antiken och speciellt romerska landvinningar, eftersom Rom har en viss lockelse till historiker av infrastruktur. Som alla vet har vägar, vattenförsörjning och sanitet, i den ena eller andra formen, funnits sedan mänsklighetens gryning. I historiska berättelser börjar forskare ofta med en sammanfattning av den antika och romerska historien, vilket ger intrycket, kanske oavsiktligt, att vi ser en obruten systemutveckling över flera årtusenden. I boken hävdar jag att Rom inte spelar så stor roll, åtminstone inte i någon konkret mening, i utvecklingen av svensk eller västerländsk kommunal infrastruktur. Även om tekniken i dessa system var välkänd och väckte avund hos alla kommunaltekniker, talar väldigt lite för existensen av en teknisk utvecklingsbana som sträcker sig över tusentals år. Följaktligen diskuterar boken antik och romersk historia, inte för att måla upp en bild av direkt arv, utan snarare som ett sätt att visa den brutna banan efter Roms fall fram till återuppvaknandet av den kommunala infrastrukturen i Europa i början av 1800-talet. Det är faktiskt slående hur primitiv den europeiska infrastrukturen var i jämförelse med de romerska systemen. Men även om romersk teknologi och organisation hade liten konkret inverkan, påverkade Roms rykte och i viss mån den romerska vattenlagstiftningen fortfarande det offentliga engagemanget inom vatten och sanitet. Det måste också noteras att romersk och forntida vattenteknik inte försvann helt utan ”låg i dvala”. Under medeltiden var kloster och kungliga slott ganska ofta utrustade med rinnande vatten. Ett exempel är slottet i Åbo (Åbo), i Finland, som var en del av Sverige på den tiden, byggt på 1280-talet och försedd med rörledningar från en vattenbrunn som fungerar än idag (Juuti m.fl. 2009).

## Förmodern sanitet

Vad gäller saniteten och avloppets förmoderna historia måste man skilja mellan yttre och inre renhållning. Yttre renhållning, sophantering och gatuhållning, var sedan gammalt prioriterade av stadens offentliga



Figur 2. Kommunal renhållningsarbetare, så kallad budare, med latrintunna (1909). Fotograf: Malmström, Axel (1872-1945). Stockholms stadsmuseum. Ett envist, men falskt rykte, i VA-kretsar gör gällande att denne stilige karl ska vara Greta Garbos far. Det stämmer alltså inte.

organ, men efterlevnaden var inte vad man kunde önska. Inte minst Gustav Vasa försökte ideligen förmå städernas innevånare att sköta renhållning och sanitet och han utfärdade detaljerade förordningar om hur gatorna skulle spolas rena – den som bodde överst i en backe skulle börja och sedan skulle var och en ta efter och städa sin del av gatan. Det var som nämnts, precis som för gatorna, stadens fastighetsägare och borgare som ålades att sköta sysslorna genom så kallat menighetsbesvär på egen bekostnad. Den inre renhållningen, det vill säga hushållsavfall och latrinhantering, var däremot länge en helt privat angelägenhet som skulle skötas inom fastighetens hank och stör. Försök med olika former av privata entreprenörer som hämtade dassstunnorna fungerade inte tillfredsställande och från och med andra halvan av 1800-talet tog städerna över, först den inre och därefter den yttre renhållningen, i egen regi (figur 2).

Föregångaren till dagens underjordiska avloppsledningar var alltså gatuhållningen då man spolade gatorna med vatten och sopade ner smutsen i rännstenarna. Dessa ledde spillvattnet och avfallet ut

till närmaste vattendrag och var i många fall mer att likna vid diken. Inte sällan fick de också transportera latrin och hushållsavfall som olovligt dumpades av mindre nogräknade fastighetsägare och deras tjänstefolk.

En del av dessa rännstenar eller diken var trä- och stenskodda och hade en överbyggnad av plankor vilka fungerade som en trottoar eller spång som man kunde gå på. Dessa kallades ”skvalbänkar” på grund av spillvattnet som skvalade under den promenerandes fötter (figur 3). Anders Cronström (1986) har gått igenom den tidiga gatuhållningen och avloppen historia och berättar att dessa skvalbänkar orsakade en förfärlig stank på somrarna när de torkade ut och vattnet inte längre skvalade.

Intressant nog kan vi nu se historien upprepa sig. Dagens Nyheter (230912) berättar om en modern innovation för att ta hand om klimatkrisens häftiga skyfall. Trottoarerna runt Humlegården i Stockholm ska grävas ut, fyllas med sten och förses med ett genomsläppligt ytskikt genom vilket regnvattnet kan rinna igenom. Trottoaren blir på så sätt en reservoar som magasinerar regnvattnet och hindrar det att översvämma dagvattenledningarna. Skvalbänkens återkommer i något modernare tappning.



Figur 3. Överdäckade avloppsdiken, så kallade Skvalbänkar (runt 1850), skiss från Cronström (1986).

### Ledningsbundet vatten

Inom vattenförsörjning var det först i mitten av 1850-talet som det offentliga engagemanget tog fart. I Stockholm började man på allvar diskutera ledningsbundet dricksvatten 1851 då de första förslagen på ett

kommunalt system för ledningsvatten i Stockholm lades fram (Höjer, 1967; Cronström, 1986). Samtidigt startade svenska läkarföreningen en kampanj för modern vattenförsörjning motiverad av en undersökning av den höga dödligheten. Stockholm var en av de värsta städerna i Europa vad gällde dödlighet. Läkarna inspirerades också av en kommitté som inrättats i Köpenhamn med samma syfte och, kanske viktigast, av de sanitära reformer som beskrevs i Edwin Chadwicks inflytelserika studie *Health of Towns Enquiry*. (Thelle, 2019)

I kampanjen argumenterade man för hygieniska, sociala, medicinska och ekonomiska fördelar med ledningsvatten. De som led mest av de rådande förhållandena var de fattiga, som bodde långt borta från brunnarna i stadskärnan. Kvinnor och barn i fattiga familjer fick lägga tid och arbete på att hämta vatten, som de sedan fick spara och använda under lång tid. På så sätt hade mycket lidande orsakats i form av ryggsmärter och benskador å ena sidan och mag- och tarmsjukdomar å andra sidan. De rika kunde alltid anställa folk för att bära vatten. Läkarföreningen gjorde sig till tolk för en ny syn på hälsa och sjukdom som hade växt fram under 1800-talets första hälft. Man övergav den medeltida hållningen att sjukdom berodde på den enskildes synd ochandel. Nu ansåg man att dålig hälsa kunde ha sociala och miljömässiga orsaker som låg utanför individens möjligheter att kontrollera. Bekämpandet av sjukdom blev profylaktisk. Medborgarnas hälsa skulle befrämjas genom förebyggande åtgärder.

Läkarsällskapets kampanj ledde till att ingenjören och officeren Wilhelm Leijonancker föreslogs att utreda ett ledningsbundet vattenförsörjningssystem. Trots ett starkt internt motstånd gick till slut socknarna, magistraterna och borgarna med på att betala halva kostnaden för en studieresa till England och Tyskland för Leijonancker. Den andra hälften täcktes av Brandförsäkringsbolaget i Stockholm, vilket visar på betydelsen av brandbekämpning som motiv för ledningsnätet. I juni 1853 levererade Leijonancker sin plan inklusive kartor, design och ritningar för ett vattenledningssystem.

Sammanfattningsvis motiverade Leijonancker sitt förslag med dessa huvudpunkter, som innefattar alla aspekter som forskningen har betonat i vattenförsörjningshistorien:

- Hjälp till de fattiga
- Mer bekvämlighet för de bättre bemedlade medborgarna
- Förbättrade sanitära förhållanden i hela staden inklusive gatustädning
- Förbättrad hälsa
- Resurs för vattenförbrukande industrier
- Effektivare brandbekämpning
- Möjligheter för offentliga badhus och tvättinrättningar

Men systemutbyggnaden hade också andra motiv. I de större städerna hade industrialiseringen skapat trångboddhet och slumbebyggelse med en skrämmande hög dödlighet, som dessutom blev en grogrund för de återkommande koleraepidemierna. Städernas besuttna började frukta sociala oroligheter och rent av en arbetarrevolution om inte förhållandena förbättrades. Vatten och sanitet sågs som den bästa lösningen. Inspirationen kom från den tidigare nämnde Chadwick och den Sanitära rörelsen med ursprung i England runt 1830-talet. Vattenförsörjning och vattenburet avlopp skulle förbättra arbetarnas situation och samtidigt hålla produktivkrafterna friska.

Ett citat från Wilhelm Leijonanckers Förslag till vattenledning i Stockholm (1853) visar de gemensamma intressen stadens borgare, som bekostade fattigvården, och de nya industrialisterna hade av att hålla arbetarstammen frisk.

”Man torde invända att enn större dödlighet bland den fattigare klassen ej just är en svår olycka, en sats möjlig att försvara om blott icke arbetsföra personer dogo, men tabellerna visa att det ofta dö män mellan 25 och 40 år, uthur hvilkas, i fattigdom efterlemnade familjer proletärklassen till största delen rekryteras. Då nu sanitära åtgärder otvifelaktigt bidraga till förökande af medeldåldern, slipper fattigvården många, måhända de flesta, sådana familjer.”

I och med kommunalreformen 1862 tog utbyggnaden av vattensystemen fart. Reformen medförde att de nya kommunerna, inklusive städerna, fick utökad rätt till beskattning av alla medborgare, tidigare betalades skatt endast av fastighetsägarna och borgarna. Till kommunalreformen hörde också de så kallade Stadsstadgorna från 1874: Ordningsstadgan; Brandstadgan; Byggnadsstadgan; Hälsovårdsstadgan och 1907 års

Stadsplanelag. Inte minst Hälsovårdsstadgan blev betydelsefull för utbyggnaden av VA i städerna och småningom över hela landet. År 1890 hade 24 städer byggt vattensystem (Hallström 2003, Tabell 1)

Tabell 1: Vattensystem i svenska städer 1858-1890 (Hallström, 2003)

Stockholm 1858-61	Karlskrona 1861-64
Jönköping 1864-65	Malmö 1861-66
Göteborg 1867-71	Landskrona 1869-74
Lund 1872-74	Norrköping 1872-75
Linköping 1874-76	Uppsala 1874-75
Gävle 1874-76	Skövde 1875
Sundsvall 1878-79	Borås 1881
Vänersborg 1882	Härnösand 1882-83
Helsingborg 1883	Halmstad 1885-86
Örebro 1885-86	Västerås 1887-88
Växjö 1887	Eskilstuna 1887
Karlstad 1888-89	Mariestad 1889-90

## Ledningsbundet avlopp

Vattenburet avlopp kom senare än vattenförsörjningen och i efterhand kan det verka konstigt att man inte grävde ner avloppsrör samtidigt som man lade ner vattenledningarna. Men faktum är att städerna inte vågade ge sig in i ännu ett storskaligt företag. Den rådande uppfattningen var att inte förrän vattenledningen hade nått sin fulla omfattning kunde överskottsmedlen "... användas för att bygga ledningar för mottagning och utsläpp av bräddvatten eller föroreningsvatten" (Cronström, 1986). Det var först i mitten av 1870-talet som byggandet av avloppsnäten tog fart, först i Stockholm och sedan i städer över hela landet: 1860-talet, Göteborg; 1870-talet, 8 städer; 1880-talet, 21 städer; 1890-talet, 23 städer; och 1900-talet, 18 städer.

Sett som ett infrastruktursystem var moderna avloppssystem, i motsats till tidigare privata arrangemang som till exempel latrintunnor som hämtades genom budning, kapital- snarare än arbetsintensiva och fungerade på ett nästan automatiskt sätt vilket förbättrade sanitära förhållanden och löste både insamling och transport av exkrementer. De främsta orsakerna bakom byggandet avloppsledningar var enligt Tarr (1996) dessa (med hänvisning till utvecklingen i USA, men de

är tillämpliga även i ett svenskt och europeiskt sammanhang):

- Kapital- och underhållskostnaderna för avloppssystem innebar en besparing jämfört med den årliga kostnaden för insamling och rengöring av latrintunnorna.
- Avloppssystem skapade avsevärt förbättrade sanitära förhållanden och resulterade i lägre sjuklighet och dödlighet i infektionssjukdomar.
- På grund av förbättrade sanitära förhållanden skulle städer som byggde avloppssystem attrahera befolkning och industri och växa i snabbare takt än de som inte gjorde det.

Om vi återvänder till Lejonanker i Stockholm, insåg han att arbetet bara var halvklart i och med införandet av ledningsbundet dricksvatten, förr eller senare måste avloppsledningar tillkomma. Redan 1862 presenterade han sin argumentation för vattenverkets styrelse och 1864 anställdes han för att utforma ett avloppssystem i delar av staden. Lejonanker lade fram en plan 1866, men den förkastades av stadsfullmäktige. Kommunen medgav att avloppsledningar skulle vara till fördel för folkhälsan men menade att projektet var för nytt, osäkert och obekant i Sverige, beslutet måste skjutas upp tills mer kunskap och erfarenhet kunde erhållas om denna typ av system. Det var inte förrän 1872 som de första avloppsrören installerades i stadskärnan och ledningssystemet började sakta nå hela staden. Dessa första rör släppte ut allt smutsigt vatten direkt i de omgivande recipienterna. I början användes avloppet främst till så kallat gråvatten. Dasstunnorna och budningen för latrininsamling levde kvar och var inte riktigt borta förrän på 1940-talet, ännu senare i mindre städer och på landsbygden.

I många svenska städer, började lägenheter i flerbilshus att förses med köksavlopp på 1860-talet och urinen från de så kallade golvtgångarna (urinsorteringstoalletter) samlades i en porslinskruka som tömdes. in i köksavloppet (senare kopplades ett rör för urinen direkt till avloppsröret i golvet). Ett ekonomiskt skäl för att separera urinen var helt enkelt att latrintunnan fylldes mycket långsammare vilket minskade behovet av tömning. Urin utgör ca 90 % av volymen av en persons exkrementer, men värdet som gödsel minskar också (Drangert m.fl. 2002).

Även om vattenklosetterna var en del av debatten och hade många förespråkare på 1890-talet, var WC fortfarande en oprövad utmaning. Stockholms kommunfullmäktige och finansnämnden, som nu hade hand om vattenverket och ledningssystemet, motsatte sig medan den kommunala hälsovårdsnämnden godkände. Detta gjorde utbyggnaden av WC mycket långsam. År 1895 hade Stockholm endast ett 40-tal hus installerade med denna bekvämlighet, ett antal som hade stigit till omkring 1 500 år 1904, året då den restriktiva attityden släpptes något. Det var dock först i den nya avloppsplanen 1909 som WC tilläts. När förbudet hävdes spred sig installationerna snabbt och avslutningen till det ledningsbundna avloppssystemet tog fart. Även Göteborg hade sin WC-debatt på 1890-talet. Stadens ledande aktör inom vatten och sanitet J G Richert uttryckte en tydlig åsikt. Han menade att vattenspolningstoaletten var ett ”hygieniskt axiom”, det vill säga något självklart som inte behöver ytterligare motiveras, och att motargument, som rädslan för föroreningar, var överdrivna. I vilket fall som helst vägrade de positiva hygieniska egenskaperna hos WC upp möjliga negativa effekter, enligt Richert (Bjur, 1988). Göteborg tillät WC 1906, tre år innan Stockh

På 1910-talet hade vattenklosettsystemet blivit ett integrerat och allmänt accepterat system, om ännu inte fullt ut realiserat, i bland annat Norrköping, Stockholm, Göteborg och flera andra större städer. I och med en ny hälsovårdslag från 1919 befästes WC-utvecklingen då lagen förordade att allmänna vatten- och avloppsledningar skulle anläggas över hela Sverige (Drangert och Löwgren, 2005).

Allt eftersom avloppsnäten byggdes ut fick man ta till ”skärande ledningar” som tog hand om dagvatten och grävde ner avloppsrören allt djupare och lade samtidigt nya utlopp allt längre ut från städerna som mynnade ut i djupare vatten. Man ville att föroreningarna skulle hamna under i stället för direkt på vattenytan. Men dessa justeringar löste egentligen inte problemet med förorening av vattenrecipienterna så länge man släppte ut avloppsvattnet orenat. År 1930 presenterades en ny plan för Stockholms avlopp. Den kom att kallas ”Avloppsbibeln” med den officiella titeln ”Förslag till anordningar för rening av avloppsvatten i Stockholm” och den fick stort genomslag även i andra

svenska orter. Det var början på ett storskaligt avloppsnät inklusive avloppsreningsverk och 1953 presenterades slutligen en fullständig plan för stadens avloppsrening, ”Översiktsplan för rening av Stockholms avloppsvatten”, som blev utgångspunkten för hela landets fortsatta avloppsplanering.

