

Alternativa åtgärder mot grundvatten i avloppssystem – att genomföra och förutsäga effekterna med stöd av datormodellering

*Lars-Göran Gustafsson
Bertil Sundlöf*



VA-Forsk

VA-Forsk är kommunernas eget FoU-program om kommunal VA-teknik. Programmet finansieras i sin helhet av kommunerna, vilket är unikt på så sätt att statliga medel tidigare alltid använts för denna typ av verksamhet. FoU-avgiften är för närvarande 1,05 kronor per kommuninnevånare och år. Avgiften är frivillig. Nästan alla kommuner är med i programmet, vilket innebär att budgeten årligen omfattar drygt åtta miljoner kronor.

VA-Forsk initierades gemensamt av Kommunförbundet och Svenskt Vatten. Verksamheten påbörjades år 1990. Programmet lägger tonvikten på tillämpad forskning och utveckling inom det kommunala VA-området. Projekt bedrivs inom hela det VA-tekniska fältet under huvudrubrikerna:

Dricksvatten
Ledningsnät
Avloppsvattenrening
Ekonomi och organisation
Utbildning och information

VA-Forsk styrs av en kommitté, som utses av styrelsen för Svenskt Vatten AB. För närvarande har kommittén följande sammansättning:

Ola Burström, ordförande
Roger Bergström
Bengt Göran Hellström
Staffan Holmberg
Pär Jönsson
Peeter Maripuu
Stefan Marklund
Peter Stahre
Jan Söderström

Skellefteå
Svenskt Vatten AB
Stockholm Vatten AB
Haninge
Östersund
Vaxholm
Luleå
VA-verket Malmö
Sv kommunförbundet

Asle Aasen, adjungerad
Thomas Hellström, sekreterare

NORVAR, Norge
Svenskt Vatten AB

Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll, varför detta ej kan åberopas såsom representerande Svenskt Vattens ståndpunkt.

VA-Forsk
Svenskt Vatten AB
Box 47607
117 94 Stockholm
Tfn 08-506 002 00
Fax 08-506 002 10
E-post svensktvatten@svensktvatten.se
www.svensktvatten.se

Svenskt Vatten AB är servicebolag till föreningen Svenskt Vatten.

Rapportens titel:	Alternativa åtgärder mot grundvatten i avloppssystem – att genomföra och förutsäga effekterna med stöd av datormodellering
Title of the report:	Alternative measures against groundwater in sewer systems – To carry out and predict the effects with the aid of computer modelling
Rapportens beteckning	
Nr i VA-Forsk serien:	2002-5
ISSN-nummer:	1102-5638
ISBN-nummer:	91-89182-62-6
Författare:	Lars-Göran Gustafsson, DHI Water & Environment, Bertil Sundlöf, VBB VIAK
Utgivare:	Svenskt Vatten AB © Svenskt Vatten AB
VA-Forsk projekt nr:	98-112
Projektets namn:	Alternativa dräneringsåtgärder för minskning av tillskottsvatten i avloppsnät - Förutsägelse och uppföljning av effekter med hjälp av datormodellen MIKE SHE
Projektets finansiering:	VA-Forsk, DHI, Kristianstad kommun, Halmstad kommun
Rapporten beställs från:	Svenskt Vattens distribution, Box 262, 591 23 Motala. Finns även att hämta hem som PDF-fil från Svenskt Vattens hemsida www.svensktvatten.se
Rapportens omfattning	
Sidantal:	52
Format:	A4
Upplaga:	1200
Sökord:	Avlopp, avrinning, grundvatten, ovidkommande vatten, dränering, geohydrologi, hydrologi, modellering, simulering, MIKE SHE
Keywords:	Sewers, runoff, groundwater, infiltration, inflow, drainage, geohydrology, hydrology, modelling, simulation, MIKE SHE
Sammandrag:	Rapporten tar upp behoven av alternativa dräneringsåtgärder för att lösa problem med grundvattenpåverkan i avloppsnät. Nyttan med datormodellering av samspelet mellan ledningsnät och grundvatten diskuteras. Det hydrologiska modellsystemet MIKE SHE har tillämpats på tre olika områden med syfte att förutsäga effekterna av olika typer av åtgärder.
Abstract:	The need for alternative drainage schemes to solve problems with groundwater infiltration in sewer system are being discussed. The advantages with computer modelling of the interaction between sewers and groundwater are discussed. The hydrological modelling system MIKE SHE has been applied on three catchments with the purpose being to predict the effects of different countermeasures.
Målgrupper:	Kommunala VA-förvaltningar, konsulter, miljövårdsmyndigheter
Utgivningsår:	2002
Omslagsbild:	Bertil Jönsson, Halmstad kommun

Sammanfattning

I många tätorter med äldre bebyggelse är ofta även VA-ledningsnätet av äldre årgång, med försämrad funktion och återkommande driftstörningar på ledningsnät och reningsverk som följd. Ett vanligt förekommande problem är inläckage och dränering av stora mängder grundvatten till spillvattenledningarna, som då gör tydliga avtryck i den urbana hydrologin. Traditionellt föreslås ofta "tätande" åtgärder mot dessa problem med sk tillskottsvatten, t ex genom relining, foginjektering eller helt enkelt omläggning med nya ledningar, för att förbättra konditionen och funktionen på ledningsnäten. Dessa åtgärder är ofta nödvändiga i ett vidare perspektiv, men blir också ofta mycket kostsamma. Om vi fokuserar på problem med tillskottsvatten, indikerar erfarenheter samtidigt en begränsad nytta med tillämpning av enbart dessa konventionella åtgärdsmetoder. Det kan därför i vissa fall vara intressant att i stället undersöka effekterna av ingrepp i marken i och kring en tätort, exempelvis i form av avskärande dräneringar. Denna typ av alternativa dräneringsåtgärder skapar å andra sidan många nya tekniska frågor. Svaren till dessa kräver en god geohydrologisk förståelse av området.

Hydrologisk modellering ökar möjligheten att beskriva denna komplexa interaktion mellan ledningsnät och den urbana hydrologin, samt ger möjlighet att förutsäga effekterna av olika åtgärder. 1993 gjordes de första försöken att modellera samspelet mellan avloppsnät och grundvatten med en fysikalisk utgångspunkt i det hydrologiska modellsystemet MIKE SHE. Det lilla samhället Vittskövle söder om Kristianstad blev "försökskanin" med mycket intressanta och positiva resultat. Arbetet i Vittskövle ledde bl a fram till ett nytt dräneringssystem som anlades i samhället under hösten 1996. Nu, drygt fem år senare, kan man konstatera att beräkningarna visade rätt, med en reduktion av tillskottsvatten på nära 80%.

Med dessa fina resultat i minnet, har beräknings- och analysmetodiken förfinats och tillämpats på ytterligare två områden med andra förutsättningar: Nyatorp i Halmstad samt Gärds Köpinge i Kristianstad Kommun. I Nyatorp har nu stora delar av VA-ledningsnätet förnyats, samtidigt som nya dräneringsstråk föreslagits. Detta för att säkerställa en grundvattennivå som bebyggelsen klarar, utan att för den skull samla på sig grundvatten till reningsverket. I Gärds Köpinge har en kombination av konventionella "tätande" åtgärder och nya dräneringsstråk föreslagits. I rapporten redovisas erfarenheter från dessa och andra tillämpningar, bland annat belyses behoven av indata och mätningar. Här jämförs och diskuteras också nyttan med datormodellering kontra handberäkningsmetoder, utgående från olika typer av geologi och bebyggelse. Datormodellering har sina största fördelar när det gäller områden med sedimentära jordarter och om man skall hantera och belysa effekter av många ledningar med olika läggningsdjup och egenskaper. I urbergsområden med tunt moräntäcke och enkla överskådliga nivåförhållanden för ledningar synes dock enklare handberäkningsmetoder vara ett lämpligare val.

Slutligen diskuteras de legala aspekterna vid byggande av dräneringssystem för tätorter. Dessa är svåra att direkt hänföra till något juridiskt begrepp, men synes vara tillståndspliktiga om det inte är uppenbart att vare sig enskilda eller allmänna intressen skadas. Kontakt bör därför tas med länsstyrelsen innan åtgärder av den här typen drivs för långt i planeringen.

Summary

In many urban localities with older neighbourhoods, often also the water and sewer networks are of older origin, with poor functionality and continuous maintenance problems on the network and treatment plant as a consequent. A common problem with these older systems is infiltration and the drainage of large amounts of groundwater into the sewer network, which greatly impacts the urban hydrology. Traditional approaches to “seal” the pipes against this problem of infiltration have been, for example, relining the pipes, pipe joint sealing, or simply laying new lines, in the hope of improving the condition and performance of the system. These measures are often necessary, but can also be quite costly. If we focus specifically on the problem of infiltration, experience shows limited success with these traditional approaches. Because of this, it could be interesting, in certain cases, to examine the effects measures have in the ground around an urban area instead, like new drainage schemes. On the other hand, this type of alternative drainage methods brings up a lot of new technical questions. The answers require a good geohydrological understanding of the area.

Hydrological modelling increases the possibility to describe the complex interaction between the sewer network and the urban hydrology, and at the same time, provides the possibility to predict how effective the different approaches will be in solving the problem of infiltration. The first attempt to model the interaction between the sewer system and ground water with a physical approach took place in 1993 with the help of the hydrological modelling system MIKE SHE. The small community of Vittskövle, south of Kristianstad, became the “test rabbit”, with many positive and interesting results. The work in Vittskövle led to, among other things, a new drainage system for the community, which was constructed in the fall of 1996. Today, five years later, the model calculations proved to be correct, with infiltration reduced by nearly 80%.

With these terrific results in mind, the methods used to calculate and analyse results have been finetuned, and have now been adapted on two additional communities with different characteristics: Nyatorp in Halmstad and Gärds Köpinge in Kristianstad. Today in Nyatorp, large sections of the sewer system have been replaced, and some new drainage routes have been recommended. The new drainage routes are to secure a ground water level the buildings can manage, without capturing groundwater to the treatment plant. In Gärds Köpinge, the recommendation was to use a combination of conventional “sealing” methods and new drainage routes. This report will describe the experiences from these and other applications, among others an overview of the types of input data and measurements required. Also here will be discussions and comparisons of the usefulness of computer modelling compared with hand calculation methods considering different types of geology and communities. Computer modelling is most advantageous in areas which are made up of sedimentary layers and when the effects of many pipes of different depths and properties are to be handled and described. In areas with primitive bedrock overlain with thin moraine and simple sewer networks with depths easy to overview, simpler hand calculation methods might be a good choice.

Finally, there will be a discussion of the legal aspects of building drainage systems for communities. This is hard to relate to any specific legal definition, but seems to be a duty of permission unless it is evident that neither private nor public interests are damaged. Better contact the local authorities before methods of this kind are planned to far.

Förord

En arbetsgrupp bestående av undertecknade och representanter från Kristianstad kommun och Halmstad kommun har utvärderat möjligheterna och begränsningarna med alternativa dräneringsåtgärder vid olika typer av förhållanden i en tätort. System för datormodellering har utvecklats och använts för att förutsäga effekterna av denna typ av åtgärder i tre olika avrinningsområden. Även enklare handberäkningsmetoder har diskuterats, såväl som de juridiska aspekterna kring denna typ av ingrepp i marken.

En referensgrupp bestående av Roland Thulin vid Jönköpings kommun, Björn Svensson vid Sävsjö kommun, Anders Widerström vid Halmstad kommun, Lennart Mårtensson vid Kristianstad kommun, Lena Tilly vid VAI VA-Projekt, Stefan Winberg vid Tyrens, och Mats Andréasson vid DHI, har bidragit med värdefulla synpunkter till projektets genomförande.

Arbetet har finansierats med stöd från Kristianstad kommun, Halmstad kommun och VA-FORSK.

Ett varmt tack till alla engagerade personer från Kristianstad kommun och Halmstad kommun, för insamling av indata och genomförande av fältmätningar. Ett tack också till Ulrika Andersson, Ann-Marie Gustafsson och Johan Spännare, samtliga vid DHI, som genomfört all datormodellering i projektet. Slutligen ett tack till alla de som bidrog till att projektet kom till stånd – med förhoppning om intressant läsning.

Växjö i april 2002

Lars-Göran Gustafsson
DHI Water & Environment

Bertil Sundlöf
VBB VIAK

Inledning	1
Bakgrund och problembild Modellering av inläckage testas i Vittskövle	
Alternativa angreppssätt	5
Förebyggande åtgärder vid exploatering Åtgärder i befintlig bebyggelse	
Utredningsmetodik	7
Hydrologisk datormodellering Handberäkningsmetoder Erforderliga indata, mätningar och undersökningar Fördelar och begränsningar med de olika metoderna	
Praktikfall	16
Vittskövle i Kristianstad Gårds Köpinge i Kristianstad Nyatorp i Halmstad Stockaryd i Sävsjö Allmänna erfarenheter	
Genomförande och risker	33
Praktiska tips och råd kring utförande Konsekvenser på omgivningen Praktiska erfarenheter från några områden	
Legala aspekter	37
Tolkning av Miljöbalken avseende dräneringssystem	
Slutsatser	39
Referenser	42

Bakgrund och problembild

Den hydrologiska balansen påverkas oundvikligen av vår urbana exploatering. Dräneringsledningar och avloppsledningar med dålig kondition skapar tydliga avtryck i den lokala hydrologin genom att möjliggöra en växelverkan mellan ledningsnät och omgivande grundvatten. Om det är grundvattnet som inverkar på ledningsnätet, eller tvärtom är diskutabelt. Uppenbar är dock den dränerande funktionen hos ledningsnätet vars genomslag varierar beroende på ett antal parametrar. Oftast erhålls en ökad belastning på ledningsnät och reningsverk vid regntillfällen genom att stora delar av nederbörden som faller över urbana områden dräneras och avleds via husgrundsdränering samt läckage till ledningssystem (Bäckman, 1985).

Praktiska erfarenheter indikerar ofta en begränsad nytta med tillämpning av enbart konventionella åtgärdsmetoder, dvs tätning (re-lining) av avloppsledningssystem. Alternativa åtgärder i form av anläggning av nya dräneringsstråk som skär av den naturliga grundvattenströmningen kan skapa mer effektiva lösningar. Genom introduktion av alternativa metoder uppstår naturligtvis nya tekniska och juridiska frågor: Hur finner man den mest effektiva placeringen av en avskärande dränering och vilka blir följd-effekterna av dess implementering? Kan en förändrad grundvattenregim negativt påverka husgrunder, växtlighet och närliggande grundvattenuttag? Naturligtvis uppstår det liknande frågor vid implementering av konventionella åtgärder. Då kan riskerna identifieras i en förhöjd grundvattennivå till följd av tätning och förnyelse av avloppsledningar. Visserligen reduceras inläckaget genom denna metodik, men genom att grundvattnets enda dräneringsmöjlighet

stryps finns en uppenbar risk för förhöjda grundvattennivåer och därmed även risk för fukt i grundmurar och källaröversvämningar. Vidare måste man även säkerställa att man på bekostnad av ett begränsat inläckage av grundvatten i *en* ledningssträcka inte geografiskt sett flyttar problematiken då vattnet ofta hittar andra vägar till ledningsnätet, t ex via fungerande husgrundsdräneringar.

Svaret på många av dessa frågor döljer sig i en god geohydrologisk förståelse av de dräneringsprocesser som verkar inom problemområdet. För att beskriva och konkretisera dessa processer samt att, från alla aspekter, skraddarsy den mest effektiva lösningen krävs nya angreppssätt där man även ser möjligheter för alternativa åtgärder.

Kombinerade avloppssystem är dimensionerade för att hantera direkt nederbörds-påverkan, spillvatten och dräneringsvatten. Vid en överbelastning uppstår skador då vattnet tränger upp genom källaravloppen via fastighetens spillvattenservis samtidigt som dräneringsledningarna också står dämnda.

