

Lokal afledning af regnvand – effekten af et detaljeret projektforslag på Tingbjerg

Lokal afledning af regnvand - effekten af et detaljeret projektforslag på Tingbjerg

Lars Møller Markussen og Kristian Korsbech
Rambøll

Torben Dam og Kerstin Johansson
Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole

Peter Steen Mikkelsen og Henrik Sønderup
Danmarks Tekniske Universitet

Morten Møller Hansen
Hedeselskabet

Svend Krongaard Hansen
Københavns Energi

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

<u>INDHOLD</u>	3
<u>FORORD</u>	5
<u>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</u>	7
<u>SUMMARY AND CONCLUSIONS</u>	9
<u>1 INDLEDNING</u>	11
1.1 <u>BAGGRUND</u>	11
1.2 <u>FORMÅL</u>	11
1.3 <u>MÅLGRUPPE</u>	12
1.4 <u>FREMGANGSMÅDE</u>	12
<u>2 ANDRE PROJEKTER AF TILSVARENDE KARAKTER</u>	13
<u>3 VÆRKTØJER OG DATAGRUNDLAG</u>	17
3.1 <u>SOFTWARE TIL SIMULERING AF VANDSTRØMNING</u>	17
3.1.1 <u>MIKE SHE</u>	17
3.1.2 <u>MOUSE</u>	18
3.1.3 <u>STORM</u>	18
3.2 <u>DATA OM GEOLOGI OG GRUNDVAND</u>	19
3.2.1 <u>Baggrundsdata fra GeoGIS</u>	19
3.2.2 <u>Borearbejde, pejlinger af grundvandsstanden og infiltrationsforsøg</u>	19
3.3 <u>OPLYSNINGER OM AFLØBSSYSTEMET</u>	20
3.4 <u>NEDBØRSDATA</u>	20
<u>4 TINGBJERG SOM CASE-OMRÅDE</u>	23
4.1 <u>OMRÅDETS BELIGGENHED OG HISTORIE</u>	23
4.2 <u>BEBYGGELSENS KARAKTER</u>	24
4.3 <u>VÅDOMRÅDER OG GRUNDVANDSFORHOLD</u>	25
4.4 <u>AFLØBSSYSTEMET PÅ TINGBJERG</u>	29
4.5 <u>UDVÆLGELSE AF DELOMRÅDE VED GAVLHUSVEJ TIL DETALJEREDE UNDERSØGELSER</u>	30
<u>5 PLANLÆGNING OG UDFORMNING AF LOKAL AFLEDNING AF REGNVAND (LAR) I GAVLHUSOMRÅDET</u>	33
5.1 <u>MULIGHEDER MED LAR</u>	33
5.2 <u>PROJEKTGRUPPENS FORSLAG</u>	34
<u>6 VALG AF METODE VED MODELLERING AF PROJEKTFORSLAG</u>	41
6.1 <u>VANDBALANCENS ELEMENTER</u>	41
6.2 <u>VANDBALANCEN FOR GAVLHUSOMRÅDET</u>	42
6.2.1 <u>Statussituationen for Gavlhusområdet uden LAR-anlæg</u>	42
6.2.2 <u>Situationen for Gavlhusområdet efter etablering af LAR-anlæg</u>	42
6.3 <u>VANDBALANCEN FOR HELE TINGBJERG</u>	43
6.4 <u>EFFEKTEN PÅ DET DYBTLIGGENDE GRUNDVAND OG GRUNDVANDSUDVEKSLINGEN MED UTTERSLEV MOSE</u>	44

<u>7</u>	<u>MODELOPSTILLING OG -KALIBRERING</u>	45
<u>7.1</u>	<u>OPSTILLING OG KALIBRERING AF MIKE-SHE MODELLEN FOR GAVLHUSGÅRDEN</u>	45
<u>7.2</u>	<u>OPSTILLING AF STORM MODEL FOR GAVLHUSOMRÅDET</u>	48
<u>7.3</u>	<u>OPSTILLING OG KALIBRERING AF MOUSE MODELLEN FOR HELE TINGBJERG</u>	49
<u>8</u>	<u>FUNKTION OG EFFEKT AF PROJEKTFORSLAG - RESULTATER</u>	51
<u>8.1</u>	<u>SIMULERING AF LAR-ANLÆGGENES FUNKTION</u>	51
<u>8.2</u>	<u>VANDBALANCEN FOR GAVLHUSGÅRDEN</u>	54
<u>8.3</u>	<u>VANDBALANCEN FOR GAVLHUSOMRÅDET</u>	57
<u>8.4</u>	<u>EFFEKTEN FOR AFLØBSSYSTEMET PÅ TINGBJERG</u>	60
<u>8.5</u>	<u>EFFEKTEN PÅ DET DYBTLIGGENDE GRUNDVAND OG GRUNDVANDSUDVEKSLINGEN MED UTTERSLEV MOSE</u>	62
<u>9</u>	<u>DISKUSSION</u>	64
<u>9.1</u>	<u>INTEGRATION AF FAGDISCIPLINER</u>	64
<u>9.2</u>	<u>INTEGRATION AF BEREGNINGSMODELLER</u>	64
<u>9.3</u>	<u>BEREGNINGERNES PÅLIDELIGHED</u>	65
<u>9.4</u>	<u>BEHOV FOR BEDRE VÆRKTØJER OG NY VIDEN</u>	66
<u>10</u>	<u>KONKLUSION OG ANBEFALINGER</u>	69
<u>11</u>	<u>REFERENCER</u>	71
	 Bilag A DATANOTAT	 73

Forord

Denne rapport omfatter resultaterne af projektet ”Økologisk håndtering af regnvand på Tingbjerg”, der blev gennemført under ”Aktionsplanen til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning” under Miljø- og Energiministeriet og By- og Boligministeriet. Projektet kom efter en reduktion i omfang og indhold i gang i sommeren 1999 og blev afsluttet kort efter Nytår 2002.

Projektgruppen har bestået af:

- Lars Møller Markussen, RAMBØLL
- Torben Dam, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, KVL
- Peter Steen Mikkelsen, Miljø & Ressourcer DTU
- Morten Møller Hansen, Hedeselskabet (indtil feb. 2002 Københavns Energi)
- Kristian Korsbech, RAMBØLL
- Henrik Sønderup, Miljø & Ressourcer DTU
- Kerstin Johansson, Landskabsarkitekt tilknyttet KVL
- Svend K. Hansen, Københavns Energi

Medlemmerne af den bredt sammensatte projektgruppe har hver for sig haft hovedansvaret for forskellige dele af projektet, som derefter blevet koordineret i projektgruppen:

- RAMBØLL har stået for boringer på Tingbjerg og for modelleringen af grundvandsbevægelserne med programmet MIKE SHE. Charlotte Tofteng fra RAMBØLL og udvekslingsstuderende Kruithof (fra Holland) har deltaget i dele af dette arbejde.
- KVL har stået for registrering af overfladeforhold på baggrund af tidligere studenterprojekter fra DTU og oprindelige landskabsarkitektplaner. Til dette arbejde har landskabsarkitektstuderende Martin Lose været ansat. Landskabsarkitekt Kerstin Johansson har udformet projektforslaget med tilhørende tegninger på baggrund af projektgruppens ønsker og analyser.
- DTU har forestået modellering af systemerne til lokal afledning af regnvand og har desuden i samarbejde med Rambøll udarbejdet vandbalancer og forestået koordinering mellem de tre modelberegningsprogrammer MIKE SHE, STORM og MOUSE. DTU har desuden samlet de forskellige bidrag til hovedrapporten.
- Københavns Energi har været projektansvarlig og har i samarbejde med Hedeselskabet foretaget status- og planberegninger på afløbssystemet med MOUSE samt skaffet relevante informationer om ledningsnet mm. Svend K. Hansen fra Københavns Energi har fungeret som projektleder.

Projektgruppen ønsker at takke Hedvig Østergaard fra FSB, som har formidlet information til boligselskab og beboerne om aktiviteter i området.

København, februar 2003

Sammenfatning og konklusioner

Hvis regnvand nedsives lokalt, vil der være mulighed for at øge den naturlige tilstrømning til byernes søer og vandløb, ligesom grundvandsdannelsen kan blive påvirket positivt – samtidig med at belastningen på afløbssystemer og renseanlæg reduceres. Der er imidlertid mangel på detaljerede undersøgelser af, hvor betydningsfulde disse effekter er.

Nærværende projekts primære formål har været på et detaljeret niveau for et konkret boligområde at vurdere, hvordan vandbalancen forandres ved lokal afledning af regnvand (LAR), herunder hvordan grundvandsdannelsen, afstrømningen til afløbssystemet fra befæstede flader og dræn samt overløb til recipienter påvirkes. Samtidig har det været et sekundært mål at demonstrere, hvordan moderne modelværktøjer kan anvendes i konkrete planlægningssituationer til at vurdere funktionen af komplicerede systemer til lokal afledning af regnvand og deres betydning for vandbalancen. Endelig har det været en del af formålet at demonstrere, hvordan lokal afledning af regnvand kan indpasses som et positivt bidrag i forhold til andre hensyn og interesser i grønne områder mellem bygninger.

Tingbjerg i Københavns kommune blev valgt, fordi man ønskede et velafgrænset projektområde både topografisk og afløbsteknisk, og fordi Tingbjerg ligger på moræneler, hvilket er typisk for Københavnsområdet. Efter analyse af terrænforhold og landskabelige muligheder blev et delområde - kaldet Gavlhusgården – udvalgt, og der blev foretaget boringer i undergrunden og etableret pejlerør, som gjorde det muligt at overvåge grundvandstrykniveauet og kalibrere en grundvandsmodel.

I Gavlhusgården blev der udformet et projektforslag, hvor regnvandet synliggøres i gårdmiljøet, samtidig med at det forsinkes og nedsives mest muligt. Regnvandet opsamles fra tagflader, stier og vejarealer, hvorfra det føres over græsarealer til LAR-elementer som infiltrationsrender eller -trug samt damme, egentlige bassiner og underjordiske faskiner. LAR-elementerne er forbundne med interne overløb, og faskinerne modtager vand fra overliggende trug samt fra rørsystemer. Desuden er der mulighed for overløb til det eksterne afløbssystem. Den valgte løsning er grundigt illustreret i rapporten.

For det konkrete projektforslag med forbundne LAR-komponenter i et delområde af Tingbjerg blev en model opstillet ved hjælp af simuleringsprogrammet STORM. Tilsvarende blev en model for infiltration, omfangsdræn ved bygninger og grundvandsdannelse opstillet ved hjælp af simuleringsprogrammet MIKE SHE, og nedsivning beregnet som output fra STORM blev derefter benyttet som input til MIKE SHE. Endelig blev en model for det samlede afløbssystem på Tingbjerg opstillet i simuleringsprogrammet MOUSE ved at opskalere resultaterne fra detailbehandlingen af et enkelt delområde.

De detaljerede beregninger viser, at grundvandsspejlet i våde perioder stiger så højt, at nedsivningen fra terræn og faskiner begrænses, samtidig med at afstrømningen via bygningsdræn øges. Effekten heraf på afløbssystemet er dog begrænset, idet afstrømningen via bygningsdræn er forsinket og dermed

ikke resulterer i overløb til recipienter i samme grad som ved direkte tilledning under regn. Den samlede vandbalance for Tingbjerg viser, at:

- Nedbørsdata anvendt ved beregningerne angiver en bruttonedbør over Tingbjerg på 676 mm i 1995. Bruttonedbøren fordeles som udgangspunkt på fordampning (32%), kloakafstrømning inkl. dræn (42%) og grundvandsdannelse (26%).
- Etablering af lokal afledning af regnvand svarende til projektforslaget på hele Tingbjerg vil forøge fordampningen til 41% af årsnedbøren, hvilket er en forøgelse på knap 30%. Årsagen er omdannelse af befæstede arealer til grønne arealer, tilstedeværelsen af frie vandoverflader i terrænet samt generelt mere fugtig jord, der øger den aktuelle fordampning.
- Samtidig vil kloakafstrømningen blive reduceret til 25% af årsnedbøren, hvilket er en formindskelse på ca. 40% i forhold til udgangspunktet. Det dækker over, at overfladeafstrømningen reduceres med hele 58%, fordi en del af de befæstede overflader tilsluttes LAR-anlæg, men at effekten begrænses noget, fordi afløbssystemet indirekte tilføres vand pga. overløb fra LAR-anlæggene under kraftig regn og midlertidigt højtliggende grundvandsspejl om vinteren, der forhindrer infiltration og øger drænastrømningen.
- Som konsekvens af ovenstående forøges grundvandsdannelsen til 33% af årsnedbøren svarende til en forøgelse på 26% i forhold til udgangspunktet.

Beregningerne for afløbssystemet på Tingbjerg viser, at etablering af LAR på hele Tingbjerg svarende til projektforslaget reducerer hyppigheden af overløb fra Tingbjergs to overløbsbygværker med 75-85%, mens den årlige overløbsmængde reduceres med 80-90%.

Projektet peger på, at det er muligt ved hjælp af moderne simuleringssværktøjer at vurdere de hydrologiske effekter af LAR-projekter på et realistisk detaljeret niveau. Der er dog vanskeligheder forbundet med integration af modeller for LAR, grundvand og afløbssystemer, og modelberegningerne desuden behæftet med usikkerheder, som er vanskelige at kvantificere i en planlægningssituation. Realistiske projekter, der udnytter mulighederne til fulde under behørig hensyntagen til de lokale hydrogeologiske forudsætninger kræver desuden samarbejde og informationsudveksling mellem mange fagdiscipliner. Integration af plangrundlag og simuleringssmodeller i et fælles GIS-interface vil utvivlsomt gøre det mere realistisk at veksle mellem skitsering og simulering under planlægning af ambitiøse LAR-projekter, der indebærer mere end blot en demonstrationseffekt.

Sammenfattende kan det konkluderes, at lokal afledning af regnvand kan være en effektiv metode til at genskabe det hydrologiske kredsløb i byområder og nedsætte miljøbelastningen fra afløbssystemer. Det er imidlertid en række forhold, der bremser en udvikling i denne retning. Projektet har ikke omfattet vurderinger af, hvordan jord, grundvand og overfladevand påvirkes af forurening ved nedsivning af regnvand, samt hvordan beboere og boligforeninger oplyses, inddrages og motiveres i projekter om lokal afledning af regnvand, og hvor økonomisk attraktive løsninger baseret på LAR er.

Summary and conclusions

Stormwater source control, i.e. local detention and infiltration, may increase the natural flow in urban watercourses and the groundwater recharge, while at the same time reducing the load on sewer systems and wastewater treatment plants. However, there is a lack of detailed investigations into the significance of these effects.

The primary objective of the project is to assess in detail how the water balance changes due to source control of stormwater in a specific housing area, i.e. how the groundwater recharge, the runoff from surfaces and drainage pipes to the combined sewer, and the overflows to receiving waters are affected. The secondary objective is to demonstrate how modern simulation models can be applied in practical planning to assess the functional behaviour of complicated source control systems and their impact on the water balance. Finally, the project aims at demonstrating how stormwater source control can be a positive contribution to spatial planning of green areas between buildings, where other interests than stormwater management are also at stake.

Tingbjerg in Copenhagen municipality was selected because it is topographically separated from the neighbouring areas and because, just like in most areas around Copenhagen, Tingbjerg is situated on glacial moraine deposits. A section of the Tingbjerg area was selected for further investigations involving borings and monitoring of groundwater levels, and calibration of a groundwater model.

A project scenario was developed, where stormwater is made visible on the surface before infiltrating into the ground. Stormwater is collected from roofs, footpaths and traffic areas, passes vegetated surfaces and concentrates in troughs, ponds and infiltration trenches. The different source control elements are connected with internal overflows, and the trenches receive water from the overlying troughs and from pipe systems. An overflow at the downstream end of the system allows water to escape to the external sewer system during heavy rainstorms. The technical solution is illustrated in the report.

A model of the interconnected source control structures that are part of the project scenario was made using the STORM simulation software. Furthermore, infiltration time series computed with STORM was used as input to a MIKE SHE model used for simulating infiltration, building drainage and groundwater recharge in the project area. Finally, the results from the detailed simulations were upscaled to the whole Tingbjerg area, and a MOUSE model was used to simulate the combined sewer overflows from the area.

From the detailed simulations appears that the groundwater table rises during wet periods and limits infiltration while increasing the runoff via building drainage pipes. The effect of this on the sewer system is, however, limited since the runoff via building drainage is relatively slow and therefore does not result in overflows to the receiving water to the same extent as direct surface runoff. The total water balance for the Tingbjerg area shows that:

- Rainfall data used as input to the simulations indicate 676 mm of precipitation in 1995, which is distributed between evapotranspiration (32%), runoff via the building drainage and sewer pipes (42%) and groundwater recharge (26%) for the situation without stormwater source control.
- Stormwater source control corresponding to the project scenario in the whole Tingbjerg area would increase evapotranspiration to 41% of the annual rainfall, corresponding to an almost 30% increase. The reason for this change is a combination of paved surfaces being changed into open surfaces, free water surfaces being present and generally more moist soil conditions, which increases the potential evaporation.
- The runoff from the sewer system would be reduced to 25% of the annual rainfall, corresponding to a 40% decrease. The direct surface runoff would actually be reduced by 58%, because part of the runoff from paved surfaces is infiltrated, but this effect would be limited by overflows from the source control system to the sewer system during heavy rainstorms and temporarily elevated groundwater levels during the winter.
- Consequently, the groundwater recharge would be increased to 33% of the annual rainfall, corresponding to a 26% increase compared with the situation without stormwater source control.

The urban drainage system simulations show that stormwater source control in the whole Tingbjerg area corresponding to the project scenario would reduce the frequency of overflows from the two overflow structures by 75-85% and reduce the annual overflow volumes by 80-90%.

The project indicates that it is possible to assess the hydrological effects of urban stormwater source control on a realistically detailed level using modern simulation tools. There are, however, difficulties with integrating simulation models for stormwater source control, groundwater and urban drainage systems, and the modelling uncertainties are difficult to quantify in a planning situation. Realistic projects that utilise the potential for source control fully while respecting the local hydro geological constraints, furthermore requires collaboration and information exchange between several professional disciplines. Integrating the planning basis and simulation models in a common GIS interface will definitely make it more realistic to switch between sketching and simulation while planning ambitious source control projects intended to present more than just a demonstration effect.

It can be concluded that stormwater source control can be an effective way to reinstate the hydrological cycle in urban areas and reduce the environmental impact from urban drainage systems. There are, however, several issues that impede a development in this direction. This project did not include assessments of how soil, groundwater and surface water/sediments are affected by stormwater pollution, how private and public stakeholders are informed and involved in stormwater source control projects, and how economically attractive stormwater source control solutions are.

1 Indledning

1.1 Baggrund

Mange sø- og vandløbssystemer er i dag belastet af overløb fra fælleskloakerede oplande. Den traditionelle metode til at reducere denne belastning er etablering af betonbassiner, som kan opmagasinere regnvandet indtil der igen er plads i afløbssystemet, hvorefter det kan ledes til renseanlægget. Denne metode har imidlertid bl.a. den ulempe, at den hydrauliske belastning på renseanlæggene forbliver høj i lang tid efter regnens ophør, hvilket kan betyde dårligere rensning og slamflugt fra anlæggene. Samtidig lider mange søer og vandløb af vandmangel, specielt i byområder, da den naturlige tilstrømning af regnvand er begrænset på grund af de store befæstede arealer og den udbredte kloakering.