Ett av de största problemen med de avloppsnät som byggdes var att man utgick från den funktion som de gamla rännstenarna och avloppsdikena hade haft. Där samlades såväl avlopp/spillvatten och dagvatten och i de nya underjordiska ledningarna blandades allt lika friskt. Dominansen av kombinerade avlopp var nästan total under de första 30 åren av avloppsbyggnad i Sverige (Hallström, 2003).

På så sätt hamnade avloppssystemet i vad som brukar kallas ett ”stigberoende”. När vattensystemen ledde alltmer vatten in till städerna blev problemet med att bli av med avloppsvattnet mer akut, särskilt efter införandet av WC. De befintliga avloppen, rännstenar och ”skvalbänkar”, var främst avsedda för dagvatten, och de blev kombinerade avlopp när hushållen fortsatte att använda dem efter installation av rinnande vatten och särskilt när vattenklosett användes. På grund av det historiska arvet från redan existerande teknik, dagvatten-dränering, blev kombinerade avlopp för dagvatten och avloppsvatten normen. Detsamma gällde London. När staden byggde ett avloppssystem 1858, baserat på Joseph Bazalgettes plan, valdes ett kombinerat avloppssystem. Ett separat system förkastades med argumentet att dagvatten på grund av djurexkrementer var lika mycket förorenat som avloppsvatten och borde behandlas som sådant. Bazalgette, chefsingenjör för Metropolitan Board of Works designade en serie sammankopplade avloppsledningar som förde avloppsvattnet österut bort från de huvudsakliga befolkningscentrumen för att skickas vid det utgående tidvattnet. Bazalgette-planen omfattade också byggandet av vallar längs stora delar av Themsen i centrala London. Vallarna dolde de nya avloppen och fungerade som översvämningsskydd (Halliday, 2001).

De kombinerade avloppen verkade utifrån teorin om vattnets självrening”, att rinnande vatten renade sig själv och att inga andra åtgärder behövdes. Fram till 1890-talet verkade denna hypotes bekräftas av befintliga metoder för kemisk analys av vattenkvalitet. Med

undantag för specifika orter med allvarliga problem med avloppshantering, motsatte sig kommunerna att installera avloppsreningsanläggningar som gav fördelar endast till städer nedströms. I stället förlitade man sig på utspädning för att skingra de värsta koncentrationerna av föroreningar (Tarr, 1996). Tron på självrening av rinnande vatten var dominerande även i Sverige. Den inflytelserika läkaren Klas Sondén undersökte vattenföroreningar i Stockholm 1889 och kom fram till att det avloppet inte skulle förorena recipienterna i någon högre grad. Han var mer oroad över att högvatten i Östersjön skulle leda till att saltvatten trängde in i Mälaren och förorena sötvattenmagasinet. Andra som till exempel J G Richert hävdade i 1909 års avloppsplan att det vore önskvärt om alla avlopp byggdes så att de kunde förses med avloppsreningsanordningar i framtiden. Sondén vände sig mot denna uppfattning. Han trodde att det skulle dröja länge innan avloppet skulle ställa till några betydande problem. Senare ändrade Sondén dock åsikt och förespråkade 1930 mekanisk rening eftersom det var "...oundvikligt att rena avloppsvattnet från flytande föroreningar och slam." (Blomkvist, 2023) Sammanfattningsvis skapade valet av kombinerade avloppsledning på grund av tidigare teknisk utformning, det vill säga gatrännor och delvis på grund av tron på teorin om vattensjälvrening, ett starkt stigberoende inom vattenförsörjning och avlopp, som till viss del ännu påverkar arbetet med att hantera klimatkrisens ökande regnmängder.

I efterkrigstiden, och speciellt under 1960-70 talen genomfördes en massiv utbyggnad av reningsverk över hela Sverige. Satsningen bekostades till stor del med statliga pengar. Resultatet var positivt och vattenföroreningarna var inte längre ett akut problem. Men storskaligheten och de centraliserade systemen kritiserades. Under 1980- och 90-talen pågick en het debatt om återanvändning av resurser, såsom urinseparering och användande av slam som gödningsmedel inom jordbruket. Det är värt att notera att Sverige var ett föregångsland inom området för resursorienterade lösningar. Men dessa banbrytande försök misslyckades, och orsakerna var främst kopplade till trögheten i det befintliga systemet. Det var mycket svårt att ändra riktningen för ett stort infrastruktursystem för att optimera återvinningen av resurser när det ursprungligen utformades för

att förbättra hygien och kontrollera vattenföroreningar (Söderholm m.fl. 2022; Vidal, 2022).

I dagens debatt finns en stark rörelse mot cirkulär ekonomi i diskussioner om VA. Man vill gå från den tidigare kvittblivningen mot återanvändning av resurser och sloganen är: "Dagens reningsverk - morgondagens resursverk." (Svenskt vatten) I Helsingborg har kommunen startat ett uppmärksammat och ofta omnämnt projekt kallat "RecoLab – Pilotåtervinningsanläggning för hållbar hantering av avloppsvatten och matavfall". Ur ett historiskt perspektiv är cirkeln slutet och vi är tillbaka i förmoderna sanitetsmetoder där latrin sågs som en värdefull resurs och gödningsmedel i jordbruket. Denna holistiska syn var också central för Edwin Chadwick och sanitetsrörelsen. Man ansåg, som nämnts, att folkhälsofrågor skulle behandlas förebyggande med hjälp av tekniska system. Folkhälsan skulle läggas i händerna på ingenjörerna som förstod sig på systemen. Visionen var att avloppsledningarna skulle transportera fekalier och avfall till jordbruksmarker utanför staden. Den ekonomiska vinsten skulle betala för de sanitära förbättringarna i städerna och samtidigt gynna jordbruket. Chadwick använde den gamla egyptiska evighetssymbolen (Ouroborus), en orm som äter sin svans och ville med de nya avloppssystemen än en gång föra "ormens svans in i ormens mun". I Helsingborg vill man återigen sluta cirkeln och föra in ormens svans i munnen igen genom att gå från att "bli av med" (kvittblivning) och tillbaka till återanvändning. Populärt sett presenteras projektet "tre rör ut" så här på hemsidan: "Den nya stadsdelen Oceanhamnen i Helsingborg har skapat en lösning för att separera och återvinna olika typer av avloppsvatten och matavfall vid källan" (Blomkvist, 2023).

## Lokalt VA finns fortfarande kvar

I utvecklingen av infrastruktursystem för vatten och sanitet i Sverige finns det en historia som ännu inte berättats. Redovisningen hittills kan ge intrycket av att modern infrastruktur är totalt dominerande och täcker alla delar av landet. Och det är sant att vi kan se en utveckling från privata VA-arrangemang till offentlig kommunal infrastruktur. Ändå är det mycket viktigt att notera att stora delar av landsbygden inte fick tillgång till ledningsbundet dricksvatten och avlopp

förrän långt upp på 1970-talet, och sektorn reglerades inte på riktigt förrän i och med den första nationella vatten- och avloppslagen 1955.

Dessutom har vi inom vatten och sanitet en lokal nivå, utanför nätet, som inte är sammankopplat med de offentliga ledningsbundna systemen. På så sätt lever förmoderna arrangemang vidare än idag och många är fortfarande beroende av privata, off-grid lösningar för vatten och sanitet. I Sveriges välutvecklade VA-system med cirka 1,5 miljoner fastigheter anslutna till det kommunala vatten- och avloppsnätet, finns nästan 1 miljon fastigheter, varav cirka 450-500 000 fritidsfastigheter som inte är anslutna (Blomkvist m.fl., 2023).

För att sammanfatta: Vägar och gator var en allmän angelägenhet långt innan de blev ett sammanhållet och offentligt infrasytem. Vatten och avlopp blev allmänna åtaganden i egentlig mening först i och med byggandet av de infrastrukturella systemen, från slutet av 1800-talet. Men ser vi ingen fullständig omvandling från arrangemang till infrasytem inom kommunal infrastruktur. Inom vägsektorn har vi fortfarande en lokal nivå av enskilda vägar som förvaltas av de närliggande fastighetsägarna. De är relativt väl infogade, men ändå inte riktigt en del av ett modernt infrasytem. Inom vatten och sanitet ser vi inte ens denna grad av anpassning mellan den lokala nivån och systemet. I VA baseras den lokala nivån ofta på off-grid- och förmoderna servicearrangemang som inte är särskilt väl anpassade till systemet.

### Systembyggarna

Avslutningsvis vill jag beröra en grupp som hade ett stort inflytande när gator, vatten och avlopp gradvis utvecklades till infrastruktursystem. När de tidigare servicearrangemangen systemiserades, framträdde en ny uppsättning aktörer som tog på sig rollen som systembyggare vid sidan av kommunerna och staten. De nya civilingenjörerna och kommunalteknikerna förändrade hur man såg på offentliga åtaganden inom infrastruktur genom att koppla systemuppbyggnaden till skapandet av ett Sverige baserat på industriell tillväxt. Från och med nu förknippades offentliga åtaganden med visioner om modern teknik och infrastruktur-tjänster för alla. I boken kallas dessa aktörer bärare av teknik och offentlighet.

En aspekt som ofta glöms bort i infrastrukturens historia som jag tror var viktig i systematiseringen är civilingenjörernas professionaliseringsprocess och deras självbild av att vara stolta system- och samhällsbyggare. Med utgångspunkt i tidigare forskning (Blomkvist, 2001) vill jag lyfta fram de svenska ingenjörernas samhälleliga roll och betydelse i den så kallade andra industrialiseringen i Sverige under 1900-talets två första decennier, en period som präglades av en allmän teknisk och vetenskaplig optimism, som på många sätt liknar decennierna efter andra världskriget. Ingenjörssamfundet ville etablera sig som en självständig vetenskaplig disciplin. Ingenjören skulle inte längre bara vara en tekniker som praktiskt tillämpade naturvetarens insikter, utan en vetenskapsman i sin egen rätt (alla ingenjörer var män vid den tiden). Denna ingenjörsvetenskap kan exemplifieras med inrättandet av Ingenjörsvetenskapsakademien 1919 och införandet av teknisk doktorsnivå vid Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) 1927.

Professionaliseringsprocessen var också intimt kopplad till den starka laganda som fanns (och fortfarande finns) bland väg- och vattenbyggarna. De viktigaste komponenterna i "Väg- och vattenbyggarandan" var deras militära ursprung och den gemensamma utbildningsbakgrunden vid de tekniska högskolorna som låg till grund för yrkets starka "maskulina kodning" och ingenjörens identitet som "samhällsbyggare". Väg- och vattenbyggarna ingick i ett "brödraskap", ett manligt kamratskap, med en tydlig identitet med ursprung vid de militära institutioner där de första civilingenjörerna utbildades. När ingenjörutbildningen överfördes till tekniska högskolor förblev dessa militära och maskulint kodade normer viktiga. I en historisk uppsats om studentkåren på KTH beskrivs brödraskapet så här: "Inom varje yrke finns det något av ett frimureri, på gott och ont. Vi kallar det gemenskapsanda och känner oss stolta över att tillhöra den gemenskap som är bäraren av denna subtila känsla. Den är född ur traditioner som lever vidare på teknisk" (Widegren, 1967 i Blomkvist, 2001).

Vid sidan av detta "frimureri" fanns bland ingenjörerna en stark övertygelse om att de hade en speciell roll i skapandet av den svenska nationen utifrån sin erfarenhet av att arbeta direkt i samhällets tjänst. Deras



självbild inkluderade rollen som pionjären och ”banbrytaren” som röjde marken för den industriella revolutionen och konstruerade den materiella grunden för välfärdsstaten. Det var väg- och vattenbyggaren som grundlade samhället i konkret mening och banbrytaren från 1800-talets senare hälft förvandlades successivt till samhällsbyggaren från 1900-talets andra hälft. De såg sig själva som traditionsbärare i ett av världens äldsta yrken och behöll respekten för handens styrka och skicklighet långt efter att maskiner hade fått inträde.

Viktiga komponenter i väg- och vattenbyggarens systemkultur har således varit ett tekniskt-vetenskapligt förhållningssätt och en gemensam värdegrund skapad av en liknande utbildningsbakgrund som resulterat i en självbild av att vara en stolt system- och samhällsbyggare. Ibland glöms denna sista aspekt när man diskuterar tekniska och vetenskapliga experter och deras inflytande över stora infrastrukturella eller industriella projekt. Systemkulturen är relevant eftersom den bidrar till systemtröghet och ovilja mot förändring. Forskare, inte minst jag, har ofta riktat en

kritisk blick på ingenjörernas och andra experters makt när det gäller att definiera kritiska problem och föreslå lösningar på dessa. Om dessa aktörer påverkas av tanke-sätt och föreställningar baserade i systemkulturen är risken stor att de bara ser en sorts lösning på problemen. Radikala förslag som till exempel att helt ändra systemets riktning får inte tillräcklig uppmärksamhet.

Men bilden av den stolta system- och samhällsbyggaren har en positiv sida som inte får glömmas bort. Den positiva självbilden var avgörande för systembyggarna. De kände verkligen att de bidrog till en bättre framtid för nationen och för dess invånare. De lade grunden för en välfärdsstat där universell tillgång till allmänna gator, vägar, vatten och sanitet var målet. Det är min övertygelse att de utmaningar som den kommunala (och nationella) infrastrukturen står inför idag, främst på grund av klimat effekter, skulle behöva en liknande självbild bland inflytelserika aktörer. Den framtida hanteringen av klimatkrisen i våra infrastruktursystem skulle behöva en ny generation stolta system- och samhällsbyggare.

## Litteratur

- Alm, J., Paulsson, A., & Jonsson, R. (2021) Capacity in municipalities: Infrastructures, maintenance debts and ways of overcoming a run-to-failure mentality, *Local Economy*, 36(2)
- Andersson, J. (2013) Karlskrona vattenverk 150 år: stadens och kommunens VA-historia 1863-2013. Karlskrona, Sverige.
- Bjur, H. (1988) Vattenbyggnadskonst i Göteborg under 200 år, Göteborg: Göteborgs VA-verk
- Blomkvist P. & Kaiser A. (1998) Den konstruerade världen: Tekniska system i historiskt perspektiv. Brutus Östlings Bokförlag Symposium. Stockholm, Sverige.
- Blomkvist, P. (2010) Om förvaltning av gemensamma resurser: Enskild väghållning och allmänningens dilemma i svensk historia 1200–2010, Kungliga tekniska högskolan, Stockholm, Sverige. TRITA-IEO 2010:06
- Blomkvist, P., Nilsson, D., Joma, B. & Sitoki, L. (2019) Bridging the critical interface: Ambidextrous innovation for water provision in Nairobi's informal settlements. *Technology in Society*, 60.
- Blomkvist, P. (2023) Articulating Publicness in Infrastructure: The History of Municipal Streets, Water and Sanitation in Sweden. IWA Publishing. DOI: <https://doi.org/10.2166/9781789063981>
- Blomkvist P., Karpouzoglou T., Nilsson D. & Wallin J. (2023). Entrepreneurship and alignment work in the Swedish water and sanitation sector. *Technology in Society*, 74, 102280, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102280>
- Cronström, A. (1986) Stockholms tekniska historia 3 Vattenförsörjning och avlopp. Liber Förlag, Stockholm, Sverige.
- Charles Fishman (2011) *The Big Thirst: The Secret Life and Turbulent Future of Water*, Free Press, New York, USA.
- Halliday S. (2001 [1999]). *The Great Stink of London: Sir Joseph Bazalgette and the Cleansing of the Victorian Metropolis*. Sutton, Stroud.
- Hallström, J. (2003) *Constructing a Pipe-Bound City: A History of Water Supply, Sewerage, and Excreta Removal in Norrköping and Linköping, Sweden, 1860-1910* (PhD dissertation). Linköping University Electronic Press, Linköping, Sverige.
- Isgård, E. (1998) *I Vattumannens tecken: svensk VA-teknik från trärör till kväverening*. Ohlson & Winnfors. Örebro, Sverige.
- Jakobsson, E. (1999) *Introduktion av WC i Stockholm: ett vattensystemperspektiv på staden*. Polhem. 1999 (17).
- Person, K.M. (1999) *Några tankar om Malmös vattenförsörjning under medeltid och renässans*, Elbogen 1999, Malmö Fornminnesförenings årskrift.
- Isgård, E. (1998) *I Vattumannens tecken: svensk VA-teknik från trärör till kväverening*. Ohlson & Winnfors. Örebro, Sverige.
- Winnfors, E. (2008) *Sundsvall - vattenstaden*. Ohlson & Winnfors. Örebro, Sverige.
- Winnfors Wannberg, E. (2017). *Jakten på Gävles vatten*. 1. uppl. Ohlson & Winnfors. Örebro, Sverige.