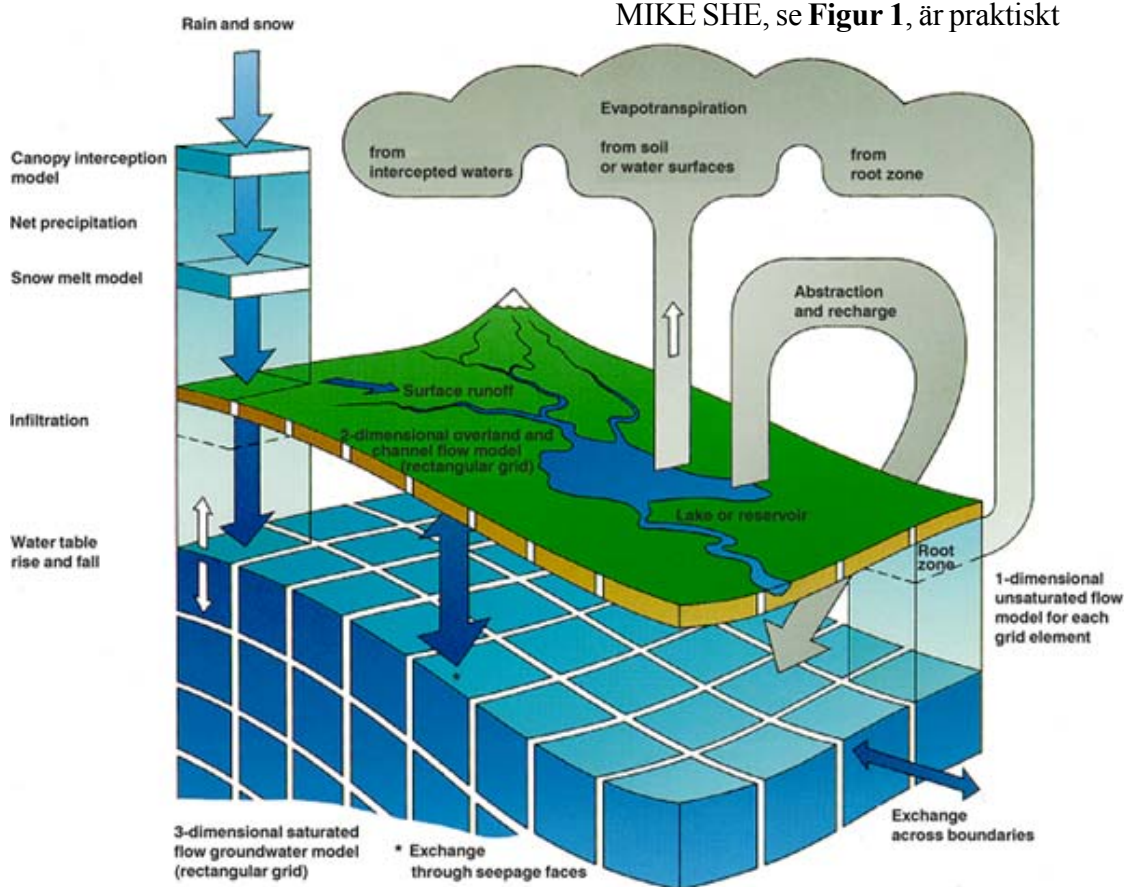
Motsvarande skador som i det kombinerade ledningsnätet kan även uppstå i duplikata avloppssystem. Teoretiskt sett borde överbelastningar till följd av kraftig nederbördspåverkan ej vara möjlig i det duplikata systemets spillvattenledning. Dessa är ej heller dimensionerade för att avleda nederbördsavrinningen, vilken istället skall avledas i dagvattenledningen. Motsvarande förhållande gäller även för sk separatsystem där nederbördsavrinningen istället skall ske i öppna diken. De flödesökningar som trots detta kan konstateras i spillvattenledningarna visar på att helt stringenta separerade avloppssystem i praktiken ej kunnat skapas med den tillämpade praxisen. De tumregler

som ofta använts för att uppskatta flöde på dräneringsvattnet har varit trubbiga och ej avspeglat de verkliga förhållandena. Det kan också konstateras att den indirekta nederbördspåverkan ej beaktas vid dimensionering för någon typ av avloppsnät. Orsaken till detta kan ha sin förklaring i att denna typ av avrinning ej följer några enkla regler utan blir en följd av hur pass olyckligt ledningsnätet utformats i förhållande till de geohydrologiska förutsättningarna. Andra bidragande orsaker kan vara bristande täthet i de privata och kommunala spill- och dagvattenledningarna (se vidare Bäckman, 1993). Sammantaget innebär dessa flödesökningar i samband med

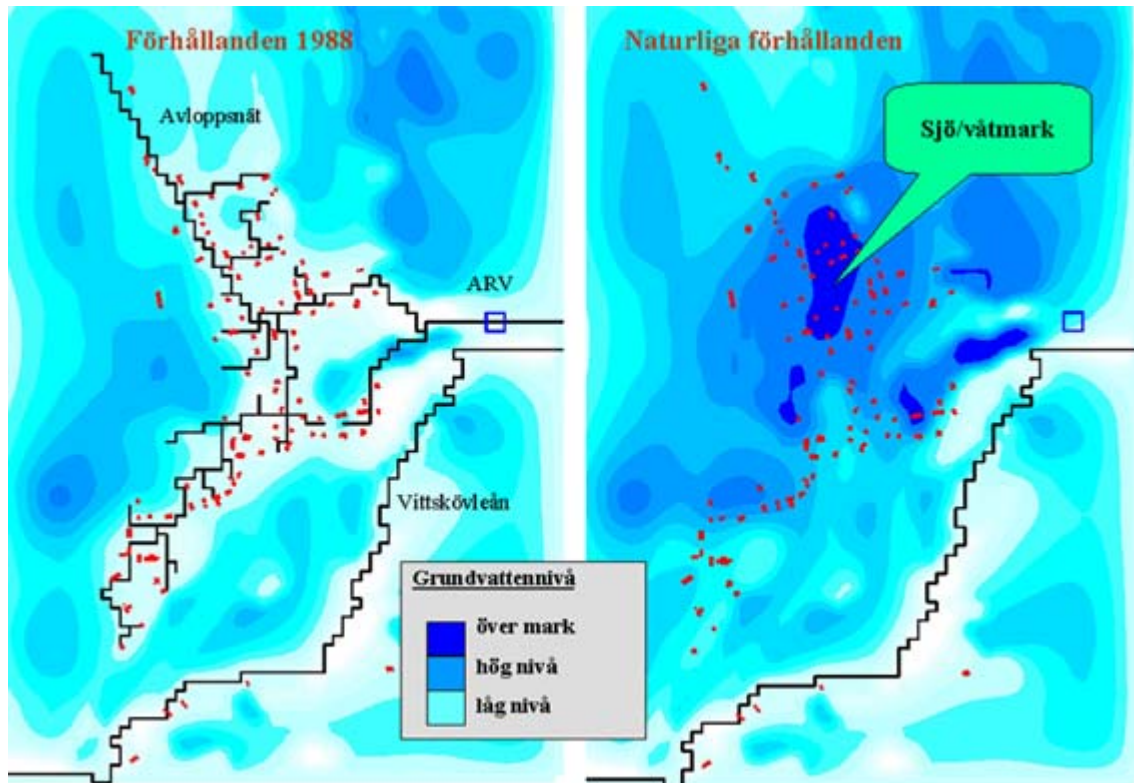
nederbörd en ökad risk för källaröversvämningar, bräddning av orenat avloppsvatten, och, i vissa fall, överbelastade avloppsreningsverk. Överbelastning av avloppsreningsverk kan i vissa fall ske även under torrväder, orsakat av stora mängder sk läck- och dräneringsvatten. Ofta inträffar denna typ av överbelastningar under "blöta" höst- och vårperioder.

Modellering av inläckage testas i Vittskövle

Ett forskningsprojekt utfördes 1993-1994 med stöd från VAV, för att klargöra i vilken grad det hydrologiska modellsystemet MIKE SHE, se **Figur 1**, är praktiskt



Figur 1. Modellstruktur för MIKE SHE



Figur 2. Simulerade grundvattendjup i Vittskövle – med ursprunglig funktion (1988) (vänster) och med naturliga förhållanden utan avloppssystem (höger)

användbart för studier av dräneringsproblem i tätorter (Winberg et al, 1994). Syftet med projektet var att testa om det är möjligt att beskriva de geohydrologiska processerna i marken och samspillet mellan dessa och avloppssystemet, på liknande sätt som dynamisk rönnätsmodellering kan ge en detaljerad beskrivning av hydrauliken i ledningar.

Modelleringstekniken användes på en liten by, Vittskövle, utanför Kristianstad. Tillämpningen visade att modellen är fullt kapabel att beskriva de relevanta processerna, och indikerade att den inte bara kunde kalibreras utan även användas för att prognostisera framtida effekter inom området (Gustafsson et al, 1997).

Modellen användes för att planera ett nytt dräneringssystem för att sänka det extremt

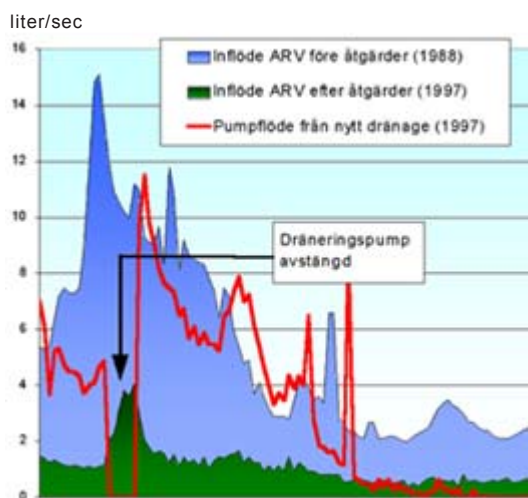
höga inflödet till avloppsreningsverket, orsakat av grundvatteninläckage till avloppsnätet. Reduceringen av inläckage med hjälp av den nya dräneringen bedömdes uppgå till minst 75%. För jämförelse studerades även effekten av att enbart tillämpa konventionella åtgärder, dvs re-lining av avloppsnätet. Ett helt tätt avloppssystem skulle innebära att området återställdes till naturliga förhållanden och stora delar av Vittskövle skulle hamna under vatten, se den högra delen i **Figur 2**. Av den vänstra delen i figuren framgår avloppsnätets stora dränerande funktion i befintlig situation (1988).

Under hösten 1996 konstruerades dräneringen och togs i drift. Nu, några år senare, visar flödesmätningar att konstruktionen var lyckad, med en reduktion av inflödet till reningsverket som överträffar prognosen.

Det uppmätta inflödet för ett år före åtgärd (1988) och efter åtgärd (1997) visas i **Figur 3**. Dessutom visas pumpflödet från dräneringen i figuren. Observera den snabba ökningen av inflödet till reningsverket under det korta stoppet av dräneringspumpen i början av 1997.

Med erfarenheter ifrån Vittskövle lades grunden för det VA-FORSK projekt som redovisas i föreliggande rapport, med syfte att mer grundligt kartlägga metodiken. Mer specifikt har syftet med projektet varit att:

- följa upp tillämpningen i Vittskövle, både ur ett funktionellt och hydrologiskt perspektiv.
- tillämpa metodiken på två andra områden med liknande problematik men med olika förutsättningar: Nyatorp i Halmstad samt Gärds Köpinge i Kristianstad Kommun.
- utveckla en dynamisk koppling mellan MIKE SHE och MOUSE.
- jämföra och diskutera nyttan av datormodellering kontra handberäkningsmetoder för utvärdering av alternativa dräneringssystem.
- diskutera de juridiska och praktiska aspekterna vid byggande av dräneringssystem för tätorter, baserat på erfarenheter både från de involverade tillämpningarna och andra områden i Sverige där liknande metoder har använts.



Figur 3. Tillrinning till Vittskövle avloppsreningsverk - före och efter anläggande av nytt dränage.

Förebyggande åtgärder vid exploatering

Implementering av alternativa åtgärder, i syfte att minska inläckaget av grundvatten till avloppsledningsnät, skiljer sig beroende på om man har utgångspunkt i befintlig bebyggelse eller om man avser att införa förebyggande åtgärder vid nyexploatering.

När ett nytt markområde skall exploateras för bebyggelse finns det ett antal mått och steg man kan ta för att minimera riskerna för att i framtiden få problem med tillskottsvatten i spillvattennätet.

Innan området planläggs och höjdsätts bör ett antal grundvattenrör placeras ut och observeras under viss tid. Jämförelser kan sedan göras med någon av SGU's grundvattenstationer för att bedöma ungefärlig högsta grundvattennivå i det aktuella området. Så långt möjligt anpassas sedan plan och höjdsättning till högsta grundvattennivå. Djupa källarvåningar undviks i partier där grundvattnet är högt eller, om inte det är möjligt, justeras grundläggningsnivåerna upp så mycket som möjligt.

Om man bedömer att grundvattennivåerna generellt kommer att vara höga i hela området får andra åtgärder vidtas. Avskärande dräneringar kan läggas ned för att begränsa grundvattentillströmningen till området. Dräneringar kan läggas ned inom området innan några andra arbeten påbörjas.

Avskärande dräneringar och dräneringar inom området kan vara en möjlig åtgärd om marken är någotsånär genomsläpplig. Vid tätare markmaterial krävs antingen större djup eller tätare mellan ledningarna för att få påtaglig effekt. Kostnaderna kan då bli för stora.

Eftersom husgrundsdräneringar ofta direkt, eller indirekt är källan till problemen kan det i vissa fall vara skäl att överväga avledning av sådant vatten separat, från speciellt problematiska områden.

Åtgärder i befintlig bebyggelse

Självfallet är åtgärder i befintlig bebyggelse betydligt svårare och dyrare än vid nyexploatering. Beträffande åtgärder i hyggligt genomsläpplig mark kan dock avskärande dräneringar i vissa fall anläggas utan att kollisionerna med befintliga anläggningar blir alltför stora. Har marken hyggligt genomsläpplighet kan nämligen dränagen läggas en bit ifrån bebyggelse och ledningar och ändå få godtagbar effekt.

Även i tätare mark finns i vissa fall möjlighet att vidta åtgärder som inte är alltför kostbara och omständiga. I exempelvis sluttande moränterräng kan ytliga avskärande dränage anläggas uppströms bebyggelseområden och på så sätt ta undan en hel del av det vatten som annars skulle nå ledningsgravarna i området. Lyckas man vidare

lokalisera distinkta punkter/partier i området där belastningen är speciellt stor kan schaktbrunnar anläggas för att avlasta spillvattennätet. Nivåstyrd pumpning av grundvatten får då göras i dessa brunnar.

Ytterligare ett exempel kan vara om ledningsgravar och bebyggelse ligger nära en strand eller ett sankområde. En avskärande dränering kan i ett sådant fall begränsa tillrinningen till ledningsgraven även om marken endast är måttligt genomsläpplig.

Generellt måste stor försiktighet iakttas vid åtgärder i befintlig bebyggelse. Förutom sättningsrisker som kan uppträda i vissa marktyper, får man vara på sin vakt så att man inte drar till sig spillvatten från läckande ledningar till de dränage man utför. Om en spillvattenledning tar in grundvatten vid höga grundvattennivåer kan den självfallet också läcka ut spillvatten vid låga grundvattennivåer.

Hydrologisk datormodellering

Matematiska datormodeller har i många fall visat sig vara användbara för att öka kunskapen och förståelsen av fysikaliska förlopp. I vissa fall kan denna "akademiska" nytta räcka för att motivera användningen av dessa modeller, men i andra fall måste man väga nyttan mot arbetets omfattning och kostnader. När det gäller modellering av inläckage till avloppsnät med syfte att analysera och planera alternativa framtida dräneringsåtgärder, har datormodeller sina största fördelar inom större bebyggelse-områden med mer komplicerade ledningsnät. Varierande lednings- och dräneringsnivåer kan då antas samverka, vilket kan ge upphov till många delproblemställningar som kan vara svåra att överblicka med mer enkla överslagsberäkningar och analytiska metoder. Få datormodeller har dock visat sig kapabla att beskriva samspelet mellan hydrauliken i ledningsnät och omgivande geohydrologiska processer i en lämplig skala.

Idag är det vanligt att använda konceptuella modeller för att modellera dessa processer och dess effekt på avloppssystemen. Den konceptuella modellen MOUSE RDII (före detta MOUSE NAM) har använts på fler än hundra tätorter i Sverige, för att modellera hur de hydrologiska processerna påverkar inläckage till avloppsnäten (Gustafsson, 1995). Dock finns en nackdel med dessa konceptuella modeller – deras oförmåga att till fullo ta hänsyn till existerande kunskap om avrinningsområdet. De kan heller inte förklara de fysikaliska orsaker som ligger

bakom olika resultat. Detta betyder att effekter från framtida åtgärder i det urbana området, exempelvis alternativa åtgärder som avskärande dränage etc, endast kan beskrivas till en begränsad nivå med en konceptuell modell, och kanske inte ens det. Trots detta är det ofta just att analysera effekter av framtida alternativa åtgärder som är anledningen till att använda en modell. För att kunna förstå och lära mer om de geohydrologiska processerna krävs därför modellverktyg som kan beskriva dessa processer på ett mer fysikaliskt och distribuerat sätt.

Det finns redan idag fysikaliskt baserade geohydrologiska modellkoncept på marknaden. En av de mer avancerade modellerna är MIKE SHE (Abbot, 1986).

MIKE SHE

MIKE SHE är ett deterministiskt, distribuerat och fysikaliskt baserat modellsystem för simulering av hydrologiska processer i markdelen av den hydrologiska cykeln. Modellen är applicerbar inom ett vitt spektra av vattenresurs- och miljöproblem relaterade till yt- och grundvattensystem och det dynamiska samspelet mellan dessa.

MIKE SHE simulerar variationer i grundvattentryck, flöden och vattenmagasinering i markytan, i vattendrag samt i den omättade och mättade zonen. Dessa delkomponenter i MIKE SHE kan användas enskilda eller integrerat beroende på tillämpning, vilket ger stor flexibilitet. Den rumsliga variationen av meteorologiska indata och områdes-

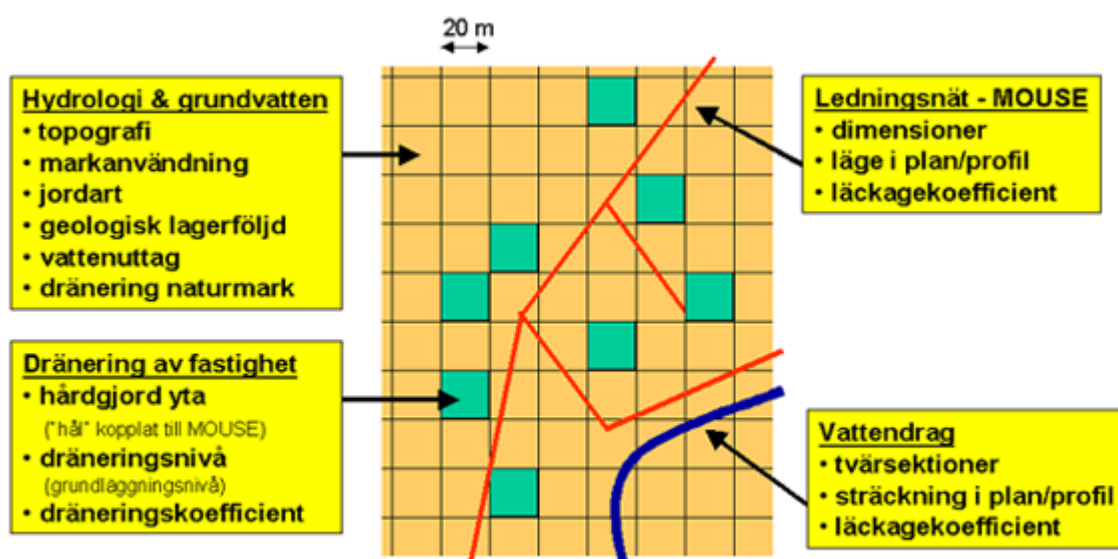
karaktäristik representeras i ett nätverk av gridrutor. Inom varje gridruta delas jordprofilen in i en serie av vertikala lager. Modellstrukturen illustreras i **Figur 1**.