Hvis regnvand nedsives lokalt, vil der være mulighed for at øge den naturlige tilstrømning til byernes søer og vandløb, ligesom grundvandsdannelsen kan blive påvirket positivt – samtidig med at belastningen på afløbssystemer og renseanlæg reduceres. Der er imidlertid mangel på detaljerede undersøgelser af, hvor betydningsfuld den øgede grundvandsdannelse er, om den øgede infiltration fører til problemer med stigende grundvandsspejl i byområder, og om nedsivning overhovedet har den ønskede effekt, når der er omfangsdræn i nærheden af nedsivningsanlæggene.

Nedsivning og infiltration optager meget areal og kan nemt komme i konflikt med andre hensyn og interesser i de grønne områder – specielt hvis resultatet skal have en målelig effekt på afløbssystemet og de omkringliggende søer og vandløb. Indtil nu har de fleste kendte nedsivningsanlæg nærmere karakter af demonstrationsanlæg med en vis signalværdi. Projektet sigter mod at vurdere effekten i praksis af, at der sættes systematisk på lokal afledning af regnvand under anvendelse af nedsivning, forsinkelse og fordampning via beplantning.

1.2 Formål

Projektets primære formål har været på et detaljeret niveau for et konkret boligområde at demonstrere, hvordan anlæg til lokal afledning af regnvand kan udformes, så de er effektive og kan indgå som smukke og funktionelle friarealer i et boligområde. Samtidig har det været en del af det primære formål at vurdere, hvordan vandbalancen forandres i praksis ved en systematisk satsning på lokal afledning af regnvand. Der tænkes hér specielt på effekter som (i) ændringer i afstrømningen til afløbssystemet fra befæstede flader og dræn, (ii) reduktion af overløb og dermed påvirkningen af recipienter med forurennet vand, (iii) tilskud af rent vand til lokale grundvandsystemer og (iv) lokal forøgelse af vandtilstrømningen til lokale vådområder.

Projektets sekundære formål har været at demonstrere, hvordan moderne modelværktøjer kan anvendes i konkrete planlægningssituationer, hvor komplicerede systemer til lokal afledning af regnvand inddrages. Det gælder såvel deres betydning for vandbalancen som muligheden for at inddrage vand

i den landskabsarkitektoniske løsning i form af synlige vandoverflader og plantesamfund, der er afhængige af våde vækstforhold.

Oprindelig indeholdt projektansøgningen vurderinger af, hvordan forurening af jord, grundvand og overfladevand påvirkes ved nedsivning af regnvand, samt hvordan beboere og boligforeninger oplyses, inddrages og motiveres i projekter om lokal afledning af regnvand. Disse elementer blev sammen med økonomiske vurderinger udskudt til et evt. efterfølgende projekt, efter det oprindeligt ansøgte projektbeløb blev reduceret.

1.3 Målgruppe

Projektets resultater kan primært udnyttes af kommuner og disses rådgivere.

1.4 Fremgangsmåde

Et boligområde på Tingbjerg i København er valgt som case område, og for en af boligområdets gårde er et projektforslag med maksimal synliggørelse, forsinkelse og nedsivning af regnvand udarbejdet. En væsentlig del af arbejdet har bestået i at integrere anvendelsen af tre uafhængige modelværktøjer til simulering af vandbalancer for systemer til lokal afledning af regnvand, grundvandssystemer og afløbssystemer. Efterfølgende er der udført simuleringer af effekten på det samlede overløb fra afløbssystemet på Tingbjerg samt effekten på vandudvekslingen i den nærliggende Utterslev Mose, svarende til en udbredelse af tilsvarende tiltag på hele Tingbjerg.

Arbejdsmetoden i projektet har været iterativ, idet det har vist sig nødvendigt med et tæt samspil for at få de landskabsarkitektoniske løsninger og edb-modellerne for afstrømning og infiltration til at spille sammen.

Følgende hovedopgaver har været en del af processen:

- Indsamling af data
- Udvalgelse af gård til detailbehandling
- Jordbundsundersøgelser, borearbejde og grundvandspejlinger
- Skitseprojekteringer af landskabsarkitektoniske løsninger
- Udvalgelse af edb-modelværktøjer
- Integration af beregninger med de 3 modelværktøjer: STORM, MIKE SHE og MOUSE
- Afrapportering.

2 Andre projekter af tilsvarende karakter

Lokal afledning af regnvand har rejst mange spørgsmål hos rådgivere og myndigheder. Mange projekter om lokal afledning af regnvand har været sat i gang. Hver for sig bidrager projekterne til et overblik og en større forståelse for vigtige faktorer. Samtidig kan man få inspiration til mulige løsninger. Forståelsen for sammenhængen mellem faskiners nødvendige størrelse og den omkringliggende jords beskaffenhed har udviklet sig fra en tommelfingerregel (1 m^3 faskine pr. 30 m^2 flade) til beregningsmetoder, der er mere realistiske, men som også kræver stillingtagen til dimensioneringsgivende parametre.

En af de mere realistiske dimensioneringsmetoder findes beskrevet i Spildevandskomitéens skrift nr. 25: *Nedsivning af Regnvand- dimensionering* (Spildevandskomiteen, 1995). Metoden forudsætter, at man tager stilling til gentagelsesperiode for overbelastning og jordens hydrauliske ledningsevne. Med den hydrauliske ledningsevne, faskinens bredde og porøsitet kan tømningstiden beregnes, og magasineringsvolumenet kan aflæses i et diagram, når man har besluttet en gentagelsesperiode. Magasineringsvolumenet gør, at man kan beregne faskinens samlede volumen og dermed fastsætte dens geometri. Brug man Spildevandskomiteens metode kan man regne ud, at tommelfingerreglen er baseret på et magasineringsvolumen på 8,4 mm, som svarer til et 10 minutters ”dimensioneringsregnskyl” med en gentagelsesperiode på 2 år og med en intensitet på 140 liter pr. sekund pr. ha. Denne intensitet svarer til en normalt anvendt størrelse ved dimensionering af afløbsledninger men tager ikke højde for de situationer med langvarig regn, der som oftes er kritiske for nedsivningsanlæg i danske jordtyper, og eksemplet viser hvor fastlåst traditionel beregning af faskiner er. Spildevandskomiteens model kræver stillingtagen til dimensioneringsgivende parametre men er et bedre værktøj, fordi man kan bruge den mere fleksibelt og f.eks. undersøge konsekvenser for faskinen ved at bruge forskellige værdier for de dimensionsgivende parametre.

Forståelse for funktion af faskiner kan man bl.a. få fra et projekt på Nørrebro i København (Mikkelsen et al., 1998; Warnaars et al., 1999). I en karrégård er der foretaget en sammenligning af ovenfor nævnte tommelfingerregel og konkrete målte data over 2¾ år. Faskinerne blev anlagt i 1994. Målingerne viser, at der er stor forskel mellem infiltrationen (faktor 10) i de to faskinerender, der ligger tæt på hinanden. To regnhændelser bliver fremhævet. Den første er et overløb til kloakken efter 26,3 mm regn, der samlet bliver til $14,6\text{ m}^3$ vand. Den anden er en 20 dages periode med 63,6 mm nedbør, i alt $27,4\text{ m}^3$ vand, hvor faskinen er fyldt, men ikke har overløb. Undersøgelsen viser, at den beregnede størrelse på faskinerne holder overløb inden for den valgte gentagelsesperiode på 2 år, og at forskelle i infiltration indenfor små afstande kan udjævnes ved at forbinde faskinerne med rør. De to fremhævede regnbegebenheder antyder, at regn ikke alene kan ses som enkelthændelser men som serier af regnhændelser, og at det i nogen tilfælde er regnen over længere tid – dage og uger – som giver anledning til overbelastning af faskiner.

Lokal afledning af regnvand kan foregå på mange andre måder end i faskiner. I den tyske bog, *Neue Wege für das Regenwasser* (Geiger & Dreiseitl, 1995)

gennemgås en lang række eksempler og typer for infiltration og perkolation, bassiner, forbehandling og udnyttelse af regnvand. I slutningen af bogen gennemgår man større sammenhængende bebyggelser, der afleder regnvand lokalt, og fortæller om principperne. I en anden bog, *Waterscapes* (Dreiseitl, 2001) gennemgås flere konkrete projekter med komplekse afledningssystemer. Fotos, diagrammer, planer og arealstørrelser vises for hvert eksempel, men der henvises ikke til beregninger af de komplekse systemer til afledning af regnvand. Bøgerne diskuterer kun betydningen for afløbssystemet og grundvandet på overordnet niveau. Det er hensigten at forbedre forholdene for miljøet, men ingen konkrete beregninger anviser betydningen af lokal afledning af regnvand. Tilsvarende gælder for et meget ambitiøst projekt med lokal afledning af regnvand i bydelen Augustenborg, Malmö (Stahre, 2002).

I et forskningsprojekt om "Byøkologiske muligheder og samfundsmæssige perspektiver i planlægning og forvaltning af friarealer" har man i en delrapport foretaget studier af Ballerup Kommune (Dahl et al., 1997). Man illustrerer og kvantificerer betydningen af den bymæssige bebyggelse og grundvandsindvindingen på det hydrologiske kredsløb under naturlige forhold ved at beregne en vandbalance for Ballerup Kommune før og efter urbanisering (se Tabel 2.1).

Ballerups samlede areal er 34,1 km², det befæstede areal er 8,46 km² svarende til 25%. Nedbøren angives som en middelværdi (766 mm/år). Fordampningen baseres på viden om potentiel fordampning for ubefæstede arealer (567 mm). Overfladeafstrømningen reduceres til 75% af den potentielle fordampning på ubefæstede og 4% af den potentielle fordampning på befæstede arealer. De 4% fås ved at bruge befugtningstab i nedbørsmålere som størrelsesorden for fordampningen fra befæstede arealer. Den overfladiske afstrømning på ubefæstede arealer sættes til 1%, og for befæstede arealer reduceres årsnedbøren med 50 mm. Drænvandsafstrømning i Ballerup er ikke kendt, men fra Susåens opland, der antages at ligne Ballerup, ved man at dræn opfanger 120 mm af årsnedbøren. Dette tal bruges. Den samlede vandindvinding angives til 3,9 mio. m³, der fordelt på Ballerups areal omregnes til 115 mm nedbør. Tabel 2.1 viser, at urbaniseringen generelt fører til en mindskning af fordampningen (fra 425 til 332 mm), en forøgelse af den overfladiske afstrømning (fra 8 til 183 mm), og en mindskning af drænafstrømningen (fra 94 til 63 mm). Alt i alt fører dette til, at nedsivningen fra rodzonen mindskes med 51 mm (fra 239 til 188 mm). Grundvandsafstrømningen falder desuden voldsomt (fra 239 til 73 mm), hvilket især skyldes den mindre nedsivning samt vandindvindingen. Vandløbsafstrømningen bevares samlet set, men der sker et skift fra langsom afstrømning fra grundvandsmagasiner til hurtigere afstrømning fra befæstede overflader.

Tabel 2.1. Årlig vandbalance for Ballerup kommune uden og med bymæssig bebyggelse (Der ses bort fra magasinering fra år til år). Uddrag af tabel fra Dahl et al. (1997).

		Før urbanisering		Efter urbanisering	
		Mm	%	mm	%
Nedbør	N	766	100	766	100
Aktuel fordampning (befæstet)	E_{bef}			13	1
Aktuel fordampning (Ubefæstet)	E_{ubef}	425	56	319	42
Overfladisk afstrømning (befæstet)	A_{bef}			177	23
Overfladisk afstrømning (ubefæstet)	A_{ubef}	8	1	6	1
Drænafstrømning	D	94	12	63	8
Nedsivning fra rodzonen	G	239	31	188	25
Grundvandsafstr. sekundært magasin*	Q_s	164	21	73	10
Vandindvinding	P			115	15
Grundvandsafstr. primært magasin*	Q_p	75	10		
Vandløbsafstrømning ($A_{bef} + A_{ubef} + D + Q_s + Q_p$)		341	45	319	42

*Fordelingen mellem grundvandsafstrømning fra sekundært og primært magasin kendes ikke præcist

Spørgsmålet er derefter, om man kan genskabe afstrømningsforholdene i Ballerup fra før urbaniseringen ved at aflede regnvand lokalt med den nuværende urbanisering? Rapporten beregner, at lokal afledning af regnvand fra 29% af det befæstede areal i Ballerup kan kompensere for de 51 mm, som byudviklingen har reduceres nedsivning fra rodzonen med. Skal man også kompensere for grundvandsindvinding, skal regnvandet afledes lokalt fra de samlede befæstede areal. På den måde sandsynliggøres, at man kan genskabe afstrømningsforholdene i Ballerup fra før urbanisering.

I Danmark er lokal afledning af regnvand og almindelige forsinkelsesbassiner sammenlignet ved flere lejligheder (Anthonisen et al, 1992; Hovgaard et al., 1992) - senest med udgangspunkt i fire parametre: Det årlige overløbsvolumen, det årlige antal overløb, ekstreme udledninger og total forureningsudledning fra afløbssystemer og renseanlæg (Jacobsen & Mikkelsen, 1996; Mikkelsen et al., 1996).

Det viser sig, at forsinkelsesbassiner generelt er gode til at reducere det årlige overløbsvolumen og antallet af overløb, men at de kun påvirker de ekstreme udledninger marginalt og faktisk forøger forureningsudledningen fra overløbsbygværker og renseanlæg samlet set. Det sidste er en konsekvens af, at bassiner øger længden af perioderne med forhøjet tilstrømning til renseanlæg pga. regn, og at renseanlæggene i denne periode udleder spildevand med samme eller højere stofkoncentrationer som i tørvejr (Durchschlag et al., 1992). Samlet set overstiger den forøgede stofudledning fra renseanlægget den reduktion, man opnår opstrøms pga. af forsinkelsesbassiner, med mindre man kombinerer bassiner med andre tiltag som f.eks. en udvidelse af efterklaringstanken eller etablering af styring.

Omvendt er total afkobling af befæstede overflader fra afløbssystemet en effektiv måde at reducere det årlige overløbsvolumen, ekstreme udledninger fra overløbsbygværker og den samlede forureningsudledning fra overløb og renseanlæg, mens effekten på antallet af overløb er marginal (Mikkelsen et al., 1996). Det er desuden klart, at etablering af lokal afledning af regnvand, hvor der åbnes mulighed for "internt overløb" til kloaksystemet når f.eks. faskiner overbelastes, har effekt som en mellemtung mellem forsinkelsesbassiner og afkobling af befæstede overflader (Petersen et al., 1994), men det har ikke været forsøgt at simulere denne effekt detaljeret.

Gennem de senere år er der i udlandet gennemført flere projekter med detaljeret kortlægning af byoverflader med GIS-systemer med henblik på at identificere egnede lokaliteter til nedsivning af regnvand (Sieker & Klein, 1998; Makropoulos et al., 2001; Ahlman & Svensson, 2002). Tilsvarende er der udviklet modelværktøjer, som gør det muligt at simulere, hvordan selv komplicerede LAR-systemer med mange indbyrdes forbundne komponenter som trug, faskiner og bassiner fungerer gennem længere perioder med regn (Sieker, 2000, 2001; IfS, 1999). Ingen af delene har imidlertid endnu været anvendt i kombination med grundvandsmodeller. De overordnede målsætninger med lokal afledning af regnvand – at det skal reducere overløb fra afløbssystemet og forbedre grundvandsdannelsen - figurerer som begrundelser for næsten alle beskrevne LAR-projekter i Danmark og udlandet, men det har kun sporadisk været forsøgt at kombinere beregningsmodeller for grundvand og lokal afledning af regnvand, så det bliver muligt at vurdere betydningen af LAR-systemer for den samlede vandbalance for en bydel som helhed.

3 Værktøjer og datagrundlag

Som grundlag for arbejdet er der indsamlet data fra en række forskellige kilder; herunder ved at udføre forsøg i marken. De indsamlede data har skullet belyse bebyggelsen, jordbundsforholdene og grundvandsforholdene samt områdets afløbssystem. Samtidig har data skullet fungere som inddata til de edb-modeller, der er blevet opstillet, til simulering af vandstrømningen i området.

3.1 Software til simulering af vandstrømning

Vandstrømningen i projektområdet og hele Tingbjerg er blevet analyseret ved at koble tre modelværktøjer MIKE SHE, MOUSE og STORM.

3.1.1 MIKE SHE

Til modellering af infiltrationen og grundvandsforholdene i det udvalgte projektområde på Tingbjerg, kaldet Gavlhushården, er anvendt programmet MIKE SHE, der er et deterministisk og fysisk baseret fuldt distribueret modelsystem, som beskriver de væsentligste strømningsprocesser i landfasen af det hydrologiske kredsløb. Programmet anvender Finite Difference beregningsmetoden (FDM). Modelsystemet består af en række moduler, der hver især udgør en hydrologisk proces, men som alle er koblete, (DHI, 1999).

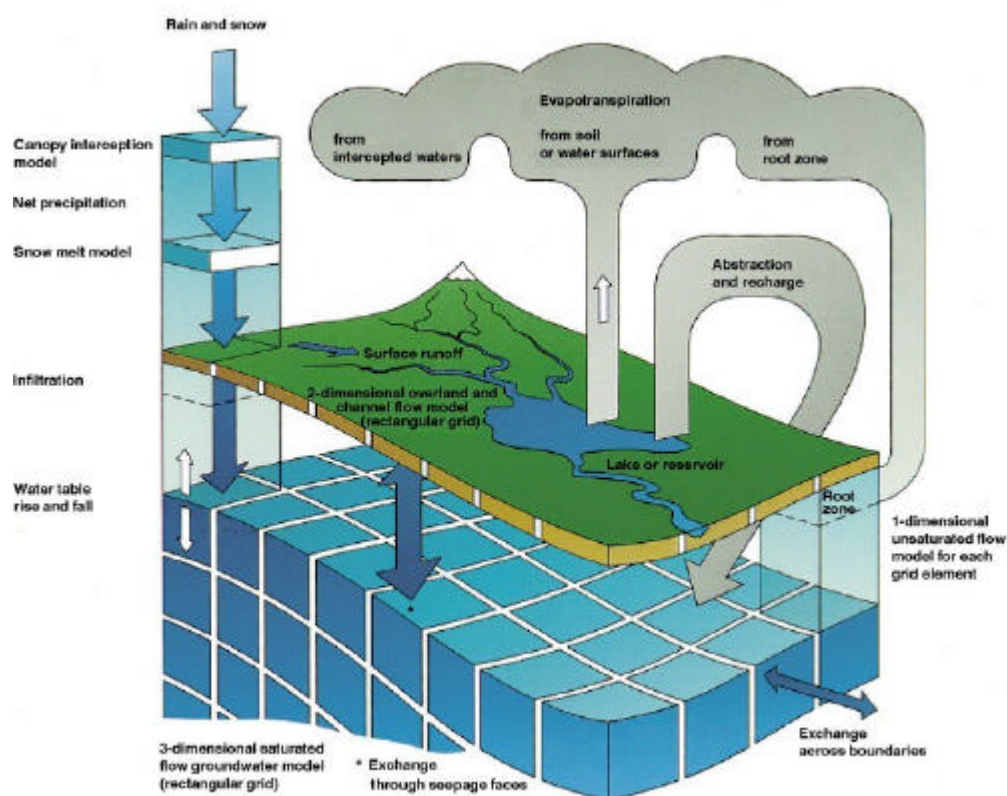


Fig. 3.1 Oversigt over MIKE SHE modelsystemet (Kilde: DHI, 1999).