# Walls or the wall, that is the question

## Vallar eller vällen, det är frågan



Magnus Hieronymus, SMHI, Folkborgsvägen 17, 601 76 Norrköping [magnus.hieronymus@smhi.se](mailto:magnus.hieronymus@smhi.se)

### Abstract

A world with multimeter sea level rise is likely to be a world riddled with storm surge barriers. One cannot with certainty tell if or when our world will experience such magnitudes of sea level rise, but we can infer that certain geographical locations offer alternative options to local storm surge barriers. Here, the Baltic Sea is discussed. The Baltic Sea is connected to the open ocean by the narrow and shallow Danish Straits. Closing these straits would require building a seawall of about half the length of the longest seawall in existence today. Closing the sea would create a freshwater lake, a configuration the Baltic Sea had until about 8000 years ago. Given that the scale of the seawall needed to enclose the Baltic Sea is smaller than a number of seawalls already in existence, it is argued that the question is not if an enclosure could be built, but at what magnitude of sea level rise its construction would be preferable to other adaptation measures with smaller environmental footprints. It is found that different countries would likely have different opinions about this given their differing levels of exposure.

**Keywords:** Sea level rise, Seawalls, Dikes, Adaptation, Flooding

### Sammanfattning

En värld med flera meters havsnivåstigning är högst sannolikt en värld full av översvämningsskydd. Man kan inte med säkerhet veta när eller om så stora havsnivåstigningar kommer upplevas i vår värld, men man kan med säkerhet säga att vissa platser erbjuder alternativ till lokala översvämningsskydd. Här diskuteras Östersjön, som är sammanlänkad med det öppna havet genom trånga och grunda sund. För att stänga dessa sund skulle en havsvall kunna konstrueras vars längd skulle behöva vara ungefär hälften av den längsta havsvallen som existerar idag. Att stänga sunden skulle transformera Östersjön till en färskvattensjö, någonting den var för ungefär 8000 år sedan. Givet att den föreslagna vällen är mindre än ett antal havsvallar som redan existerar, så argumenteras det för att frågan inte är om en sådan vall skulle kunna byggas, utan hur högt havsnivån måste stiga för att en sådan vall skulle vara att föredra över andra åtgärder med mindre miljökonsekvenser. Givet att utsattheten för havsnivåhöjning är väldigt olika i olika länder är det sannolikt att det optimala konstruktions-tillfället inte ens approximativt kommer sammanfalla för olika länder.

## Introduction

Enormous sums are spent every year on mitigating climate change and on climate adaptation. As an example, The EU's 2021-2027 long-term budget, together with the NextGenerationEU recovery instrument, amounts to 1.8 trillion euro in 2018 prices, of which the European Commission claims that 30% will be spent to fight climate change. The massive spending is a consequence of similarly enormous projections of future damage. The Horizon 2020 funded COACCH project estimated that the largest impact would come from flooding induced by sea level rise that could "lead to damages in excess of 100 billion euro per year by the 2050s, even under a moderate warming scenario (RCP4.5)" in current prices and with no adaptation in place (the COACCH project, 2021). Toward the end of the century in a very high emission scenario with an extreme ice-sheet melt projection, Vousdoukas et al. (2018) projected that the annual flood damage in Europe could exceed a trillion euro, also this estimate in the absence of adaptation. Fortunately, Vousdoukas et al. (2020) found that a large percentage of the projected damage could be avoided by raising coastal flood defenses and that such constructions would have favorable cost to benefit ratios.

When both the potential problems and the allocatable resources are vast it should come as no surprise that a number of megaprojects have been suggested to tackle the issues related to sea level rise. One such proposal is to attempt to curtail sea level rise through geoengineering of polar glaciers (Moore et al., 2018). Another suggestion is to turn the whole North Sea into a giant lake, through construction of seawalls between Norway and Scotland and between England and France (Groeskamp and Kjellsson, 2020). Both of these proposed projects would, if they were ever constructed, be civil engineering on a scale never undertaken before, and they would have to be done, at least, partly over very rough seas hundreds of meters deep. Enclosing the Baltic Sea on the other hand, would require a seawall that is only about half the size of the biggest already in existence. Moreover, the construction could be done over shallow straits and in comparably sheltered conditions.

Sweden and Denmark are connected by three straits: Öresund, the Great Belt and the Little Belt that are at their narrowest 3.5, 12 and 0.7 km wide respectively, see Fig. 1. These straits are also already connected by bridges and they are shallow, some tens of meters is the maximum depth. The total length of seawall that would have to be constructed to enclose the Baltic Sea, would as mentioned before only be about half the length of the longest seawall in existence today. The two longest currently existing seawalls the Saemangeum Seawall (finished in 2010) in South Korea and the Afsluitdijk (finished in 1932) in the Netherlands are both in excess of 30 km long. For comparison, the proposed seawall needed to enclose the North Sea would be 637 km long (Groeskamp and Kjellsson, 2020). Moreover, the average height of the Saemangeum Seawall is 36 m, which would more than suffice for a Baltic seawall even in a world with multiple meters of mean sea level rise. Moreover, the construction cost for the Saemangeum Seawall of 1.83 billion euro (2018 value) (Groeskamp and Kjellsson, 2020), is within the range of what the city of Gothenburg (with 600000 inhabitants) on the Swedish west coast expects to spend on floodgates (SWEKO, 2023). In comparison to the high estimates of future damage and the enormous property values at stake, the building cost of a Baltic seawall would be negligible. The central banks of Sweden and Denmark estimated respectively that about 5% of properties in southern Sweden and 13% of those in Denmark would be exposed to flooding during severe storms in 2100, if the mean sea level rose according to the projection for the very high emission scenario RCP8.5 (Nationalbank, 2019; Danielsson, 2020).

For comparison, it is also worth noting that the Saemangeum Seawall was built to create about 400 km<sup>2</sup> of farmland and a freshwater reservoir. The values at stake around the Baltic Sea coast are of course many orders of magnitude greater, and not just economical but also architectural and cultural, including several world heritage sites.

A list of potential marginal seas that could host enclosure dams, including the Baltic, was given by Groeskamp and Kjellsson (2020). The geographical conditions for creating a cost efficient enclosure

around the Baltic Sea are very favorable in comparison to the others. Only the Black Sea, which is connected to the Mediterranean by even narrower straits is likely to have better geographical conditions. Both these basins also share that they have a freshwater surplus, that is the sum of the precipitation and river run-off over the basins is larger than the evaporation. This is an under-appreciated factor, which may be even more important than the size of the seawall that has to be constructed, for whether a marginal sea would make a good target for an enclosure. For example, if one closed the strait of Gibraltar the volume of the Mediterranean Sea would diminish with time and the salinity would increase over time since the basin has a freshwater deficit and sea-salt does not evaporate. The volume budget could be closed by letting ocean water, which contains about 35 ‰ salt, flow into the Mediterranean through the enclosure at

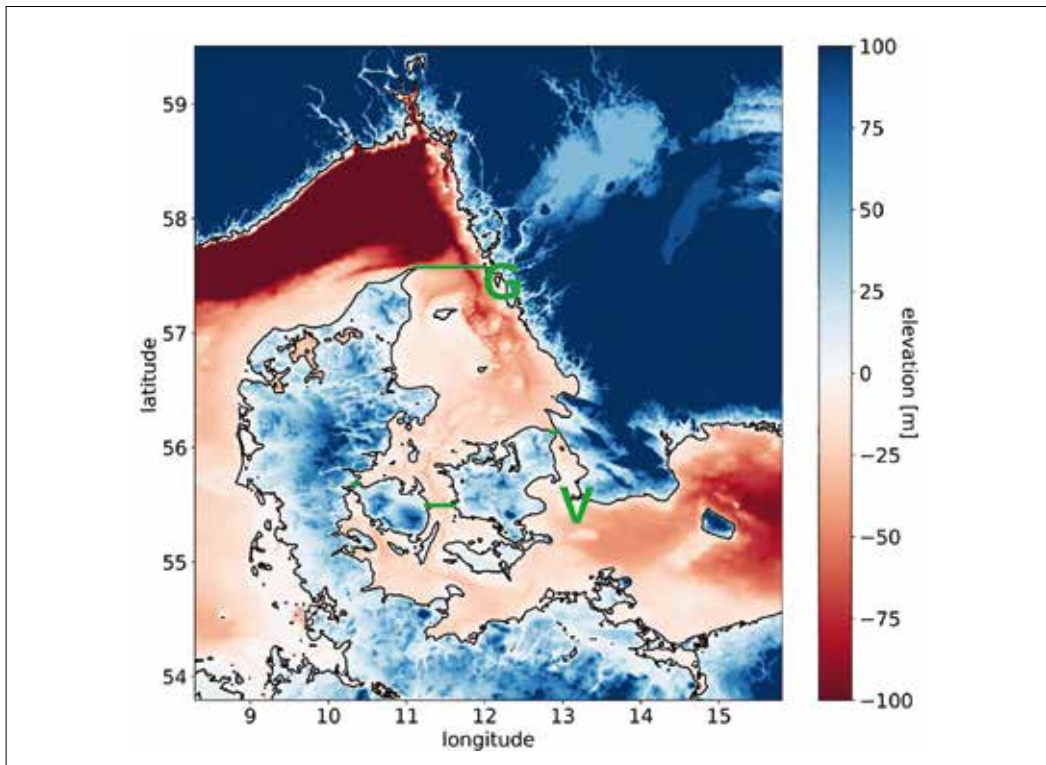
the strait of Gibraltar. However, closing the salt budget is much more difficult, and would require a desalination operation far beyond the scale of anything in the world today.

Given the favorable geographical conditions; the big question in the Baltic case is not if an enclosure could be built, but at what magnitude of sea level rise its construction would be preferable to other adaptation measures with smaller environmental footprints?

**Mean sea level change**

Sea level rise projections diverge widely depending of emission scenario, time frame, location and several other factors. The *likely* ranges of the medium confidence projections for global mean sea level rise in the IPCC's sixth assessment report (AR6) range between 0.28 m and 1.01 m until 2100 and 0.37 m to 1.88 m until 2150. The lower bound is for the *likely* range of

Figure 1. Topographic map of the area with the proposed placements. The two alternative locations for a Baltic seawall are marked with green lines. The V shows the location of the municipality Vellinge, where Sweden's first seawall will be built. The G marks the location of Gothenburg where a pilot study for floodgates has been done. Elevation data comes from NOAA's ETOPO Global Relief Model.



the SSP1-1.9 projection and the upper bound is on the *likely* range for SSP5-8.5. The middle of the road scenario SSP2-4.5 has a median projection of 0.56 m until 2100 and 0.92 until 2150 (Fox-Kemper et al., 2021). Apart from the medium confidence projections there are also low confidence projections. These projections have their ice sheet contributions to sea level rise taken from some of the highest estimates in the published scientific literature (Bamber et al., 2019; DeConto et al., 2021). Taking also these projections into considerations gives *likely* ranges of 0.28-1.6 m for 2100 and 0.37-4.82 for 2150 (Fox-Kemper et al., 2021).

The relative sea level rise (sea level change relative to land) is slower in the Baltic Sea than in the global average for two primary reasons. Firstly, because a large part of the coast still experiences significant postglacial land uplift (Vestøl et al., 2019) and secondly, because the relative proximity to Greenland ensures that melt from Greenland has a comparably small effect on the local sea level (Hieronymus and Kalén, 2020). Both these effects have their maxima in the northern Baltic Sea, where many locations expect to see a relative sea level fall until the end of the current century even in very high emission scenarios (Hieronymus and Kalén, 2020). The land uplift has its maximal rate of about 10 mm per year on the Swedish coast of the Bothnian Sea.

On the Southern shores of the Baltic Sea the land uplift rate is close to zero, and even negative in some areas, yielding sea level rise that, in magnitude, is similar to that seen in globally averaged projections.

Even though the projected mean sea level change for large parts of the Baltic Sea shores are significantly lower than for other locations, the large range given in published sea level projections still enables very considerable sea level rise also in its northern parts in the coming decades and centuries. For context, Johansson et al. (2014) estimated that the Finnish coast would see around 80% of the globally averaged sea level rise until 2100. The relative sea level rise in Finland will, however, be smaller than 80% of the global average, because of land uplift. However, in the unlikely circumstance that multimeter sea level rise were to occur in the next few hundred

years, large areas in the northern Baltic would also be affected by very considerable sea level rise.

In a longer time frame it is very likely that even a modest warming in line with the Paris agreement will lead to multimeter sea level rise. It was assessed in AR6, although with low confidence, that “Over the next 2000 years, global mean sea level will rise by about 2 to 3 m if warming is limited to 1.5°C, 2 to 6 m if limited to 2°C and 19 to 22 m with 5°C of warming, and it will continue to rise over subsequent millennia” (Fox-Kemper et al., 2021). Such mean sea level changes would lead to considerable permanent land loss, at least, in areas with low or negative land uplift rates.

### Local or non-local protection

As a part of the Swedish Meteorological and Hydrological Institute’s expert group on sea level rise I occasionally get to meet city planners from coastal municipalities in, mostly southern and central, Sweden. Till date, I have never met a planner from a municipality where no form of seawall, flood gate or some other form of hard protection has been, at least, discussed. In my home city, at least two locations of possible sea walls, one of them being several kilometres long, have been proposed. As mentioned in the introduction, the city of Gothenburg (marked with G in Fig. 1) has already made a pilot study for constructing flood gates, with cost estimates similar to those for the Saemangeum Seawall (SWECO, 2023). Currently a seawall building project has started in southern Sweden in Vellinge municipality, (marked with V in Fig. 1). The seawall to be built is over 20 km long and the estimated cost is at least 200 million Swedish crowns (Dagens Industri, 2021). This single small Swedish municipality is thus building a seawall that is longer than the wall that would be needed to protect the whole Baltic Sea from flooding. The scale of the project is of course smaller as Vellinge’s seawall will be built on land. However, also a seawall that is even larger than that needed to enclose the Baltic Sea has in fact already been built in the area. The 25 km long St. Petersburg flood protection barrier in the Gulf of Finland was opened to the public in 2011. Its construction including sluices,

highways, flood gates, tunnels and a viaduct costed approximately 3 billion dollars (Hunter, 2012). It's also worth noting that the St. Petersburg flood protection barrier was built to protect a single city, albeit the largest in the area, from flooding. Moreover, while St. Petersburg is the largest city in the area by a considerable margin it is also situated in the Baltic country with the lowest GDP per capita (IMF, 2023). Similar amounts can thus be expected to be spent on coastal protection also by much smaller cities in richer countries, as is also evidenced by the aforementioned pilot study for Gothenburg (SWECO, 2023).

Judging from both from future plans and past preferences it seems clear that, at least, for densely populated areas there is overwhelming support for installing hard protection over retreat in circumstances when the flood risk becomes uncomfortably large. A general preference for protection over retreat is also evident in the Netherlands whose entire coast is more or less a flood prevention engineering project (Wiering and Winnubst, 2017). The entire Baltic Sea coast, being much longer and less densely populated than the Dutch one could unlikely all be protected with local walls. Nonetheless, it stands to reason that in a world with multimeter sea level rise the Baltic Sea should be expected to be a place with either very many walls or a single enclosure wall, as the title of the manuscript suggests. It is equally obvious that an enclosure wall would be a much more cost efficient option than having every densely populated area building their own seawall and related infrastructures such as floodgates, sluices and roads. The environmental consequences of having many local versus one enclosure wall are, however, different and one could favor either option depending on preference.

### Freshwater and environmental effects

The Baltic Sea is brackish because the precipitation and river run-off coming into the basin is much larger than the evaporation. The excess freshwater input is balanced by a net outflow from the Baltic Sea through the Kattegat and into the open ocean. If a wall was to be built across the Kattegat this volume would have to be pumped out of the Baltic Sea. The net freshwater input to the Baltic is about

$Q = 16000\text{m}^3\text{s}^{-1}$  (Hordoir and Meier, 2010). The power needed to lift this volume every second say 10 m is given by  $P = \rho ghQ$ , where  $P$  is power,  $\rho = 1000\text{kgm}^{-3}$  is density,  $g = 10\text{ms}^{-2}$  is the gravitational acceleration and  $h = 10\text{m}$  is the height. Plugging the numbers in gives 1600 MW, which is similar to what the power production was in the now discontinued Swedish nuclear power station Barsebäck, which is located near the Swedish side of the proposed placement. Pumps, of course, do not operate at a hundred percent efficiency, but the back of the envelop calculation shows that there is no outlandish power consumption required. The worlds largest offshore wind farms also start to have, at least, nameplate capacities approaching this number (Mytilinou and Kolios, 2019). Moreover, the West Closure Complex pumping station, the largest currently in operation, has a capacity to pump 550  $\text{m}^3/\text{s}$  (Orleans, 2015). Thus, 29 such stations could handle the pumping needs for the proposed Baltic enclosure. It is also worth noting that pumping means that the sea level within the Baltic Sea can be controlled. This has some benefits. For example, that the position of the shoreline can be determined and that the water level can be lowered to hinder flooding during the stormy winter season, when sea level extremes typically occur (Männikus et al., 2020).