Som tillägg inkluderar modellpaketet moduler för beräkning av spridning och nedbrytning av föroreningar, kartläggning av infiltrations- och uppsamlingsområden våtmarksekologi etc. MIKE SHE omfattar ett antal pre- och postprocessorer för indatahantering samt analys av simuleringsresultat. För att styrka möjligheten för bearbetning, utvärdering och kontroll av indata såväl som analyser av resultat har MIKE SHE även en koppling till ArcView GIS dedikerade applikationer. En av dessa är Geoeditor där geologiska modeller i 3D kan skapas utifrån geologiska fältdata. MIKE SHE har länge använts över hela världen vid

traditionella yt- och grundvattenproblem och har i synnerhet visat sig vara användbar då effekterna av mänsklig påverkan skall undersökas.

Integrerad modellering av grundvatten och avloppsnät

MOUSE är sedan slutet av 80-talet det dominerande modellverktyget i Sverige för att analysera och utreda funktionen hos avloppssystem. Användningen har främst varit inriktad på flödespåverkan i spillvattenförande system, men också rena dagvattentillämpningar är vanliga. Som tillägg till den fullt hydrodynamiska ledningsflödesmodellen och den konceptuella ytvavrinnings- och inläckagemodellen, inkluderar systemet moduler för sediment och föroreningstransport, samt realtidsstyrning.



Figur 4. Principer för kopplingen mellan MOUSE och MIKE SHE

Det framtagna integrerade verktyget skapar en dynamisk koppling mellan MIKE SHE och MOUSE där samspelet dem emellan sker i två riktningar mellan ledning och akvifär. Utbytet mellan ledning och akvifär baseras på ett antal faktorer såsom de tidsmässiga och rumsliga variationerna av vattentrycket i ledningarna ($H_{rör}$) och den omgivande akvifären (H_{grv}), ledningsytan som grundvattnet exponeras mot ($P_{rör}$), samt en läckagekoefficient ($C_{lär}$). Inläckaget till en kort ledningssträcka (per längd-meter längs en beräkningscell) beräknas enligt:

$$Q_{in} = (H_{grv} - H_{rör}) \times P_{rör} \times C_{lär}$$

Gällande mindre ledningssystem som servicer och husgrundsdräneringar styrs utbytet med akvifär av grundvattennivån (H_{grv}) i förhållande till dräneringsnivån (H_{dr}) samt en dräneringskoefficient (C_{dr}). Dräneringsflödet (per kvadratmeter) från en beräkningscell av denna typ beräknas enligt:

$$Q_{dr} = (H_{grv} - H_{dr}) \times C_{dr}$$

Avrinning från hårdgjorda ytor anslutna till ledningsnätet hanteras av ytavrinningsmodellen i MOUSE. Motsvarande ytor hanteras som "hål" i MIKE SHE, utan nederbörd, avdunstning, grundvattenbildning etc. Principerna för kopplingen mellan MOUSE och MIKE SHE illustreras också i **Figur 4**.

Vid användning av denna typ av modelleringsteknik krävs ett spann av indata med geografisk, geometrisk eller geofysisk information. Utöver detta tillkommer meteorologisk indata och diverse semi-fysisk information. Huvuddelen av indata är distribuerad och framställs i form av ett

raster. Beroende på tillämpning och modellstorlek ställs olika krav på upplösningen. För denna tillämpning applicerad på relativt små områden har upplösningen på varje rastercell ansatts till 20x20 meter.

Vissa delar av kopplingen mellan de två modellverktygen är baserade på en förenkling av det mycket komplexa fysikaliska beteendet i jordvolymen. Så länge som exakt fysisk information om konditionen på rörledningar, serviser och källardräneringar inte finns tillgänglig är ett mer fysiskt angreppssätt inte applicerbart. Denna förenkling kräver en kalibreringsprocedur för att bli erhålla pålitliga dränerings- och läckagekoefficienter.

Handberäkningsmetoder

Det finns situationer när det, med hänsyn till omfattning, kostnad eller nytta, inte är motiverat att upprätta en matematisk modell för att utreda eventuella dräneringsbehov och åtgärder. Det finns också fall där man kan vara tveksam till om insatsen och kostnaden för en modell är motiverad med hänsyn till marginalnyttan.

Vad finns det då för möjligheter att vid en liten dräneringsinsats, eller vid en större men skäligen enkel och okontroversiell, ändå skaffa sig en uppfattning om vilka effekter som kan förväntas och hur man bäst bör göra?

Alltsedan landskapslagarna, Magnus Erikssons landslag och "Gustav Vasas brev till allmogen" har dräneringsåtgärder beskrivits och anbefallts i Sverige (**Figur 5**). Vi har alltså en lång och stor erfarenhet av dikning och dränering i vårt land. Vid sidan av denna generellt höga, praktiska kunskapsnivån om hur dräneringar bör utföras, finns självfallet en mängd analytiska formler och tumregler att tillgå.



Figur 5. Redan Gustav Vasa anbefallde dräneringsåtgärder - vi borde alltså bemästra detta vid det här laget.

De flesta analytiska beräkningsmetoder som finns, förutsätter i sin enklaste form homogen och isotrop mark. Sådan mark finns inte, såvida man inte tittar på kubikcentimeterstora bitar. Skall man därför på ett fullgott sätt beskriva marken och dess vattenförande egenskaper krävs följaktligen en detaljeringsgrad i undersökningarna på motsvarande nivå. Orimligheten är uppenbar. Många gånger ger de ekonomiska ramarna vid en utredning inte utrymme för mer än två till tre provgropar eller borrhinar per hektar.

Med vissa geohydrologiska kunskaper, sunt förnuft, överslagsberäkningar samt kombi-

nationer av analytiska metoder kan man dock, trots magra fältundersökningar, ofta nå fram till acceptabel noggrannhet. Några exempel ges nedan.

Avskärande dränering

Om man i en moränsluttning vill skära av grundvattenströmmen med ett dränage kan följande överslag och beräkningar vara till nytta. Dels kan man få en indikation om vilka vattenmängder man kan samla upp, dels göra en bedömning av vilket djup som krävs för ledningen.

Antag att moräntäckets tjocklek är 4 m och att ostörd grundvattenyta ligger 1 m under markytan. Moränen antas ha en genomsläpplighet av 5×10^{-7} m/s. Slänten antas vara lång (ett par hundra meter) och svagt sluttande. Dränaget skall anläggas ned mot släntfot. Om slänten ligger i en lutning av 5 m på 100 m förmår moränen transportera fram $3 \times 5 \times 10^{-7} \times 5 / 100 \times 0.001 = 0.75 \times 10^{-4}$ l/s och breddmeter eller 6.5 l/dygn och breddmeter. Detta motsvarar inte mer än grundvattenbildningen inom en ca 10 m bred remsa parallell med slänten. Vart tar det övriga vattnet vägen som infiltrerar i den kanske 200 m långa slänten? En liten del, kanske 10 %, rör sig ned i berget men huvuddelen avrinner i det ytligaste, normalt inte vattenmättade jordskiktet där permeabiliteten pga rotkanaler och maskhål är en eller två tiopotenser högre än i den underliggande moränen i grundvattenzonen.

Kontentan av ovanstående resonemang är att man inte behöver gå särskilt djupt för att skära av det huvudsakliga vattenflödet från slänten. Det är däremot viktigt att dränaget når ända upp till markytan, d v s öppet dike eller återfyllning med makadam (eller annat högpermeabelt material).

Influensområde och avbördning för dräneringsledning

Om man vill beräkna hur tätt och på vilket djup man behöver lägga ledningar för att dränera ett område kan följande överslagsberäkning vara användbar. Antag att vi har ett relativt plant område där grundvattenytan står högt under stora delar av året och förorsakar problem med fukt i källare och inläckage i spillvattennätet. Man önskar förbättra situationen genom att lägga ett antal dräneringsledningar i området. Hur skall dessa läggas? Antag att marken utgörs av 5 m sand ($k = 6 \times 10^{-5}$) på tät botten (lera eller berg). Antag att grundvattnet står 1 m under markytan. Ansätt på försök ett djup för dräneringen på 3 m. Om man antar att grundvattenbildningen uppgår till 200 mm/år kan flödet till 1 m av ledningen (från ena sidan) tecknas som $Q = L \times l \times 0.2$ m³/år, där L är influensavståndet i meter, l är 1 m bredd och 0.2 är grundvattenbildningen uttryckt i meter. Man kan också teckna flödet från ena sidan av 1 m ledning som $Q = 31.5 \times 10^6 \times 4 \times 1 \times 6 \times 10^{-5} \times 2 / L$ m³/år (Darcy's lag approximerad där 31.5×10^6 är antalet sekunder på ett år, 4×1 är flödesarean i m², 6×10^{-5} är hydrauliska konduktiviteten i m/s och $2/L$ är gradienten.) Sätter man samman dessa båda uttryck för flödet finner man att influensavståndet, L , för ledningen blir ca 275 m på vardera sida. En avsänkning av grundvattennivån med minst 1 m kan troligen påräknas inom en tredjedel till hälften av detta avstånd från ledningen (ej linjärt vid fri grundvattenyta). Med framräknat influensavstånd, L , kan flödet per meter ledning, approximativt, beräknas till $2Q = 110$ m³/år.

Husgrundsdräneringar

I bebyggelseområden med källarförsedda hus svarar ofta husgrundsdräneringarna för en stor del av tillskottsvattnet i spillvattennätet. Ofta har husgrundsdräneringarna anslutits till spillvattennätet antingen av obetänksamhet eller för att dagvattenledningarna ligger för högt för att kunna nyttjas utan pumpning. För att få en uppfattning om hur stort detta bidrag är kan enkla överslagsberäkningar göras. I täta marker, med $k = 10^{-7}$ m/s och lägre, kan man räkna med ett flöde ungefär lika med den grundvattenbildning som sker inom en cirkel med diametern = 2 – 3 gånger husets diagonalmått. Om grundvattenbildningen sätts till 200 mm/år och husets diagonal är 10 m blir flödet från dräneringen ungefär 100 m³/år eller ca 300 l/dygn. Vid mera genomsläppliga jordarter måste noggrannare beräkningar göras eftersom dräneringens djup under grundvattenytan och den faktiska permeabiliteten börjar spela allt större roll. Exempelvis tillämpas då Dupuit – Thiems brunns-formel. I en mark med $k = 10^{-4}$ m/s och en husgrundsdränering som ligger en meter under grundvattenytan blir flödet i storleksordningen 50 m³/dygn.

Erforderliga indata, mätningar och undersökningar

Oavsett om datormodellering eller handberäkning skall tillgripas, krävs grundläggande information om marknivå, geologi, ledningsnät, husgrundsdräneringar och andra detaljer som kan påverka områdets naturliga dränage. Datormodellering kräver dock oftast en större exakthet och detaljrikedom i indata än vid handberäkning, i alla fall om motsvarande högre förväntningar ställs på resultaten från datormodellering.

Underlag för datormodellering

För att kunna beskriva dräneringsproblematiken i en tätort, krävs först och främst att de naturliga geohydrologiska förloppen inom området beskrivs på ett adekvat sätt. Detta innefattar beskrivning av grundvattenbildningen, geologisk tolkning av området för att kunna särskilja vattenförande lager från tätare formationer, samt kommunikation med eventuell djupare liggande akvifär. Områdets randvillkor till omgivningen är också viktiga att klarlägga.

Grundvattenbildningen styrs, förutom av nederbörden, huvudsakligen av den omättade zonens infiltrationsförmåga och vattenhållande förmåga. En sand släpper t ex igenom långt mer vatten än morän och lera, som båda kan hålla större mängder vatten tillgängligt för vegetationens rötter. En stor andel hårdgjorda ytor, anslutna till ledningssystem, påverkar naturligtvis också den totala grundvattenbildningen inom området.

Grundvattenfluktuationen inom området styrs, förutom av faktorerna ovan, också av förekommande vattenuttag samt naturliga element, såsom diken, vattendrag, ledningsnät och husgrundsdräneringar. En så korrekt beskrivning som möjligt av dessa vad gäller nivåförhållanden och dess kontakt med omgivande grundvatten är helt avgörande för att kunna beskriva grundvattenströmningen inom området på ett fullgott sätt.

Sammanfattningsvis är följande data önskvärda som underlag för datormodellering:

- Topografi
- Grundkarta med hus, fastigheter, vägar, etc
- Hårdgjorda ytor anslutna till ledningsnät
- Geometri för ledningsnät
- Information om vattenuttag
- Information om husgrundsdräneringar
- Geometri för vattendrag
- Geologisk tolkning samt hydrauliska parametrar för respektive lagerenhet
- Tidsserier med dygnsnederbörd (samt temperatur om hänsyn ska tas till snösmältning)
- Månadsnormalvärden för potentiell avdunstning
- Markanvändning och karakteristik för vegetationen

Topografin, dvs markhöjder, finns oftast tillgänglig hos kommunen med tillräcklig detaljeringsnivå. Likaså grundkartor, information om anslutna hårdgjorda ytor, ledningsnåtsdata, samt information om större vattenuttag. Kompletterande information om förekommande vattenuttag kan också erhållas via Länsstyrelsen.

Vad gäller information om husgrundsdräningar, kan detta vara lite knivigare. Ofta krävs åtminstone en översiktlig kartering av läget i fält. Det viktigaste är här att skilja ut fastigheter med källare respektive utan, men kan mer exakta grundläggningsdjup erhållas så är detta naturligtvis mycket värdefullt.

För förekommande vattendrag räcker det oftast att ha ungefärliga uppgifter om botten- djup och bredd på vattendraget, samt horisontellt läge genom området. Exakta tvärsektioner är inte nödvändiga, medan däremot eventuella dammar eller reglerings- anordningar som påverkar vattennivån kan vara viktiga att få med i beskrivningen. En promenad längs vattendraget räcker oftast långt.

Den geologiska tolkningen av området är förstås stommen i hela beskrivningen, och kräver därför oftast mest resurser att få fram. Underlaget för tolkningen kan t ex bestå av ett 10-tal rör där jordlagerföljden noteras ner till 3-5 meters djup och om möjligt också djupare i några, kompletterat med några grävda provgropar varifrån jordprover kan tas på analys och diverse observationer göras. I vissa områden, där heterogena förhållanden kan förväntas, kan långt fler undersökningspunkter erfordras.

SGUs jordartskarta kan här ofta vara till stor hjälp som komplement till tolkningen. Likaså god teoretisk kännedom om de geologiska bildningssätten.

Nederbörd och temperatur kan oftast enkelt införskaffas från närmsta SMHI-station, om inte kommunen själva har tillgång till egna mätstationer.

Dygnsupplösning är lämplig för de flesta tillämpningar. Data för potentiell avdunstning (månadsnormaler) kan också erhållas via SMHI (Erikson, 1981).

Information om markanvändningen kan i de flesta tillämpningar hanteras mycket översiktligt, t ex genom översiktlig tolkning av "gröna kartan", kommunens turistkarta, eller liknande (många gånger finns dessa även att skaffa digitalt i något lämpligt GIS-format). Till respektive markanvändningstyp, eller snarare vegetationstyp, kopplas sedan olika typer av karakteristiska egenskaper, som t ex lövareaindex och rotdjup (t ex Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, kan rådfrågas kring denna typ av egenskaper, i MIKE SHE finns också några vanliga vegetationstyper beskrivna). Men som sagt, denna del av indata tillhör inte den viktigaste.

Förutom ovan nämnda geografiska, geometriska, geologiska, geofysiska och meteorologiska indata, som är önskvärda för att bygga upp modellen på ett bra sätt, är det också lämpligt att genomföra (eller samla in befintliga) fältmätningar inom eller i närheten av området. Detta för att möjliggöra kalibrering och avstämning av modellens utdata. Mer specifikt innebär detta följande typ av fältdata:

- Observationer av grundvattennivåer
- Observationer av inläckage till ledningsnätet
- All övrig information om ledningsnätets kondition, gamla våtområden, etc

Antalet observationer av grundvattennivån och deras placering i området som studeras måste baseras på lokalkännedom. I de tillämpningar som utförts hittills, med avrinningsområden på mellan 200 och 500 ha, har 6 till 12 observationer använts.

Det är viktigt att tänka på att de uppmätta spillvattenflödena inkluderar både tidsmässiga och areella variationer. I de utförda studierna har kontinuerliga dygnsvärden av uppmätta flöden i områdets sista nedströmspunkt täckt en period på mellan 5 och 10 år (typiskt ett avloppsreningsverk eller en pumpstation). Dessutom har ett stort antal momentana flödesobservationer fördelade över spillvattennätet använts för att erhålla en trovärdig fördelning av dränerings- och läckagekoefficienterna i olika delområden. Dessa flödesobservationer, som typiskt erhålls vid en så kallad nattmätning då spillvattenandelen är minimal, bör om möjligt utföras vid olika hydrologiska förhållanden.