Ved opstillingen af modelsystemet for Tingbjerg er anvendt følgende moduler fra MIKE SHE vers. 2000:

- ET, beregner fordampningen ud fra oplysningen om potentiel fordampning og vegetation
- UZ, beregner strømmingen i den umættede grundvandszone
- SZ, beregner strømmingen i den mættede zone.

3.1.2 MOUSE

Til modelleringen af afløbssystemets funktion på Tingbjerg er programmet MOUSE anvendt. MOUSE er i lighed med MIKE SHE et deterministisk og fysisk baseret og distribueret modelsystem, der benytter Finite Difference beregningsmetoden (DHI, 1999). MOUSE beskriver afstrømningen fra befæstede overflader ved hjælp af en simpel lineær model, og vandstrømningerne i afløbsrørene beskrives på baggrund af St. Venants ligninger (dynamisk bølge teori). Det sidste er nødvendigt på Tingbjerg, da overløb under regn kun forekommer efter opstuvning af regn i kloaksystemet (se afsnit 4.4).

MOUSE er på baggrund af en beskrivelse af afløbssystemet og input fra registrerede nedbørshændelser i stand til at beregne en række parametre for alle definerede knudepunkter i afløbssystemet. Resultaterne kan præsenteres statistisk vha. programmets indbyggede funktioner. Det gælder fx. variationer i vandstande og flow, pumpede vandmængder og antallet af nødoverløb fra kloakken. Der er anvendt et langtidssimuleringsmodul (LTS), som gør det muligt at gennemføre beregninger for lange tidsserier af flere års længde.

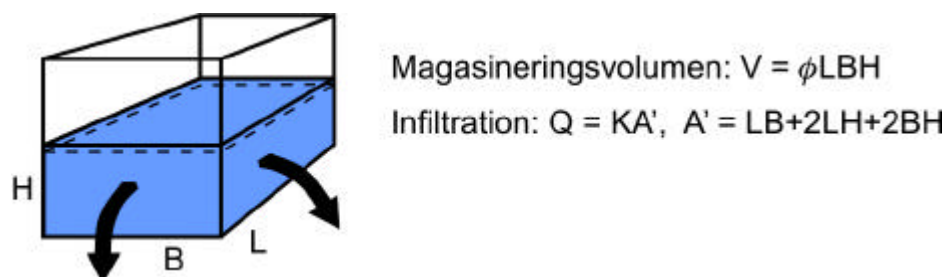
3.1.3 STORM

Til modellering af systemer til lokal afledning af regnvand er programmet STORM 2000 benyttet. STORM er som MIKE SHE og MOUSE et deterministisk og fysisk baseret simuleringsprogram, men hvor de to andre programmer er fysisk distribuerede, er STORM en konceptuel hydrologisk model, som beregner massebalancer for de forskellige komponenter på grundlag af forenklinger af de hydrologiske delprocesser: Fordampning, afstrømning, infiltration og opmagasinerings. STORM kan som MOUSE-LTS benyttes til at gennemføre beregninger for lange tidsserier af flere års længde på baggrund af en målt tidsserie af nedbør.

I princippet minder STORM om simuleringsprogrammet SAMBA, der benyttes meget i Danmark i forbindelse med beregninger for afløbssystemer bestående af afstrømningsoplande, rørstrækninger, bassiner og overløbsbygværker. Den væsentligste forskel er, at STORM udover de nævnte basisfunktioner kan håndtere komponenter på en væsentligt mindre fysisk skala og indeholder en række standardkomponenter til lokal afledning af regnvand, som kan benyttes ved simuleringerne. I projektet er benyttet standardkomponenter for afstrømningsoverflader, infiltrationstrug (bevoksede fordybninger i terræn, som f.eks. infiltrationsrender og -damme), faskiner og et specielt LAR element kaldet et trug-faskine system, der specielt benyttes meget i Tyskland.

Desuden indeholder programmet en brugerflade, der gør det let at eksportere data, der skal benyttes som input til andre programmer, i dette tilfælde tidsserier for infiltration fra LAR-systemerne, som skal benyttes som input til MIKE SHE modellen. Infiltrationen beregnes i STORM på en forenklet

måde afhængigt af jordens infiltrationskapacitet (for trug) eller hydrauliske ledningsevne (for faskiner) og det beskyllende overfladeareal, som afhænger af LAR-komponentens geometri og den aktuelle vanddybde. Beregningen er i projektet tilpasset, så den svarer til den måde, infiltration beregnes på i Spildevandskomiteens skrift nr. 25 om dimensionering af anlæg til lokal afledning af regnvand. Et eksempel på beregning af infiltrationen fra en faskine med den aktuelle vanddybde h er vist på figur 3.1.



Figur 3.1 Magasineringsvolumen og infiltration fra en faskine med længden L , bredden B og vanddybden H , og som er fyldt med stenmateriale med porøsitet ϕ og omgivet af jord med den hydrauliske ledningsevne K .

STORM udvikles af et mindre tysk ingeniørfirma, der har specialiseret sig i planlægningsopgaver med anvendelse af lokal afledning af regnvand. Der er altså ikke tale om et internationalt anerkendt og velafprøvet produkt som MIKE SHE og MOUSE modellerne. En test-version af programmet med engelsk brugerflade blev velvilligt stillet til rådighed for projektet, ligesom firmaet var behjælpelig med konvertering af regndata til det rette format. En stor del af indsatsen i dette projekt har gået med i samarbejde med firmaet at tilpasse programmet til projektets behov.

3.2 Data om geologi og grundvand

3.2.1 Baggrundsdata fra GeoGIS

Ved vurderingen af de geologiske og hydrogeologiske forhold ved Tingbjerg er anvendt data fra en GeoGIS database med oplysninger om et stort antal boringer i området (RAMBØLL, 2002a), data fra en digital, tredimensional geologisk model for Københavnsområdet samt flere grundvandsmodeller for området (RAMBØLL, 2002b).

3.2.2 Borearbejde, pejlinger af grundvandsstanden og infiltrationsforsøg

Til vurdering af jordlagene og grundvandsniveauet på Tingbjerg og i det udvalgte projektområde, Gavlhusgården, er der i perioden 20. til 29. marts 2000 blevet udført en række boringer ved 3 lokaliteter i gården og 2 lokaliteter uden for gården. Boringerne i Gavlhusgården blev i begyndelsen af september 2000 suppleret med tre korte boringer filtersat i bunden af fyldlaget. Placeringen af boringerne fremgår af flere figurer i kapitel 4, figur 4.4, 4.5 og 4.9. Filtersætningen af de tre boringer i Gavlhusgården er desuden illustreret på figur 4.5.

Vandstanden i de udførte borer er blevet pejlet ca. hver anden uge fra boringernes etablering til begyndelsen af august 2001. Umiddelbart nord for Tingbjergbebyggelsen blev der fundet en boring, hvis oprindelse ikke kendes, med et 5 m dybt pejlerør. Denne boring er også blevet pejlet. Placeringen af boringen, der er døbt 'Ukendt', fremgår af figur 4.9. Pejleresultaterne er vist på figur 4.6 – 4.8.

For at opnå et skøn over vandføringsevnen i de øvre jordlag i Gavlhusgården blev der udført et simpelt infiltrationsforsøg i pejlerørene på lokalitet 3. Resultaterne indikerede, at den horisontale vandføringsevne i fyldlagene kunne beskrives ved en hydraulisk ledningsevne, K , på 1 til $2 \cdot 10^{-5}$ m/s (0,1-0,2 μ m/s) og den underliggende moræner ved en ca. 200 gange lavere vandføringsevne. Til sammenligning kan det nævnes, at flere eksprimenter med infiltration fra faskiner i dansk byjord peger på en effektiv hydraulisk ledningsevne i intervallet 0,1-10 μ m/s (Mikkelsen et al., 1998).

Arbejderne og resultaterne er beskrevet mere detaljeret i bilag A.

3.3 Oplysninger om afløbssystemet

Som grundlag for opbygningen af den første rå beskrivelse af afløbssystemet på Tingbjerg er fra Københavns Energi indhentet kortplaner, der viser hovedledningernes forløb i Tingbjerg, og GIS-data om ledningsdiametre, ledningsfald, brøndkoter og –koordinater. Endvidere er projekttegninger af overløbsbygværket ved Fæstningskanalen benyttet til at fastlægge detaljer såsom overløbskote og kantlængde. Endelig har Gladsaxe Kommune bidraget med oplysninger om de ledninger, der forløber i Tingbjergs nordvestlige hjørne.

Til opdeling af området i 5 kategorier - græs, bede, tage, fortov og vej - til brug for afstrømningsvurderingerne er indhentet flyfotos fra Københavns Energis samling, og Stadskonduktørens grundlæggende matrikelkort er studeret.

Fra Byggeri- og Boligforvaltningen er modtaget en række sagsmapper, som for hver byggesag i området redegør for dimensioneringen og placeringen af nedløbsrør, afløbsinstallationer, stikledninger og dræn. Oplysninger om de offentlige ledninger i området er fra Københavns Kommunes GIS-system, mens data om private ledninger herunder dræn stammer fra Byggeri- og Boligforvaltningen.

Til analyse af overløbssituationer er der indhentet data fra Københavns Energi's Styrings-, Regulerings- og Overvågningssystem (SRO-system), der opsamler data omkring pumpeydeler, flow og vandspejlskoter for en lang række bygværker. Oplysninger om overløbshændelser ved Fæstningskanalen stammer fra Gladsaxe Kommunes SRO-system.

3.4 Nedbørsdata

Som grundlag for beregninger med de forskellige programmer faldt valget på historiske regnserier fra Spildevandskomitéens landsdækkende system af elektroniske regnmålere, der serviceres af Danmarks Meteorologiske Institut (SVK, 1980; Nielsen, 2002). Disse data udmærker sig ved at have en høj tidsmæssig opløsning (1 minut), som er nødvendig i forbindelse med

simuleringen af LAR-anlæg og afløbssystemet, og ved at kunne hentes gratis fra Internettet (SVK, 1999).

De nærmeste regnmålere fra dette net er placeret i Søborg og Gladsaxe. Til kalibreringskørslerne med MIKE SHE er derfor benyttet regndata fra Søborg (station 30222) for at sikre overensstemmelse mellem regndata og registrerede vandspejlsvariationer.

For at få en regnmåler til modelsimuleringerne med flest mulige registrerede nedbørshændelser over en lang årrække faldt arbejdsgruppens valg imidlertid på regnmåleren fra Virum, station 30221. Virum regnserien udmærker sig ved at have en lang registreringsperiode (1979-96) og en relativ beskeden udfaldstid (224 dage). De tilgængelige data har en korrigeret observationsperiode på 17,39 år. Fra stationen måles i gennemsnit en årsmiddelnedbør på 628 mm, hvilket er lidt mindre end de 640 mm, der iflg. DMI's kort over årsmiddel falder på lokaliteten. Forskellen skyldes, at målerne fra dette net er såkaldte "vippekar målere", der måler meget nøjagtigt ved høje regnintensiteter men til gengæld registrerer for lidt nedbør ved meget små intensiteter.

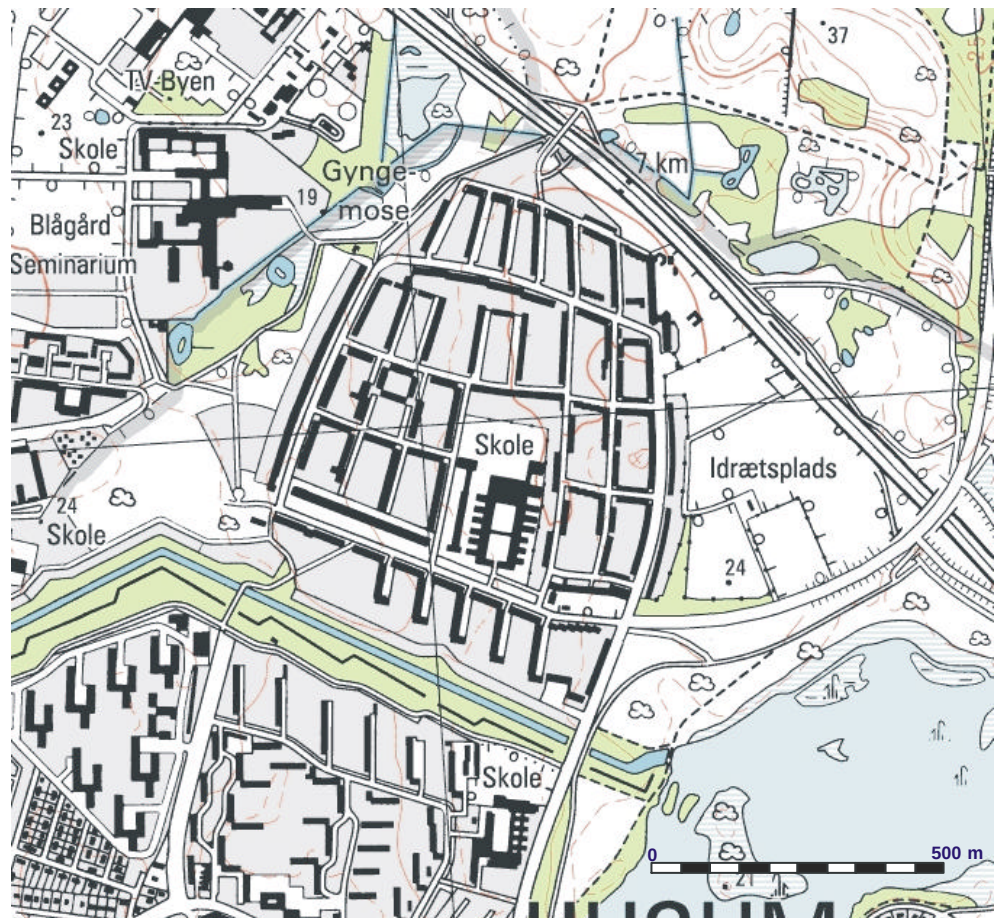
Til MIKE SHE og STORM simuleringerne er kun anvendt regndata fra 1995, hvor årsnedbøren er 676 mm. Regnserien, som er anvendt ved MOUSE-beregningerne, indeholder 715 regn over 4 mm i perioden 1/1-1980 til 1/1-1997.

4 Tingbjerg som case-område

4.1 Områdets beliggenhed og historie

Tingbjerg ligger ca. 8 km nordvest for Københavns centrum. Bebyggelsen er opført i flere etaper i perioden fra 1955 til 1971 med De Samvirkende Boligselskaber A/S og Foreningen Socialt Boligbyggeri som bygherrer. Steen Eiler Rasmussen var arkitekt og beskrives som den udfarende kraft i udformningen, som startede allerede i 1943. Ingeniører var A/S Dominia's ingeniøraftdelinger og landskabsarkitekt var C. Th. Sørensen.

Første etape udgjorde den østlige del omkring Bygårdsstræde og Tårnhusstræde og foregik fra 1955-58. 2. etape, der bl.a. udgjorde bebyggelsen på begge sider af Gavlhusvej, blev bygget fra 1964-71. Vejnavne for bebyggelsens større veje fremgår af figur 4.9.



Figur 4.1 Tingbjergs beliggenhed på en morænebakke mellem Utterslev Mose i øst og Gynge-mosen i vest. Lige nord for bebyggelsen ligger Hillerødmotorvejen og mod syd Fæstningskanalen. (Uddrag af kort 1:25000, forstørret, Kort og Matrikelstyrelsen).

4.2 Bebyggelsens karakter

Tingbjerg er en såkaldt åben karrébebyggelse. Sys Hartmann og Villads Villadsen skriver i *Danmarks Arkitektur, Byens huse byens plan*: "Princippet bag byggeriet, der er opført i 1958, er også her kontrasten mellem åbent parkland og det urbaniserede boligområde med torv og smalle bystræder" (Hartmann og Villadsen 1979).



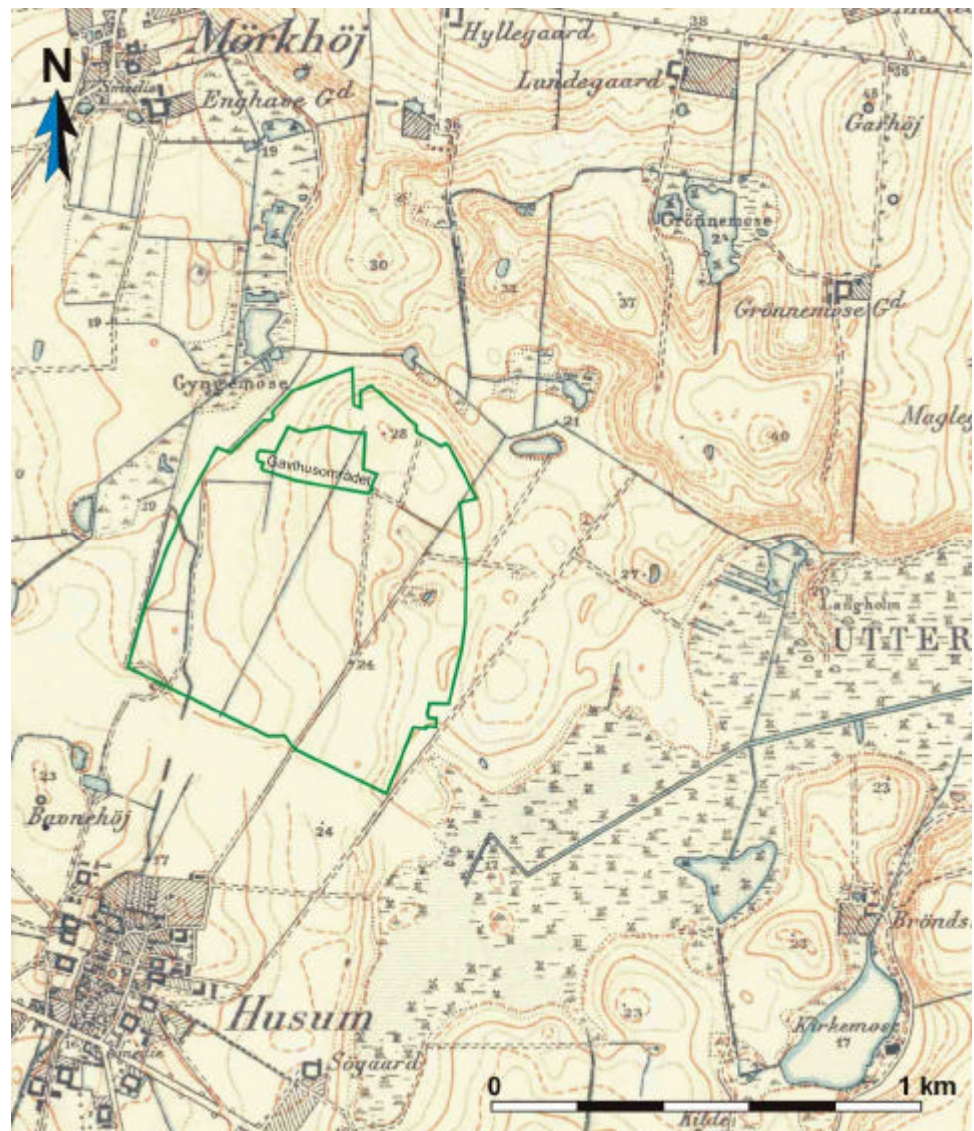
Figur 4.2 Tingbjerg er en åben karrébebyggelse med huse langs let buede gader. Beplantede skråninger er med til at give gaderne den bymæssige karakter, og de grønne græsplæner er ofte hævet over gadeniveau. (Luftfoto ca. 1991-93, Københavns Energi)

Bygningerne er efter gammel dansk tradition lagt som langhuse langs gaderne og de beplantede ophold i gadevæggen bidrager til at understrege bykarakteren, samtidig med at det grønne element er inkorporeret. Boligblokkene er placeret langs vejene, dog således at der altid er åbent på den anden side af vejen. Vejene danner et net bestående af let buede veje. De åbne karréer er ramme om gårde, der er udformet som grønne friarealer med legepladser, græs, træer og buske. Der er kun i de yngste etaper direkte adgang fra stuelejlighederne til en lille have. De andre beboere har kun adgang fra opgangen på adgangssiden eller fra en kælderudgang.