More problematic are the environmental effects. Overtime closing the Baltic Sea off from the open ocean would transform it into a freshwater lake, which it was about 8000 years ago (Björck, 1995) and which its northern parts may become again in 2000 years owing to land uplift (Tikkanen and Oksanen, 2002). In some cases, it can take a very long time for seas being closed of from the ocean to become fully fresh. This is evidenced by some lakes holding relic salt water layers for millennia (Scheifele et al., 2014). In the case of the Baltic Sea it would likely not take that long. The turnover time of the Baltic Sea based on its freshwater input and volume is between 30-40 years (Meier and Kauker, 2003). However, since the Baltic Sea is strongly stratified the turnover time for water below the permanent halocline is longer. Reissmann et al. (2009) noted that during stagnation periods (periods with no notable

inflows of high salinity Kattegat water) the salinity at 200 m declined by about 1% per year. This would give a turnover time of about 100 years for the deep water. In reality, it would not take quite as long given that the halocline would collapse at some point, which would enable winter convection to reach the deep waters. The time scale for the deep water to lose its salinity could also be shortened artificially by pumping water from the surface to the deep layer (Stigebrandt and Gustafsson, 2007). Stigebrandt and Gustafsson (2007) estimated that such a pumping project would cost around 200 million Euros. Indicating that the transformation into a freshwater basin could be accelerated at a prize tag that compared to the rest of the project would not be excessive.

Needless to say, turning the Baltic Sea into a freshwater lake would be an ecological disaster and many species adapted to their currently brackish environment would likely not be able to survive in freshwater. However, the severity of that argument is lessened considerably by the fact that the whole premiss for turning the Baltic Sea fresh is itself an ecological disaster. In a world with multimeter sea level rise the currently brackish Baltic Sea would turn much saltier. Hordoir et al. (2015), estimated using an ocean model that the deep salinity in the Baltic would increase by more than one g/kg over a few decades for one meter of sea level rise. Moreover, one should not expect the salinity increase to scale linearly with sea level rise. Rather, I would expect a steeper scaling and ultimately a transition toward a Kattegat like Baltic Sea to occur. Currently, it is not known at what sea level the Danish Straits would lose their ability to hold high saline Kattegat water from constantly intruding. Modelling studies could, of course, be done to pinpoint potential thresholds that mean salinity might have to sea level rise, should the issue ever become important to a decision process. Other environmental consequences that would undoubtedly occur in a world with multimeter sea level rise is that: the shoreline would retreat, the water temperature would be much higher and the sea ice extent much smaller. In light of this, it is highly likely that many species currently living in the Baltic Sea would not be able to thrive in either a warm freshwater lake or a

warm and salty marginal sea.

The most severe environmental problems in the current Baltic Sea is arguably hypoxia. The deeper parts of the Baltic Sea are frequently without oxygen. During autumn 2018, 24% of the Baltic proper bottom water was anoxic, while 33% was hypoxic (Almroth-Rosell et al., 2021). The hypoxia is driven by eutrophication and poor ventilation and it is likely to worsen as a consequence of global warming (Breitburg et al., 2018). The Baltic Sea's strong permanent halocline limits vertical mixing and the main supply of oxygen to the deep waters today comes with sporadic deep water inflow events. If the Baltic Sea was turned into a freshwater lake, there would be no halocline to limit vertical mixing, and winter convection would renew deep waters every year. A better ventilated Baltic may also be more efficient at exporting nutrients out of the basin, given that the exchange between nutrient rich deep water and the nutrient poor surface water (that would be pumped out) would be larger. A case could thus be made that hypoxia might be less of a problem in a freshwater Baltic Sea. Needless to say, one would have to make careful studies aided by ocean-biogeochemical models to quantify both the biogeochemical and physical state of the Baltic Sea in a world with multimeter sea level rise both with and without an enclosure wall to be able to make a good judgement on which state one prefers. That is, however, well beyond the scope of this article.

An obvious benefit with a freshwater Baltic is a much improved availability of water both for drinking and agricultural needs. Even the Baltic's biggest islands suffer from a freshwater shortage in the summer months (Foghagen and Alriksson, 2023). A shortage that is likely to be exacerbated in a warmer and saltier future. Freshwater for such needs could, of course, also be acquired through the installation of more desalination plants. However, desalination is a costly operation owing to its large energy consumption.

### Demographics & Economic considerations

The Baltic Sea area has a sizable population. 85 million people live in the drainage area, more than 26 million live within 50 km of the coast and 15 million people live within 10 km of the coast (Sweitzer et al., 1996).

The thirty largest coastal cities in the area are home to over 16 million people (Wikipedia, 2023). To calculate these numbers I have used the urban population when available and otherwise the population within the city limits. The number would have been even higher if the metropolitan area population had been used. The degree of exposure obviously varies substantially between inhabitants of the same city, but nevertheless it is obvious that tens of millions of people would be affected directly or indirectly in the case that multimeter sea level rise was to occur in the Baltic Sea. In Sweden alone, it has been estimated that 230000 homes (7.5% of all homes) are located within three km of the coast and no more than five m above sea level (Danielsson, 2020). In Denmark the situation is significantly worse as more than 15 % of mortgaged assets are found on land situated no more than 2.5 m above sea level (Nationalbank, 2019).

Having established that there are plenty of people to split the bill it is now time to estimate what a seawall across the Danish Straits might cost. However, before we proceed it seems prudent to quote the so called iron law of megaprojects: “over budget, over time, over and over again” (Flyvbjerg, 2014), as a reminder that any given estimate is likely to be too low. The same could of course be said about large scale local seawalls. So the fact that mega projects often go over budget is no argument for building local walls instead of an enclosure wall.

Groeskamp and Kjellsson (2020) estimated a building cost of 250–550 billion euros for their proposed North Sea enclosure wall, using estimates of costs from much smaller structures such as the Saemangeum seawall and assuming their construction costs per meter or volume would be the same. For a project like the here proposed Baltic seawall that is considerably smaller than some of these existing structure that might be a useful estimate. For a North Sea wall, which is very much larger than any seawall ever constructed and also situated over much deeper waters my personal belief is that such estimates are much too optimistic.

For want of a better methodology we nevertheless proceed along a similar path. The proposed Baltic seawall is about half as long as the Saemangeum seawall indicating that it might cost around 900 million euro to construct. The amount of freshwater having to be

pumped out of a Baltic Sea enclosure is about 0.4 of that having to be pumped out of a North Sea one. Using numbers from Groeskamp and Kjellsson (2020), the pumping stations may cost anywhere between 8 and 13 billion euros. That is, the wall and the pumping stations together might cost between 4.5 and 14 times more than the city of Gothenburg expect that they might spend on floodgates, and between 3 and 4.6 times what St Petersburg has already spent on its flood protection barrier (Hunter, 2012; SWECO, 2023). Having no good estimate of the maintenance cost of protecting a very large sea wall against weathering, we note that if it scales with volume (length) it would about 200 (40) times more expensive to maintain a North Sea seawall than a Baltic Sea one.

Even though, these estimates are no more than ballpark numbers of what a Baltic seawall might cost, three things are evident: 1) building a Baltic Sea enclosure wall would be much cheaper than every city building its own protection, 2) the property values a wall would protect are orders of magnitude higher than its building cost and 3) a Baltic seawall would cost a small fraction of a North Sea seawall and it would be a much lower risk project. 1) and 2) are important for decision makers in the Baltic Sea countries, 3) on the other hand tells us something about the level at which Baltic Sea decision makers might be willing to contribute to a possible North Sea wall instead of one in the Baltic Sea. From an economic point of view it is clear that at sufficiently high sea level rise, decision makers in the Baltic Sea area should prefer an enclosure wall to very many local walls. Moreover, although from the perspective of protection a non-local wall might just as well be placed in the North Sea as in the Danish Straits, the willingness of decision makers from Baltic countries to pay for a much more expensive and risky project should be severely limited by the existence of a much cheaper and simpler option closer to home.

#### **International considerations and alternative locations**

Even though it is evident that plenty of both resources and money could be saved by building one Baltic enclosure wall instead of having every municipality building their own protection, the highly spatially



varying rates of projected sea level rise could prove a hindrance for such cooperation. A city on rocky shores in the northern Baltic with very few low lying properties and considerable land uplift will not have the same or even a similar optimal time of investment as a low lying city in the southern Baltic with erosion and perhaps even current flooding problems. This problem would, of course, be even more difficult to tackle for a North Sea than a Baltic Sea enclosure wall. Moreover, turning the Baltic Sea into a freshwater lake would have many other consequences for the environment, fishing, shipping and many other sectors. Taken together, such considerations would undoubtedly require the matter to be lifted from the municipal to the international level.

Another potential hindrance for a cooperative effort is that the most obvious location to place a Baltic enclosure wall is the Danish straits between Sweden and Denmark. However, that placement would leave the majority of the Danish coast as well as the Swedish west coast unprotected. The incentives for construction for these two necessary countries are therefore perhaps weaker than for countries that get more protection out of this placement. For this reason a second alternative placement is marked on the map in Fig. 1. This placement would protect much larger parts of Denmark and Sweden, although it should be pointed out that for the Danes both locations would have to be complemented with large scale coastal defences on their North Sea coast. A more northerly placement in Kattegat would require a much longer wall, about four times longer than a wall in the Danish Straits. If the building costs can be assumed to scale with the size of the seawall, the total project would, however, not be much more expensive with a more northerly location. This is because over 90% of our estimated construction costs would be the pumping stations and those costs would be similar for both locations. Moreover, a wall in the Danish Straits would likely have to be complemented with walls on the Danish islands of Zealand and Fyn, which would not be necessary with a more northerly placement. The northern placement is also mostly over shallow waters, but there is a trench on the Swedish side where depths approach one hundred meters. Without question a seawall in northern Kattegat

would be a project much closer in scale to existing seawalls than to the proposed North Sea enclosure wall. However, it would also be considerably larger than any seawall in existence and thus clearly a riskier project than building a seawall in the Danish straits. Alternative placements across the Skagerrak between Denmark and Norway, would require a much longer wall being constructed over much deeper waters. Thus, it would require a project more on the same scale as the proposed North Sea enclosure wall. Given that a Skagerrak wall would protect a much smaller and less densely populated area than a North Sea enclosure, it is unlikely to be a practical solution.

### Conclusions

Different arguments can be made favoring either local walls, an enclosure wall or simply retreat to higher grounds as a response to catastrophic sea level rise. From an economical perspective it seems undeniable that for a large and fast enough sea level rise, an enclosure wall is the best option. However, how fast and how large the rise would have to be for an enclosure wall to be economically favorable over a combination of local protection and retreat has no simple answer. This is because the exposure, both in terms of how the current building stock is located in relation to the mean sea level and in terms of the magnitude of the projected mean sea level rise, is very different for different countries and cities. When considered from a wider perspective than the economical, it is obvious that a best option in an objective sense does not exist as no common scale on which different consequences can be weighed exists.

Hieronimus (2021) showed that conditioning adaptation on mean sea level rise was an effective way of minimizing flood risk for Stockholm. The same conclusion can, using similar techniques as Hieronimus (2021), almost certainly be drawn for many other sites. However, the mean sea level at which a city will want to start adapting is unique to each city, and so is the time when that level is reached. From a safety perspective, retreat to higher grounds is undoubtedly safer than sheltering behind a seawall. However, it is also undeniable that this fact has not stopped people from settling on land well below even the current sea level.

From an environmental perspective one could probably argue in favor of either option as there is no consensus on what the optimal state of the Baltic should be. At least, when granted that an undisturbed preindustrial state is not an option that is compatible with fast and large mean sea level rise. Instead it is evident, that a Baltic Sea experiencing multimeter sea level rise would be under many severe environmental stresses and that many species that currently live there would likely not be able to thrive regardless of the chosen form of coastal defense.

In a recent study Rasmussen et al. (2023) discussed why certain coastal defense megaprojects in the US got built while others did not. Those authors concluded: “that storm surge barriers are politically challenging climate adaptation options because of modern environmental laws that provide avenues for expression of oppositional views within the decision process and the allure of alternative options that are more aesthetically pleasing and cheaper and faster to implement.”. It should be noted that the alternative options alluded to by Rasmussen et al. (2023) were rather artificial reefs and nature based solutions than local storm surge barriers. That is, the alternatives they considered are more aimed at dissipating wave energy and redirecting water than protecting against multimeter sea level rise. However, their finding that the general public prefers protection that is more aesthetically pleasing, cheaper and faster to implement than its alternative, seems reasonable to assume to hold also for the question of many local walls versus one enclosure wall.

In terms of aesthetics it is obvious that hundreds or even thousands of kilometers of ugly storm surge barriers obstructing the view of the ocean is an unwanted feature in the coastal landscape, and thus that an enclosure wall is preferable to many local ones. The same conclusion is evident also from economic considerations, given that the sea level rise is large and fast enough that many need protection at a reasonably similar time. The speed of implementation, however, could certainly be slower given the level of international cooperation that would have to happen to get such a project running.

In many ways, the case made here for a Baltic enclosure wall is, in fact, an excellent case for building

more aesthetically pleasing, cheaper, and faster to implement nature based flood protection instead of seawalls in the short term. In the long term, if we experience very considerable sea level rise such structures offers little protection. However, catastrophic sea level rise is certainly no certainty and the combination of a somewhat temporary solution with the option of a cost effective more permanent solution in the future would buy the decision makers considerable time. Time that might prove very valuable as our understanding of ice-sheet dynamics, committed sea level rise and future emission trajectories might change considerably in the coming decades. Turning the Baltic Sea into a lake and later finding it unnecessary would obviously be a horrible form of mal-adaptation that should be avoided even at great costs. Conditioning the seawalls construction on having large and fast sea level rise is a good protection against this form of mal-adaptation. However, the later one can make the decision on whether to build or not, the better one will know just how large and fast sea level rise to expect.

Even though sea levels high enough to motivate the construction of an enclosure wall are highly unlikely to be seen in the next few decades. It would be useful to already now start international discussions about how future flood protection could best be constructed for the Baltic Sea countries. For an enclosure wall to be a viable option for countries other than perhaps Sweden and Denmark, that have the land surrounding the wall, requires a great deal of trust. Trust that construction would be initiated when they needed it, and that an agreement to build would survive a long sequence of changing political leadership in multiple countries. There are of course also many other international issues that would have to be agreed upon, not least in shipping and maritime trade. Even if a sluice was built into the proposed seawall it would clearly be a hindrance to the freedom of navigation and the country controlling the sluice would have a strategic advantage, just to name two.

Whether such profound issues can be overcome is anyone's guess. The potential gains in avoiding massive land loss, flood risk and enormous land based storm surge barriers is at least a strong incentive to investigate. Mitigation is, of course, the best approach to

avoiding both local and enclosure walls, but it may not be enough. Moreover, mitigation is by nature a global undertaking. How well it will succeed is far beyond the control of the Baltic Sea countries. Adaptation is therefore a necessary part of national strategies for dealing with climate change, and if we are

unfortunate it could require massive scale civil engineering projects. To our advantage is, at least, that our geographical location admits a solution where such a project can be on a much smaller scale than almost everywhere else.