Underlag för handberäkning

Beträffande önskvärda mätningar och undersökningar som underlag för handberäkningsmetoder är listan inte lika omfattande som ovanstående. Mycket av ovan nämnda indata är förvisso av intresse, men inte oundgänglig. Väsentligt är att få ett så bra mått som möjligt på jordmaterialets permeabilitet och förekomst av inhomog-

niteter. Grävning av provgropar är ofta en bra metod. Jordprover kan tas för analys, markstrukturen kan observeras, liksom vattentillströmningen (var, och hur mycket) och grundvattenrör kan installeras för fortsatta nivåobservationer. Med ett antal provgropar (med rör) och information från SGU's grundvattennät kan sedan bedömningar göras av högsta grundvattenstånd, flödesriktningar och flödesmängder. På samma sätt som för datorberäkningsmetoderna är information om ledningsnätet självklart även vital för handberäkningsmetoderna. Sammanfattningsvis är följande data önskvärda som underlag för handberäkningsmetoder:

- Detaljerad topografisk karta
- Grundkarta med hus, fastigheter, vägar, vattendrag och bäckar
- Höjddata för ledningsnät
- Information om husgrundsdräneringar
- Geologisk information (permeabilitet, inhomogeniteter, etc)
- Information om grundvattenbrunnar
- Observation av grundvattennivåer
- Observationer av inläckage till ledningsnätet
- All övrig information om ledningsnätets kondition, gamla våtområden, etc

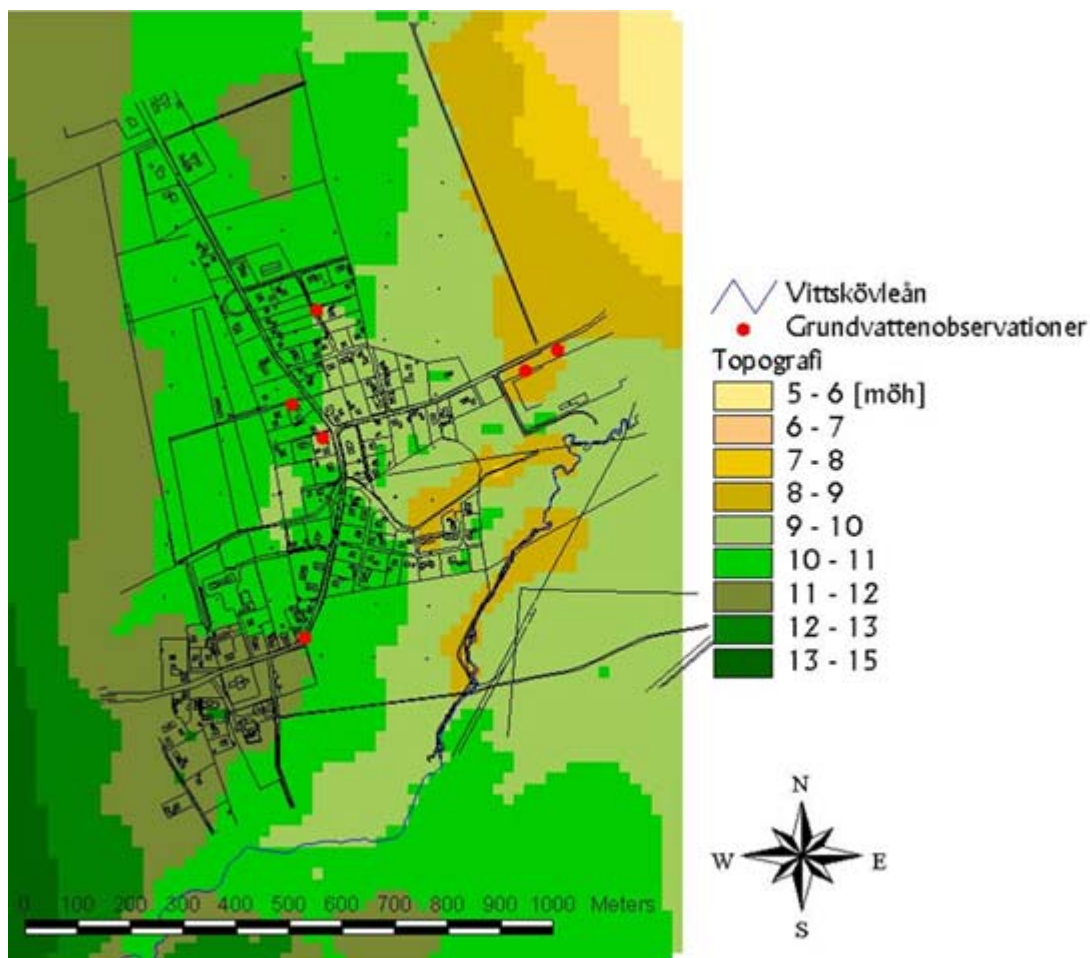
Fördelar och begränsningar med de olika metoderna

Modellanvändandet har sina största fördelar när det gäller att analysera och planera dräneringsåtgärder i områden med sedimentära jordarter. Mäktiga och skiktade lagerföljder av silt, sand och lera är arbetsamma att hantera med analytiska handräkningsmetoder. Med relativt få borringar och modelleringsarbete går det dock ofta att få upp en trovärdig geohydrologisk bild av ett område i nämnd typ av geologi. Vidare är användandet av modell nästan en förutsättning om man skall hantera och belysa effekter av många ledningar med olika läggningsdjup och egenskaper, samt vid större bebyggelseområden med varierande djup för husgrundsdräneringar.

Vilka fördelar man kan vinna med modellering i ett urbergsområde med tunt moräntäcke varierar från fall till fall. Normalt torde dock nyttan vara begränsad. I en morän, med k -värden ofta kring $10E-7$ eller $10E-8$ m/s, är influensområdena från ledningar små. Inga storskaliga gradienter förekommer som avviker från topografin. Istället förekommer lokala in- och utströmningsområden ofta inom några tiotal meter från varandra, styrda av den småskaliga topografin. Likaså finns ofta ett stort antal lokala grundvattendelare i form av bergtrösklar, dolda av moräntäcket. En sådan situation är vare sig enkel (utan verkligt omfattande fältundersökningar) eller meningsfull att modellera (små influensavstånd i små, ofta från varandra, frikopplade system).

I områden med tjockare moräntäcke av sandig eller grusig typ där avsänkningstrattar har större möjlighet att breda ut sig, kan däremot en modell vara till hjälp för att analysera situationen.

Sammanfattningsvis vad det gäller moränområden, bör man nog dock främst använda de utredningsresurser man har till förfogande vid fältundersökningar och mätningar. Eftersom urbergets och moräns vattentransporterande förmåga normalt är liten är inläckagen, betingade av diffust inflöde i ledningsnätet över längre sträckor, sällan stora i sådan terräng. Problemen är oftast snarare att söka i distinkta punkter. Det kan röra sig om en avgrävd täckdikesledning, ett indämt område med stor ytvattenbelastning, ett av misstag igenlagt dike, en korsande sprickzon i berget som matar vatten till rörgraven etc. Det krävs därför ofta en hel del fältundersökningar och detektivarbete för att hitta de kritiska punkterna, medan däremot åtgärderna och lösningarna kan vara tämligen enkla att formulera. Datorns roll kan här snarare vara att hjälpa till att sammanställa all relevant information i någon form av GIS-system, där samverkanseffekter av olika faktorer enklare kan överskådas. Därefter kan man bättre bedöma om problemets omfattning och karaktär motiverar datormodellering.



Figur 6. Modellområde för Vittskövle, visande topografi, vägar och fastigheter samt förekommande grundvattenrör inom området (röda prickar).



Figur 7. Regional MIKE SHE- modell för Kristianstadsslätten har använts som randvillkor till lokalomodellen för Vittskövle och Gärds Köpinge (se nästa avsnitt)

Vittskövle i Kristianstad

Vittskövle är ett litet samhälle med ca 300 invånare beläget i Kristianstads kommun i nordöstra Skåne. Byn består av ett 100-tal fastigheter med i huvudsak äldre fristående villabebyggelse. Den övre jordmånen utgörs av lätta sandjordar med hög permeabilitet, vilket innebär att allt dagvatten, från både gator och takytor, tas omhand genom lokal infiltration.

Byn har sedan 1960 ett eget, mycket enkelt reningsverk med mekanisk och biologisk rening och med infiltration i dammar av utgående avloppsvatten. Under de tidigare rådande flödesförhållandena måste man under vinterhalvåret normalt ställa av infiltrationsdammarna beroende på höga flöden och stor andel inläckande grundvatten. Utgående avloppsvatten från verket leddes då istället till Vittskövleån. Det hade länge övervägts att slopa det enkla verket i Vittskövle och bygga en överföringsledning in till det centrala reningsverket i Kristianstad. Detta stupade dock på de stora mängderna grundvatten som under vinterhalvåret läckte in i ledningsnätet i Vittskövle från både husdräneringar, läckande servisledningar och huvudledning. Inläckaget var mycket omfattande och genomförda mätningar visade att det i stort sett var jämnt fördelat över hela byn. Att åtgärda denna typ av problem med konventionella åtgärder på ledningsnätet blir ofta oerhört kostsamt. Därför diskuterades möjligheterna att utföra någon form av alternativt dräneringssystem genom ingrepp i marken i och kring tätorten. För att planera och bedöma effekterna av denna typ av åtgärder användes MIKE SHE.

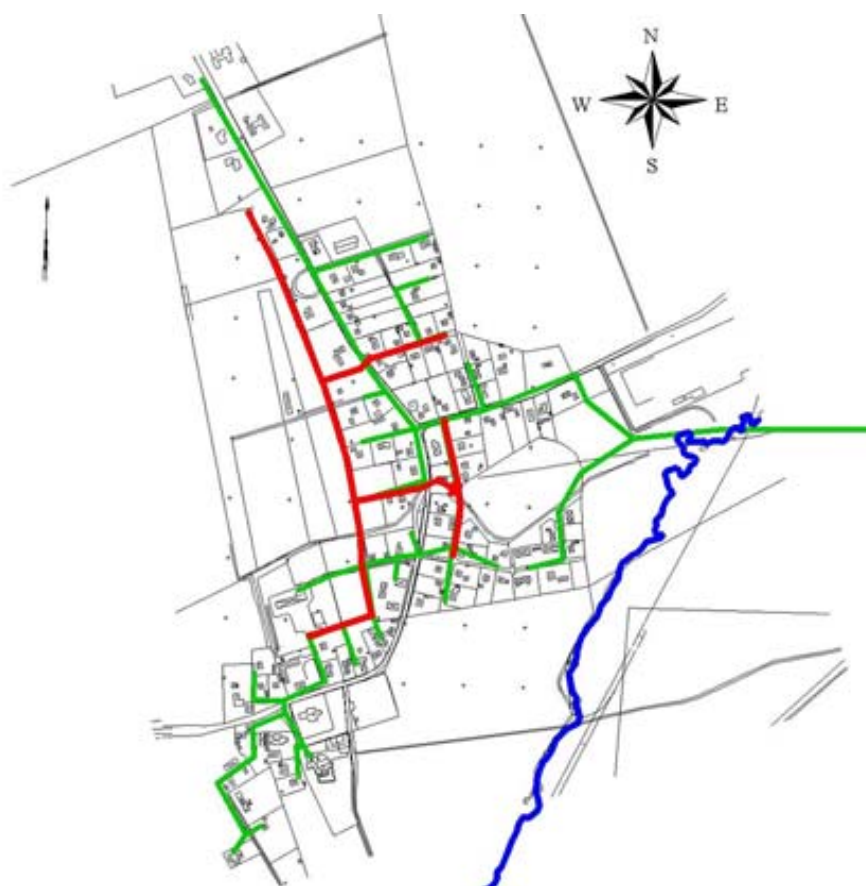
I **Figur 6** visas modellområdet för Vittskövle, också visande topografin, vägar och fastigheter. I figuren visas också läget för de sex grundvattenrör som användes för att kalibrera grundvattennivåerna inom samhället. Beroende på de problem man haft i samhället med höga grundvattennivåer och stora grundvatteninläckage, fanns mätningar av grundvattennivåer ända sedan början av 80-talet. Även om frekvensen på observationerna var ganska låg, ca 4-6 avläsningar per år, utgjorde dessa ett ypperligt underlag för kalibreringen av modellen. De långa tidsserierna gav bland annat underlag för att bekräfta den misstänkta grundvattentransporten från den djupare liggande glaukonitsandsakvifären, som har relativt stor mäktighet under större delen av Kristianstadsslätten. Detta innebar att randvillkoren till området på olika djup hade stor betydelse för såväl horisontell som vertikal grundvattenströmning inom området. Dessa randvillkor, bestående av tidsvarierande grundvattentryck på olika djup, kunde hämtas från den större regionala MIKE SHE modellen som tidigare byggts upp för Kristianstadsslätten (Gustafsson et al, 1997), se **Figur 7**.

Efter att modellen byggts upp och kalibrerats mot grundvattenobservationer samt flödesmätningar vid såväl reningsverk som enstaka flödesobservationer i ett flertal punkter i ledningsnätet, kunde modellen användas för att analysera befintliga förhållanden. Bland annat konstaterades det ganska snart att tätning av ledningsnätet knappast var en lämplig lösning, då en lyckad tätning skulle innebära att den nödvändiga dräneringen av samhället skulle försvinna, med kraftigt förhöjda grundvattennivåer som

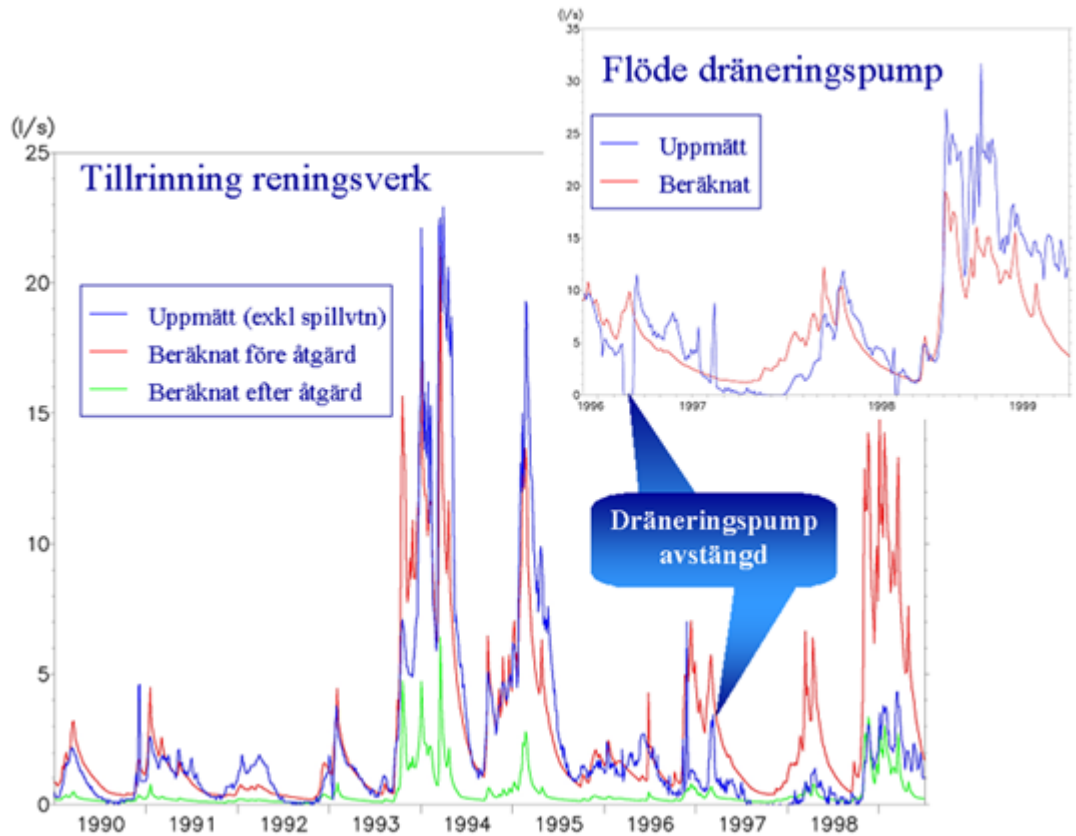
följd (se **Figur 2**). Detta hade också tidigare konstaterats inom vissa delar av området där genomförd re-lining skapat täta ledningar. Modellen utnyttjades vidare för att testa ett stort antal lägen och djup för alternativa dräneringssystem inom området.

Det slutliga läget för dräneringssystemet visas i **Figur 8**. Reduceringen av inläckage med hjälp av detta dräneringssystem bedömdes uppgå till minst 75%. Under hösten 1996 konstruerades dränaget och togs i drift. Nu, några år senare, visar flödesmätningar att konstruktionen var lyckad, med en reduktion av inflödet till reningsverket som överträffar prognosen. I **Figur 9** jämförs uppmätt flöde vid avloppsreningsverket (blå linje) med beräknat flöde, med respektive utan det nya dränaget. Dessutom visas pumpflödet från dräneringen i

den infällda delen av figuren. Beräkningen utan det nya dränaget (röd linje) visar hur väl modellen stämmer med uppmätt flöde innan dränaget anlades, samt vilket flöde man skulle haft från och med 1997 om dränaget ej byggts. Beräkningen med det nya dränaget (grön linje) visar på motsvarande sätt hur väl modellen stämmer med uppmätt flöde efter att dränaget anlades, samt vilket flöde man skulle haft före 1997 om dränaget byggts. Observera den snabba ökningen av uppmätt inflöde till reningsverket under det korta stoppet av dräneringspumpen i början av 1997. Detta stopp av dräneringspumpen simulerades ej med modellen, varför beräknat flöde fortsatt visar en låg nivå, som om pumpen ej stängts av.



Figur 8. Spillvattennät (grönt) och nytt dräneringssystem (rött) i Vittskövle.



Figur 9. Uppmätt och beräknat flöde vid avloppsreningsverket och dräneringspumpen i Vittskövle.