Landskabets topografi før Tingbjerg blev bygget er i grove træk fastholdt, men der er sket en kraftig modellering af terrænet i den enkelte gård i form af ensartede let skrånende flader og skråninger og terrænmure. Der er som regel mindst to niveauer i hver gård, hvor det ene niveau svarer til husets kælder. Den markante formgivning af terrænet har uden tvivl medført et omfattende jordarbejde, der har betydet, at jorden overalt i bebyggelsen har været omlejret. C. Th. Sørensen skriver selv i sin bog: "Haver - tanker og arbejder", at træartsvalget blev ændret til poppel fra spidsløn, fordi "dette træ ikke kunne trives i den af maskiner mishandlede jord" (Sørensen, 1975).

4.3 Vådområder og grundvandsforhold

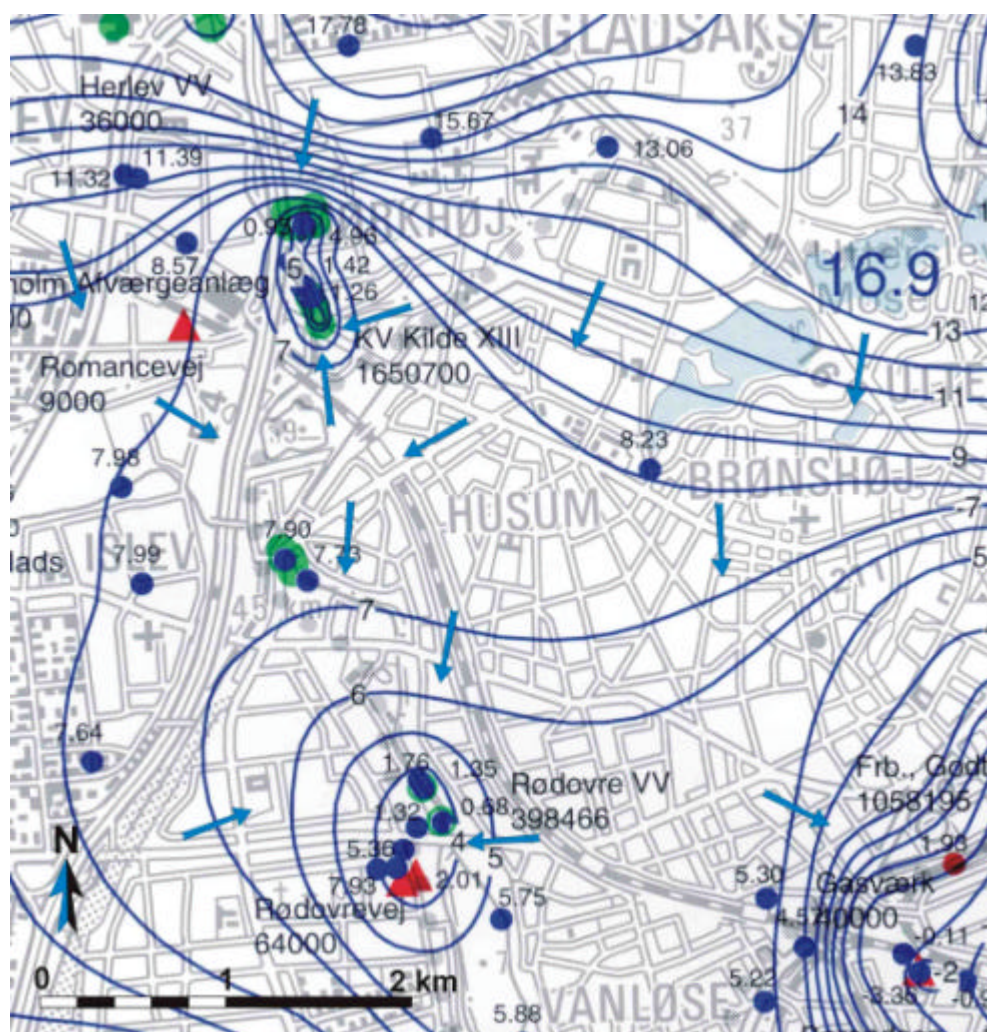
Tingbjerg ligger på en morænelersbakke, der fra det højeste punkt i den østlige ende af Gavlhusvej i kote ca. 27 skråner ned til Gynge-mosen i vest og nord, til Utterslev Mose i sydøst og Fæstningskanalen i syd. Vandspejlet i Gynge-mosen ligger i kote ca. 19 og i Utterslev mose i kote ca. 16,5.



Figur 4.3 Området hvor Tingbjerg blev bygget. Bakken med kote 28 sydøst for Gynge-mosen er Tingbjergs højeste punkt ved Gavlhusvej. (Kort 1:25000, forstørret, 1901. Generalstabens kort over Danmark).

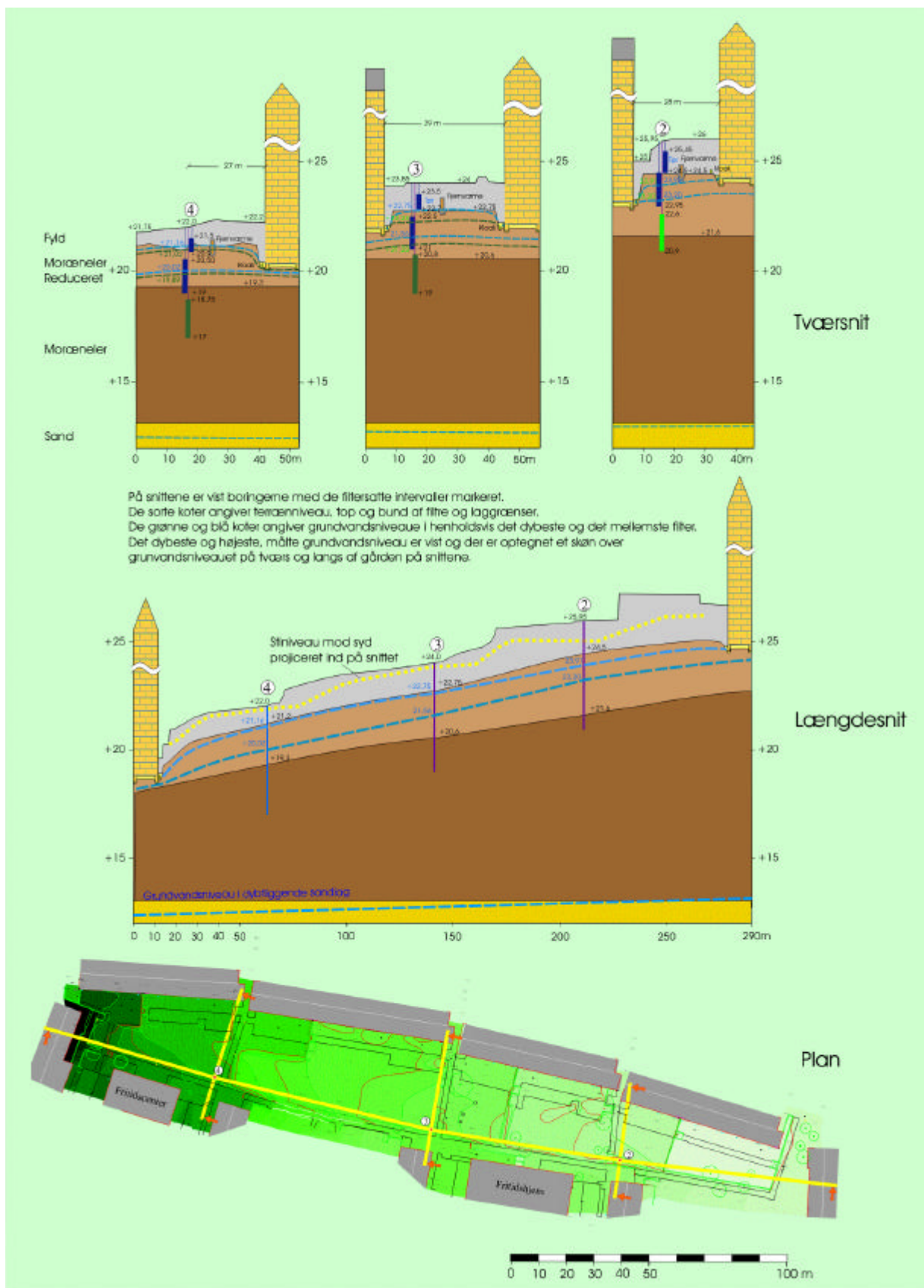
Fæstningskanalen og Urterslev Mose er en del af Vestvoldens forsvarssystem, hvor man af hensyn til at kunne oversvømme landområder har skabt forbindelse mellem de forskellige vandløbs oplandsområder. Gyngemosen afvander gennem Harrestrup Å til Køge bugt, mens Fæstningskanalen og Urterslev Mose afvander gennem Søborghusrenden, Emdrup Sø og De Indre Søer til Kastelsgraven. Afvandingsforholdene er således ændret væsentligt i forbindelse med urbaniseringen af området, hvilket til dels fremgår ved en sammenligning af figur 4.1 og 4.3.

De nævnte vandområder har alle en "generel målsætning", hvilket betyder at der tilstræbes et alsidigt dyre- og planteliv i disse. For at opnå den generelle målsætning har beregninger vist, at påvirkningen af vandområderne med opblandet spildevand (overløb fra afløbssystemet) skal reduceres betragteligt samtidig med, at en sørestaurering skal iværksættes. Tingbjergområdet tænkes i denne forbindelse at skulle reducere overløbene betragteligt.

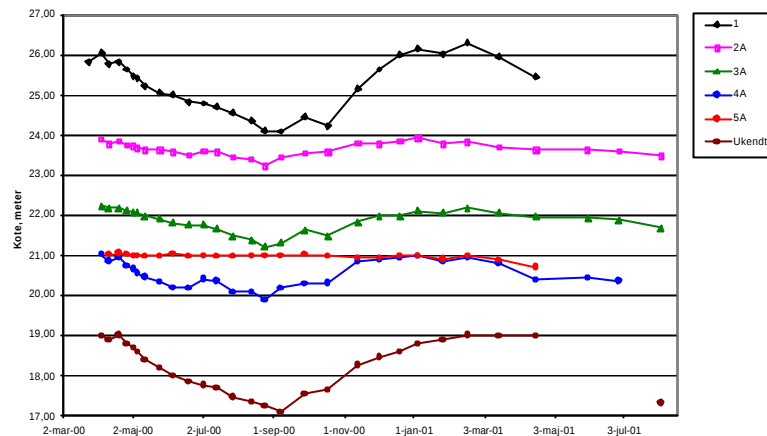


Figur 4.4 Grundvandspotentialet i kalken og sand – og gruslag er aflejet direkte på kalken. Grundvandet under Tingbjerg, der ligger lige øst for KV Kilde XIII har en sydvestgående bevægelse fra kote 13 til kote 11. (Rambøll, 1999)

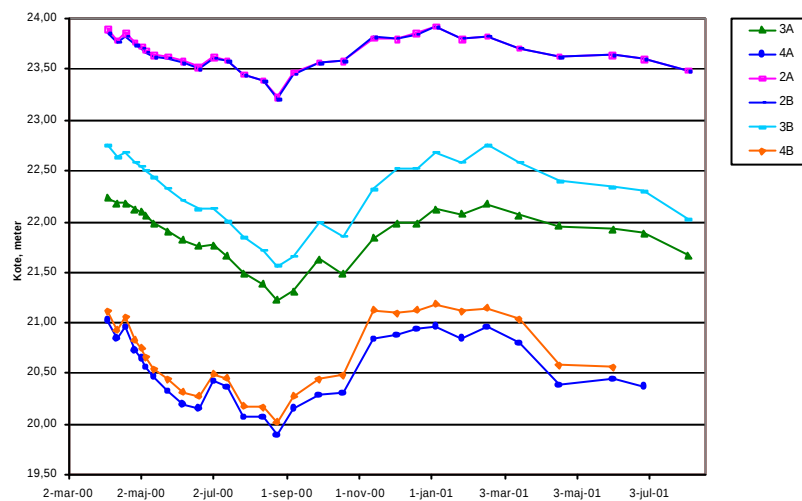
Vandindvindingen i Københavnsområdet sker helt overvejende fra et regionalt grundvandsmagasin i kalken og sand- og gruslag aflejet direkte oven på kalken. Under Tingbjerg vurderes dette magasin at træffes under 15 til 25 m moræneler, jf. figur 4.5.



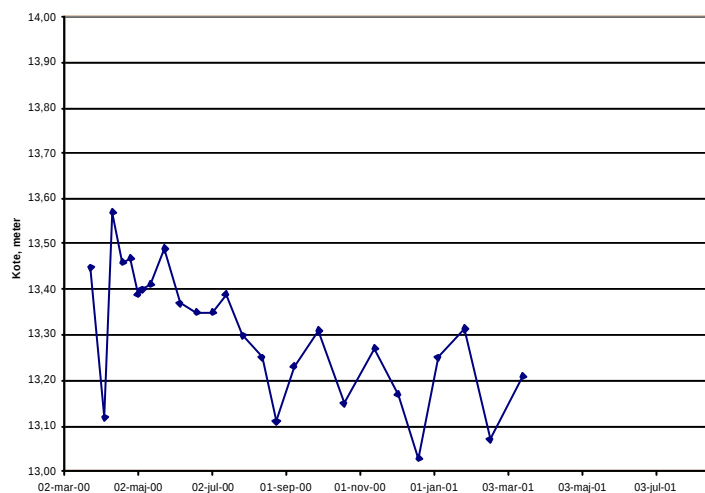
Figur 4.5 Jordlag og grundvandsniveauer i Gavlhushusgården. Øverst er vist et længdesnit gennem gården og midterst ses tre tværsnit. Placeringen af snittene er vist på den nederste plan over gården. Det bemærkes, at snittene alle passerer gennem en eller flere boreringslokaliteter. Som det fremgår af de tre øverste tværsnit er det øverste grundvandspejl i gården meget styret af afstrømningen i bunden af fyldlaget til dræn langs husene. Grundvandet i lerlaget under gården vurderes at strømme lodret ned til et dybtliggende sandlag. Niveauet for det øverste vandspejl svinger omkring en meter hen over året.



Figur 4.6 Vandspejlsvariationer for alle boringslokaliteter, hvis placering fremgår af figur 4.9.



Figur 4.7 Målte vandspejlsvariationer i boringer i Gavlhusgården.



Figur 4.8 Grundvandsniveauet i det dybtliggende sandlag under Tingbjerg, målt i det dybe filter i boring 1.

Grundvandet i det regionale magasin vurderes at strømme mod sydvest – mod Københavns Energis kildeplads KV XIII og Rødovre Vandværks kildeplads, der ligger 2 til 5 km sydvest og vest for området og tilsammen indvinder ca. 2 mio. m³ vand om året. Grundvandspotentialer i magasinet ligger som allerede nævnt i kote 11 til 13 ved Tingbjerg, hvilket er dybt under terræn og betyder, at nedsivningen til magasinet gennem moræneleren stort set sker som gravitationsstrømning. Ud fra overordnede betragtninger skønnes grundvandsdannelsen ved Tingbjerg til 100 til 300 mm pr. år. En del af Tingbjerg er i Københavns Kommunes planlægning udpeget til potentielt vandindvindingsområde

Figur 4.6 viser vandspejlsvariationer for alle boringslokaliteter, hvis placering fremgår af figur 4.9. Vandspejlet er generelt målt i borer, der er ca. 5 m dybe. Det bemærkes, at vandspejlet i borerne 2A, 3A og 4A inde i Gavlhusgården kun svinger ca. 1 meter hen over året, hvorimod vandspejlet i borerne 'ukendt' og 1, der ikke ligger i en gård, svinger ca. 2 m, da deres udsving ikke er dæmpet af dræn. I boring 5A, der ligger i en gård i den sydøstlige del af Tingbjerg, er udsvingene totalt dæmpet.

Figur 4.7 viser de målte vandspejlsvariationer i borer i Gavlhusgården. I borerne betegnet A måles grundvandsniveauet i større dybde end i borerne betegnet B, og da grundvandstrykket altså generelt falder med dybden, kan det konkluderes, at der er en nedadrettet grundvandsstrømning.