## References

- Almroth-Rosell, E., Wählström, I., Hansson, M., Väli, G., Eilola, K., Andersson, P., Viktorsson, L., Hieronymus, M., and Arneborg, L. (2021) A regime shift toward a more anoxic environment in a eutrophic sea in northern Europe. *Frontiers in Marine Science*, 8.
- Bamber, J.L., Oppenheimer, M., Kopp, R. E., Aspinall, W.P., and Cooke, R.M. (2019) Ice sheet contributions to future sea-level rise from structured expert judgement. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(23):11195–11200.
- Björck, S. (1995) A review of the history of the Baltic Sea, 13.0-8.0 ka BP. *Quaternary International*, 27:19–40.
- Breitburg, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., Garçon, V.
- Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G.S., Limburg, K.E., Montes, I., Naqvi, S.W.A., Pitcher, G.C., Rabalais, N.N., Roman, M.R., Rose, K.A., Seibel, B.A., Telszewski, M., Yasuhara, M., and Zhang, J. (2018) Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371):eaam7240.
- Dagens Industri (2021) Vellinge bygger murar för 200 miljoner. Available at <https://www.di.se/nyheter/vellinge-bygger-murar-for-200-miljoner/>.
- Danielsson, M. (2020) Havsnivå höjning till följd av global uppvärmning innebär ökade risker för bostäder. <https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/ekonomiska-kommentarer/svenska/2020/havsniva-hojning-till-foljd-av-global-uppvarmning-innebar-okade-risker-for-bostader.pdf>.
- DeConto, R.M., Pollard, D., Alley, R.B., Velicogna, I., Gasson, E., Gomez, N., Sadai, S., Condrón, A., Gilford, D.M., Ashe, E.L., Kopp, R.E., Li, D., and Dutton, A. (2021) The Paris Climate Agreement and future sea-level rise from Antarctica. *Nature*, 593:83–89.
- Flyvbjerg, B. (2014) What you should know about mega-projects and why: An overview. *Project Management Journal*, 45(2):6–19.
- Foghagen, C. and Alriksson, S. (2023) Mitigation of water shortage impacts among tourism and farming companies on the islands of Öland and Gotland, Sweden. *Environ Dev Sustain*.
- Fox-Kemper, B., Hewitt, H.T., Xiao, C., Adalgeirsdóttir, G., Drijfhout, S.S., Edwards, T.L., Gолledge, N.R., Hemer, M., Kopp, R.E., Krinner, G., Mix, A., Notz, D., Nowicki, S., Nurhati, I.S., Ruiz, L., Sallée, J.-B., Slangen, A.B.A., and Yu, Y. (2021) Ocean, cryosphere and sea level change. Technical report, In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in press.
- Groeskamp, S. and Kjellsson, J. (2020) NEED: The northern European enclosure dam for if climate change mitigation fails. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 101(7):E1174 – E1189.
- Hieronymus, M. (2021) A yearly maximum sea level simulator and its applications: a Stockholm case study. *Ambio*.
- Hieronymus, M. and Kalén, O. (2020) Sea-level rise projections for Sweden based on the new IPCC special report: The ocean and cryosphere in a changing climate. *Ambio*.
- Hordoir, R., Axell, L., Löptien, U., Dietze, H., and Kuznetsov, I. (2015) Influence of sea level rise on the dynamics of salt inflows in the Baltic Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(10):6653–6668.
- Hordoir, R. and Meier, H.E.M. (2010) Freshwater fluxes in the Baltic Sea: A model study. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C8).
- Hunter, P. (2012) The St Petersburg flood protection barrier: Design and construction. la barrière de St Petersburg: conception et construction. In 33èmes Journées de l’Hydraulique Grands Aménagements Hydrauliques Enjeux Sociétaux, Bénéfices Economiques et Innovations Techniques 14 - 16 novembre 2012., Journées de l’hydraulique. Included in a thematic issue: 33èmes Journées de l’Hydraulique Grands Aménagements Hydrauliques Enjeux Sociétaux, Bénéfices Economiques et Innovations Techniques 14 - 16 novembre 2012.
- IMF (2023). List of sovereign states in Europe by gdp (ppp) per capita. [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_sovereign\\_states\\_in\\_Europe\\_by\\_GDP\\_\(PPP\)\\_per\\_capita](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_sovereign_states_in_Europe_by_GDP_(PPP)_per_capita).
- Johansson, M.M., Pellikka, H., Kahma, K.K., and Ruosteenoja, K. (2014) Global sea level rise scenarios adapted to the Finnish coast. *Journal of Marine Systems*, 129:35–46.

*Continues on the next page*

- Männikus, R., Soomere, T., and Viska, M. (2020) Variations in the mean, seasonal and extreme water level on the Latvian coast, the eastern Baltic Sea, during 1961–2018. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 245:106827.
- Meier, M. and Kauker, F. (2003) Sensitivity of the Baltic Sea salinity to the freshwater supply. *Climate Research*, 73:231–242.
- Moore, J. C., Gladstone, R., Zwinger, T., and Wolovick, M. (2018) Geoengineer polar glaciers to slow sea-level rise. *Nature*, 555:303–305.
- Mytilinou, V. and Kolios, A.J. (2019) Techno-economic optimisation of offshore wind farms based on life cycle cost analysis on the UK. *Renewable Energy*, 132:439–454.
- Nationalbank, D. (2019) Climate change can have a spillover effect on financial stability. <https://www.nationalbanken.dk/en/news-and-knowledge/publications-and-speeches/archive-publications/2019/climate-change-can-have-a-spillover-effect-on-financial-stability>.
- Orleans, T. N. (2015) West Closure Complex. tech. doc. <https://www.mvn.usace.army.mil/Portals/56/docs/PAOFactSheets/Fact%20Sheet%20update>
- Rasmussen, D.J., Kopp, R.E., and Oppenheimer, M. (2023) Coastal defense megaprojects in an era of sea-level rise: Politically feasible strategies or army corps fantasies? *Journal of Water Resources Planning and Management*, 149(2):04022077.
- Reissmann, J.H., Burchard, H., Feistel, R., Hagen, E., Lass, H.U., Mohrholz, V., Nausch, G., Umlauf, L., and Wiczeorek, G. (2009) Vertical mixing in the Baltic Sea and consequences for eutrophication – a review. *Progress in Oceanography*, 82(1):47–80.
- Scheifele, B., Pawlowicz, R., Sommer, T., and Wüest, A. (2014) Double diffusion in saline Powell Lake, British Columbia. *Journal of Physical Oceanography*, 44(11):2893 – 2908.
- Stigebrandt, A. and Gustafsson, B.G. (2007) Improvement of Baltic proper water quality using large-scale ecological engineering. *Ambio*, 36(2–3).
- SWECO (2023) Göteborg: Skydd mot översvämningar. <https://www.sweco.se/projekt/goteborg-skydd-mot-oversvamningar/>.
- Sweitzer, J., Langaas, S., and Folke, C. (1996) Land use and population density in the Baltic Sea drainage basin: A gis database. <https://www.grida.no/publications/602>.
- The COACCH project (2021) The economic cost of climate change in Europe: European results. <https://www.coacch.eu/wp-content/uploads/2018/03/Policy-brief-Policy-maker-EUROPE-final.pdf>, Italy.
- Tikkanen, M. and Oksanen, J. (2002) Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland. *Fennia*, 180: 1–2:9–20.
- Vestøl, O., Ågren, J., Steffen, H., Kierulf, H., and Tarasov, L. (2019). NKG2016LU: a new land uplift model for Fennoscandia and the Baltic region. *Journal of Geodesy*, 93(9):1759–1779.
- Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Hinkel, J., Ward, P.J., Mongelli, I., Ciscar, J.-C., and Feyen, L. (2020). Economic motivation for raising coastal flood defenses in Europe. *Nature Communications*, 11.
- Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Bianchi, A., Dottori, F., and Feyen, L. (2018) Climatic and socio-economic controls of future coastal flood risk in Europe. *Nature Clim. Change*, 8:776–780.
- Wiering, M. and Winnubst, M. (2017) The conception of public interest in Dutch flood risk management: Untouchable or transforming? *Environmental Science & Policy*, 73:12–19.
- Wikipedia (2023) List of cities and towns around the Baltic Sea. [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_cities\\_and\\_towns\\_around\\_the\\_Baltic\\_Sea](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cities_and_towns_around_the_Baltic_Sea).

# Hur medveten grönytedesign och infiltrationskapacitet kan påverka stadens översvämningsrisker

## How conscious green area design and soil infiltration capacity can affect flooding risks in urban areas



Johan Kjellin<sup>1</sup>, Sara Ekeröth<sup>2</sup>, Daniel Erdal<sup>3</sup>, Jimmy Olsson<sup>4</sup>, Elin Andersson<sup>5</sup>, Xavier Mir Rigau<sup>5</sup>, Julia Granlund<sup>2</sup>, Ico Broekhuizen<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Tyréns AB, Sturegatan 4, 784 31 Borlänge, johan.kjellin@tyrens.se

<sup>2</sup> Tyréns AB, Kungsängsgatan 5A, 753 22 Uppsala

<sup>3</sup> Tyréns AB, Lilla Badhusgatan 2, 411 21 Göteborg

<sup>4</sup> Tyréns AB, Prästgatan 51, 831 34 Östersund

<sup>5</sup> Tyréns AB, Folkungagatan 44, 118 86 Stockholm

<sup>6</sup> Luleå Tekniska Universitet, 97187 Luleå

### Abstract

Flood risks in urban areas is an increasingly important topic due to ongoing climate change and rising costs from intense rainfall damage. While it is well-established that green areas can help mitigate floods there remains a gap in understanding critical parameters influencing the effectiveness of green areas in flood mitigation. This article sheds light on the variability in infiltration capacity across different park soils and its implications for flood risks in a city. It explores how infiltration capacity is influenced by initial soil moisture conditions and soil compaction. The findings show substantial variations in surface runoff within urban green areas based on soil type, initial soil moisture conditions, and the degree of compaction as well as for different rainfall intensities. Urban soils with 80% or more sand can for example, compared to soils with 60% sand, reduce surface runoff by a factor three. Furthermore, activities causing compaction in green areas can double the surface runoff. The study therefore emphasizes a conscious approach to the design and manage urban green areas

prioritizing a high sand content in park soils while minimizing soil compaction. Stormwater investigations should account for variations in soil type as well as for various rainfall scenarios. By adopting these measures cities can enhance their resilience to flood risks.

**Key words:** urban flooding, infiltration capacity, surface runoff, soil moisture, soil compaction

### Sammanfattning

Översvämningsrisker blir allt mer centrala att hantera i våra städer i takt med klimatförändringar och ökade skadekostnader från skyfall. Det är välkänt att grönytor kan nyttjas för att mildra översvämnings genom infiltration och fördröjning av nederbörd. Däremot finns det kunskapsluckor i förståelsen av kritiska parametrar som påverkar grönytors översvämningsdämpande effekt. Genom denna artikel ges en inblick i hur infiltrationskapaciteten varierar mellan olika jordar i grönområden samt vad detta betyder för översvämningsriskerna i en stad. Vidare belyses hur infiltrationskapaciteten påverkas av initiala markmättnadsförhållanden samt av grönytans packningsgrad. Studiens resultat visar på betydande variationer i ytavrinning från grönområden utifrån jordtyp, initiala markmättnadsförhållanden, kompakteringsgrad och regnintensitet. Exempelvis kan parkjordar med 80% eller sand i övre jordlagren reducera ytavrinning med i storleksordningen en faktor tre jämfört med jordar med 60% sand. Vidare visar studien att aktiviteter som kompakterar grönytor i vissa fall kan orsaka en fördubbling av ytavrinning. Utifrån studiens resultat rekommenderas en medveten design och drift av parkmiljöer där högt sandinnehåll prioriteras samt att markpackning minimeras. Utöver detta rekommenderas att dagvatten- och skyfallsutredningar i större utsträckning än idag tar hänsyn till hur avrinning påverkas av variation mellan olika jordtyper och regnförlopp. Genom dessa åtgärder kan våra städens resiliens ökas gällande översvämnings och klimatförändringar.

### Bakgrund och syfte

Översvämningsriskerna blir allt mer centrala att hantera i våra städer i takt med klimatförändringar och ökande skadekostnader från skyfall. Exempelvis har egendoms-skadorna för översvämningsarna i Dalarna och Gävleborg sommaren 2021 uppskattats till minst 1,6 miljarder kronor (Svensk Försäkring, 2022). Sedan länge är det känt att grönytor kan nyttjas för att infiltrera och fördröja vatten, och på så sätt mildra översvämnings omfattning. Vad gäller ytvattenmagasin i grönytor har vi i branschen en relativt god uppfattning om rimlig beräkningsmetodik, men när det kommer till infiltration i grönytor råder betydligt större osäkerhet och beräkningsmetod samt parametervärden kan skilja sig åt väsentligt mellan olika avrinningsutredningar. Svenskt vatten beskriver för Rationella metoden i P110 avrinningskoefficienter till park- samt naturmarksområden samt att avrinningskoefficienterna är kopplade till markförhållanden och regnens återkomsttid. Det saknas dock närmare beskrivning av koppling till jordarter, markmättnad och markpackning. I tvådimensionella markavrinningsmodeller finns olika typer

av infiltrationsmoduler såsom kurvnummermetoden samt boxrepresentationer med parametrering av porvolym samt mättade och omättade infiltrationshastigheter. Oavsett beräkningsmetod finns dock behov av mer kunskap kring avrinning från olika parkjordar och hur dessa påverkar översvämningsrisker. Kunskapsbristen består dels i brist på data över infiltrationskapaciteten för olika urbana jordtyper och markmättnader, dels i bristande kännedom om vilka jordar vi faktiskt har i städernas grönområden.

Genom denna artikel vill vi ge en inblick i hur infiltrationskapaciteten kan variera mellan olika jordar i urbana grönytor, hur den påverkas av initial markmättnad när det börjar regna, samt vad detta kan betyda för översvämningsriskerna i en stad. Utöver jordtypens inverkan visar vi även hur markpackningsgraden kan påverka ytavrinning vid kraftiga skyfall. Såväl jordart som markpackning är möjliga att anpassa vid anläggning av, och arbete med, grönytor, varför vi faktiskt har möjlighet att påverka översvämningsrisker när vi designar parkmiljöer.

Studien bygger på modelleringsstudier av infiltration

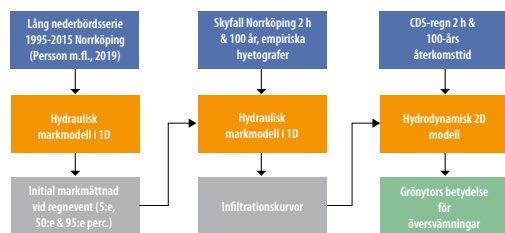
och ytavrinning för olika grönytejor, initial markmättnad och markpackningsgrader, samt på fältmätningar av markegenskaper och infiltrationskapacitet i svenska parkmiljöer. I denna artikel visas ett axplock av jordar, och fokus ligger på vad jordegenskaper och markhantering kan innebära för översvämningsriskerna i en stad. Ett betydligt större underlag, med ca 300 jordar och jordlagerkombinationer, har dock tagits fram vilket planeras att publiceras i en kommande vetenskaplig artikel.

Denna studie genomfördes inom det Vinnovafinansierade projektet SECURE (dnr. 2021-02458) i ett samarbete mellan Tyréns AB, StormTac AB och Luleå Tekniska Universitet. Som referensgrupp för styrande av projektets inriktning har SVOA, Trafikverket samt Svenskt Vatten deltagit och bidragit med värdefulla insikter. Vidare har tre examensarbeten i samarbete mellan Tyréns AB och Uppsala Universitet utförts inom ramen för projektet vilka bidragit med modellering och fältdata (Barkefors, 2023; Nilsson, 2023; Novikova, 2023).

## Metodik

### Jordartens och markmättnadens betydelse

För att undersöka urbana grönytors betydelse för översvämningsrisker har modellering gjorts med såväl en hydraulisk markmodell i 1D som en hydrodynamisk 2D modell. En lång historisk regnserie på 20 år har nyttjats för att ta fram statistik över initiala markmättnaden inför regn. Korta intensiva regn har sedan använts tillsammans med den framtagna initiala markmättnadsstatistiken för att ta fram infiltrationskurvor för olika skyfallscenarier. Infiltrationskurvorna har därefter implementerats i den hydrodynamiska 2D-modellen för att beräkna flöden och översvämningsförlopp på stadsdelsnivå i två fallstudier. I Figur 1 visas ett förenklat schematiskt flöde för modelleringen-



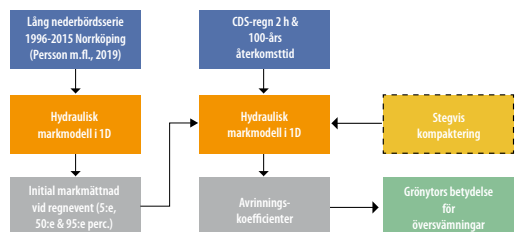
Figur 1. Schematiskt flöde för modelleringen där utdata från 1D-modellen nyttjats i 2D-modellen.

processen där utdata från 1D-modellen har nyttjats i 2D-modellen.

### Markpackningens betydelse

Utöver jordart och markmättnad påverkas avrinningen från grönytor även av jordens kompakteringsgrad. Såväl porvolym och struktur som konnektivitet påverkas vid markpackning vilket kan minska infiltrationskapaciteten. Vid anläggning och drift av urbana grönytor kan kompakteringsgraden öka vilket i sin tur då kan ge effekter på infiltrationen.

För att kvantifiera hur markpackningsgraden i kombination med olika parkjordar och initiala markmättnader påverkar infiltrationskapaciteten gjordes även här simuleringar med en hydraulisk markmodell i 1D. Effekten på infiltration och ytavrinning utvärderades genom avrinningskoefficienter (kumulativ ytavrinning/kumulativ nederbörd). I Figur 2 presenteras ett schematiskt flöde för studieupplägget och modellering-



Figur 2. Schematiskt flöde för modellering av markpackningens påverkan på ytavrinningen.

ngsprocessen. Även här nyttjades statistik över initial markmättnad från de inledande simuleringarna av den 20-åriga regnserien.

### Modellering av initial markmättnad och infiltration

För denna studie har modelleringsverktyget HYDRUS-1D använts till att modellera infiltrationen i en markprofil. HYDRUS-1D är en hydraulisk markmodell som kan simulera flödestransport av mättade och omättade flöden i ett poröst media (Šimůnek m. fl., 2009). Huvudsyftet med simuleringarna var att kvantifiera hur stor andel av nederbörden som faller på en urban grönyta som infiltrerar, evapotranspirerar respektive ytavrinner.