Gärds Köpinge i Kristianstad

Gärds Köpinge är en by söder om Kristianstad med ca 1000 invånare. Vramsån skär djupt genom byn, och omkringliggande topografi är platt, men med en viss lutning mot ån från båda håll. De flesta husen saknar källare, men i vissa delar av byn är källare vanliga. Den övre geologin består mestadels av sand med underliggande linser av lera. Den djupare geologin består av en stor artesisk sandstens- och kalkstensakvifär,

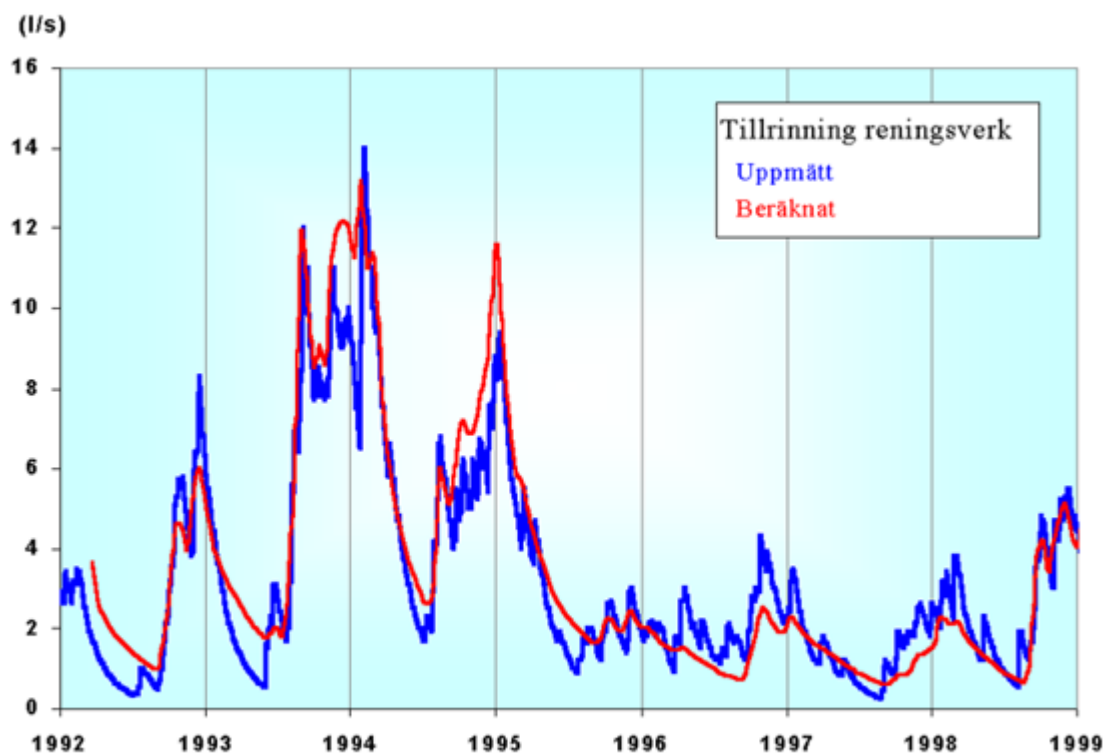
och ovanpå detta ligger ett tjockt moränlager. Grundvattentrycket i den djupa akvifären kontrolleras typiskt av nederbördsvolymen från de senaste åren, inte situationen under det aktuella året. Avloppsnätet i de centrala och södra delarna är kombinerat, medan de norra delarna är separerat. Inflödet till byns avloppsreningsverk överskrider kapaciteten under långa perioder beroende på en stor andel grundvatteninläckage, och eftersom Vramsån är en mycket känslig recipient är behovet av att minska dessa problem

uppenbara. Grundvatteninläckaget till reningsverket, dvs exklusive spillvattenflödet, visas i **Figur 10**, både uppmätt och simulerat. Spillvattenflödet är i medeltal ca 30% av det totala inflödet, men är under vissa månader mindre än 15%.

Bland annat beroende på de goda resultat som uppnåddes i Vittskövle, var det natur-

ligt för Kristianstad kommun att pröva en liknande metodik i Gärds Köpinge.

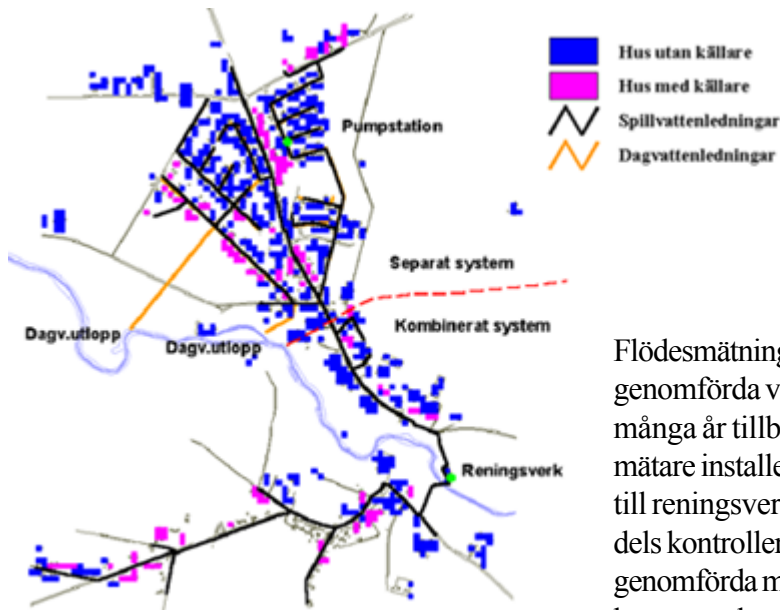
Avloppsledningsnätet i Gärds Köpinge visas i **Figur 11**. I figuren har också byggnader med respektive utan källare markerats (i form av modellens tolkning av informationen i olika beräkningsceller på 20 x 20 meter). Den norra delen av samhället har ett



Figur 10. Simulerat och uppmätt totalt grundvatteninläckage till avloppssystemet i Gärds Köpinge.

duplikat avloppssystem, där husgrundsdräneringar från byggnader utan källare är kopplade till dagvattennätet, med två utlopp till Vramsån. Övriga byggnader har sina husgrundsdräneringar kopplade till spillvattennätet, respektive det kombinerade ledningsnätet i centrum och i söder.

I Gärds Köpinge fanns inga grundvattenobservationsrör innan projektet startade, dock fanns ett antal geotekniska undersökningar genomförda, vilka kunde användas för att bekräfta de övre jordlagren i den översiktliga geologiska modell som tidigare byggts upp i samband med att hela

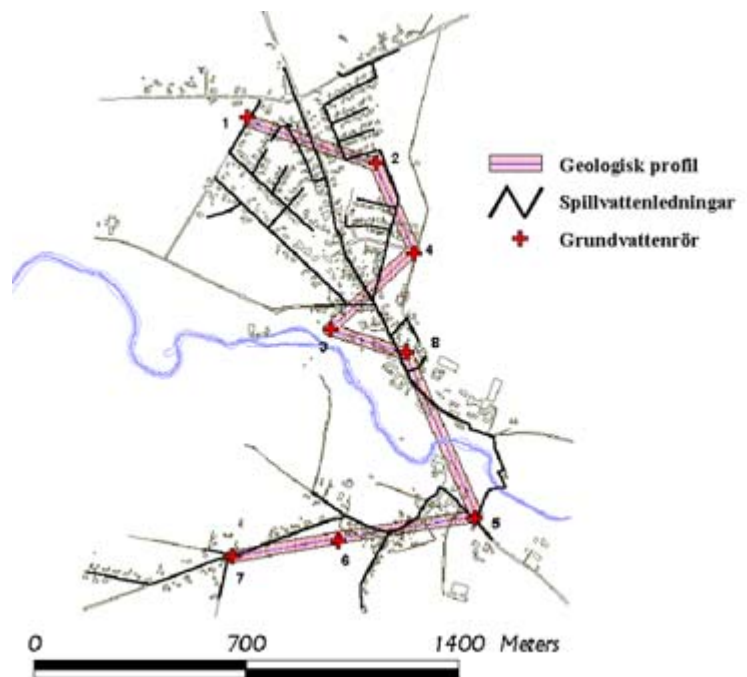


Figur 11. Avloppsledningsnätet i Gärd Köpinge, med markering av byggnader med respektive utan källare.

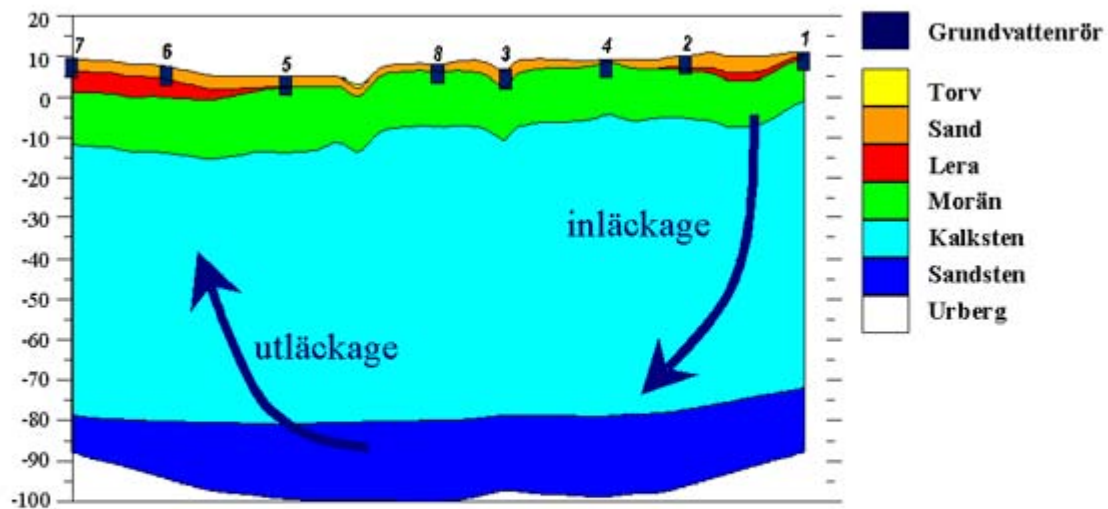
Flödesmätningar på dygnsvolymerna fanns genomförda vid avloppsreningsverket sedan många år tillbaka (**Figur 10**). En sk VH-mätare installerades på inkommande ledning till reningsverket under hösten 1998 för att dels kontrollera noggrannheten i tidigare genomförda mätningar på tillrinning, dels kunna analysera regn- och grundvattenpåverkan med bättre tidsupplösning. För att få en god bild av inläckagens spridning inom ledningsnätet, kompletterades dessa

Kristianstadsslätten modellerades (Gustafsson et al, 1997). I **Figur 13** visas en längdprofil av geologin genom samhället (sträckning visas i **Figur 12**). Notera de mäktiga kalk- och sandstensformationerna under jordlagren. Med hjälp av den regionala modellen över Kristianstadsslätten kunde lägen för inläckage- och utläckageområden för den djupa akvifären bedömas (**Figur 13**).

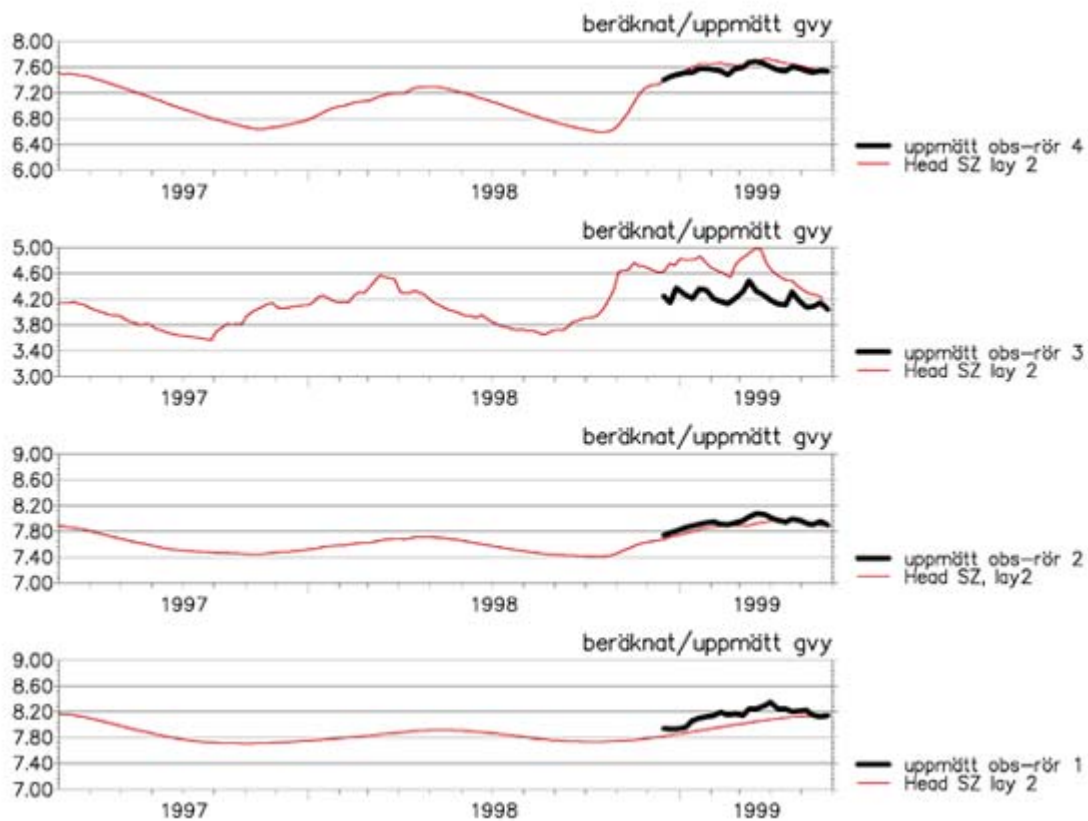
För att ytterligare bekräfta grundvattenströmningen och nivåer i de övre jordlagren, slogs under hösten 1998 åtta grundvattenrör i samhället, se läge i **Figur 12**. Grundvattennivån observerades sedan en gång per vecka under ca ett halvår. I **Figur 14** visas uppmätta och beräknade grundvattennivåer i fyra av de åtta grundvattenrören (rör nr 1, 2, 3 och 4).



Figur 12. Grundvattenrör (röda kryss) i Gärd Köpinge, samt markering av läge för geologisk längdprofil i **Figur 13**.



Figur 13. Geologisk längdprofil genom Gärd's Köpinge (enligt figur 12).



Figur 14. Uppmätta (svart linje) och beräknade (röd linje) grundvattennivåer i rör nr 1,2,3 och 4 (se Figur 12).

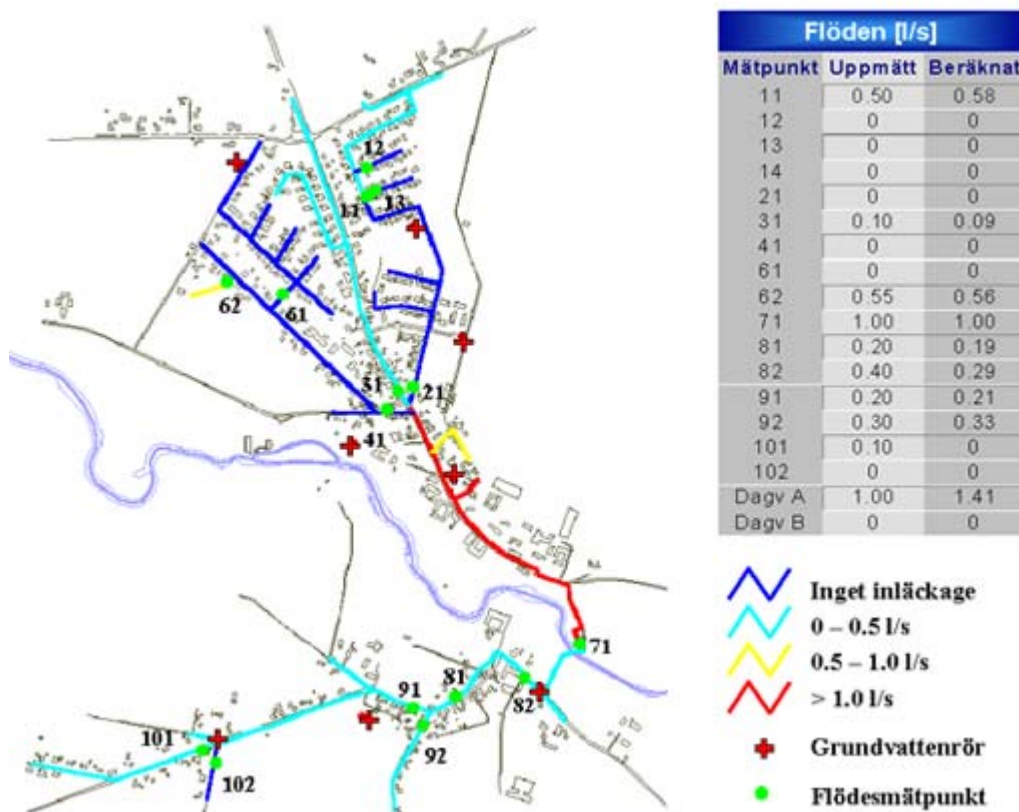
mätningar under november och december 1998 med två på varandra följande sk nattmätningar, då inläckagen noterades i ett stort antal punkter i ledningsnätet.

I **Figur 15** visas resultaten från nattmätningen i november 1998. Som jämförelse har också motsvarande beräknade flöden tagits med.

Efter att modellen byggts upp och kalibrerats enligt ovan, kunde modellen användas för att mer i detalj studera befintliga förhållanden. Baserat på huvudriktningen för grundvattenströmningen i nuvarande system, samt detaljerad information via flödesmätningar om huvudsakliga områden med grundvattenpåverkan i ledningsnätet, kunde ett stort antal potentiella nya dränerings-

system testas. Den slutliga lösningen av problemen visas i **Figur 16**, och inkluderar två nya dräneringslinjer, en i de norra och en i de södra delarna. Dessutom inkluderar åtgärdsförslaget att två ledningssträckor tätas. Längs dessa sträckor är husen grundlagda över högsta grundvattennivån, vilket innebär att risken för fukt i grundmurar till följd av förhöjda grundvattennivåer blir minimal. De olika åtgärderna i systemet markeras med rött i figuren. Procenttalet som är skrivet vid föreslagen åtgärd indikerar andelen grundvatteninläckage som kan förväntas reduceras av respektive åtgärd.