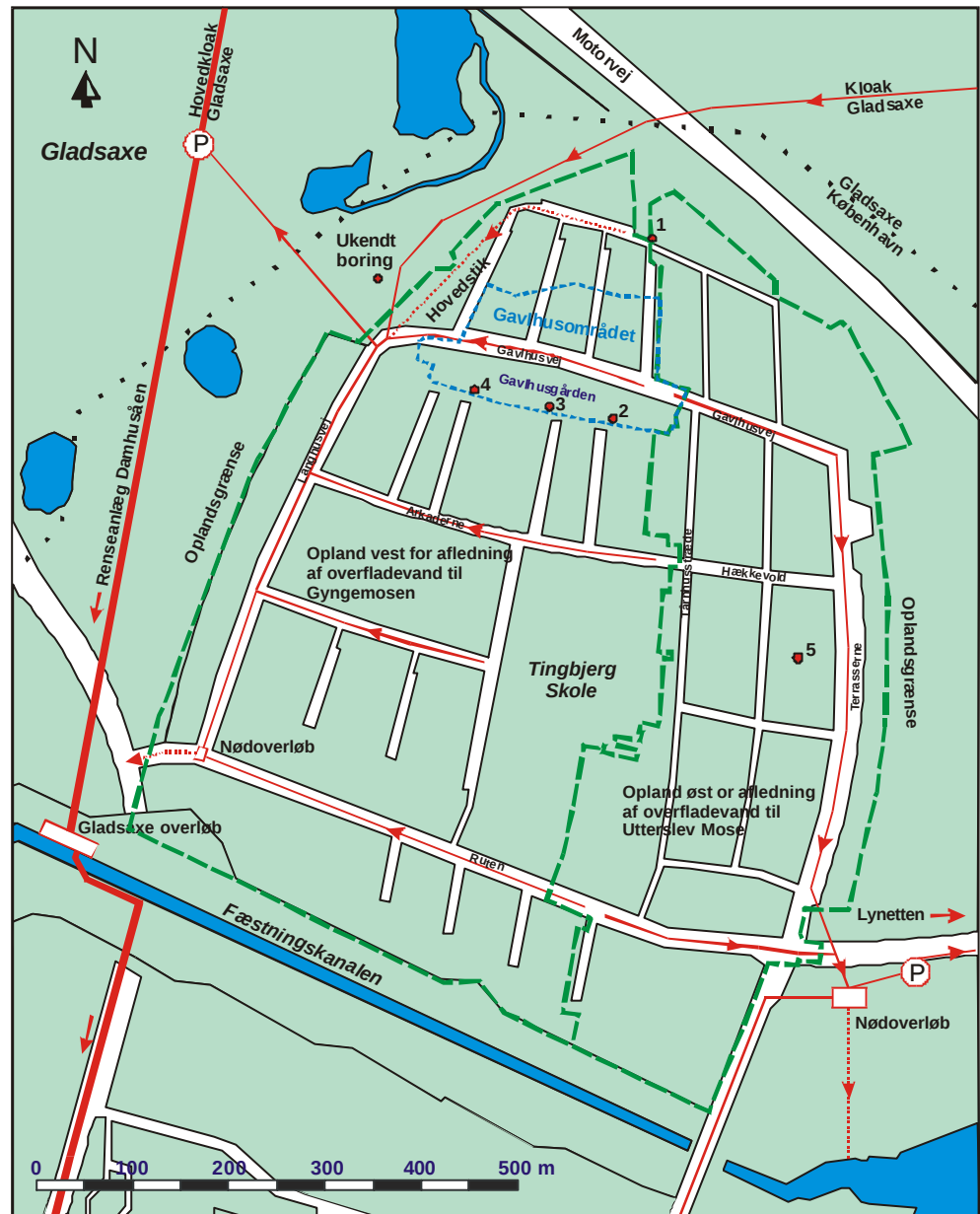
I det dybe filter i boring 1 måles grundvandsniveauet i et dybtliggende sandlag under Tingbjerg, se figur 4.8. Som det fremgår af kurven er vandspejlsvariationerne meget små, og der ses ikke årstidsvariationer. Grundvandsniveauet i magasinet er formentlig i højere grad styret af ændringer af vandindvindingen i området end af årstidsvariationerne i infiltrationen af nedbør.

4.4 Afløbssystemet på Tingbjerg

Afløbssystemet på Tingbjerg er et fællessystem, der kan opdeles i et vestligt og østligt system. Regn- og spildevand fra den østlige del samles i en ledning under Terrasserne, hvorfra det ledes mod Ruten og pumpes videre via det overordnede kloaksystem. Vandet ledes herfra til rensning på Lynetten Renseanlæg. Ved nordvesthjørnet af Utterslev Mose ved Ruten findes en pumpestation og et overløbsbygværk. Når pumpen og/eller det nedstrøms beliggende afløbssystem ikke kan følge med under kraftig regn, sker der aflastninger fra bygværket til mosen.

Regn- og spildevand fra den vestlige del samles i en ledning under Langhusvej med fald mod nord. Derfra ledes vandet til Gladsaxe Kommunes hovedkloak, hvorfra det føres sydpå til rensning på Damhusåens Renseanlæg. I tilfælde af kraftig regn stuver vandet op i ledningsnettet og aflaster til en bassinledning med overløb til Fæstningskanalen via et nødoverløb i oplandets sydvestlige hjørne.

Københavns Kommune har registreret overløb til Utterslev Mose fra bygværket ved Ruten siden 1995. Ved Ruten lå de gamle ø300-ledninger med 3,3-3,5 % fald. Efter reovering med "pipecracking" i 1999 er ledningerne ændret til ø450 med ca. 4,9 % fald, og pumpekapaciteten er øget fra 30 l/s til 60 l/s.

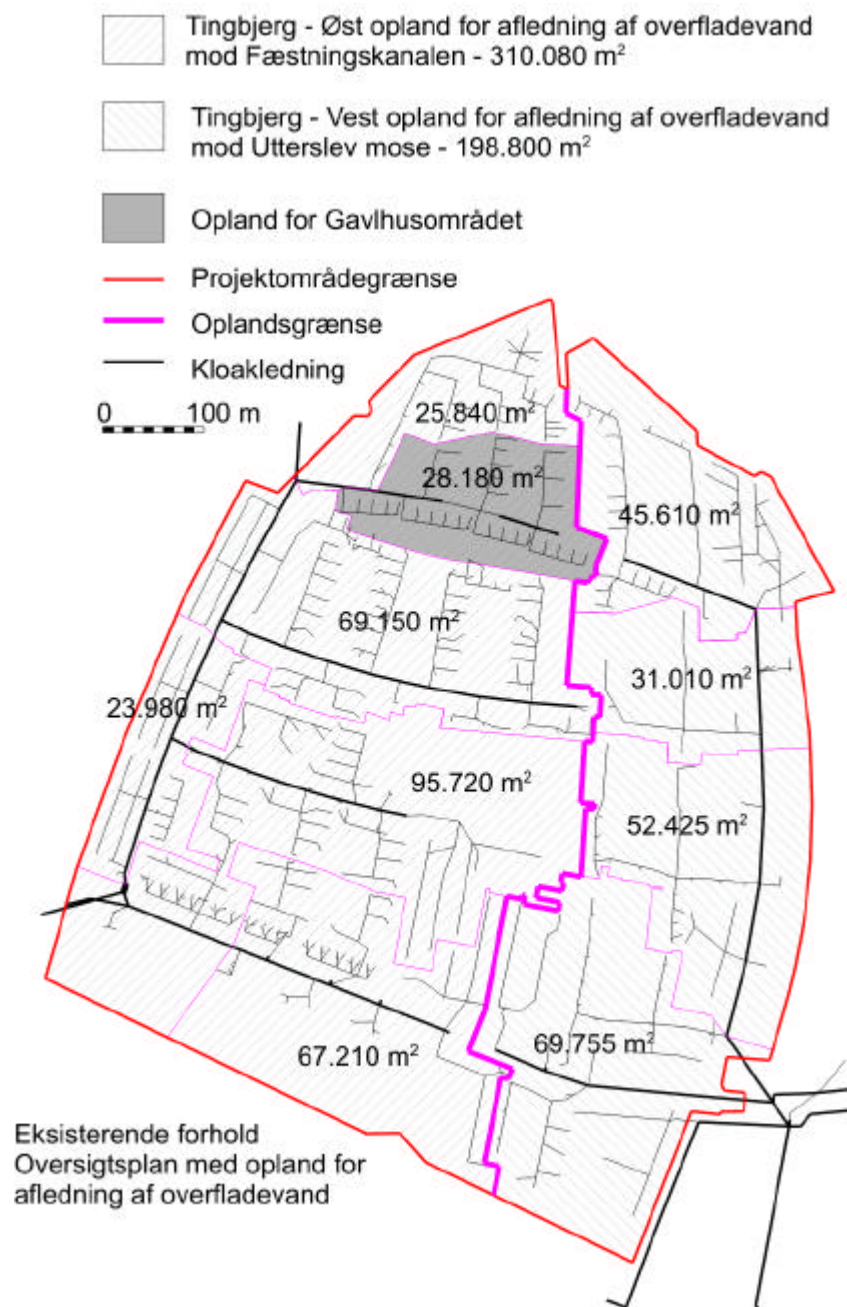


Figur 4.9 Principskitse for afløbssystemet på Tingbjerg. Borningslokaliteterne er også vist på figuren

4.5 Udvælgelse af delområde ved Gavhusvej til detaljerede undersøgelser

Som udgangspunkt for det videre arbejde med udformning og vurdering af et detaljeret projektforslag, blev det samlede projektområde på Tingbjerg på godt 500.000 m² opdelt i 10 delområder, se figur 4.10. Opdelingen blev foretaget med udgangspunkt i strukturen af det nuværende afløbssystem, så de hydrologisk set kan behandles hver for sig.

Den grundlæggende idé med inddeling i delområder er, at detaljerede vurderinger og konklusioner for et enkelt delopland med god tilnærmelse kan opskales til hele Tingbjerg, så man dermed ikke behøver behandle hele Tingbjerg i samme detaljeringsgrad. Dette er specielt en fordel i forbindelse med feltundersøgelser og modelberegninger.



Figur 4.10 Opdeling af Tingbjerg i hydrologiske delområder på baggrund af hovedafløbssystemets struktur.

Planlægning af lokal afledning af regnvand tager udgangspunkt i det konkrete sted, og der kan derfor tænkes meget forskellige løsninger i de forskellige delområder på Tingbjerg. Generelt vil de landskabsmæssigt mest kreative løsninger forekomme, hvor der er plads til rådighed, og hvor terrænforskelle kan udnyttes til fordeling af regnvand mellem forskellige LAR-komponenter. Af denne grund blev delområdet på 28.180 m² i det nordvestlige hjørne af Tingbjerg udvalgt som case-område. Området krydses i Øst-Vest retning af Gavlhusvej og benævnes i det efterfølgende derfor som *Gavlhusområdet*. Placeringen af Gavlhusområdet er vist på både figur 4.3 og figur 4.9. Fordelingen af Gavlhusområdets areal mellem tagarealer (4.495 m²), andre befæstede overflader (10.475 m²) og arealer med åben overflader (13.210 m²) er vist på figur 5.2 (øverst).

De fleste af de detaljerede undersøgelser koncentrerer sig om det grønne område syd for Gavlhusvej, som i det efterfølgende benævnes "Gavlhusgården". Gavlhusgården dækker et område på godt 10.300 m², og terrænet varierer fra ca. kote 20 til kote 26. Jordlag, grundvandsniveauer og placering af bygninger i Gavlhusgården er vist på figur 4.5.

5 Planlægning og udformning af Lokal Afledning af Regnvand (LAR) i Gavlhusområdet

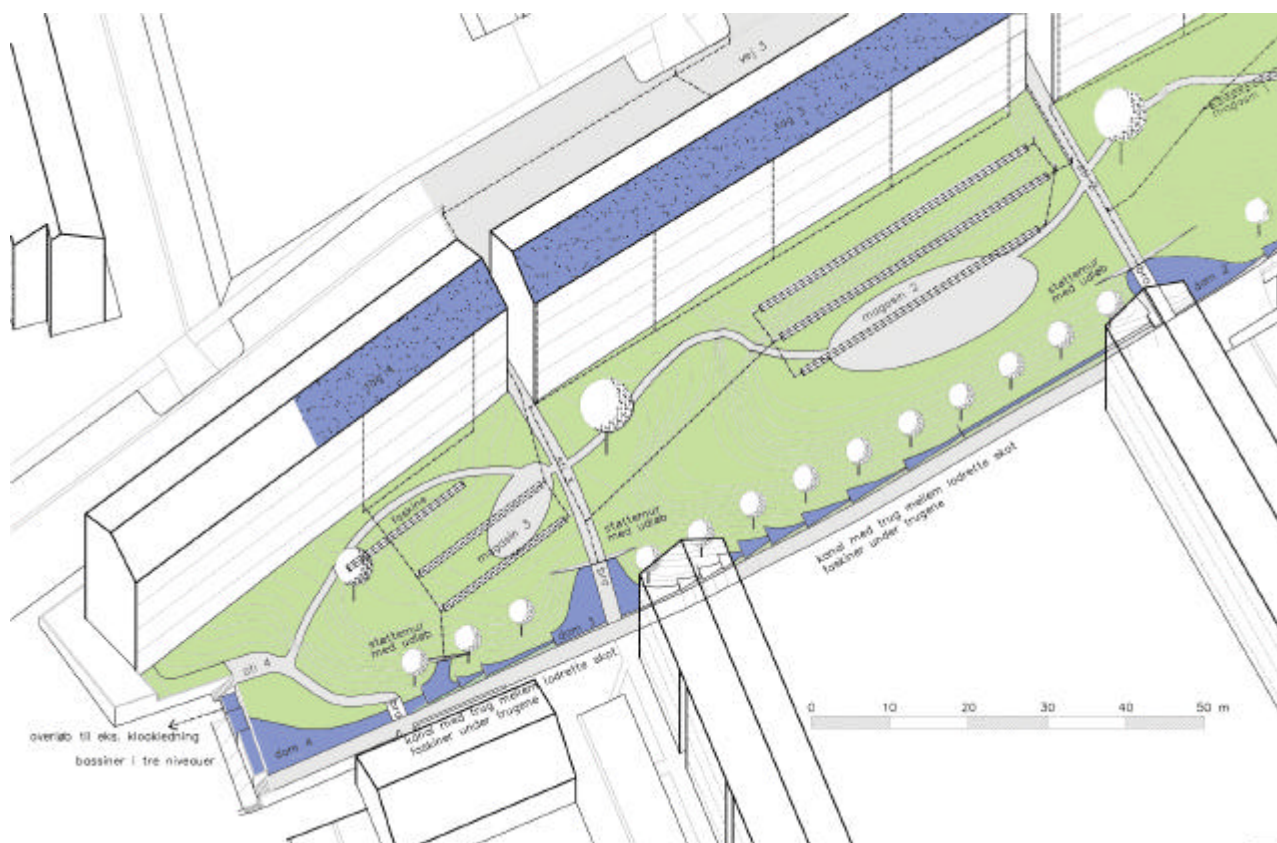
5.1 Muligheder med LAR

Lokal afledning af regnvand kan ske på mange måder. Man kan på ene side forsøge at genskabe de processer, som forekommer naturligt i landskabet ved at reducere det befæstede areal og ved at aflede regnvand fra tætte overflader på terrænet. I det andet yderpunkt kan der være tale om at opsamle eller magasinere regnvandet i render og bassiner med fast bund og sider. Der findes også en række mellemformer hvor vandet f.eks. samles i fordybninger og lavninger i terrænet, grøfter, trug eller faskiner. Der kan også være tale om nedsivning gennem en vegetationsdækket overflade, hvor vegetationen består af græs, stauder, buske eller træer.

Man kan nedsive, opsamle, filtrere og magasinere regnvand som led i at aflede det lokalt. Regnvand kan sive ned fra overfladen eller sive ud i jorden fra en faskine. Derfra ledes vandet til grundvandet eller det strømmer gennem jorden til vandløb eller andre vådområder. Vandrender, grøfter, trug m.v. holder regnvandet tilbage i en periode, der enten gør det muligt for regnvandet at sive ned eller fordampe. Opsamling kan også forsinke regnvandets strømning til afløbssystemet og udjævne spidsbelastninger. Man kan gemme regnvand ved at magasinere det i et stort kloakrør, et betonbassin eller et vandhul med en membran. Endelig kan regnvandet opsamles og bruges til f.eks. havevanding i perioder med nedbørsunderskud eller til toiletskyl og tøjvask.

Nedsivning og filtrering kan ske på et fladt areal, på en skrånende flade, i et skålformet terræn, i en faskine, i en grøft eller et trug. Opsamling og magasinering kan ske i terræn eller under jorden. Mellemformer kan være opsamling i en rende, der ved lav belastning tillader nedsivning, mens man ved kraftigere belastning vil sende vandet gennem et system af bassiner. Der kan være tale om faskiner med overløb, der sender opstuvet vand i faskinen videre.

Regnvand har i omkring 50 år næsten udelukkende været afledt gennem afløbssystemet og derfor har det været ikke været synligt for borgere og beboere. Dette har medført, at man med lokal afledning af regnvand ofte ønsker det modsatte, nemlig at vandets strømning er synlig. Foregår strømningen i render er regnvandet synligt under og i kort tid efter en regnbyge. Regnvandet er som regel væk når vejret bliver bedre og de grønne områder befolkes igen. Ved at opsamle regnvandet i bassiner forlænges den periode, hvor vandet er synligt. Variationer i vandstanden kan ses på både lodrette kanter og skrånende bredder. Et fast vandspejl giver bassinet en anden rolle hvor man ikke lægger mærke til regnvejrets indflydelse på vandstanden, men mere kan bruge vandbassinet som et nyt spændende element i det grønne område.



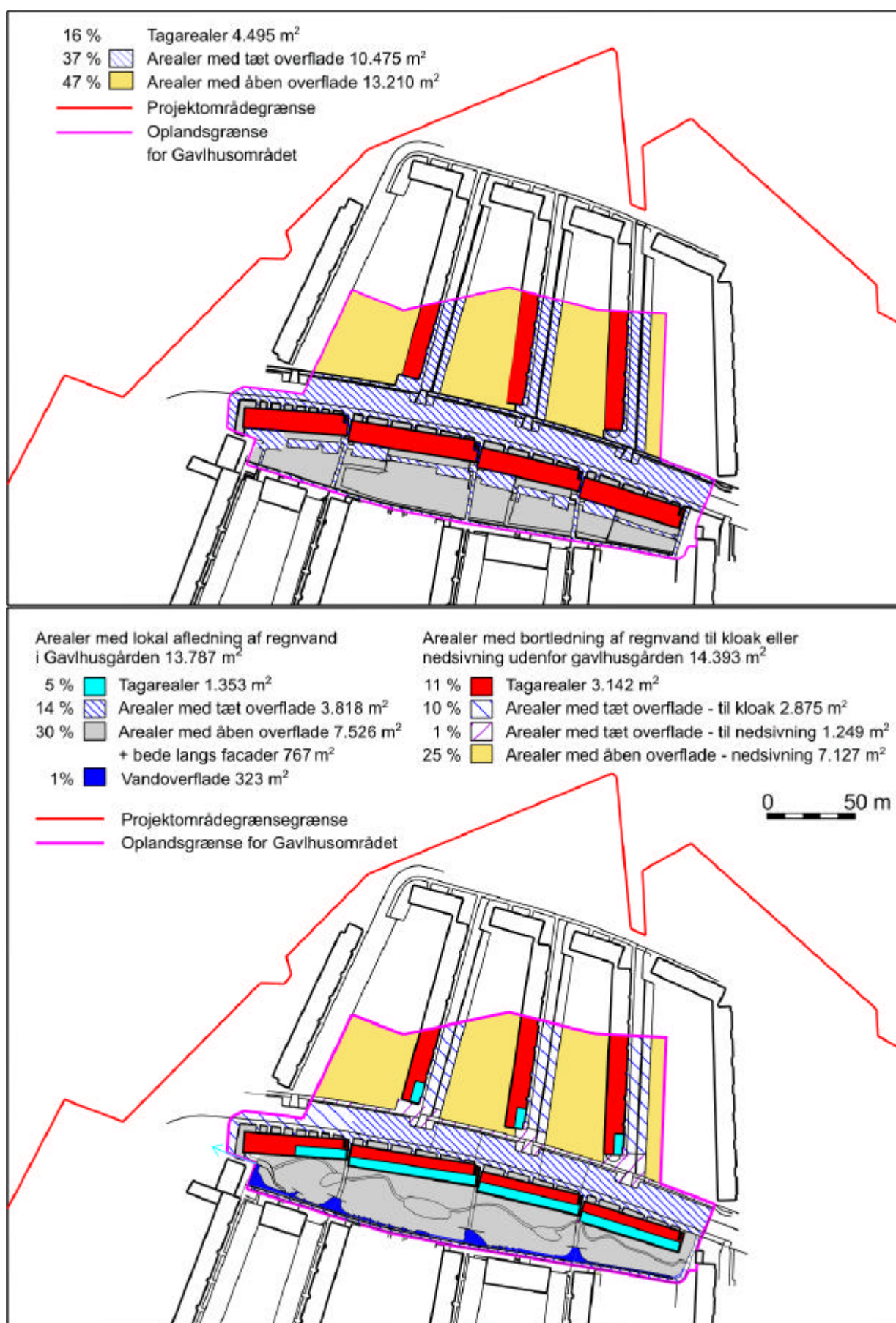
Figur 5.1(a) Projektforslaget i Gavlhushgården som rejst plan i den vestlige del. Tagfladerne, hvor fra regnvand afledes til nedsivning, er markeret med blåt.