I studien användes en markprofil med ett djup på 2,5 m som antas vara bevuxen med gräs och med en

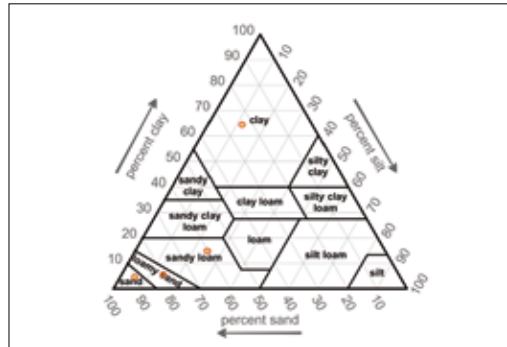


Figur 3. Konceptuell bild av transportprocesser som HYDRUS-1D beskriver och vilka parametrar som nyttjas. ET: evapotranspiration, P: nederbörd, R: ytavrinning, I: infiltration, samt hydrauliska markparametrar:  $\Theta_r$ : residuala vatteninnehållet,  $\Theta_s$ : mättat vatteninnehåll,  $K_s$ : mättad hydraulisk konduktivitet,  $\alpha$  och  $n$  är kurvparametrar.

svag lutning i markplanet. Lutningen gör att det vatten som inte infiltrerar eller evapotranspirerar ytavrinner direkt utan att bilda stående vatten, således skapas inget tryck ovan mark som kan påverka infiltrationskapaciteten. I Figur 3 visas konceptuellt vilka parametrar och transportprocesser som den hydrauliska markmodellen beskriver och nyttjar.

Infiltrationskapaciteten är i hög grad beroende av markparametrar så som jordartssammansättning, porositet och mättnadsgrad (Nielsen, 2019; Davidsen m. fl., 2018; Pitt m.fl., 2008). För att ge en bred förståelse för olika jordarters infiltrationssegenskaper skapades en ensemble av flera olika jordar utifrån USDA:s jordartstriangel (Groenendyk m.fl., 2015), se Figur 4 nedan där jordarna som använts i denna studie finns markerade och presenteras nedan. Detta för att få en bred spridning och representation av olika fall inom, såväl som mellan, olika jordarter.

Denna artikel fokuserar på fyra olika jordar: lera (clay), lerig sand (sandy loam), siltig sand (loamy sand)



Figur 4. USDA:s jordartstriangel som användes för att skapa en ensemble av olika jordar och ungefärlig placering av de jordar som används i denna studie (Groenendyk m.fl., (2015)).

och sand (sand). Den svenska översättningen utgår ifrån deras jordartssammansättning, se Tabell 1 (Larsson, 2008 & SGF/BGS, 2001). För att parametrera jordarna användes jordartssammansättningen (andel av lera, silt respektive sand) samt skrymdensitet, se Tabell 1. Skrymdensitet är ett mått på jordens densitet vilken tar hänsyn till materialets totala volym inklusive porvolymen.

I AMA Anläggning 20 finns krav för val av jord vid anläggning av vegetationsytor (AMA, 2020). Enligt denna finns två godkända växtjordar vid anläggning med krav på kornstorleksfördelning för växt- och mineraljord för normala (AMA DCL.11/1 Jord A) respektive torra (AMA DCL.11/1 Jord B) växtförhållanden. De tre jordarna lerig sand, siltig sand och sand i denna rapport har bland annat valts då de är i linje med

Tabell 1. I tabellen sammanställs jordartssammansättning (% av lera, silt och sand) samt skrymdensiteten för de fyra jordarna som använts

Jordtyp	Skrymdensitet	Jordartssammansättning		
		Lera	Silt	Sand
Lera	1,39 g/cm <sup>3</sup>	64 %	12 %	24 %
Lerig sand (AMA Jord A)	1,37 g/cm <sup>3</sup>	15 %	25 %	60 %
Siltig sand (AMA Jord A/B)	1,30 g/cm <sup>3</sup>	5 %	15 %	80 %
Sand (AMA Jord B)	1,49 g/cm <sup>3</sup>	2 %	4 %	94 %

AMAs krav vilket gör att de sannolikt förekommer i urbana parkmiljöer. Leran valdes som fjärde jord för att representera mer extrema fall med tätare jordar. AMAs krav på växtjordar sammanställs i Tabell 2 med kornstorleksgränserna mellan ler och silt (<0,002 mm), mellan silt och sand (<0,063 mm) samt övre gräns för sand (<2,0 mm). Lerig sand kan enligt dessa gränser



**Tabell 2.** Krav på kornstorleksfördelning för normala respektive torra utföranden vid val av växtjord för AMA DCL.11/1 Jord A och Jord B.

Sikt, mm	< 0,002	< 0,063	< 2,0
<b>AMA DCL.11/1 Jord A (normala utföranden)</b>			
Max %	15	40	100
Min %	5	15	60
<b>AMA DCL.11/1 Jord B (torra utföranden)</b>			
Max %	5	20	-
Min %	-	0	80

klassificeras som en AMA DCL.11/1 Jord A. Siltig sand är på gränsen mellan de två och kan klassas både som en AMA DCL.11/1 Jord A och Jord B. Sanden som användes i studien kan klassas som en Jord B (AMA, 2020). Liknande jordar som dessa kan därför förväntas vara vanligt förekommande i svenska parkmiljöer.

För att ta fram hydrauliska jordparametrar till HYDRUS-1D användes ROSETTA-modellen (Schaap m.fl., 2001). ROSETTA-modellen använder sig av pedotransferfunktioner (PTF) för att uppskatta parametrarna till Van Genuchten's (1980) funktion för vattenretention och relativ permeabilitet. Med hjälp av parametrarna  $\Theta_r$  (residuala vatteninnehållet),  $\Theta_s$  (mättat vatteninnehåll),  $K_s$  (mättad hydraulisk konduktivitet),  $\alpha$  och  $n$  (kurvparametrar) uppskattas jordens vattenhållande förmåga och omättade hydrauliska konduktivitet.

### Simulering av initial markmättnad utifrån historisk regnserie

För att simulera initial markmättnad i jordprofilerna användes en meteorologisk serie på 20 år (1996-2015) med en upplösning på 30 minuter från Norrköping, med data över nederbörd och potentiell avdunstning (Persson m. fl., 2019) som indata till den hydrauliska markmodellen. I serien separerades regnevent utifrån kriterierna: föregående regnuppehåll i minst tre timmar, regnvolym minst två mm och varaktighet minst två timmar (Hernebring, 2006). I HYDRUS-1D genereras ytavrinning när regnintensiteten överstiger den hydrauliska konduktiviteten. Ytavrinningens frekvens påverkas därför av regnets tidsupplösning, där en kortare tidsupplösning kan leda till en ökad ytavrinning. Då fokus för den långa regnserien ligger på

utvärdering av markmättnad snarare än kvantifiering av ytavrinning är dock regnets diskretisering av mindre betydelse i denna del av studien, varför 30 minuters upplösning bedöms relevant. Vidare är studiens fokus ytavrinning till följd av extrema regn, varför enbart perioden mars till september studerades för att undvika processer relaterade till snöfall eller snösmältning.

För alla regnevent samlades sedan de initiala markmättnaderna över djupet för tidssteget precis innan regneventets början till en ensemble av initiala markmättnader. En sådan ensemble har tagits fram för varje jordart. Från dessa ensembler valdes tre percentiler ut, 5:e, 50:e och 95:e, vilka förenklat kan förklaras representera väldigt torra, normala respektive väldigt blöta markförhållanden. Det ska noteras att vid riktigt torra förhållanden kan infiltrationskapaciteten i jordar gå ner dramatiskt. Dessa extremer simuleras dock inte i detta projekt, då de kräver andra modeller och/eller parametreringar, varför alltså 5-percentilen motsvarar ett torrt men inte helt uttorkat läge.

### Simulering av skyfall i hydraulisk markmodell i 1D

För att analysera jordartens och den initiala markmättnadens påverkan på ytavrinning vid skyfall simulerades korta intensiva regn med samma markmodell som använts vid simulering av den långa regnserien. En parameteruppsättning för respektive jordart sattes upp och sedan simulerades 100-årsregn med de tre olika graderna (percentilerna) av initial markmättnad som tagits fram genom simulering av den långa regnserien. Varje modelluppsättning belastades med fem olika fördelningar av regnintensiteter (hyetografer), alla med samma totala nederbörds mängd motsvarande en återkomsttid på 100 år för Norrköpingsområdet. Hyetograferna är framtagna av Olsson m.fl. (2017) och bygger på svensk skyfallstatistik. Varaktigheten hos de simulerade regnen var två timmar med en totalt nederbörds mängd på 47,4 mm (SMHI, u.d.). För simulering av skyfall där fokus var att utreda ytavrinning vid korta mer intensiva förlopp användes en högre upplösning om 72 sekunder på regnet.

Davidson m. fl. (2018) visar i sin studie att det inte finns någon koppling mellan initial markmättnad och regnets återkomsttid. Markmättnadsstatistiken från

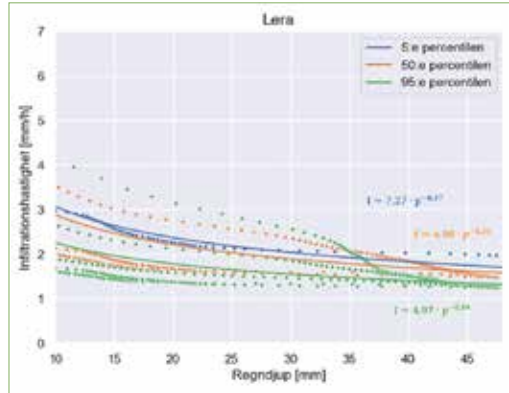
den historiska regnserien användes därför som initialt villkor för samtliga intensivregn oavsett återkomsttid. Resultatet från skyfallssimuleringarna med en temporal upplösning av infiltration- och ytavrinningsförloppen användes sedan för att producera ett antal infiltrationskurvor som redovisar infiltrationshastigheten i respektive jord satt i relation till kumulativ nederbörd.

**Framtagande av infiltrationskurvor**

Det är en utmaning att adekvat beskriva markens infiltrationskapacitet under ett regnförlopp med en hydrodynamisk 2D markavrinningsmodell. Infiltration påverkas av många faktorer såsom regnets intensitet och varaktighet, jordegenskaper, markmättnad, avrinningsområdets topografi och markanvändning. Då ett av syftena med denna studie var att studera hur konsekvenserna från ett skyfall påverkas av jordart och initial markmättnad var det viktigt att parametrisera markförhållandena så korrekt som möjligt. Därför har ett nytt tillvägagångssätt tagits fram för att kunna implementera infiltrationsresultaten från den hydrauliska markmodelleringen till en hydrodynamisk 2D markavrinningsmodell.

Resultaten gällande infiltration och ytavrinning från simulering av skyfall i 1D modellen användes för att ta fram samband mellan ackumulerad nederbörd och infiltrationshastighet i form av jordarts- och markmättnad-specifika infiltrationskurvor. Infiltrationskurvorna användes sedan som indata i 2D markavrinningsmodellen för att beskriva infiltrationshastigheten under regnförloppet. En mer renodlad hydraulisk markmodell likt HYDRUS-1D beskriver markfysikaliska processer i en jordprofil betydligt mer detaljerat än vad som vanligtvis är fallet i de infiltrationsmoduler som finns tillgängliga i 2D markavrinningsmodeller. Med denna approach finns möjlighet att nyttja HYDRUS-1D modellens resultat i 2D-markavrinningsmodellen.

Dynamiken i infiltrationsprocessen under de simulerade 100-årsregnen i HYDRUS-1D kvantifierades genom att anpassa en potensekvation som beskriver infiltrationskapacitet som funktion av ackumulerad nederbörd för respektive jord och initial markmättnad (se Figur 5 och Figur 6). Kurvanpassningen gjordes endast med data då modellen påvisade ytavrinning för att säkerställa att ekvationen beskriver den maximala infiltrationskapaciteten. För sandjorden, som är mycket

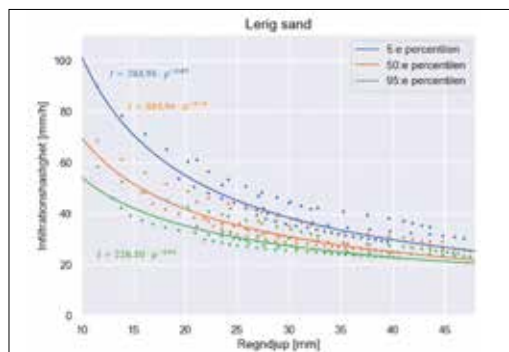


Figur 5. Infiltrationskurvor och tillhörande data från 1D simuleringar för lera och de tre markmättnadspercentilerna (5:e, 50:e och 95:e).

genomsläpplig, uppstod ingen ytavrinning oavsett initial markmättnad och således gjordes ingen kurvanpassning för den jordtypen. Istället ansattes en konstant infiltrationshastighet på 97,5 mm/h för sanden (uppskattad med ROSETTA (Schaap m.fl., 2001)). För övriga jordtyper, lera och lerig sand, anpassades en ekvation för varje fall av initial markmättnad. Inför kurvanpassningen viktades datapunkterna från simuleringarna utifrån hur vanligt förekommande respektive hyetograf är enligt Olsson m. fl. (2017). Utifrån de framtagna infiltrationskurvorna skapades tidsserier med infiltrationshastighet för det typregn som användes i den hydrodynamiska 2D modellen.

**Fallstudier Fagersjö och Fårsta-Larsboda**

För att belysa hur initial markmättnad och jordart kan påverka översvämningar på stadsnivå genomfördes två fallstudier med skyfallsmodellering i 2D.



Figur 6. Infiltrationskurvor och tillhörande data från 1D simuleringar för lerig sand och de tre markmättnadspercentilerna (5:e, 50:e och 95:e).

## Modelleringsmetodik och scenarier

Skyfallsmodelleringen på stadsnivå utfördes med den hydrodynamiska 2D-modellen där den markmättnads- och infiltrationsdata som tagits fram med hjälp av den hydrauliska markmodellen i 1D nyttjades. 2D-modelleringen gjordes i programvaran MIKE+ med modulen 2D Overland (DHI, 2023) där modeller sattes upp för Fagersjö samt för Farsta-Larsboda, båda söder om centrala Stockholm. De två modellområdena visas i Figur 7.

Modellen med en upplösning på 2x2 meter (Lantmäteriet, Markhöjdmodell grid 1+) simulerades med ett CDS-regn med återkomsttid på 100 år, varaktighet två timmar och total nederbörds mängd på 65,3 mm samt en upplösning på 5 minuter. Ett CDS-regn (Chicago design storm) är ett symmetriskt typregn som byggs upp av flera olika blockregn med varierande varaktighet och intensitet. Fördelen med att använda CDS-regn är att den totala simuleringstiden begränsas samtidigt som resultaten rymmer den värsta situationen (Svenskt Vatten, 2011). Inget avdrag för ledningsnät gjordes med antagandet att 100-årsregnet kraftigt överstiger kapaciteten för ledningsnätet.

Markanvändningen delades in i hårdgjorda ytor, vattenytor och grönytor. Med hänsyn till enbart hårdgjorda ytor och grönytor (exklusive vattenytor) utgjordes 84.4 % av grönytor i Fagersjö respektive 57.3 % i Farsta-Larsboda. För grönytorna studerades jordarterna som beskrivits i föregående avsnitt nämligen lera, lerig sand och sand. För varje simulering antogs alla gröna ytor i modellområdet utgöras av samma jordart.



Figur 7. Modellområdena Fagersjö och Farsta-Larsboda (Barkefors, 2023).

Detta för att mer entydigt utvärdera påverkan från de olika jordarterna och från initial markmättnad. Fagersjöns grönytor består dock egentligen av både stora skogsområden och mer urbana anlagda gröna ytor, med sannolikt en mix av olika jordarter.

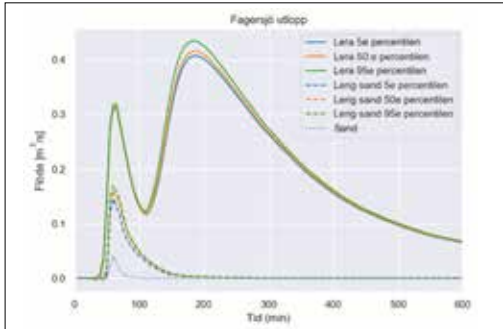
Infiltrationsdynamiken i grönytorna modellerades utifrån de framtagna markmättnads- och jordartsspecifika infiltrationskurvorna. Nyttjandet av infiltrationskurvorna möjliggjorde att det, med ökad markmättnad, avtagande infiltrationsförloppet kunde fångas i 2D-modellen. På så vis undersöktes hur infiltrationsdynamiken påverkar ytavrinningen i en hydrodynamisk modell. För sandjorden ansattes, som ovan beskrivet, en konstant infiltrationshastighet. Hårdgjorda ytor (inklusive vattenytor) ansattes med en infiltrationshastighet om 0 mm/h.