De simulerade åtgärderna indikerar en mycket stor reduktion av det totala inflödet



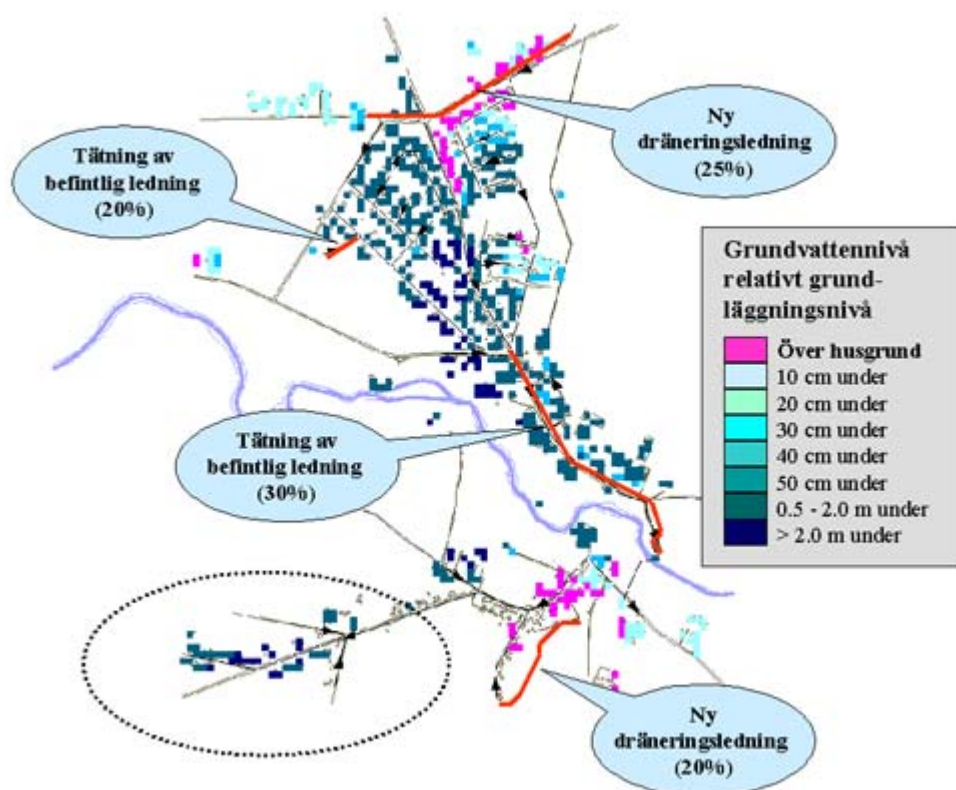
Figur 15. Uppmätta och beräknade flöden vid sk nattmätning i Gärdsköpinge (november 1998).

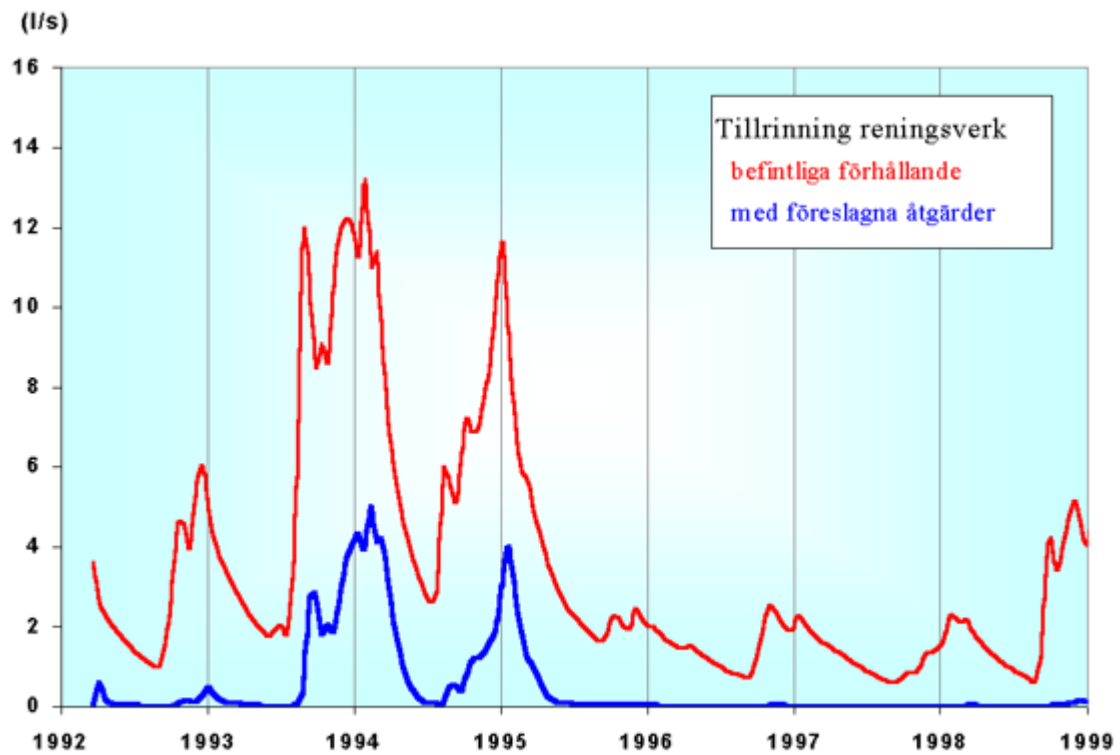
till reningsverket, se **Figur 17**. Notera den mindre reduktionen av flöde under åren 1994 och 1995. Under dessa år är grundvattentrycket i den djupa akvifären extremt högt, vilket resulterar i ett högt uppåtgående flöde. Enligt modellen borde detta orsaka ett läckage i den sydvästra grenen (markerad med en prickad cirkel i **Figur 16**) där grundvattennivåerna normalt ligger under ledningarna. På så sätt orsakas ett läckage där den föreslagna åtgärden inte

avlastar avloppssystemet. Dock antogs det att denna situation är extrem och endast kommer att inträffa ett fåtal gånger under en 10-årsperiod, varför det bestämdes att åtgärder inom detta område ej prioriteras.

De två nya dränagen har nyligen projekterats och kommer att utföras under våren 2002. Övriga tätningsåtgärder kommer att genomföras när resultaten av de två dränagen kunnat utvärderas.

Figur 16. Slutligt åtgärdsförslag för Gärds Köpinge med re-lining och anläggande av nya dränage.





Figur 17. Simulerat totalt grundvatteninläckage till avloppssystemet i Gärd's Köpinge - före och efter föreslagna åtgärder.

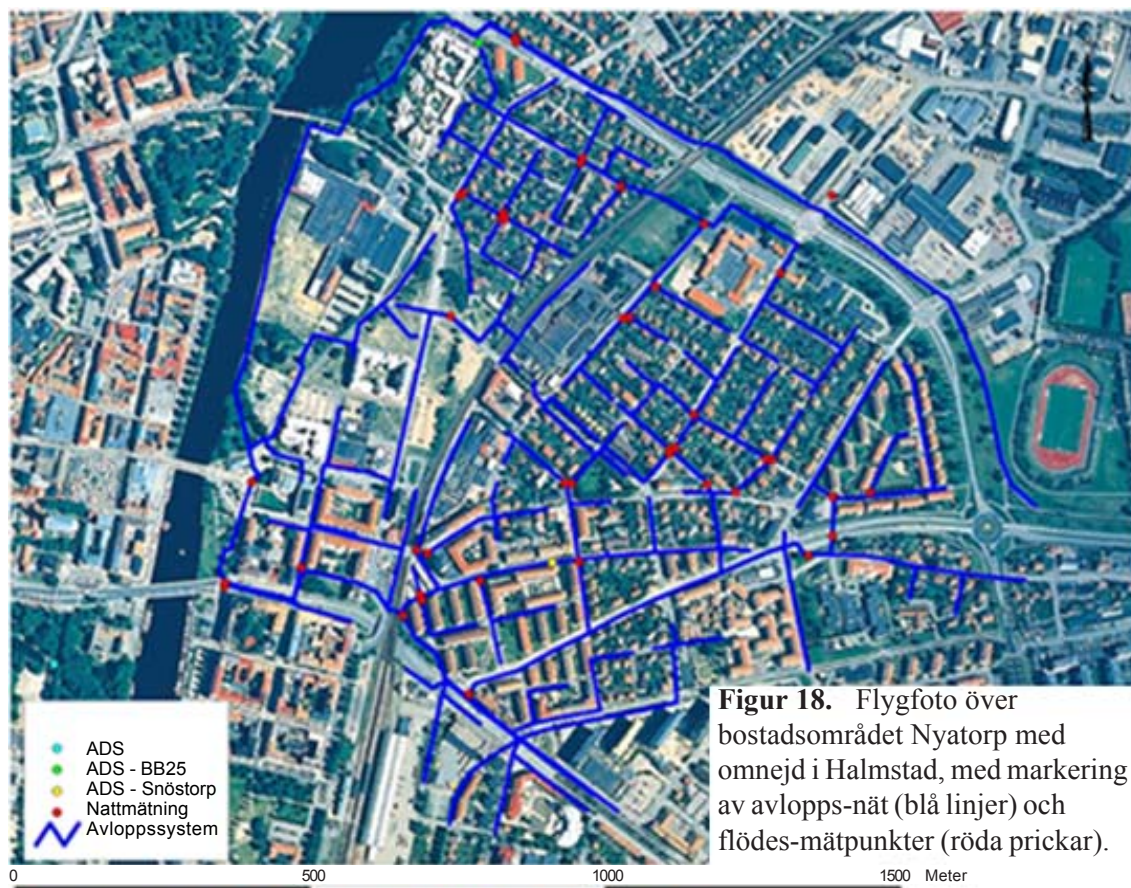
Nyatorp i Halmstad

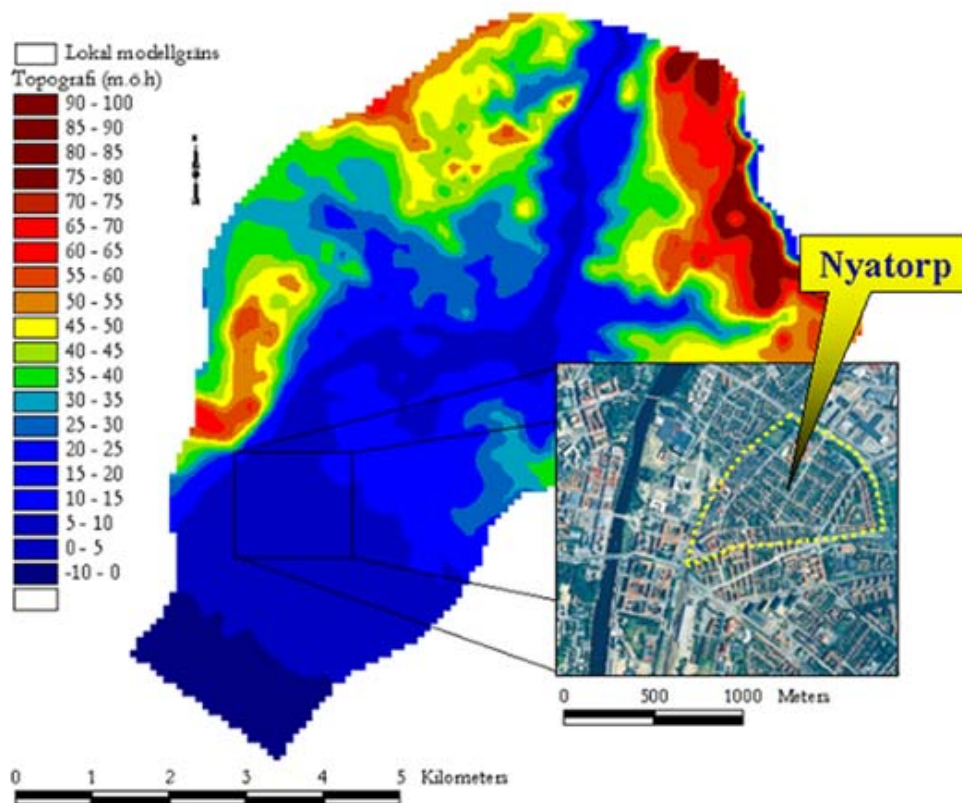
Halmstad är beläget på Sveriges västkust vid utloppet för ån Nissan. I de centrala delarna av Halmstad, öster om Nissan, ligger det studerade avrinningsområdet Nyatorp, se **Figur 18**. Området täcker ca 500 ha och består till huvudsak av enfamiljshus med källare utbyggda under 1930- och 40-talet. Geologin i området består av 3-4 m tjockt sandlager med underliggande silt- och lerlager. Topografin är platt och nära havsnivå, med typiskt mycket höga grundvattennivåer. Avloppsnätet är kombinerat och i mycket dålig kondition vilket har resulterat i en stor andel grundvatteninläckage. En hög grundvattennivå i kombination med regn har även orsakat problem med återkommande källaröversvämningar. Med denna problembild har kommunen därför beslutat att förnya hela

ledningssystemet i området, inklusive vattenledningsnätet.

För några år sedan förnyades spillvatten-nätet i en annan del av staden, vilket resulterade i problem med fukt i grundmurar och källaröversvämningar när de gamla läckande avloppsledningarna ersattes med nya täta ledningar. Denna typ av problem förutspåddes även kunna uppträda i Nyatorp om de geohydrologiska förutsättningarna och passande åtgärder ej analyserades med försiktighet.

En detaljerad lokal modell byggdes över området som visas i **Figur 18**, där även avloppsnätet och flödeskontrollpunkter finns markerade. Området, som ligger i Nissans nedströmsdel, har en omfattande tillrinning från nordost. För att kunna uppskatta denna tillrinning, och generellt ansätta

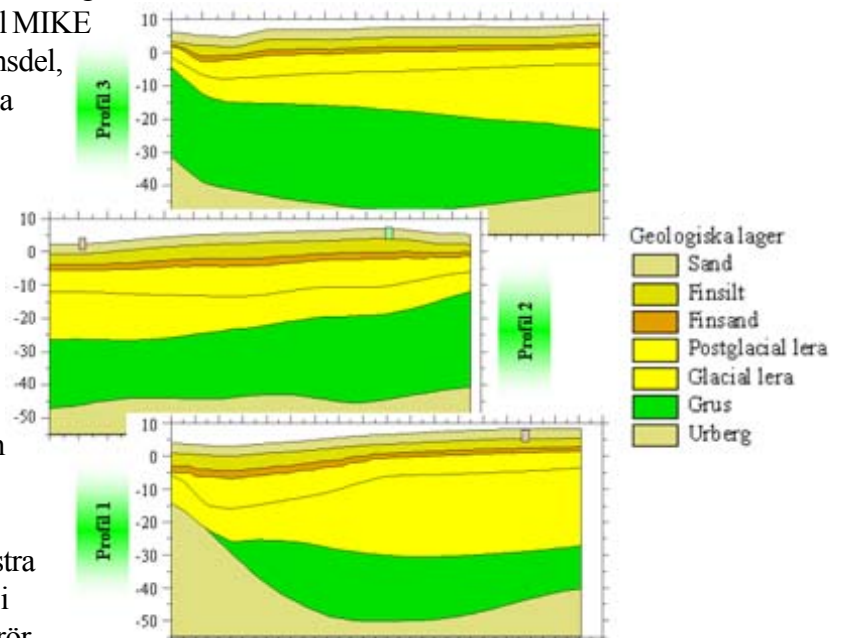


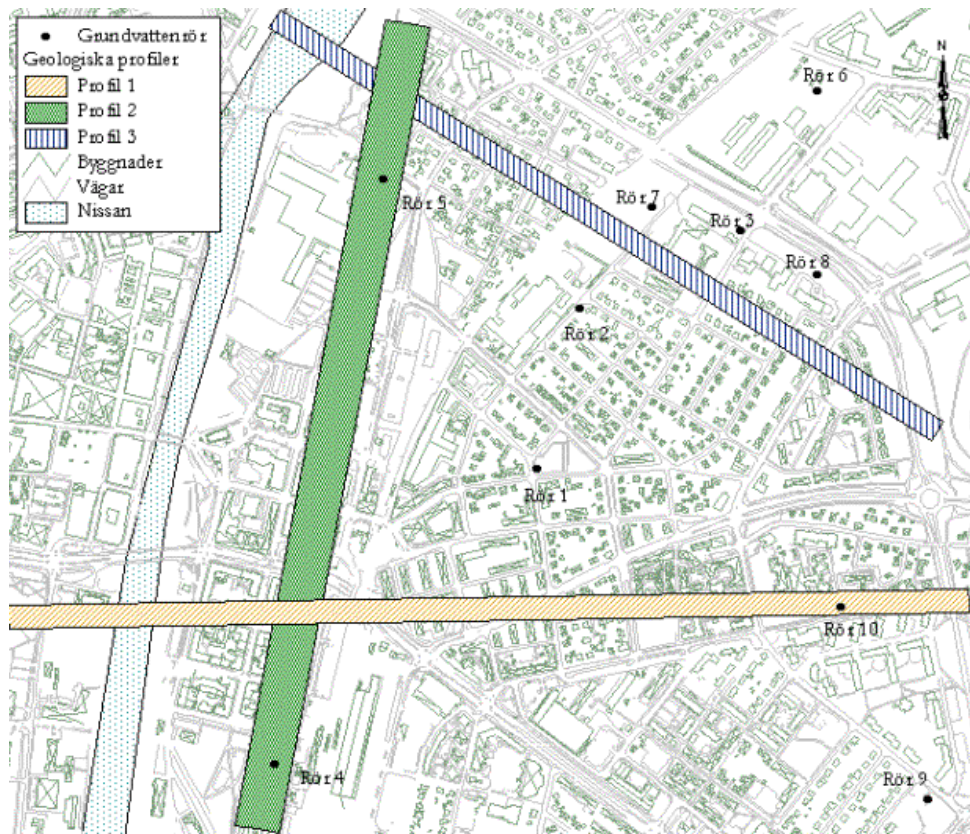


Figur 19. Regional MIKE SHE modell för Nissans nedströmsdel har använts som randvillkor till lokalmodellen för Nyatorp i Halmstad (se infälld bild).

en så korrekt grundvattennivåvariation som möjligt längs modellområdets begränsning, etablerades en översiktlig regional MIKE SHE modell för Nissans nedströmsdel, se **Figur 19**. Denna baserades bl a på tidigare genomförda utredningar kring Halmstads grundvattenakvifär, som innefattar en ganska mäktig grus- och sandformation under ett relativt mäktigt lertäcke, se **Figur 20**, visande tre geologiska längdprofiler genom området. De övre sandskikten ovanpå leran bekräftades dels av tidigare genomförda geotekniska undersökningar inom områdets nordvästra del, dels genom jordprover tagna i samband med att nya grundvattenrör slogs i området.

Figur 20. Geologiska längdprofiler genom Nyatorp (enligt Figur 21).