Vandbassiner med et fast vandspejl kræver en tilførsel af vand, der ikke må være mindre end fordampning og nedsivning fra bassinet, og dette skal gælde hele året. I sommerhalvåret, når fordampning og nedsivning er størst, kan der forekomme perioder, hvor det ikke regner tilstrækkeligt til at holde det permanente vandspejl. Vandets ophold i bassinet betyder, at vegetationen får andre vækstvilkår og kun få planter i naturen er tilpasset store varierende vandstande. Det største problem er, når rodzonen i længere perioder oversvømmes og rødderne ikke kan optage ilt. Græs kan fx ikke tåle stående vand i mere end 14 dage. Planter der har tilpasset sig vækst under våde forhold kan omvendt ikke tåle udtørring.

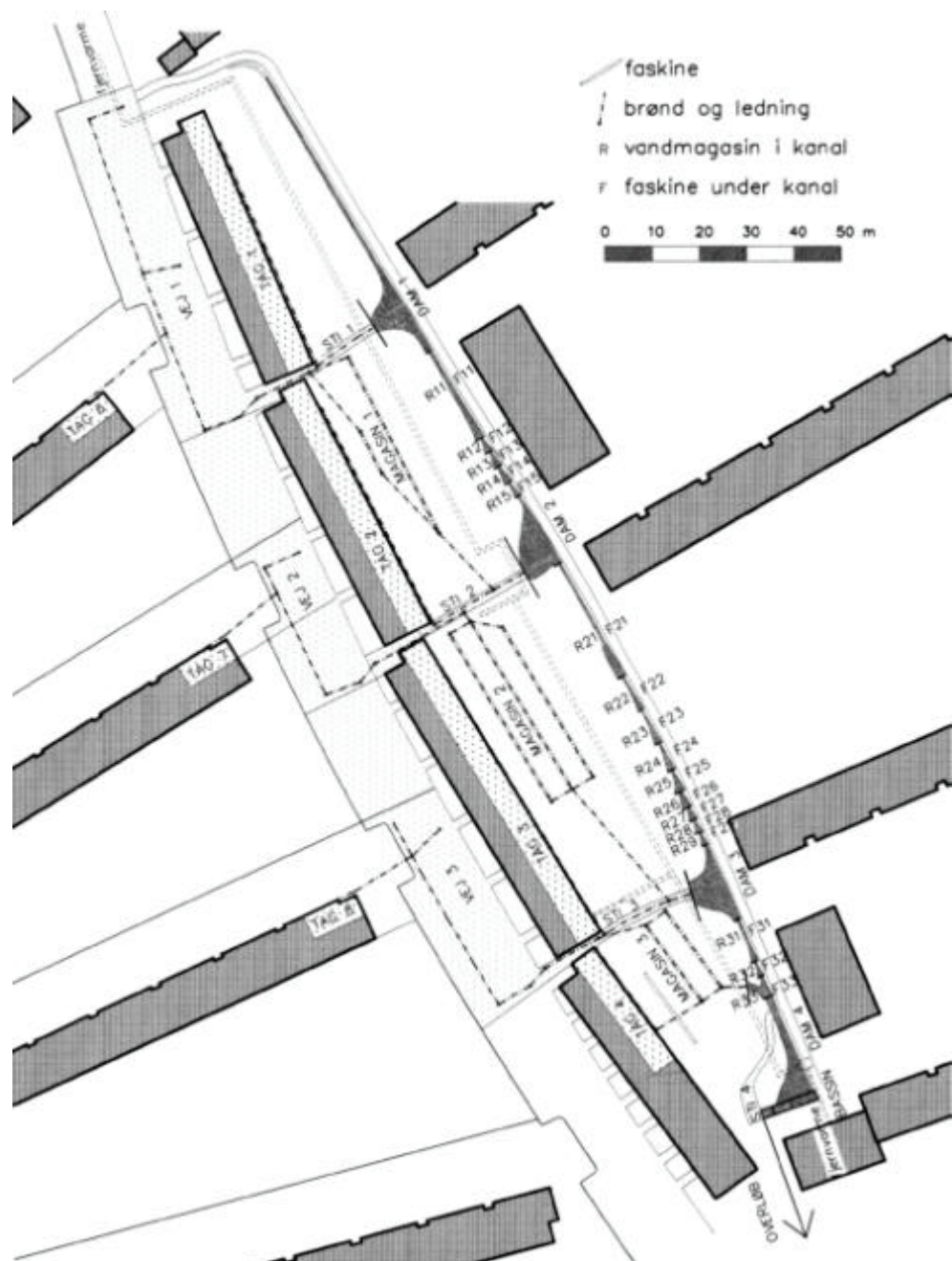
Regnvandet opsamles fra tage og andre tætte overflader. Opsamlingen kan ske på flere måder. Den enkleste måde er at lede regnvandet direkte på terrænet fra taget eller fra befæstelsen til det område hvor den lokale afledning skal ske. Man kan også lede regnvandet i overfladiske render til området. Endelig er det muligt lokalt at føre regnvandet frem i rør på samme måde som i afløbssystemet. Både vandrender og rørledninger kræver et omfattende anlægsarbejde for at opnå en lang levetid. Regnvand der er koblet på afløbssystemet skal, hvis det skal afledes lokalt, kunne afskæres inden det blandes med husspildevand.

5.2 Projektgruppens forslag

Projektgruppens forslag tager udgangspunkt i et ønske om at synliggøre regnvandet i gårdmiljøet, samtidig med at det forsinkes og nedsives mest muligt. Dermed kan forslaget sidestilles med mange virkelige projekter, der gennemføres i forbindelse med byfornyelsesprojekter, men hvor den miljømæssige effekt på grundvand og afløbssystem i praksis ikke kendes.



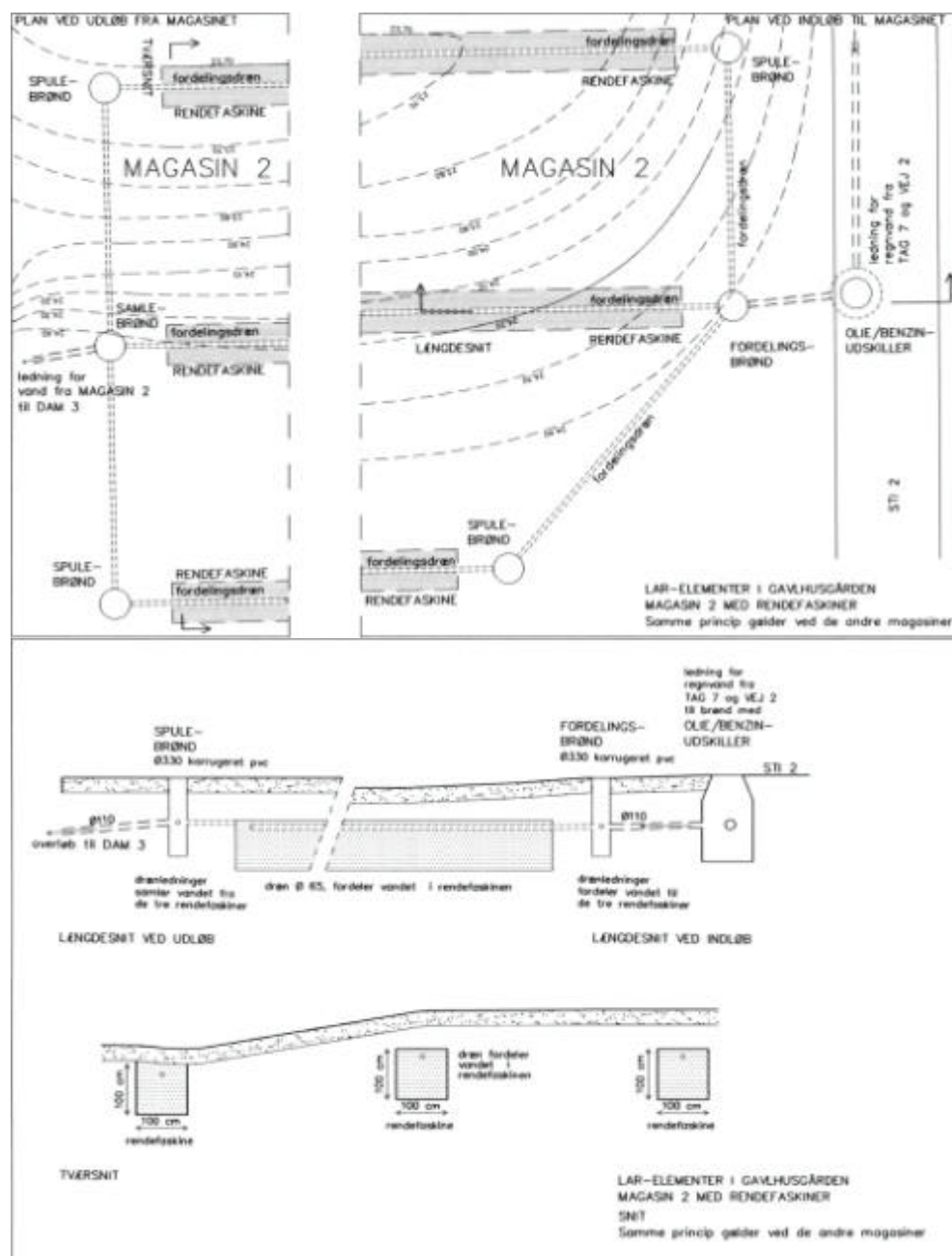
Figur 5.2 Arealfordelingen i Gavlhusområdet for statussituationen før indførelse af LAR (øverst) og for projektforslaget med lokal afledning af regnvand - specielt i Gavlhusgården (nederst).



Figur 5.3 Planskitse af projektforslaget. Det blødt formede terræn afsluttes mod syd i et øst-vest gående trug afbrudt af 4 infiltrationsdamme, der udgør den synlige del af løsningen.

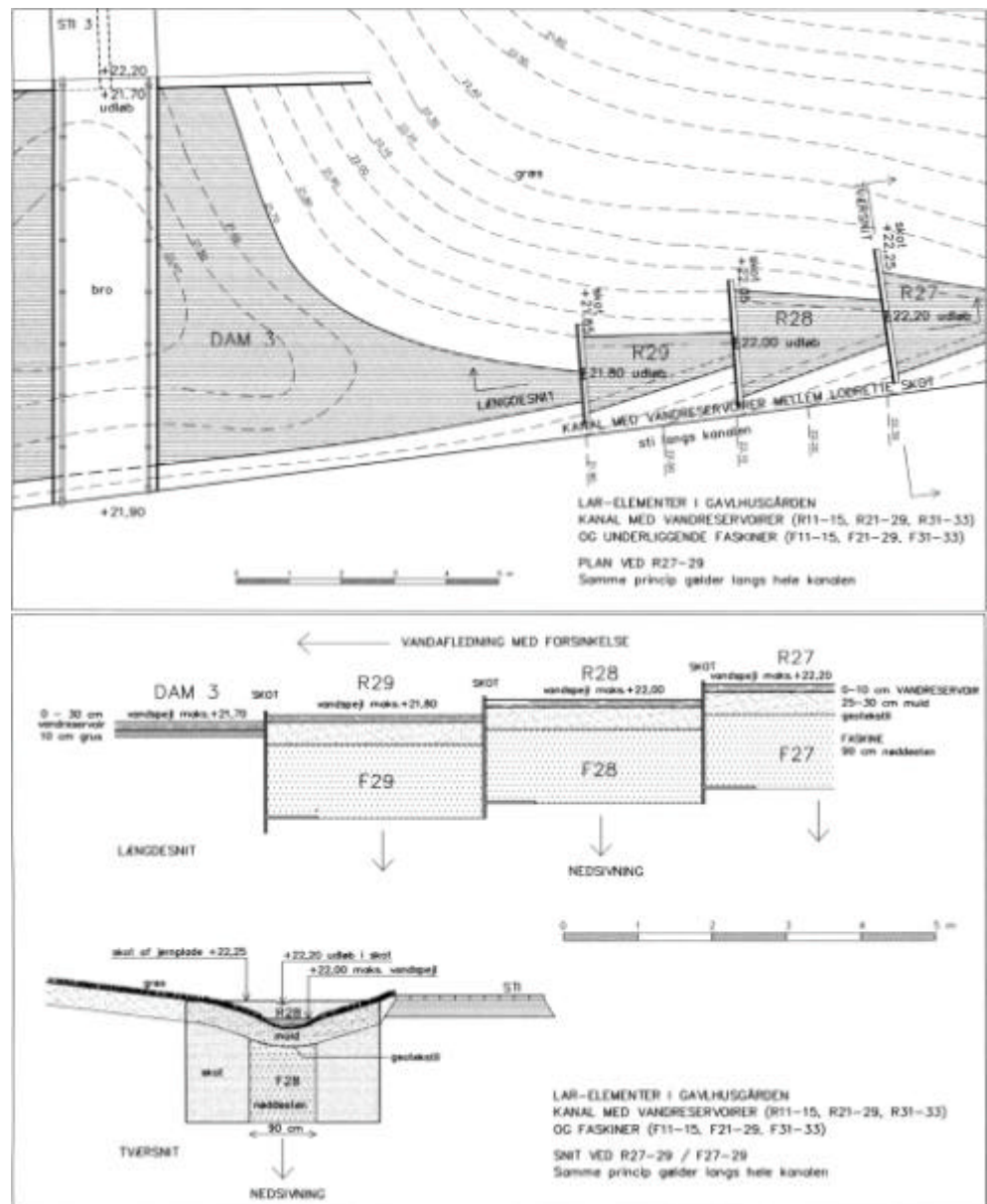
De eksisterende kloakledninger ligger dybt, og hver vejnedløbsbrønd er tilsluttet direkte til afløbssystemet. Projektgruppens forslag opsamler derfor regnvand i overfladiske vandrender (se figur 5.3). Opsamlingen fra tage og veje begrænses af det kunstige fald der kan skabes i render til linieafvanding, fordi gaderne Solgavl, Fuglegavl og Trappegavl er vandrette og kun har fald mod de nuværende nedløbsbrønde i en vandrende mellem kørebane og parkering.

Nedløbsrør, der opsamler regnvand fra tage, afskæres ved terrænoverfladen og vandet ledes videre i åbne vandrender. Vandet ledes derefter videre til Gavlhusgården via en ny ledning.



Figur 5.4 Plan og snit for magasin 2 udformet som 3 lange rendefaskiner placeret centralt i det grønne område (Gavlhusgården) syd for Gavlhushvej.

Der opsamles også regnvand fra Gavlhushvej, der udgøres af en kørebane og et parkeringsareal adskilt af en åben regnvandsrende. Fortovsarealer afledes direkte til bedde på begge sider. I forslaget føres det opsamlede regnvand fra renderne i nye ledninger til Gavlhushgården. Gavlhushvej er opdelt i tre mindre oplande (vej 1, vej 2 og vej 3, se figur 5.3) der føres ind i Gavlhushgården tre forskellige steder, når forskellen i terrænhøjde er stor nok til at få tilstrækkelig fald. Regnvandet der er samlet op nord for Gavlhushgården renses i benzin- og olieudskillere og ledes gennem magasiner, der er udformet som øst-vestgående rendefaskiner, se figur 5.4. Overløb fra rendefaskinerne ledes gennem rør til infiltrationsdamme (Dam 2, Dam 3 og Dam 4, figur 5.3).



Figur 5.5 Plan og snit for Dam 3 placeret i det øst—vestgående system af trug og infiltrationsdamme i Gavlhushgården.

Regnvand fra den sydlige side af bebyggelsen på Gavlhushvej opsamles og ledes til trug og bassiner. Regnvand fra den øst – vest gående sti ledes direkte ned i et trug der findes i hele områdets udstrækning fra øst til vest. Truget har for hver 20 cm højdeforskel et skot med overløb til næste del af truget, se figur 5.5. Under trugene findes faskiner, der er adskilt fra trugene af 20-30 cm muldjord. Faskinerne sikrer, at trugene drænes indenfor en rimelig tid, samtidig med at de stiller et stort magasineringsvolumen til rådighed. Faskinerne er adskilt af lodrette skot, der sikrer at det opmagasinerede vand ikke blot løbet ned i den ene ende pga. terrænfaldet, hvorved infiltrationsfladen formindskes.

Terrænet i gårdrummet har i projektforslaget fået en ny form, som tilgodeser såvel lokal nedsivning af regnvand som leg og færdsel på tværs. Truget, der løber øst/vest langs den eksisterende sti i gårdens sydside udgør på samme tid den bærende arkitektoniske idé og nedsivningsanlæggets vigtigste element. 4 steder udvides truget og en infiltrationsdam opstår. Dammene krydses af

broer der forbinder gårdtrummet stier i nord-sydlig retning. Brofæsterne, er udformede som støtemure hvorfra der er udløb fra faskinerne der modtager regnvandet fra Gavlhusvej og resten af det nordlige opland (se figur 5.5). De tre opstrøms beliggende infiltrationsdamme har alle overløb til truget.

Det nederste bassin er udformet lidt anderledes. Støtemuren med ledningsudløbet er placeret højere end broen og vandet løber i et lille "vandfald" ned i et bassin, der tømmes langsomt ved et neddroset udløb til afløbssystemet. Bassinet har endvidere overløb til afløbssystemet, så regnvandet kan afledes fra Gavlhusgården i ekstremesituationer, hvor hele systemet bliver overbelastet.

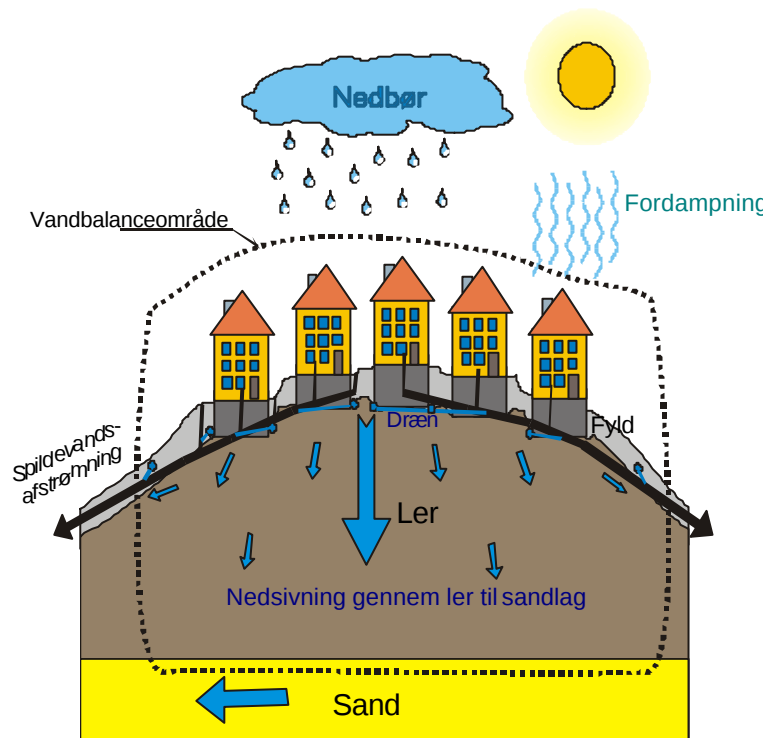
6 Valg af metode ved modellering af projektforslag

Vandbalanceforholdene før og efter etablering af LAR-anlæg er blevet analyseret ved at koble de tre modelværktøjer MIKE SHE, MOUSE og STORM og supplere med kvalificerede skøn. Den valgte fremgangsmåde ved koblingen af de tre modelværktøjer beskrives i det følgende.