Då infiltrationen är beroende av initial markmättnad simulerades de tre markmättnadsfallen (5:e, 50:e och 95:e percentilen) med olika infiltrationskurvor för de två jordarna lera och lerig sand. Sand simulerades enbart en gång då denna inte påverkades av initial markmättnad. Sammanlagt kördes således sju simuleringar för respektive modellområde.

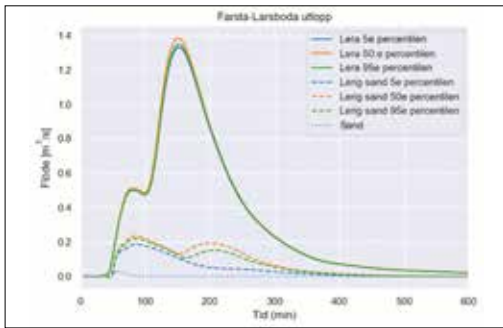
## Resultat Fallstudier Fagersjö och Farsta-Larsboda

Avrinning för de olika jordarts- och markmättnadsfallen utvärderades genom 2D-modellen och resultaten redovisas här i form av hydrografer av flödena ut från avrinningsområdena, sammantagna avrinningskoefficienter för hela avrinningsområdena och exempel på översvämningsutbredning vid specifika riskutsatta platser. Vidare presenteras statistik över översvämmad area för de olika fallen då översvämningsdjupet överstiger 15 cm respektive 50 cm.

Hydrografer vid utloppen från Fagersjö och Farsta-Larsboda visas i Figur 8 respektive Figur 9 (se markering av utloppen i Figur 7 ovan). Låga negativa flöden förekommer stundtals då flödet under simuleringen byter riktning vid tvärsnittet. Båda områdena visar tydliga skillnader i kumulativ avrinningen volym såväl som vad gäller maxflöde mellan olika jordarter. Sand genererar i princip ingen avrinning alls för något område vilket är i linje med simuleringarna av sand i den hydrauliska markmodellen. Därtill kan även vatten från hårdgjorda ytor infiltrera i sandjorden.



Figur 8. Flöde i m<sup>3</sup>/s flöde vid utlopp i Fagersjö för simulering av de första 600 minuterna (total simuleringstid 24 h (1440 min)).



Figur 9. Flöde i m<sup>3</sup>/s flöde vid utlopp i Farsta-Larsboda för simulering av de första 600 minuterna (total simuleringstid 24 h (1440min)).

Den initiala markmättnaden har i båda fallstudierna marginell påverkan på avrinningen om grönyttorna utgörs av lera. En anledning till detta kan vara att leran är väldigt tät och att infiltrationskapaciteten är så pass begränsad att en ökad markmättnad inte ger någon större effekt. För lerig sand (AMA jord A) ses dock en tydligare ökning av avrinningen vid högre initial markmättnad, framför allt i Farsta-Larsboda. Dubbla flödestoppar kan ses i hydrograferna för leran i båda modellområdena, samt även för AMA-jord A i Farsta-Larsboda, vilket beror på större lågpunkter i områdena som först fylls upp och därefter bräddar över.

I Tabell 3 redovisas kumulativ avrunnen volym i utloppspunkterna från avrinningsområdet samt genomsnittliga avrinningskoefficienten för hela området. Den genomsnittliga avrinningskoefficienten (andel av total nederbörd som bildar ytavrinning) är inte bara ett mått på hur mycket vatten som infiltrerat i området utan beror även på hur mycket vatten som stannar kvar i lågpunkter inom avrinningsområdena vid simulering-

Tabell 3. Sammanställning av area, nederbördsvolym samt utflöde och beräknad avrinningskoefficient sett till hela modellområdena i Fagersjö respektive Farsta-Larsboda för de tre jordarterna och tillhörande initial markmättnadspercentil (total simuleringstid för modellområdena var 24 h).

Modellområde		Fagersjö	Farsta-Larsboda		
Area		0,825 km <sup>2</sup>	1,64 km <sup>2</sup>		
Nederbördsvolym		53 844 m <sup>3</sup>	107 034 m <sup>3</sup>		
Jordart	Percentil	Utflöde [m <sup>3</sup> ]	Avrinningskoefficient [-]	Utflöde [m <sup>3</sup> ]	Avrinningskoefficient [-]
Lera	5	7670	0,1424	11 783	0,1101
	50	7807	0,1450	11 942	0,1116
	95	8085	0,1502	12 215	0,1141
Lerig sand	5	330	0,0061	1 472	0,0138
	50	387	0,0072	2 267	0,0212
	95	414	0,0077	2 638	0,0246
Sand	-	35	0,0007	30	0,0003

ens slut. Därför är avrinningskoefficienten från 2D modelleringen inte direkt jämförbar med avrinningskoefficienten från 1D modelleringen. Avrinningskoefficienter som används i Rationella metoden tar hänsyn till initiala förluster så som infiltration, avdunstning och absorption samt ojämnheter i markytan (Svenskt vatten, 2019). Däremot kan inte metoden ta hänsyn till lagring av vatten inom planområdet i exempelvis större lågpunkter. Flera studier visar därför, likt denna studie, att en sammantagen avrinningskoefficient för ett större avrinningsområde med varierande topografi erhåller betydligt lägre koefficienter än standardiserade avrinningskoefficienter som rekommenderas att användas i metoder likt Rationella metoden (Cleveland m.fl., 2011). Liksom i hydrograferna syns även här en mycket stor skillnad mellan jordarterna i avrinning, men även stora skillnader i avrunnen volym mellan de olika fallen av initial markmättnad för AMA-jorden.

Skillnaderna i total översvämningsutbredning mellan olika jordarter och initial markmättnad redovisas även i form av översvämmad area med vattendjup på över 15 cm (lägre nivåer än så ger sällan omfattande översvämningskador) respektive 50 cm, se Tabell 4. I Fagersjöområdet fördubblas andel översvämmad area om jordarten ändras från sand till lerig sand och något mer än en fördubbling om sand byts ut mot lera. För Farsta-Larsboda är skillnaderna något mindre, vilket sannolikt främst beror på att Farsta-Larsboda har högre andel hårdgjorda ytor än Fagersjö. När det gäller påverkan från initial markmättnad ses likt för hydrograferna

Tabell 4. Sammanställning av översvämmad area (som procent av total area) för vattendjup som överstiger 15 cm respektive 50 cm för båda fallstudierna och samtliga jordar med tillhörande initial markmättnad.

Jordart	Percentil	Fagersjö		Farsta-Larsboda	
		>15 cm	>50 cm	>15 cm	>50 cm
Lera	5	15,5 %	6,4 %	19,8 %	11,5 %
	50	15,5 %	6,4 %	19,9 %	11,5 %
	95	15,6 %	6,5 %	19,9 %	11,6 %
Lerig sand	5	11,2 %	4,3 %	16,8 %	9,7 %
	50	11,8 %	4,5 %	17,2 %	9,9 %
	95	12,1 %	4,6 %	17,3 %	9,9 %
Sand	-	6,2 %	2,7 %	9,1 %	7,4 %

störst effekt för AMA-jorden lerig sand, men uttryckt i totalt översvämmad area är skillnaden ändå liten mellan markmättnadsfallen. En trolig förklaring till att en marginell effekt uppvisas, även om hydrograferna visade på väldigt stora skillnader, kan vara hur hårdgjorda respektive gröna ytor och lågpunkter är lokaliserade inom avrinningsområdet. Var i landskapet grönytor placeras kan ge stor effekt på översvämningsområden. Detta har dock inte analyserats närmare i denna studie. Även där skillnad i totalt översvämmad area inte är markant kan skillnader gällande översvämningskonsekvenser/samhällsskador likväl vara mycket stora lokalt i avrinningsområdet. Detta exemplifieras i Figur 10 som visar skillnad i maximalt vattendjup vid pendeltågspåret i Fagersjö mellan två olika initiala markmättnadsfall för samma jordart, samt i Figur 11 som visar skillnad mellan två olika jordarter för samma initiala markmättnad. Här synliggörs att det på lokal nivå kan skilja ca 1-2 decimeter i vattendjup mellan markmättnadsfallen och uppemot en meter mellan jordartsfallen trots att översvämmad area endast skiljer enstaka procentenheter mellan de olika fallen.



Figur 10. Skillnad i maximalt vattendjup [m] mellan initial markmättnad 95e och 5e percentilen i Fagersjö för lerig sand (AMA Jord A).



Figur 11. Skillnad i maximalt vattendjup [m] i Fagersjö mellan lera och lerig sand (AMA Jord A), båda med initial markmättnad enligt 95e percentilen.

Generellt påvisar resultaten mycket stora skillnader gällande översvämningsområden mellan de olika jordarterna, men även skillnader mellan de olika fallen av initial markmättnad. Skillnaderna i dessa fallstudier, särskilt Fagersjö, förstärks sannolikt av att avrinningsområdena har relativt stor andel grönytor och naturmark, och effekten i områden med mindre andel grönytor kan därför vara mindre tydlig.

### Markpackningens påverkan på översvämningskonsekvenser

Tidigare studier har visat på betydelsen av markpackning för infiltration och ytavrinning där en hårdare packning reducerar infiltrationskapaciteten vilket kan leda till en ökad frekvens, volym och intensitet av ytavrinning (Gregory m.fl., 2006 & Pitt m.fl., 2008). När en markyta belastas komprimeras jorden och porvolymen som kan fyllas med luft och vatten minskar vilket gör att skrymdensiteten ökar. Exempelvis visade Ngo-Cong (2021) att en ökning i skrymdensitet på 10-20 % reducerade den kumulativa infiltrationen med omkring 55-82 %. Kompakterade gröna ytor kan därför närma sig infiltrationen motsvarande hårdgjorda ytor, även om resultaten tyder på en stor spridning mellan olika jordar (Gregory m. fl., 2006). Hur mycket en jord kan packas skiljer sig åt och påverkas bland annat av jordartssammansättning och mättnadsgrad vid packningstillfället. En torr jord kan generellt lättare stå emot kompaktering i jämförelse med en blöt jord (D'Acqui m. fl., 2020).

I urbana miljöer påverkas jordar i hög grad vilket leder till ökad skrymdensitet och därmed försämrade

infiltrationsegenskaper (Pitt m, fl., 2008). När det gäller urbana grönytor finns det risk för att jorden kompakteras dels i byggskedet, dels vid drift och nyttjande. Vid anläggning används ofta stora och tunga maskiner och underliggande jordar med sämre infiltrerande förmåga kan blottläggas och ibland sker utfyllnad av ditfraktade jordar av annan karaktär. När parken är i drift används generellt mindre maskiner så som parkbilar och gräsklippare, men ibland nyttjas tunga maskiner även vid drift eller vid anläggningsprojekt inom befintliga grönytor. Utöver detta kan sportaktiviteter och gångstråk kompaktera ytor ytterligare (Pitt m.fl., 2018).

Det är inte enbart fordonsvikt som avgör kompakteringseffekten utan även bredd på däck påverkar. Studier har visat att tunga fordon med breda däck tenderar att kompaktera jord på djupet, medan lättare fordon med smala däck framförallt kompakterar det översta lagret. Övre jordlagret har dock stor påverkan på infiltrationskapaciteten samt att en lättare vikt som appliceras många gånger kan kompaktera övre lagret mer än en tung vikt som appliceras enbart ett fåtal gånger (Publido-Moncada, 2019). Vidare visade Gregory m.fl. (2006) med sin studie att det viktigaste inte är hur tunga maskiner som kompakterar jorden utan huruvida kompaktering överhuvudtaget förekommit.

En naturlig process som delvis kan återställa packningsgraden hos en jord är tjälprocessen. När marken fryser expanderar markfukten vilket gör att porerna ökar i storlek vilket delvis bibehålls när den sen tinar. Men hur väl tjälen återställer en jords kompaktering beror som så mycket annat av jordartsammansättning och är främst något som återställer jordar med höga lerhalter (Eriksson m, fl., 2019).

### Simulering av markpackning och markmättnad med hjälp av hydraulisk markmodell i 1D

I denna del av studien undersöktes hur varierande markpackningsgrad för olika parkjordar i kombination med olika initiala markmättnader påverkar infiltrationskapaciteten. Även här nyttjades den hydrauliska markmodellen i 1D med motsvarande konfigurering som i övriga simuleringar. Samtliga fyra jordar som visas i Tabell 1 användes vid simulering av markpackning.

Packningsgrad baserades på litteraturvärden från fältförsök med liknande jordar (Ngo-Cong, 2021;

Gregory m,fl, 2006) och varierades i modellen genom justering av skrymdensitet och därmed jordhydrauliska parametrar med hjälp av ROSETTA-modellen. Packningsgraderna är specifika för respektive jordart och utgår från en skala mellan icke kompakterad jord och maximal packningsgrad enligt litteraturvärden. Se sammanställning av jordarnas packningsgrader och justerade värden på skrymdensitet i Tabell 5. Modellen kördes med CDS-regn med en varaktighet på två timmar och återkomsttider om 2-, 10-, respektive 100 år och en upplösning på 5 minuter. Som ett mått på ytavrinning sammanställdes avrinningskoefficienter för respektive packningsgrad.

Studier har visat att skrymdensiteten generellt för urbana grönytor kan öka med ca 0,30-0,40 g/cm<sup>3</sup> och gröna idrottsytor ca 0,38-0,56 g/cm<sup>3</sup> (Schueler, 2000).

Tabell 5. Jordarnas skrymdensitet för respektive packningsgrad som anges i procent för varje kompakteringssteg.

Kompaktering	Lera		Lerig sand		Siltig sand		Sand	
	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]	[g/cm <sup>3</sup> ]	[%]
Steg 0	1,39	0	1,37	0	1,30	0	1,49	0
Steg 1	1,46	5	1,49	9	1,42	9	1,58	6
Steg 2	1,53	10	1,60	17	1,52	17	1,67	12
Steg 3	1,60	15	1,71	25	1,63	25	1,73	16

Detta till följd av anläggning men också för att de fortsätter att kompakteras flera år efter anläggningsfasen. En ökning av skrymdensitet på denna nivå motsvarar i princip den maximala kompakteringsgraden som simulerats i denna studie. För att vara en funktionell jord i urbana miljöer när det gäller växtlighet finns det en begränsning gällande skrymdensiteten som varierar beroende på jordart, exempelvis för sand 1,8 g/cm<sup>3</sup>, lerig sand 1,7 g/cm<sup>3</sup> och lera 1,4 g/cm<sup>3</sup> (Schueler, 2000). Notera att dessa värden är relativt höga i relation till de som valts att simuleras i modelleringen.

### Resultat markpackningens och markmättnadens effekt på ytavrinning

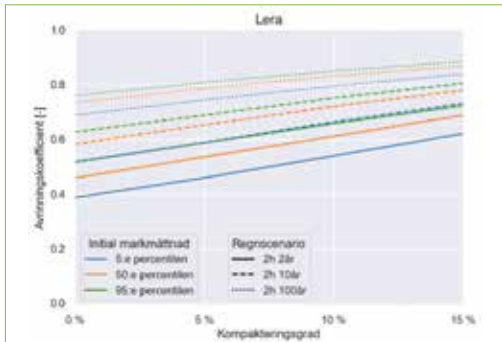
Resultat från simuleringarna visas nedan i Figur 12 till Figur 14 för lera, lerig sand (AMA-parkjord A) och siltig sand (AMA-parkjord B). I figurerna visas hur avrinningskoefficienten (och därmed ytavrinning) beror av packningsgraden och initial markmättnad. Simuleringarna med ren sandjord genererade inte ytavrinning

för något fall, vilket motsvarar en avrinningskoefficient lika med noll, och därför är inte sandjorden presenterad i någon graf. Det kan dock vara värt att notera att varken 1D eller 2D modellen i denna studie tar hänsyn till horisontella grundvattenflöden och det är möjligt att vatten som infiltrerat i en urban grönyta kan bidra till utströmmande grundvatten i nedströms delar av staden, och därmed ändå orsaka ytvattenflöden i staden, om än

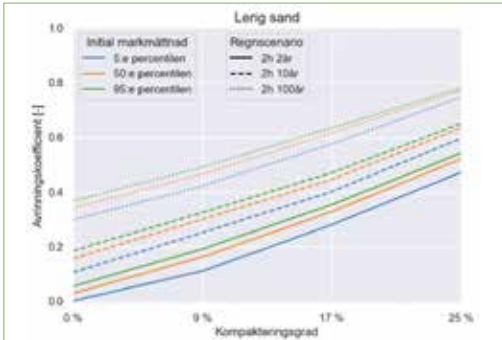
fördröjda sådana. Dylika aspekter diskuteras inte närmare i denna studie.