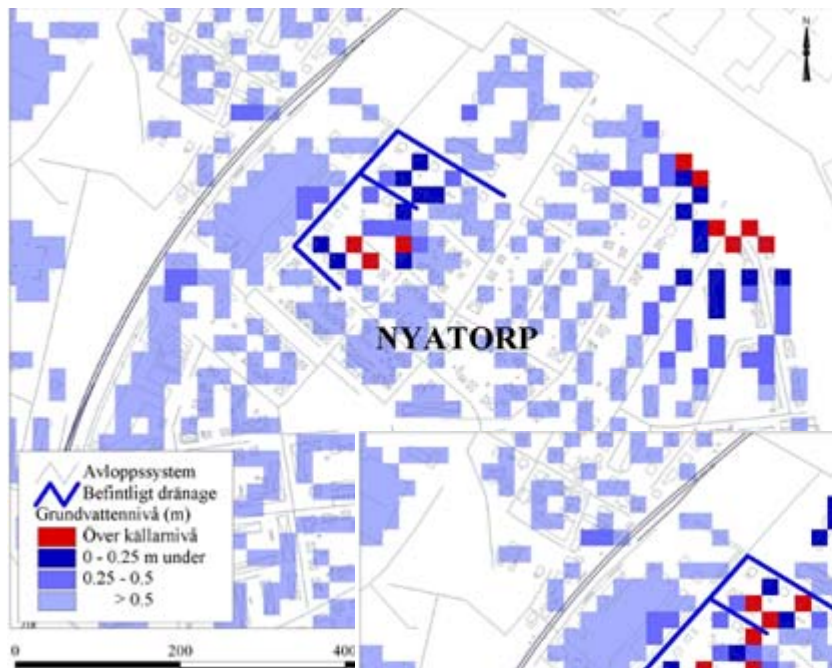


Figur 21. Grundvattenrör (svarta prickar) i Nyatorp, samt markering av läge för geologiska längdprofiler i Figur 20.

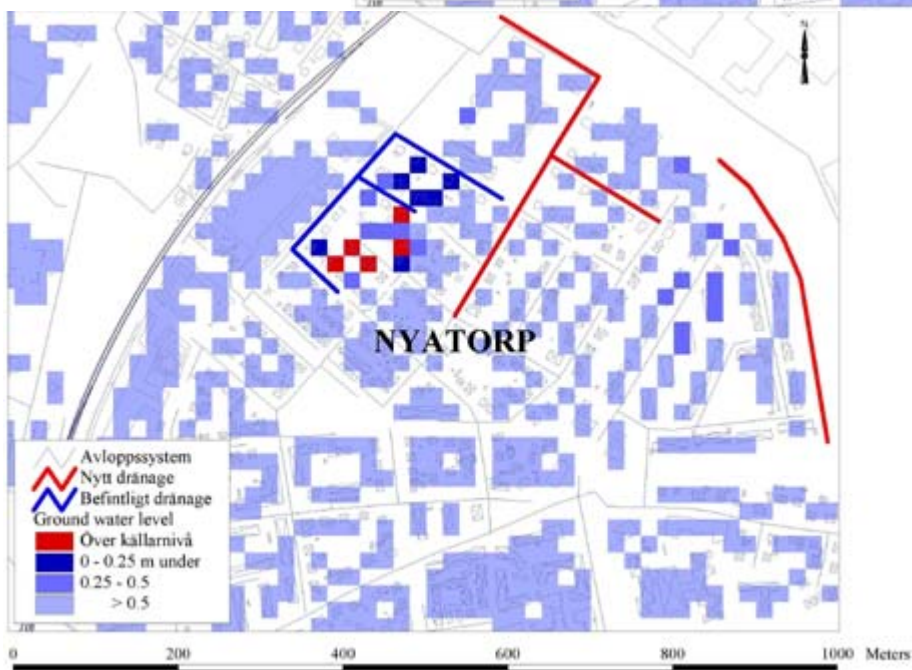
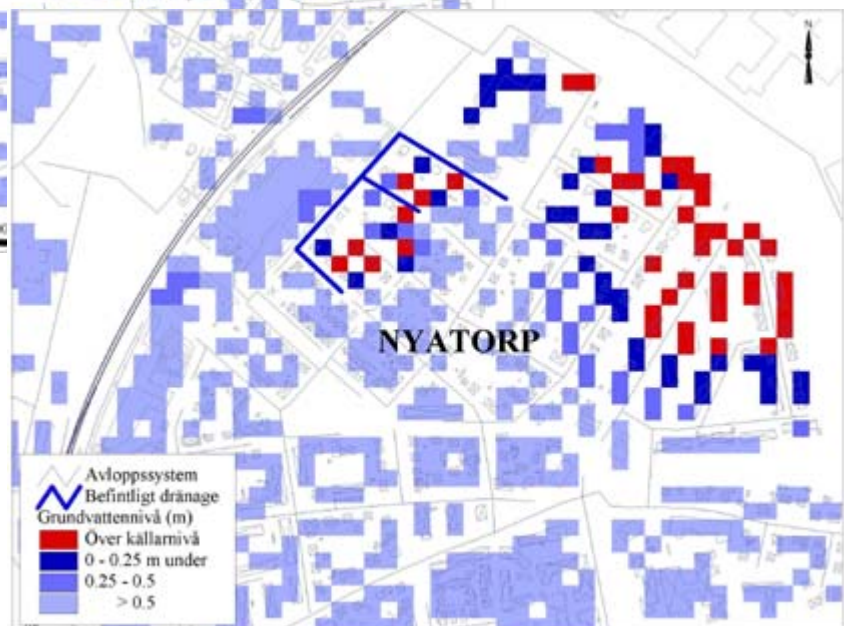
Totalt slogs tio grundvattenrör i och omkring området, varav tre redan fanns sedan sommaren 1996. Övriga sju slogs hösten 1998. Avläsningar på grundvattennivån en gång per vecka fram till sommaren 1999 användes för att verifiera grundvattenfluktuationen i området. Läget för de tio grundvattenrören framgår av **Figur 21**. Efter att modellens hydrauliska parametrar kalibrerats mot uppmätta grundvattennivåer, och efter att ledningsnätets läckageparametrar kalibrerats mot uppmätta flöden i ledningsnätet, kunde modellen börja användas för att beräkna grundvattenytans variation i tid och rum för befintliga förhållanden och framtida alternativa scenarier. Med detta som underlag, var det möjligt att studera den potentiella risken för att olika byggnader skulle få problem med höga grundvattennivåer (eller problem med grundvatten i avloppsnätet), beroende på vilka ingrepp och åtgärder som genomfördes.

Då de läckande ledningarna i nuläget typiskt ligger mycket lägre än källarnivåerna är det bara ett fåtal hus som omges av höga grundvattennivåer. Det gamla avloppsnätet fungerar som ett bra dräneringssystem. Detta illustreras i **Figur 22**, av relationen mellan simulerade grundvattennivåer och husens källarnivåer. En komplett tätning av avloppsnätet skulle resultera i förhöjda grundvattennivåer, se **Figur 23**. För att kontrollera denna stigning av grundvattenytan bedömdes effekten av olika alternativa åtgärder för att slutligen kunna utforma ett lämpligt dräneringssystem som skulle sänka grundvattennivåerna till minst det nuvarande. Dräneringsstråken, samt simulerade resultat, visas i **Figur 24**.

Utförandet av dessa åtgärder har påbörjats. De verkliga resultaten kommer att följas upp noggrant under de kommande åren genom både flödesobservationer i avloppsnätet och grundvattennivåobservationer i området.



Figur 23.
Simulerade grundvattennivåer i förhållande till källarnivåer i Nyatorp - efter förnyelse av ledningsnät, men utan andra åtgärder.



Figur 24.
Simulerade grundvattennivåer i förhållande till källarnivåer i Nyatorp - efter förnyelse av ledningsnät, samt anläggande av nya dräneringar (röda linjer).

800 1000 Meters

Stockaryd i Sävsjö

Stockaryd, ett samhälle i Sävsjö kommun har under lång tid haft problem med för mycket inkommande vatten till avloppsreningsverket. Nattmätningar i spillvatten-nätet har visat på vissa områden i samhället där mängden inläckande grundvatten har varit extra stor. Stora mängder inläckande vatten visade sig i ett ledningsstråk i syd-östra delen av samhället där ett villakvarter ligger i kanten av ett dåligt dränerat torvmarksområde. Ett antal provgropar, som installerades med grundvattenobservationsrör, utfördes i den aktuella delen av samhället. Marklagren i området visade sig huvudsakligen utgöras av siltig morän med ett par meters mäktighet vilande på berg. Lager av finsand påträffades i några gropar. Efter ett par års observationer i grundvattenrören analyserades situationen, varefter ett förslag till avskärande dränering upprättades.

En dämnd dräneringsledning på totalt ca 700 m anlades 1996 längs kanten av torvmarksområdet. Ledningen lades med kringfyllning av makadam närmast rören och därutån för grus som övergång till omgivande markmaterial. Ytterligare två områden i samhället bedömdes vara i behov av åtgärder. Med dessa valde man dock att avvakta, dels på att det ena delvis blev föremål för dränering av annat skäl (dränerad gångtunnel under stambanan), dels för att man först ville följa upp effekterna av den första insatsen.

Totalt bortdräneras i nuläget (via gångtunneln och dränageledningen) ca 1 l/s,

vilket motsvarar ungefär 30 % av den egentliga spillvattenproduktionen, men endast ca 10 % av det totala flödet till avloppsreningsverket. Det finns med andra ord fortfarande mycket kvar att göra. Dräneringsdjupet kan ökas något hos den dämnda dräneringsledningen som utförts, genom att sänka utloppsnivån. Troligen utgör dock vatten från husgrundsdräneringar generellt det största problemet för samhällets avloppssystem. Den bedömningsmässigt minst kostsamma vägen att lösa detta problem torde vara att lägga separata ledningar för detta vatten där förhållandena är som värst.

För att försöka kvantifiera åtgärdernas reella effekt på avloppsreningsverkets tillrinning, genomfördes en studie av området med MOUSE RDII (fd NAM). Denna är, jämfört med MIKE SHE, en mycket förenklad hydrologisk modell med vars hjälp man inte kan förutspå effekter av förändringar, men utgör å andra sidan ett ypperligt hjälpmedel för att analysera historiska förlopp. Med denna enkla modell kan man alltså särskilja effekterna av mänsklig påverkan från de naturliga hydrologiska svängningarna, och kan därmed bedöma effekterna av en tidigare genomförd åtgärd (Gustafsson, 1995).

Som redan påpekats ovan, bortdräneras ca 1 l/s, motsvarande ca 10 % av reningsverkets tillrinning. Den hydrologiska analysen med MOUSE RDII bekräftar att de genomförda åtgärderna ger ungefär motsvarande minskning av reningsverkets tillrinning. Efter att RDII-modellen kalibrerats mot två års flödesdata (1994-95) innan

dränaget genomfördes, kördes modellen för en tvåårsperiod (1996-97) efter att dränaget tagits i drift. Beräknade volymer för den senare perioden var ca 8 % större än de uppmätta. Denna skillnad bör huvudsakligen kunna förklaras med dränagets positiva effekt på grundvatteninläckagen till spillvattennätet. Då volymsskillnaden och effekten är så liten, kan dock precisionen i denna bedömning ifrågasättas.

Allmänna erfarenheter

Varje tillämpning är naturligtvis unik, med sina speciella problem och erfarenheter som kan vinnas av att lösa dessa problem. Vi har dock gjort ett försök nedan att sammanställa de allmänna erfarenheter som gjorts i de redovisade tillämpningarna.

Datormodellering fungerar ...

Med de uppgifter som oftast finns till hands, och de fältmätningar som kan göras med rimliga medel, är det möjligt att återskapa en trovärdig beskrivning av samspelet mellan ledningsnät och grundvatten med hjälp av datormodellering. Då det beskrivna modellsystemet (MIKE SHE) i huvudsak består av geografiska och geofysiska indata, kan datormodellen också användas för att med ganska god tillförlitlighet förutsäga effekterna av alternativa åtgärder och ingrepp i marken eller på ledningsnätet. Denna erfarenhet gäller även för mer högeexploaterade centrumområden, trots mer komplexa ledningsnät och varierande

nivåförhållanden. Datorns förmåga att hålla rätt på många uppgifter kommer här väl till pass. I urbergsområden, med tunna jordtäckan och ofta kraftigt varierande geologiska förhållanden, finns ännu ingen erfarenhet vad avser datormodellering av tätortsdränering, men det kan misstänkas att möjligheterna är mer begränsade i denna typ av geologi. Under alla omständigheter krävs sannolikt mer omfattande fältundersökningar i denna typ av områden.

... men kräver varsam hand och bra indata

Den gamla devisen "skit in - skit ut" gäller här, precis som i all annan datormodellering, eller annan typ av analys överhuvudtaget. Därmed inte sagt att indata måste täcka in minsta detalj, men däremot rätt detaljer – den "varsamma handen". Här gäller det t ex att finna och beskriva förekommande vattenförande stråk i området, och att ansätta rätt dräneringsnivåer för husgrunder, som för övrigt inte alltid är så lätt att få fram. Det gäller också att uppskatta grundvattenbildningen rätt inom området, samt att ha kunskap om eventuell kommunikation med underliggande akvifärer (i Vittskövle är grundvattentransporten underifrån under vissa förhållanden av samma storleksordning som grundvattenbildningen till följd av regn inom området).

Likaså är områdets randvillkor till omgivningen av stor betydelse. I vissa fall kan grundvattentransporten till och från området vara så dynamisk att större regionala modeller erfordras för att beräkna och uppskatta randvillkoren på ett bra sätt.

Men här är det som alltid en fråga om hur precisa resultat man efterfrågar. Bra mätdata för flöden i ledningar och grundvattennivåer utgör då grunden för att bedöma beräkningarnas tillförlitlighet. Med "bra mätdata" menas här inte bara mätningar med god noggrannhet, utan också val av plats och, inte minst, val av mätperiod, om man av ekonomiska skäl inte kan täcka in ett eller flera år (vilket sällan är fallet). Här gäller det framförallt att pricka in en blöt period med höga grundvattennivåer och relativt sett höga inläckage till ledningsnätet, samt om möjligt också, för jämförelse, en torrare period.

Inläckagen av grundvatten kan minskas radikalt – men sällan dräneringen av ett område

Tillämpningen i Vittskövle, Gärds Köpinge och Nyatorp, samtliga med relativt omfattande sandlager i de övre markskikten, visar att det är fullt möjligt att radikalt minska grundvattenpåverkan i ledningsnätet. Både Vittskövle och Nyatorp, båda belägna i flacka utströmningsområden, visar dock att detta inte kan åstadkommas genom ett tätt ledningsnät, utan att grundvattennivåerna då stiger med risk för fukt i grundmurar, eller att grundvattnet istället kommer in via husgrundsdräneringar. I den typen av områden är en väl fungerande dränering en förutsättning för bebyggelsen. Det handlar då istället om att hitta alternativa dräneringsvägar. I många fall, som i Gärds Köpinge, består dock åtgärderna av en väl avvägd blandning av traditionella "tätande" åtgärder och anläggande av nya dränage. Valet styrs här av de lokala geohydrologiska och

topografiska förhållandena, samt ledningsnätets och husgrundsdräneringarnas nivåförhållanden och kondition.

Man bör här också vara observant på att speciella hydrologiska förhållanden kan frambringe "nya" problemområden, som i "normala fall" ej uppfattas som problemområden. Gärds Köpinge är ett fint exempel på detta, där de sydvästra delarna av samhällets ledningsnät vanligen ligger över grundvattennivån, men efter flera "blötår" hamnar under grundvattnet med relativt stora grundvatteninläckage som följd. Om en så lång flödesserie vid reningsverket som 10 år ej studerats, hade denna kunskap sannolikt gått oss förbi.

Praktiska tips och råd kring utförande

Beroende på geologi och topografi samt var, i relation till bebyggelse och avloppssystem, åtgärden skall sättas in, kan och bör dränaget utföras på olika sätt.

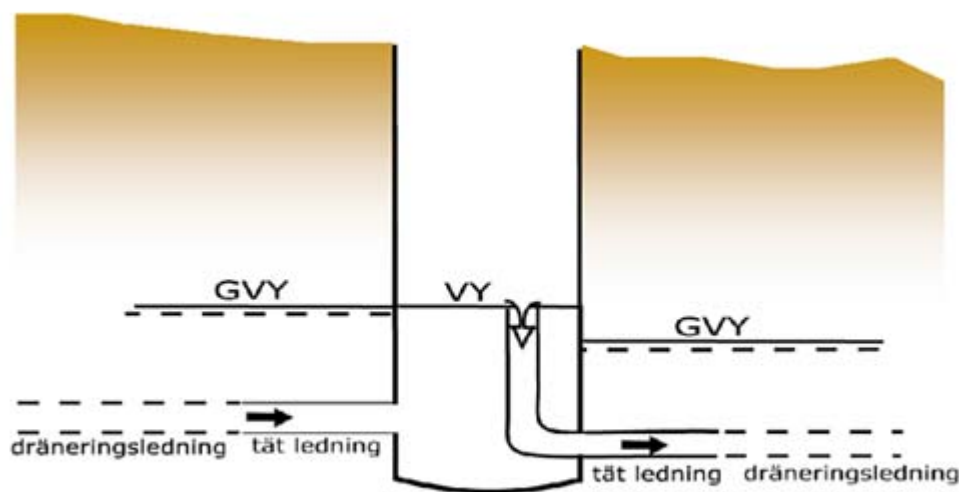
Gäller det att skära av en grundvattenströmning i en moränsluttning ovanför ett bebyggelseområde är det i de flesta fall lämpligast med ett öppet eller delvis makadamfyllt dike. I en morän sker normalt huvuddelen av vattenrörelserna i den översta halvmeter till metern, varför man med måttligt djup kan nå god effekt. I ett dike får man också stor strömningsarea och behöver inte fundera över risker med igensättning av rör eller slitsar.

Även i relativt plan moränterräng kan öppna eller makadamfyllda diken fungera om de inte inkräktar på markutnyttjandet. Eftersom grundvattennivån i en morän fluktuerar relativt mycket är det ofta i sådan mark frågan om att "kapa toppar" för att begränsa inläckaget till ledningsnätet. Dräneringsdjupet behöver därför normalt inte vara så stort.