6.1 Vandbalancens elementer

Ved vurdering af vandbalancen for Gavlhusgården – og for den sags skyld også for Gavlhusområdet og for hele Tingbjerg – betragtes principielt et område som skitseret på figur 6.1. De elementer, der indgår i opstillingen af balancen, er:

- Nedbøren, der inden for det betragtede område fordeles på,
- Fordampning
- Overfladeafstrømning via spildevandssystemet
- Drænafstrømning via spildevandssystemet
- Nedsivning gennem ler til sand
- Udsivning nær terræn



Figur 6.1 Ved opstillingen af vandbalancen betragtes et område som skitseret på figuren. En del af den nedbør, der falder over Tingbjerg fordamper, noget løber af på overfladen til spildevandssystemet - vist med sort på figuren - og resten siver ned i jorden. Nede i jorden kan vandet sive videre ned til det dybtliggende sandlag, sive ind i dræn – vist med blå – eller ud langs randen nær terræn.

Det vurderes, at den del, der siver ud langs randen nær terræn, er meget begrænset. Til trods for det tykke lerlag kan nedsivningen være relativt stor fordi der er et stort drivtryk ned til sandmagasinet, der kan være tørt i toppen.

6.2 Vandbalancen for Gavlhusområdet

Ved analysen af vandbalancen inden for Gavlhusområdet skal der tages hensyn til, at de anvendte modelværktøjer beskriver forskellige dele af vandbalancen og dækker forskellige arealer samt at modelværktøjerne ikke er integrerede.

6.2.1 Statussituationen for Gavlhusområdet uden LAR-anlæg

Beskrivelsen af statussituationen er baseret på en MIKE SHE model opstillet for Gavlhusgården og på en STORM model for befæstede overflader.

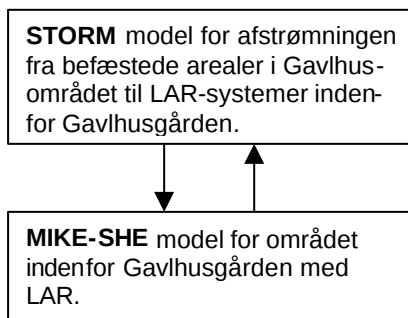
MIKE SHE modellens parametre er indledningsvis blevet tilpasset således at den kunne modellere de målte vandspejlsvariationer i boringerne i gården. Hermed blev der samtidig beregnet et skøn for fordampningen, drænafløbstrømning, udsivning gennem rand og nedsivning til det dybereliggende sandmagasin. Disse værdier er dernæst ekstrapoleret til de øvrige ubefæstede arealer i Gavlhusområdet.

Det eneste led, der mangler til opstilling af vandbalancen er herefter en beskrivelse af udstrømningen af overfladevand fra de befæstede arealer via afløbssystemet. Dette er beregnet på baggrund af simuleringer med STORM modellen, jf. næste afsnit.

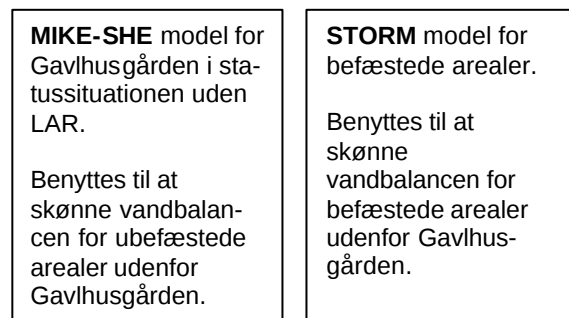
6.2.2 Situationen for Gavlhusområdet efter etablering af LAR-anlæg

Figur 6.2 illustrerer, hvordan MIKE-SHE og STORM programmerne er benyttet til at opstille vandbalancen i Gavlhusområdet efter etablering af LAR-anlæg. I princippet er der benyttet to forskellige metoder for den del af området, som projektforslaget er koncentreret omkring (Gavlhusgården og dele af Gavlhusvej) og for den resterende del af området, som ikke er koblet til LAR-systemet i Gavlhusgården.

Projektforslaget, der simuleres detaljeret



Dele af Gavlhusområdet, der ikke simuleres detaljeret



Figur 6.2 Illustration af det anvendte princip for opstilling af vandbalancen for Gavlhusområdet i situationen med lokal afledning af regnvand.

Projektforslaget, der simuleres detaljeret

For den del af Gavlhusområdet, der afleder vand til LAR-systemet i Gavlhusgården, er vandbalancen opstillet ved interaktiv simulering med MIKE SHE og STORM modellerne (figur 6.2, venstre). I det foreliggende projekt er der dog pga. praktiske problemer med STORM modellen og med udvekslingen mellem de to modeller kun gennemført én gennemregning med hvert program.

Beregningsrunden er gennemført ved, at STORM modellen indledningsvis har beregnet, hvor meget vand der infiltrerer og løber over ved overløbet til spildevandssystemet i den vestlige del af gården. MIKE SHE modellen er dernæst blevet ændret svarende til den nye topografi og befæstelse; og infiltrationsanlæggene er blevet lagt ind i modellen, således at MIKE SHE modellen i princippet beskriver LAR-anlægget i gården bortset fra interaktionen mellem de forskellige dele af LAR-anlægget.

Ved beregningen af LAR-anlæggets funktion med MIKE SHE modellen er den beregnede infiltrationsmængde fra STORM tilført infiltrationsanlæggene i MIKE SHE. MIKE SHE modellen beregner så, hvor meget grundvandet stiger på grund af infiltrationen og dermed også, hvor meget af infiltrationen, der i perioder vil blive afvist, fordi grundvandet stiger så højt op, at infiltrationen reduceres eller stoppes. Samtidig beregner MIKE SHE modellen, hvor meget grundvandstilstrømningen til drænene omkring bygningernes kældre øges på grund af det højerestående grundvandsniveau, samt hvor meget udstrømningen langs modelranden og nedsivningen til det dybtliggende sandmagasin øges. På grundlag af tidsserierne for de beregnede, afviste infiltrationsmængder fra MIKE SHE modellen øges afstrømningen via overløbet fra LAR systemet til afløbssystemet tilsvarende.

Dele af Gavlhusområdet, der ikke simuleres detaljeret

For området udenfor Gavlhusgården, der ikke er koblet til LAR-anlægget i Gavlhusgården, er der ikke opstillet særlige modeller. I stedet anvendes ekstrapolation af resultaterne fra MIKE SHE beregningen af statussituationen for de ubefæstede overflader i kombination med ekstrapolation af resultater fra STORM beregninger af projektforslaget for de befæstede overflader (figur 6.2, højre).

Den samlede afstrømning via afløbssystemet beregnes således med STORM (direkte afstrømning fra befæstede overflader samt overløb fra LAR-system) og med MIKE-SHE (drænastrømning og afvist vand ved høj grundvandsstand).

6.3 Vandbalancen for hele Tingbjerg

Resultaterne fra Gavlhusgården er benyttet som grundlag for at simulere effekten af lokal afledning af regnvand, hvis tilsvarende tiltag som projektforslaget etableres i hele Tingbjerg.

I princippet ville det være interessant at opstille komplette STORM, MIKE-SHE og MOUSE modeller for hele Tingbjerg, for dermed at kunne simulere effekterne for alle vandbalancens bidrag. Dette har imidlertid ikke været muligt indenfor rammerne af nærværende projekt. Dog er der opstillet en MOUSE model for hele Tingbjerg både for statussituationen og for ”projektforslaget”. På denne måde er det muligt at vurdere den potentielle effekt for

afløbssystemet på Tingbjerg, herunder i hvilket omfang LAR-projekter kan medvirke til at nedbringe overløb til omgivelserne.

6.4 Effekten på det dybt liggende grundvand og grundvandsudvekslingen med Utterslev Mose

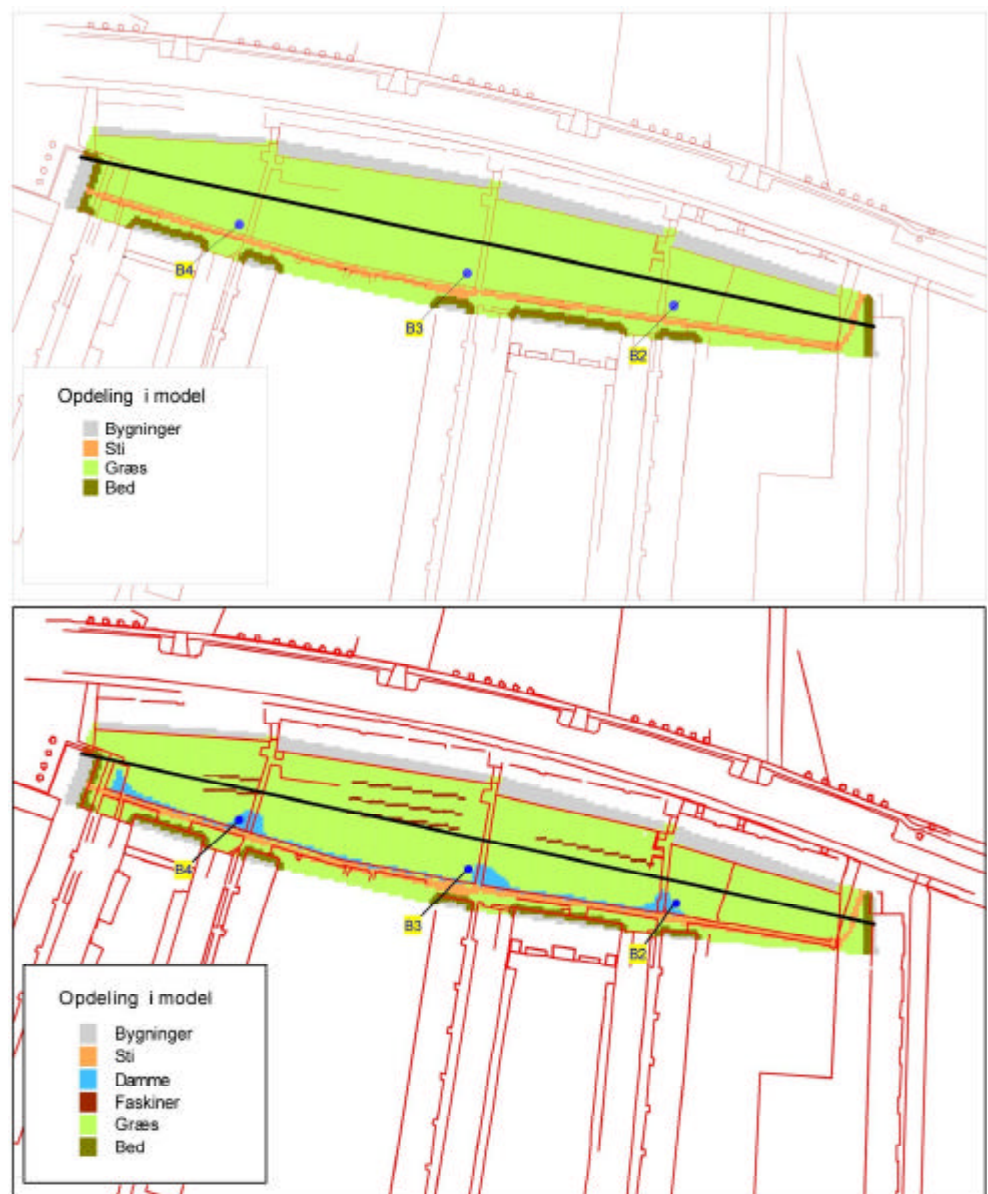
Stigningen af vandspejlet i det primære magasin ved etablering af infiltration-sanlæg i hele Tingbjergområdet og den resulterende reduktion af infiltrationen fra Utterslev Mose er blevet vurderet ved simuleringer med en regional grundvandsmodel for området opstillet med programmet MIKE SHE. Modellen er blevet opstillet tidligere i forbindelse med en undersøgelse af vandindvindingsmulighederne i Brønshøj-Husum (Markussen et al., 2002).

Beregningerne er baseret på en stationær simuleringsmodel med gennemsnits "infiltrationsdata" og indvindingsdata fra 1995; det vil sige uden hensyntagen til årstidsvariationer.

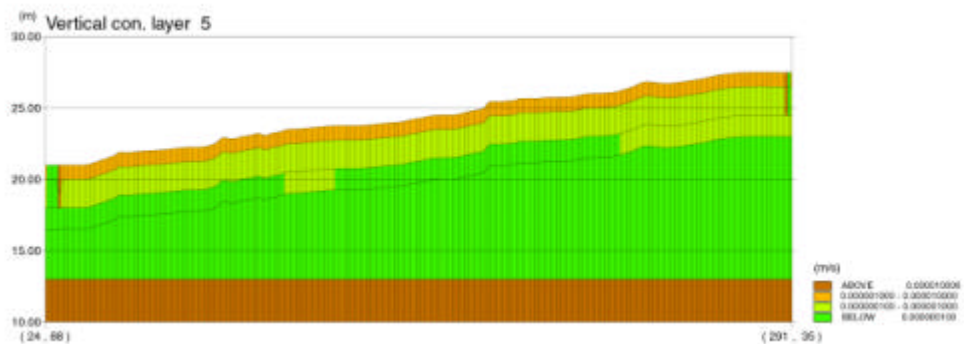
7 Modelopstilling og -kalibrering

7.1 Opstilling og kalibrering af MIKE-SHE modellen for Gavlhusgården

MIKE SHE modellen er blevet opstillet for Gavlhusgården til beskrivelse af grundvandsdannelsen og grundvandsstrømningen. Modellen er opbygget af kvadratiske celler med sidelængden 1 m og den indeholder i alt 5 lag. På figur 7.1 er vist det areal, som modellen dækker, samt fordelingen på forskellige overfladeanvendelser i statussituationen og for projektforslaget med LAR. Lagdelingen i modellen fremgår af figur 7.2.



Figur 7.1 MIKE SHE modellens afgrænsning og overfladebeskrivelse for status tilstanden før indførelse af LAR (øverst) og for projektforslaget med LAR (nederst). Den mørke linie viser placeringen af snittet vist i figur 7.2



Figur 7.2 Lagdelingen i MIKE SHE modellen.

Oplysninger om overfladeanvendelsen anvendes i MIKE SHEs ET-modul til beregning af fordampningens størrelse og fastlæggelse af, hvor regnvandet kan infiltrere. På stiarealerne - og hvor der er bygninger - er infiltrationen sat til 0. I den nordlige del af gården var der i statussituationen en gennemgående flisebelagt sti. Den er medregnet som græsareal, da det er vurderet, at regnvand vil strømme af på fliserne og ned i jorden langs stien. For de små arealer med bede er anvendt de samme parametre som for græs.

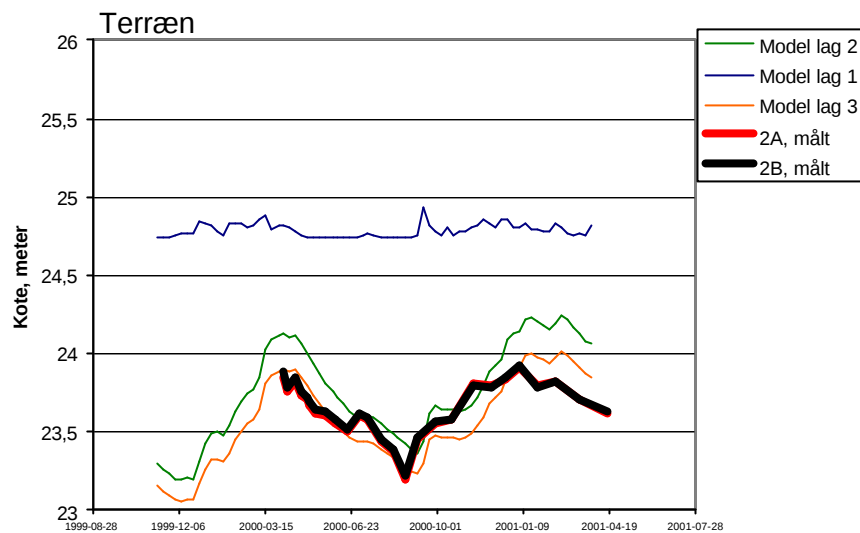
De anvendte modelparametre for græsvegetationen er beskrevet i en rapport om MIKE SHE modellering af Gavilhusgården udarbejdet af en hollandsk udvekslingstudent (Kruithof, 2000). Til vurdering af fordampningens størrelse og grundvandsdannelsen indgår desuden parametre til MIKE SHEs UZ-modul, der beregner den vertikale strømning i de øvre, umættede jordlag. Disse parametre og månedsmidler for den potentielle fordampning fremgår ligeledes af rapporten (Kruithof, 2000).

Ved kalibreringen er anvendt daglige nedbørsværdier fra Søborg målestation 30222, for at sikre overensstemmelse mellem nedbøren og de målte vand-spejlsvariationer. Ved simulering af projektforslaget er anvendt nedbørsdata fra Virum målestation 30221 for 1995, jf. afsnit 3.4.

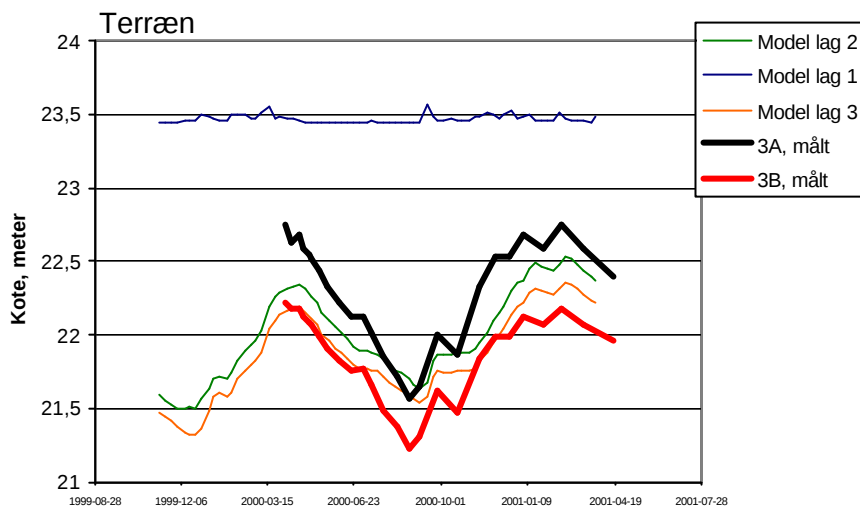
Ved opstillingen af grundvandsmodellen blev der indledningsvis opstillet en geologisk model. Terrænet i modellen er hentet fra et digitalt kort med 25 cm ækvidistance opmålt i forbindelse med forberedelserne til det gennemførte gårdprojekt. Tykkelsen af fyldlaget er bestemt ud fra planer over det oprindelige terræn vist på de oprindelige byggeplaner for området samt ud fra boringsoplysningerne. Under fylden er lagt et 2 til 3,5 m tykt lag af kalkfri/forvitret moræner, og herunder uforvitret moræner ned til et sandlag med top i kote +13; jf. figur 4.5 i kapitel 4. De geologiske lag er efter kalibreringen tildelt de hydrauliske parametre i den mættede zone vist i tabel 7.1. Strømningen i den mættede zone beregnes med MIKE SHEs SZ- modul.