Resultatet från simuleringar med lera tyder på att kompaktering inte markant förändrar ytvavrinningen vid skyfall från täta jordar som redan opåverkade har kraftigt begränsad infiltrationskapacitet. Tydligare påverkan på ytvavrinningen från lera kan dock ses vid lågintensiva regn. Detta tycks gälla för både markpackning och initial markmättnad, där ett extremt regn (100-års) genererar mycket hög ytvavrinning redan vid låg initial markmättnad respektive låg packningsgrad medan avrinningskoefficienten kan öka med ca 50 % vid måttligt kraftiga regn (2- och 10-års) vid högre packningsgrad. En noterbart ökning, upp till ca 25 %, i avrinning kan även ses när den initiala markmättnaden ändras.

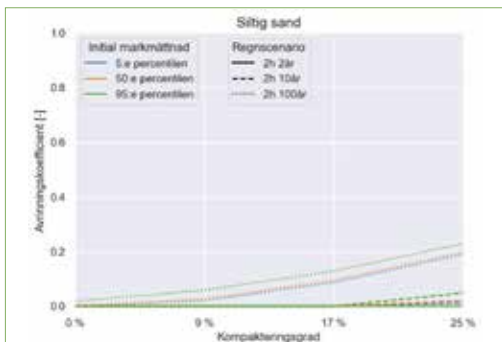
När det gäller AMA-parkjordarna som är mer genomsläppliga ser det annorlunda ut. Stor påverkan av markpackningen kan framförallt ses för lerig sand (AMA Jord A) som har en sandhalt på ca 60 %. Här kan avrinningskoefficienten öka med upp till en faktor tre mellan icke kompakterad och kompakterad jord. Den initiala markmättnaden har mindre påverkan än markpackningen för AMA-parkjordarna, men även markmättnaden har en tydlig effekt på avrinningskoefficienten och ger en ökning om ca 0,1 enheter. Under väldigt mättade förhållanden och hög kompakteringsgrad uppnås liknande avrinningskoefficienter för lerig sand (AMA jord A) som för leran, framförallt för extrema regn. Siltig sand (AMA Jord A/B) genererar generellt ingen ytvavrinning med undantag för vid extrema regn i kombination med hög markpackning. Markmättnaden har endast marginell effekt på ytvavrinning från sand (AMA Jord B). Huvudskillnaden vad gäller material med hög genomsläpplighet är att AMA Jord A innehåller 60 % sand medan AMA-jord B innehåller 80 % sand. Den förhållandevis mätliga skillnad i sandinnehåll mellan lerig sand och siltig sand (ökning från 60 % till 80 %) tycks utifrån resultaten ha mycket stor betydelse för avrinningen. Då sandinnehållet ligger omkring 80 % genereras knappt någon ytvavrinning alls vid måttligt höga regn oavsett markpackning och initial markmättnad samt begränsad ytvavrinning även vid extremregn. Lerig sand ger däremot en betydligt högre ytvavrinning som dessutom ökar med högre initial markmättnad och kan öka mångfaldigt med högre markpackningsgrad.



Figur 12. Avrinningskoefficientens koppling till initial markmättnad och markpackningsgrad för lera.



Figur 13. Avrinningskoefficientens koppling till initial markmättnad och markpackningsgrad för lerig sand.



Figur 14. Avrinningskoefficient redovisat mot markpackningsgrad för siltig sand.

Ett intressant delresultat från simuleringarna är hur tydligt avrinningskoefficienten ökar med regnets intensitet/återkomsttid. Detta tycks gälla oavsett jordart (förutom ren sand där ingen ytvavrinning alls uppstår). Hur hänsyn till detta kan beaktas vid beräkning av dagvattenflöde och fördröjningsvolym diskuteras närmare i en annan artikel i Tidskriften Vatten (Larm et al., 2023).

### Fältförsök i svenska parkmiljöer

Under examensarbeten med fältstudier utförda i samarbete med Tyréns AB under åren 2022-2023 togs jordprover vid ett flertal parkmiljöer i Uppsala, med olika underliggande jordarter, varefter laboratorieförsök gjordes där bland annat skrymdensitet beräknades (Nilsson, 2023; Novikova, 2023). Försöken visade på ett brett spann av skrymdensiteter mellan 1,04-1,62 g/cm<sup>3</sup> där majoriteten av jordarna klassades som lerig eller siltig sand. Resultatet visar på en stor heterogenitet mellan olika parker, men även inom en och samma parkmiljö. Värdena indikerade även att vissa parkytor har en hög packningsgrad då skrymdensiteter uppemot 1,6 g/cm<sup>3</sup> närmar sig de värden på skrymdensitet som använts för att simulera packning på 17-25 % (se Tabell 6). Dessa mätdata, tillsammans med simuleringarna av markpackningens inverkan på infiltrationskapacitet, tyder på att markpackning kan vara en betydande faktor för ytvavrinningens omfattning i svenska parkmiljöer.

Inom ett av examensarbetena gjordes även kompakteringsförsök i parkmiljö, med personbil, där infiltrationskapacitet före och efter kompaktering studerades. Resultaten indikerade att även nyttjande av fordon med personbilsstorlek tydligt kan påverka infiltrationskapaciteten i parkmiljöer (Novikova, 2023).

### Slutsatser

Resultaten från såväl fallstudierna som de generella 1D avrinningsmodelleringarna pekar i samma riktning – jordarten i våra parkmiljöer är helt central för vilken avrinning, och därmed vilka översvämningrisker, som kan uppstå. Därtill indikerar resultaten att även markpackning kan ha mycket stor betydelse, men effekten är beroende av vilken jordart som anlagts i parkmiljön. En viktig och glädjande iakttagelse är att siltig sand (AMA-jord A/B, med 80 % sand) som har mycket goda infiltrationsegenskaper även är relativt ökänslig

för markpackning. Den förhållandevis begränsade ökningen av sandinnehåll i denna studies AMA-jord A (lerig sand) från 60 % till 80 % i AMA Jord A/B (siltig sand) tycks således kraftigt förbättra en parkmiljös möjlighet att minska översvämningsekvenserna i en stad. Därtill är det översta lagret viktigast för infiltrationen och det är därför sannolikt att parkanläggning med sandrik jord enbart i övre jordlagret kan ge mycket positiva översvämningdämpande effekter, även om jordlagren på större djup har tätare jordarter.

Om grönytor likväl anläggs med packningskänsliga jordar är det av stor vikt att beakta maskinval, vid såväl anläggning som drift, för att inte försämra grönytors infiltrationskapacitet. Vid vissa jordtyper, såsom jordar med högt lerinnehåll, kan tjälen återställa kompakteringskadade jordar, men inte alltid fullt ut och vid drift kan kompaktering ändå återkomma under grönsäsongen. Effekten på stadsnivå av kompaktering beror självfallet på hur stor del av stadens grönytor som kompakterats. Är det endast mycket begränsade delar kan påverkan var begränsad, medan det vid större ytor kan ha påtaglig effekt på stadens översvämningrisker. Mätvärden från tidigare studier av generell ökning i skrymdensitet för park och idrottsytor ligger dock nära de värden som använts i denna studie för den maximala kompakteringen (uppemot 25 %), varför det ändå är sannolikt med en omfattande påverkan från markpackning i parkmiljöer. Enligt resultatet från denna studie kan detta ha en mycket stor påverkan på översvämningrisker i städer.

Såväl jordart som markpackning är designfaktorer som kan påverkas vid nyanläggning av grönytor. Annorlunda är det med initial markmättnad, som beror av vädersituationen inför det specifika regntillfället, och som inte kan påverkas vid design. I viss mån kan känsligheten för initial markmättnad påverkas genom jordartsval, men likväl är markmättnad en icke planerbar faktor som behöver tas hänsyn till vid riskbedömning av översvämningseffekter. Trots att effekten av markmättnad är påtaglig är den ändå underordnad i betydelse jämfört med val av jordart. Markpackningens betydelse är svårare att generalisera eftersom den, som ovan nämnts, beror på hur stora ytor som kompakterats och kan på stadsdelsnivå förväntas ge allt från mycket stor översvämningpåverkan till liten påverkan beroende på hur stor andel som kompakterats.



Studiens resultat visar, utöver stora möjligheter till att motverka klimateffekter och minska översvämningsrisker med aktiv parkdesign och medveten drift, även att ytavrinningen kan variera markant beroende på jordart, initial markmättnad och kompakteringsgrad, såväl som beroende på återkomsttid/intensitet för aktuellt nederbördstillfälle. Utöver medveten design med högt sandinnehåll i parkjordarnas övre lager och begränsad markpackning vill vi därför även rekom-

mendera en genomtänkt ansättning av infiltration vid dagvatten- och skyfallsberäkningar, som tar hänsyn till platsspecifika egenskaper hos grönytor samt tar hänsyn till en för respektive beräkningsfall aktuell regnintensitet. I enklare analyser såsom med Rationella metoden kan jordartsspecifika avrinningskoefficienter nyttjas. I mer avancerade avrinningsmodeller kan metoden som utvecklats i denna studie utredas vidare för att på så viss nyttjas till platsspecifika infiltrationsbeskrivningar.

## Referenser

- AMA Anläggning 20 (2020) Allmän material-och arbetsbeskrivning för anläggningsarbete. Svensk byggfjänt. ISBN: 978-91-7917-017-2
- Barkefors, D. (2023) The Influence of Infiltration Capacity and Antecedent Soil Moisture Conditions on Urban Pluvial Flooding. (Masteruppsats 30 hp) Uppsala Universitet. Institutionen för Geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära.
- Cleveland, T.G., Thompson D.B & Fang, X. (2011) Use of the Rational and Modified Method for Hydraulic Design. Texas Department of Transportation.
- D'Acqui, L.P., Certini, G., Cambi, M. & Marchi, E. (2020) Machinery's impact on forest soil porosity. *Journal of Terra-mechanics* 91, 65–71.
- DHI (2023) MIKE+ User Guide, 2D Overland.
- Eriksson, J., Dahlin, S., Nilsson, I. & Simonsson, M. (2019) Marklära, Studentlitteratur.
- Gregory, J.H., Dukas, P.H & Miller, G.L. (2006) Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*.
- Groenendyk, D., Ferré, T., Thorp, K & Rice, A. (2015) Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for improved Visualization of Landscape Function. *PloS one*. 10. e0131299. 10.1371/journal.pone.0131299.
- Hernebring, C. (2006) 10års-regnets återkomst, förr och nu - regndata för dimensionering/kontroll-beräkning av VA-system i tätorter. (No. 2006–04), VA-Forsk. Svenskt Vatten AB.
- Larm, T., Wahlsten, A., Kjellin, J., Ekeröth, S., Olsson, J. och Broekhuizen, I. (2023) Grönområdets och designregns påverkan på avrinningskoefficienter för dimensionering av dagvattenanläggningar. *Vatten*, 79(4) 160-174 (detta nummer).
- Larsson, R (2008) Jords egenskaper, Information 1. Sveriges Geologiska Institut (SGI) Linköping.
- Ngo-Cong, D., Antille, D., van Genuchten, M. Th, Nguyen, H., Tekeste, M., Baillie, C & Gowdin, R. (2021) A modeling framework to quantify the effects of compaction on soil water retention and infiltration. *Soil Science Society of America* 2021;85:1931-1945. DOI: 10.1002/saj2.20328
- Nilsson, E. (2023) Surface Runoff on Green Urban Areas: A study on driving forces behind surface runoff generation. (Masteruppsats 30 hp) Uppsala Universitet. Institutionen för Geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära.
- Novikova, A. (2023) Soil compaction and the effect on infiltration in urban green environments: A study based on field measurements and HYDRUS 1D modellering (Masteruppsats 30 hp) Sveriges lantbruksuniversitet/Uppsala Universitet. Institutionen för Geovetenskaper, luft-, vatten- och landskapslära.
- Olsson, J., Berg, P., Eronn, A., Simonsson, L., Södling, J., Wern, L. & Yang, W. (2017) Extremregn i nuvarande och framtida klimat – Analyser av observation och framtidsscenarier. Klimatologi nr 47 SMHI.
- Persson, M., Selim, T. & Olsson, J. (2019) Groundwater contamination risks from conservative point source pollutants in a future climate. *Hydrological Sciences Journal Vol.* 64, No 13, 1659-1671.
- Pitt, R., Chen, S-E., Clark, S., Swenson, J & Ong, C.K. (2008) Compaction's impacts on urban storm-water infiltration. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*. 2008, 134(5):622-658. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:5(652)
- Schaap, M. G., Feike, J. L & van Genuchten, Martinus Th (2001) ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology* 251(2001) 163-176, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00466-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00466-8)
- Schueler, T. (2000) The Compaction of Urban Soil: The Practice of Watershed Protection. Center for Watershed Protection, Ellicott City, MD. Pages 210-214 Conservation, urban, watershed, Soil, Compaction.
- SGF/BGS (2001) SGF/BGS Beteckningssystem för geotekniska utredningar version 2001:2. Sveriges Geotekniska Förening (SGF) och Byggnadsgeologiska Sällskapet (BGS).
- Šimúnek, J., Šejna, M., Saito, H., Sakai, M & van Genuchten, M.Th. (2009) The HYDRUS-1D Software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media Version 4.08. Department of Environmental Sciences University of California Riverside.
- SMHI (u.d.) Skyfallsstatistik: Regional statistik för extrema korttidsregn. <https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat-skyfallsstatistik-regional-statistik-for-extrema-korttidsregn-> [2023-04-27]
- Svensk Försäkring, (2022) Rekordhöga skadebelopp efter översvämnningar 2021. <https://www.svenskforsakring.se/aktuellt/nyheter/2022/rekordhoga-skadebelopp-efter-oversvamnningar-2021/> [2023-11-06]
- Svenskt Vatten (2011) Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem. Publikation P104 Svenskt Vatten AB.
- Svenskt Vatten (2019) Avledning av dag-, drän- och spillvatten. Publikation P110 Svenskt Vatten AB.
- Van Genuchten, M.Th. (1980) A Closed-form Equation For Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. *Soil Science Society of America Journal* 44:832-898

# Kemiska föroreningar i vatten – EU föreslår krav på mätning av östrogena effekter



Kemisk  
analys

Våra  
effektbaserade  
metoder

**Nyligen kom ett förslag  
på nya vattendirektiv  
som bland annat  
innebär:**

- ett krav på medlemsstaterna att kartlägga förekomst av östrogena ämnen i ytvatten med effektbaserade metoder
- en mer holistisk övervakning av blandningar av kemiska ämnen genom effektbaserade metoder.

BioCell Analytica erbjuder vattenanalyser av östrogena och andra effekter som är skadliga för människors hälsa och vår miljö.

Med hjälp av laboratorieodlade celler kan man mäta effekten av alla hälsofarliga kemikalier i ett prov – detta kallas effekt-baserad analys.

Med kemisk analys mäts endast halter av ett fåtal kemiska ämnen, men dessa är bara en liten del av problemet. Upp till 99% av de skadliga effekterna i ett vattenprov kommer från okända ämnen.

Effektbaserade metoder ger en totalbild av de hälsoskadliga ämnena i ett vattenprov, även cocktail-effekter. Metoderna är ett utmärkt komplement till kemisk analys av specifika ämnen och passar väl för den riskbaserade strategin i det nya Dricksvattendirektivet.



Vill du veta mer? Besök vår hemsida [www.biocellanalytica.se](http://www.biocellanalytica.se), kontakta oss på [kontakt@biocellanalytica.se](mailto:kontakt@biocellanalytica.se) eller boka ett informationsmöte med oss här: <https://calendly.com/biocell-analytica/introduktion>

# Stödjande medlemmar



## Stort tack till samtliga våra stödjande medlemmar!

Amphi-tech	Mittskåne Vatten	Trollhättan Energi
Arboga Vatten och Avlopp	Mälarenergi Vatten	Tyréns
Brenntag Nordic	Norconsult	Uppsala Vatten och Avfall
EnviDan	Norrvatten	VA-guiden
Falköpings Kommun	NSVA	VA SYD
Gryaab	Ragn-Sells Treatment & Detox	VA-avdelningen NVK
Göteborgs Stad Kretslopp och Vatten	RISE Research Institutes of Sweden	Vakin
Haninge kommun	SGS	Vattenfall
Hudiksvalls Kommun	Strömsunds Kommun	Vänersborgs Kommun
Hässleholms Vatten	SWECO Environment	Västra Mälardalens Energi och Miljö
Kalmar Vatten	Sydvatten	Växjö Kommun
Karlstads kommun	SYVAB	Östersunds Kommun
Kemira Kemi	Teknik- och fastighetsförvaltningen Höganäs	
Malmberg Water	Tekniska verken i Linköping (publ)	
Miljöförvaltningen Stockholms Stad	Trelleborgs Kommun	