I mer genomsläppliga jordar ligger grundvattnet normalt på större djup, samtidigt som fluktuationerna är mindre och långsammare. Ofta kan problemen i sådana miljöer vara att grundvattennivån under vinter och vår når upp i djupt liggande ledningsavsnitt och husgrunder vars dräneringsledningar är kopplade till spillvatten-nätet. Dräneringsledningen som skall utföras för att ta hand om inläckande grundvatten och dräneringsvatten till avloppsnätet måste

därför också läggas på relativt stort djup. Det blir då frågan om en täckt dränering.

En dräneringsledning som läggs på det djup där grundvattennivån normalt fluktuerar upp och ned riskerar att snabbt sättas igen. Under perioder när grundvattennivån stiger går järn i lösning pga syreunderskott. När detta, i vattnet, lösta järn strömmar in i dräneringsledningen faller det ut som järnoxidhydroxid och förorsakar igensättning av slitsar och rör. Denna typ av dräneringar bör därför läggas dämnda. Innebörden av detta är att hela ledningen läggs på ett djup som är större än lägsta grundvattennivå. Ledningen får sedan mynna ut ovanför grundvattenytan, i nedströmsriktningen (alternativt får pumpning ske). Nivån på ledningens utlopp (alternativt lägsta pumpnivå) anpassas så att ledningen permanent ligger under vatten. På långa sträckor med varierande mark- och grundvattennivåer kan det vara svårt att upprätthålla kravet på dämnd ledning utan att dräneringsdjupet, inom vissa avsnitt, blir alltför stort. Detta kan i viss mån kompenseras genom att "trappa" dräneringsledningen i enlighet med **Figur 25**.



Figur 25. Principskiss över dämnd dräneringsledning med "trappbrunn".

Konsekvenser på omgivningen

Konsekvenserna av att man, med grunda diken, lokalt eliminerar korta perioder med höga grundvattenstånd i en moränmark är normalt försumbara. En avskärande dränering i en moränslänt, med syfte att påverka nedanför liggande bebyggelse och ledningsnät, kan dock tänkas ge vissa effekter på växtligheten närmast dräneringen. Vissa arter, såsom blåsippan, är beroende av ytligt friskt grundvatten. Generellt sett kan dock dräneringar i moränmark sägas ha främst positiva effekter på växtlighet och boendemiljö.

Inom sedimentområden; lera, silt, sand och grus kan dock konsekvenserna bli omfattande om inte arbetet görs professionellt och efter grundliga överväganden.

Den kanske viktigaste aspekten när man planerar att lokalt sänka grundvattennivån i

ett område med sedimentjordar är att undersöka hur pass lokal effekten de facto kommer att bli. Nästa fråga är om det inom det berörda området finns skikt med fin sediment (lera) som idag ligger under grundvattennytan men som vid en sänkning kommer att hamna helt eller delvis över grundvattennytan.

I ett sand-grusområde kan en "liten, lokal avsänkning" sträcka sig längre än vad man kanske tror. Det är därför viktigt att skaffa sig kännedom om vilket influensområde man får av åtgärden, i enlighet med vad som sagts i tidigare kapitel. Upptäcker man, vid undersökningsborrningar, lera under grundvattennivån och man ser det som oundvikligt att det aktuella området blir föremål för avsänkning, måste lerans konsolideringsgrad undersökas i de fall byggnader eller anläggningar kan komma att beröras. Är inte leran tillräckligt konsoliderad kan man riskera sättningsskador.

Riskerna för negativa effekter på vegetation är normalt små. I de flesta fall gagnar en måttlig grundvattensänkning, till en stabil nivå, vegetationen. Träd och andra växter blir i mindre grad utsatta för årstidsfluktuationer och varierande betingelser mellan olika år.

Försämrade vattentillgång i enskilda brunnar kan bli en konsekvens i de fall dräneringarna läggs långt ifrån de spillvattenledningar de är avsedda att avlasta. Exempelvis kan en avskärande dränering i en moränslänt ge sådana konsekvenser. Eftersom åtgärder av den här typen sällan eller aldrig görs i områden där folk är beroende av enskild vattenförsörjning (finns det ett spillvattennät finns det nästan alltid också kommunal vattenförsörjning) utgör det dock inget stort problem.

Praktiska erfarenheter från några områden

Vittskövle

Järnhalten i det ytliga grundvattnet i Vittskövle ligger på närmare 1 mg/l. Utan dämnda ledningar skulle man därför relativt snart fått problem med igensättningar i slitsar. Med dämnda ledningar har man ännu efter ca 5 års drift inte uppmärksammat några sådana problem. I brunnarna där ledningen trappas luftas dock vattnet rejält, vilket ger en möjlighet för järnet att fällas ut. Troligen bildas här flockar av järnoxidhydroxid, men eftersom dessa följer vattnet inuti ledningen utan att behöva passera genom några slitsar ger de inte upphov till några igensättningar. Vid ett tillfälle har man

sett järnutfällningar i en trappningsbrunn, men inte i sådan mängd att de orsakat problem.

Vid den provgropsgrävning som gjordes i den blivande dräneringsledningens sträckning påträffades generellt sparsamt med lera. Inom det intervall där grundvattenytan skulle sänkas påträffades någon enstaka tunn lerlins. Utsträckningen av linserna bedömdes dock som liten och något sammanhängande lager mellan provgroparna påträffades ej. Silt, ofta finsilt, och sandlager var mest allmänt förekommande. Dräneringsledningen kringfylldes med sand till en nivå relativt högt upp i schakten för att möjliggöra avdränering av ytligare sandskikt som annars skulle stängas in av siltlager. Närmast kring trappningsbrunnarna användes dock täta ledningar och täta massor för att reducera läckaget kring "trappsteget".

Några sättningar i ledningens närhet, eller området som helhet, har inte noterats sedan dränet togs i drift. Eventuella förändringar i vegetation har kontrollerats vid ett par tillfällen, utan att något kunnat upptäckas. En kartering av vegetationen gjordes i samband med att ledningen togs i drift. Möjlighet finns därför att på längre sikt avgöra om några förändringar skett som skulle kunna hänföras till den sänkta grundvattennivån.

Gärds Köpinge

De två föreslagna dränagen i Gärds Köpinge har nyligen projekterats och kommer att anläggas under våren 2002, varför några praktiska erfarenheter ännu inte kunnat dras. Övriga föreslagna tätningsåtgärder kommer att genomföras när resultaten av de två dränagen utvärderats.

Nyatorp

Åtgärderna i Nyatorp har gjorts i ett tätbebyggt område i gatumark, innebärande mycket ledningar av olika slag. Arbetena har dock enligt tekniska kontoret kunnat utföras utan några allvarliga problem. I ett skede övervägde man att horisontalborra för det nya dränaget, men valde bort tillvägagångssättet med tanke på markens horisontella lagring av täta och mer permeabla skikt. En vertikal schakt med återfyllning av dränerande material bedömdes som nödvändig för att ytliga lerskikt inte skulle hindra ytligt vatten att nå ned till ledningen.

Stockaryd

Dränaget i Stockaryd ligger i kanten av ett sankmarksområde. Några vattenanalyser har inte gjorts, men med hänsyn till områdets karaktär bör järnhalterna vara relativt höga i vattnet. Även här ligger dränaget dämt och några igensättningsproblem har ännu inte observerats.

Några vegetationsförändringar har inte noterats, vilket knappast heller var väntat. Vattentillgången i sankmarken är stor och endast en mycket marginell del tas omhand i dränaget.

Tolkning av Miljöbalken avseende dräneringssystem

I vilken mån avskärande eller avlastande dräneringar är tillståndspliktiga, är långt ifrån solklart och måste i de flesta fall prövas individuellt. Ett försök till viss vägledning i frågan skall dock ges i det följande.

En situation som inte är helt ovanlig är att bebyggelse och därmed också spillvattenledning förslagts till (eller i anslutning till) markområden som tidigare varit jordbruksmark. Sådan mark har ofta varit dikad och såväl täckdikessystem som öppna diken har hållits i fungerande skick så länge jordbruksverksamheten så krävde. Åtminstone de grövre stammarna i sådana dräneringssystem har i de flesta fall tillkommit och underhållits av juridiskt etablerade dikningsföretag. När markanvändningen sedan ändrats (jordbruket avvecklats) har intresset för underhåll av systemen svalnat. Så länge dikningsföretaget inte formellt avslutats har man dock fortfarande rätt och möjlighet att underhålla och rensa diken till de djup som ursprungligen fastslogs vid förrättningen i samband med företagets bildande. Innan man ger sig i kast med att projektera nya dräneringar i ett område kan det därför vara idé att undersöka förekomsten av äldre dikningsföretag och se vad man kan åstadkomma den vägen.

I Miljöbalkens kapitel 11 behandlas i övrigt de frågeställningar som kan aktualiseras i

samband med anläggande av avskärande eller avlastande dränerage.

Man skiljer i lagen mellan "bortledande av grundvatten och utförande av anläggning för detta" å ena sidan och "markavvattning" å andra sidan. Med markavvattning avses bland annat dikning och dränering "när syftet med åtgärden är att varaktigt öka en fastighets lämplighet för något visst ändamål".

Bägge företeelserna är tillståndspliktiga om det inte är uppenbart att vare sig allmänna eller enskilda intressen skadas genom vattenverksamhetens inverkan på vattenförhållandena.

Skulle man lägga en dräneringsledning alldeles intill (och på samma djup som) en inläckande spillvattenledning borde man kunna beskriva det som uppenbart att inga intressen skadas, om inläckaget pågått länge och situationen är etablerad. (Förutsatt är dock att hela den aktuella ledningssträckan läcker så att man inte skapar nya sänktrattar.) Läger man däremot dräneringen en bit ifrån spillvattenledningen kommer sänktrattens utseende förändras (hur väl man än försöker anpassa dränaget) och det är inte längre uppenbart att inga intressen skadas.

I de flesta fall när man anlägger en avskärande dränering torde det påverka grundvattennivån inom ett område så pass mycket att man inte kan säga att det är uppenbart att

ingen negativ påverkan, på något sätt, sker. Det kan vara frågan om en sättnings på någon mm i ett hushörn eller en bevattningsbrunn som får marginellt, men ändå sänkt kapacitet.

Beträffande dränering av jordbruksmark (vilket det ibland kan bli frågan om när man skall anlägga ett avskärande dränage) krävs det dock tillstånd endast om det är sannolikt att allmänna eller enskilda intressen skadas genom verksamheten (gäller rördiametrar upp till 300 mm).

Beträffande, vad som skulle räknas som, tillståndspliktig markavvattning gäller dock generellt förbud i större delarna av syd- och mellansverige. Dispens krävs i dessa områ-

den för sådan verksamhet. En formulering i lagtexten gör dock att utförande av en avskärande dränering möjligen skulle kunna ses som tillåten. Eftersom ett avskärande dränage (för att avlasta ett avloppsreningsverk) inte anläggs i syfte att "varaktigt öka en fastighets lämplighet för något visst ändamål" faller det inte inom begreppet markavvattning.

Skillnaden i lagtexten mellan vad som avses med "bortledande av grundvatten" respektive "markavvattning" kan vara svårtolkad. Ytliga dräneringssystem, på djup motsvarande jordbruksdräneringar, som inte permanent under året avbördar vatten, torde dock kunna hänföras till markavvattning.

Det är uppenbart att problem med grundvatteninläckage till ledningsnät kräver att även andra åtgärder än de av "tätande" karaktär också tas i beaktande. Det finns annars stor risk för att åtgärderna inte ger önskad effekt, eller till och med förvärrar dräneringsproblemen inom tätorten, med t ex fukt i grundmurar som följd. Många gånger kan man dock se en rädsla för denna typ av ingrepp "utanför" avloppsledningarna. Detta är naturligt, då en mängd nya relevanta tekniska frågor infinner sig då man aktivt går ut i marken och påverkar grundvattenströmningen, många gånger utanför den normala VA-teknikerns kunskapsområde. För att locka fram mer långsiktiga och hållbara lösningar på dräneringsproblemen i en tätort, är det dock sannolikt önskvärt att ha en mer offensiv hållning baserad på "vi skaffar den kunskap som behövs".

Datormodellering ökar kunskapen om samspelet mellan avloppsnät och omgivande grundvatten. Datormodellering har sina stora fördelar i områden med sedimentära jordarter eller många ledningar med olika läggningsdjup och egenskaper.

Både konventionella "tätande" åtgärder och nya dränerings-system bör beaktas vid åtgärdsplanering mot grundvattenpåverkan i ledningsnät.

I detta sammanhang har det återigen visat sig att användandet av modellverktyg kan vara ett mycket effektivt sätt att öka kunskapen om komplexa problems beteenden. Det integrerade MOUSE-MIKE SHE verktyget har hittills använts på tre olika avrinningsområden, med olika områdeskaraktär, och har visats vara kapabelt att beskriva samspelet mellan avloppsnät och omgivande grundvatten. Modellanvändandet har sina största fördelar när det gäller att analysera och planera dräneringsåtgärder i områden med sedimentära jordarter. Mäktiga och skiktade lagerföljder av silt, sand och lera är arbetsamma att hantera med handberäkningsmetoder, men med relativt få fältundersökningar går det dock ofta att få upp en trovärdig geohydrologisk modell av ett område i denna typ av geologi. Vidare är användandet av fysikaliskt baserade numeriska modeller nästan en förutsättning om man skall hantera och belysa effekter av många ledningar med olika läggningsdjup och egenskaper, samt vid större bebyggelseområden med varierande djup för husgrundsdräneringar.

Vid arbete med en distribuerad fysikaliskt baserad modell som MIKE SHE, och önskemål om noggranna resultat, är det önskvärt att ha indata med hög geografisk upplösning och tidsaspekten vid uppbyggnad och kalibrering av modellen är då inte försumbar. Så länge som huvuddragen i det geohydrologiska systemet kan fångas, kan modellen dock fortfarande ge värdefull information om vilka huvudsakliga effekter som kan förväntas av olika typer av ingrepp, även om exaktheten i beräkningsresultaten tappas vid översiktlig och förenklad användning. I urbergsområden med tunt moräntäcke och enkla överskådliga nivåförhållanden för ledningar och husgrundsdräneringar synes dock enklare överslagsberäkningar och analytiska metoder vara ett lämpligare val.

Handberäkningsmetoder kan vara ett lämpligare val i urbergsområden med tunt moräntäcke och enklare ledningsnät.

Dräneringsåtgärder måste balanseras med hänsyn till risk för sättningar och risk för spillvattenläckage till grundvattnet.

Oavsett beräkningsmetod är det mycket viktigt att konsekvenserna av planerade åtgärder bedöms med en tillförlitlighet som ligger i paritet med potentiella negativa effekter i området. Åtgärdernas storlek bör t ex balanseras med hänsyn till risk för sättningar och risk för att dra till sig spillvatten från läckande ledningar till de dräneringar som utförs. En grundlig utredning är dock ingen ursäkt för att bortse från uppföljning av effekterna efter genomförande.

De dräneringsåtgärder som diskuteras i denna rapport är svåra att direkt hänföra till något juridiskt begrepp. "Markavvattning" och "bortledande av grundvatten och utförande av anläggning för detta" är de begrepp som ligger närmast, men ändå inte riktigt motsvarar innebörden av åtgärderna. Bägge företeelserna är tillståndspliktiga om det inte är uppenbart att vare sig enskilda eller allmänna intressen skadas. Innan åtgärder av den här typen drivs för långt i planeringen bör kontakter tas med länsstyrelsen. Under vissa förhållanden kan åtgärderna komma att ses som "markavvattning" och dispens kan erhållas.

Kontakt bör tas med länsstyrelsen innan åtgärder av den här typen drivs för långt i planeringen.

Väl planerade dräneringssystem ger, förutom miljömässiga och ekonomiska vinster, bättre förutsättningar för en trevligare och mer användbar boendemiljö.

Ser man slutligen på nyttan med att utföra avskärande eller avlastande dräneringar finns det flera aspekter. Primärt är det ju frågan om att minska vattenmängderna i spillvattenledningarna till avloppsreningsverket. Med detta syftar man till att minska mängderna orenat avloppsvatten som bräddar till vattendrag samtidigt som man kan upprätthålla en bättre rening med mindre mängder processkemikalier och mindre pumpningsenergi. Vinsterna är därför såväl miljömässiga som ekonomiska. Vad man därutöver kan vinna, med avskärande dräneringar, är en bättre boendemiljö i de områden där åtgärderna genomförs. Får man med hjälp av avskärande dräneringar ned nivån för högsta grundvattenyta minskar risken för ytliga vattensamlingar i samband med regn och snösmältning och området blir trevligare och mer användbart.

Abbott, M., (1986). An Introduction to the European Hydrological System, Système Hydrologique Européen "SHE". *Journal of Hydrology*, 87, 45-59, 61-77.

Bäckman, H., (1985). *Infiltration/Inflow in Separate Sewer Systems*. Dissertation no. 6, Chalmers University of Technology, Sweden.

Bäckman, H., (1993). *Indirekt nederbördspåverkan i duplikata spillvattensystem*. Rapport nr 1993-08, VA-FORSK, VAV.

Erikson, B., (1981). *Den "potentiella" evapotranspirationen i Sverige*. RMK 28, RHO27, SMHI, Norrköping.

Gustafsson, A.-M., Winberg, S., Gustafsson, L.G., Refsgaard, A., (1997): *Safeguarding the Kristianstad Plain groundwater resource by using the MIKE SHE model*. The EWRA 97 Conference, Copenhagen, 1997.

Gustafsson, L.-G., (1995). *Utveckling och tillämpning av en konceptuell avrinningsmodell för urban hydrologi*. Rapport serie A:25, Chalmers Tekniska Högskola.

Gustafsson, L.-G., Winberg, S., Refsgaard, A., (1997). Towards a Distributed Physically based Model Description of the Urban Aquatic Environment. *Water Science Technology*, Vol. 36, No. 8-9, pp. 89-93. 1997

Winberg, S., Gustafsson, L.-G., Bengtsson, L., (1994). *MIKE SHE i Urban Miljö. Tillämpnings-exempel Vittskövle*. Rapport nr 1994-14, VA-FORSK, VAV.

SFS 1998:808, Miljöbalken kap 11



Box 47607 117 94 Stockholm

Tfn 08 506 002 00

Fax 08 506 002 10

E-post svensktvatten@svensktvatten.se

www.svensktvatten.se