Tabel 7.1 De geologiske lags hydrauliske parametre i den mættede zone.

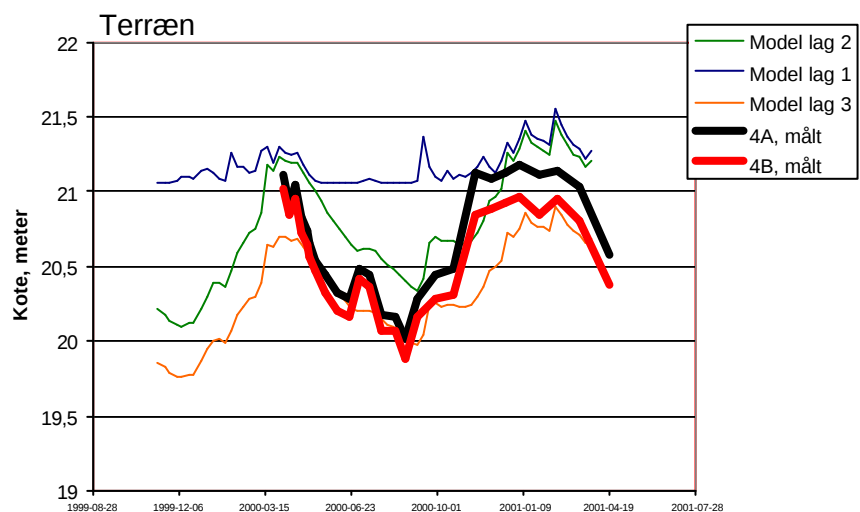
Jordtype	Horisontal vandføringsevne ($\times 10^{-8}$ m/s)	Vertikal vandføringsevne ($\times 10^{-8}$ m/s)	Effektiv Porøsitet (-)	Specifikt magasintal (m^{-1})
Fyld	100	500	0,2	2×10^{-5}
Forvitret moræner	100	30	0,1	2×10^{-5}
Øvre moræner	50	10	0,05	2×10^{-5}
Nedre moræner	10	0,8-1,8	0,05	2×10^{-5}



Figur 7.3 Kalibrering af model mod målte vandspejl i de to dybeste boreriger på lokalitet 2 i den vestlige del af Gavlhusgården



Figur 7.4 Kalibrering af model mod målte vandspejl i de to dybeste boreriger på lokalitet 3 i den centrale del af Gavlhusgården



Figur 7.5 Kalibrering af model mod målte vandspejl i de to dybeste boreriger på lokalitet 2 i den østlige del af Gavlhusgården

Som det fremgår af figur 7.2 har grundvandsmodellen lidt andre laggrænser end den geologiske model. Det øverste lag, der omtrent svarer til fyldlaget, er 1 m tykt. Herunder følger to lag på henholdsvis 2 og 1,5 m, der omtrent dækker laget af uforvitret moræneler. Laget af uforvitret moræneler strækker sig herunder ned til sandlaget, der er lagt ind som et 3 m tykt lag. De hydrauliske parametre i modelcellerne svarer til en midling over værdierne for de geologiske lag i de tilfælde, hvor der ligger flere geologiske lag i en modelcelle.

Modellens rand er tæt mod nord, syd og øst samt i bunden. I den lavtliggende vestende er grundvandsniveauet fastholdt, hvorfor grundvand hér kan strømme ud gennem randen. Sandlagets grundvandsniveau er fastholdt i kote +13. Langs bygningerne er lagt dræn ind 2 meter under terræn. Over drænene er geologien defineret som sandfyld til terræn.

Ved kalibreringen er den horisontale vandføringsevne i fylden og den vertikale vandføringsevne i lagene af moræneler blevet justeret indtil der blev opnået en rimelig overensstemmelse mellem målte og simulerede grundvandsniveauer ved de tre boringslokaliteter i gården. På figur 7.3 til 7.5 er resultaterne vist.

Det må anføres, at der kan findes flere mulige løsninger med forskellig fordeling af, hvor stor en del af nedbøren, der siver ned til sandmagasinet, og hvor stor en del, der siver ud i drænene. Årsagen hertil er, at hverken størrelsen af afdræningen eller nedsivningen kendes.

F.eks. indikerer infiltrationsforsøget udført på lokalitet 3, at den horisontale vandføringsevne i fyldlaget kan være højere end værdien bestemt ved kalibreringen. En højere værdi af den horisontale vandføringsevne i fyldlaget vil medføre, at en større del af vandet løber til drænene.

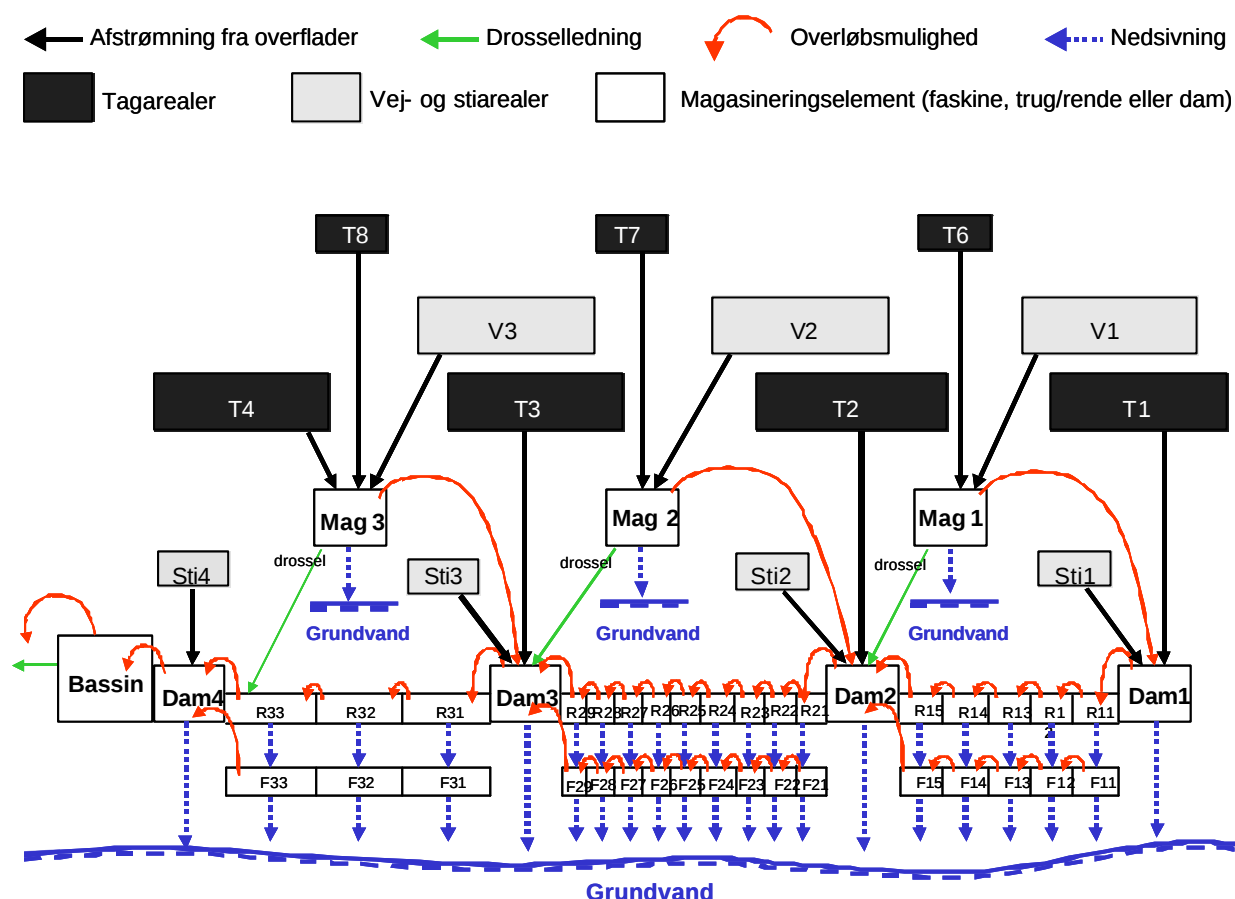
7.2 Opstilling af STORM model for Gavlhusområdet

STORM modellen er blevet opstillet for de overflader i Gavlhusområdet, som afleder til LAR-systemet indenfor Gavlhusgården jf. figur 7.1(nederst). Det drejer sig om et areal på knap 14.000 m², jf. figur 5.2(nederst).

Figur 7.6 indeholder en hydrologisk principskitse over projektforslaget, som det er modelleret i STORM, med angivelse af, hvordan regnvand fra de befæstede overflader føres til magasiner under de grønne områder og infiltrationsdammene mod syd, hvorfra overløbsvand føres videre til de langsgående trug/faskine systemer. Det er vist på figuren, hvordan de enkelte LAR komponenter er koblet med hinanden, og fra hvilke LAR komponenter, der nedsives regnvand, jf. også figur 7.1(nederst).

STORM modellen er kun opstillet for projektforslaget med LAR, da der ikke findes afstrømningsdata for Gavlhusområdet, som en model vil kunne kalibreres med.

Ved simulering af projektforslaget er anvendt nedbørsdata fra Virum målestation 30221 for 1995 (jf. afsnit 3.4), standat-inputparametre for fordampning fra overflader og data fra infiltrationskapacitet og hydraulisk ledningsevne svarende til data indhentet i dette projekt (jf. afsnit 3.2 og 7.1).



Figur 7.6 Hydrologisk principskitse over projektforslaget med angivelse af STORM modellens opbygning af enkeltelementer.

7.3 Opstilling og kalibrering af MOUSE modellen for hele Tingbjerg

Tingbjerg har ved flere lejligheder været genstand for opmærksomhed i forbindelse med studenterprojekter på DTU. Udgangspunktet for dette projekt har derfor været to tidligere udarbejdede modeller for henholdsvis Tingbjerg Vest og Øst (Basini & Patton, 2001). Modellerne indeholder udover Tingbjerg-området tillige en opgraderet beskrivelse af dele af Gladsaxe kommunes system fra Gyngemose-oplandet over til Gyngemose-værket og videre sydpå mod Fæstningskanalen, der udgør udløbspunktet for den vestlige model. Hertil kommer for den østlige models vedkommende en beskrivelse af ledningssystemet, overløbsbygværk, pumpestation m.v. ved Åkandevej/Ruten samt ledningssystem og tilhørende overløbsbygværk fra Voldparken Skole og Åkandevej beliggende syd for projektområdet.

For begge modellers vedkommende stammer afløbskoefficienterne og/eller de befæstede arealers størrelse fra tidligere detaljerede undersøgelser og kalibreringer, og arealerne er derfor justeret ind, så de svarer til landskabsarkitektens nyeste opmålinger, men uden at de befæstede arealer er ændret.

Arealerne der indgår i modelbeskrivelsen af Gavlhusområdet stammer fra KVL's opmålinger af de forskellige belægnings- eller landskabstyper. For kategorierne "tagflader" og "tætte flader" er der regnet med en hydrologisk reduktionsfaktor på 0,75 jf. (Linde et al., 2002). På baggrund af denne og de geometriske opmålinger er afløbskoefficienterne i de enkelte delområder fastlagt.

Arealerne fordelt på forskellige belægningstyper er opmålt på et AUTO-CAD kortgrundlag. Dette gælder såvel for deloplandene i hele Tingbjerg (figur 4.10) som på et mere detaljeret niveau før og efter etableringen af Gavlhusgårdens nedsivningsprojekt (figur 5.2).

MOUSE-LTS modellens beregninger af overløb ved Tingbjerg sydvest (til Fæstningskanalen) og ved Ruten er sammenholdt med Gladsaxe og Københavns kommunes registreringer, og disse viser god overensstemmelse.

Gladsaxe kommunes registreringer af overløb viser op til ca. 8 overløb om året fra hovedkloakken til Fæstningskanalen (se figur 4.9). Overløbsbygværket påvirkes af regn- og spildevand fra Gladsaxe kommune samt fra den vestlige del af Tingbjerg.

MOUSE modellen i dette projekt indeholder ikke en beskrivelse af Gladsaxe kommunes afløbssystem, hvilket kræves for en direkte sammenligning med antallet af overløb til Fæstningskanalen. Modellen dækker Tingbjerg Vest og har en meget enkel beskrivelse af Gladsaxes Gyngemoseopland, Gyngemoseværket med pumper og samlebygværk samt den afskærende tunnelledning, der leder vandet sydpå mod Damhusåens Renseanlæg, og hvorfra der kan ske overløb til Fæstningskanalen. Modellen beregner 1-5 overløb om året fra Tingbjerg til tunnelledningen med et gennemsnit på 2,3 overløb pr. år.

Frem til 1999 er der noteret 20-25 overløb om året fra overløbsbygværket ved Ruten til Utterslev Mose, men efter en udvidelse af lednings- og pumpekapa-citeten sidst i 1999 fra ø300 til ø450-ledninger har der siden 2000 været et betydeligt fald i antallet af overløb. Der blev således noteret 13 overløb i den korte periode fra 23/9-99 til 1/1-00, mens der i de første 10 måneder af 2000 blot sås 6 overløb. Antallet af kraftige regn varierer ganske meget fra år til år, og i de første 10 måneder af 2002 er der således registreret 14 overløb. Til sammenligning viser MOUSE-beregningerne, at der i gennemsnit var 31 overløb om året før ombygningen og 16 overløb om året efter.

I projektforslaget flyttes der rundt på fordelingen af tagarealer, tætte og åbne flader, som fortsat er en del af tilstrømningsoplandet til kloakken. Udenfor Gavlhusgården indrettes nogle af de hidtil tætte flader som nedsivnings-områder, der derfor hverken bidrager med afstrømning til gårdprojektet eller til kloakken. I det konkrete projektforslag i Gårdhusområdet iagttages der en reduktion af befæstede arealer, som afleder til kloakken, på 49%, og afløbskoefficienterne for de tilbageværende flader reduceres i gennemsnit med 7%.

På denne måde er der for dette type-projekt beregnet en gennemsnitlig afskæring af arealtyperne med tilhørende reduktion af afløbskoefficienter, og disse gennemsnitsbetragtninger er overført til resten af Tingbjerg-modellen. Reduktionen har kun fundet sted indenfor Tingbjerg-bydelen (jf. figur 4.10) og kun for deloplande, der synes sammenlignelige med Gavlhusområdet.

Til simuleringerne med MOUSE-modellen af overløb fra Tingbjerg Vest og Tingbjerg Øst i både statussituationen uden LAR og for situationen med LAR på hele Tingbjerg er der benyttet regndata fra Virum målestation 20221. En udvalgt regnserie, der indeholdt 715 regnhændesler fra 1/1-1980 til 1/1-1997, er benyttet ved beregningerne.

8 Funktion og effekt af projektforslag - resultater

I det efterfølgende gennemgås resultaterne af de gennemførte modelsimuleringer med henblik på at illustrere LAR-systemets funktion, vilkårene for de biologiske forhold i vandbassiner og betydningen for det urbanhydrologiske kredsløb, samt for at illustrere anvendelsen af de benyttede modelværktøjer. Så vidt muligt sammenlignes hovedresultaterne med de tilsvarende resultater for statussituationen uden LAR, for derigennem at illustrere betydningen af LAR for vandbalancen i Gavlhusområdet og på Tingbjerg som helhed.

8.1 Simulering af LAR-anlæggenes funktion

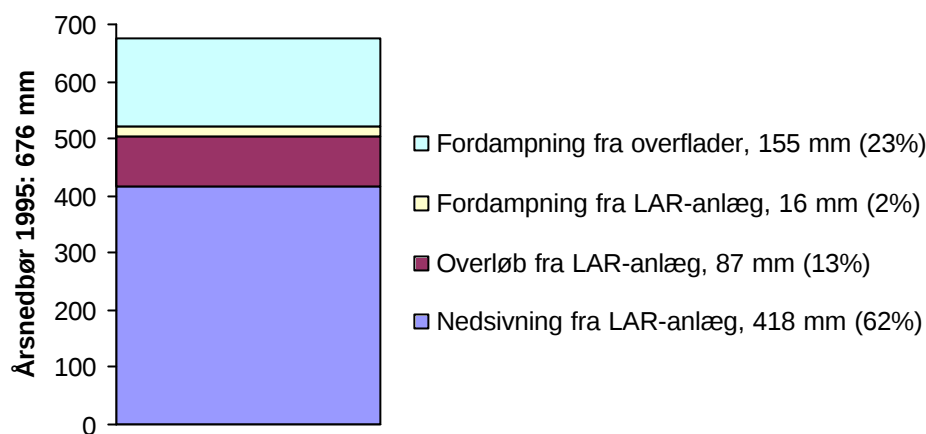
Detaljerne omkring udformningen af projektforslaget er beskrevet i kapitel 5. Tabel 8.1 og figur 8.1 illustrerer den overordnede vandbalance for 1995 for LAR-systemerne bestående af befæstede overflader tilsluttet trug, infiltrationsdamme og faskiner. Bruttonedbøren på 676 mm over det samlede areal på godt 5.000 m², som indgår i STORM modellen, giver anledning til en afstrømning og dermed tilstrømning til LAR-anlæggene på 521 mm.

Forskellen på 155 mm (23% af bruttonedbøren) skyldes forskellige hydrologiske tab i forbindelse med de befæstede overflader, som STORM beregner på baggrund af afløbskoefficienter samt parametre for befugtnings- og lavningsmagasinering. Det er hér valgt at fortolke disse tab som fordampningstab, dvs. der er ikke regnet med nedsivning gennem de befæstede overflader. Trugene og infiltrationsdammene, som lejlighedsvis er helt eller delvist fyldte med vand, dækker til sammenligning kun knap 200 m² og bidrager derfor kun i mindre grad til den totale fordampning svarende til 2% af bruttonedbøren for det samlede areal på godt 5.000 m².

Af nettotilstrømningen til LAR-anlæg på 521 mm beregner STORM, at 418 mm (62% af bruttonedbøren) nedsiver, at 16 mm fordamper (2% af bruttonedbøren), og at de resterende 87 mm (13% af bruttonedbøren) løber over. Overløbene sker i de situationer, hvor trug, infiltrationsdamme og faskiner er fyldte med vand, og overløbsvandet tilledes det offentlige afløbssystem fra LAR-systemets udløbspunkt ved bassinet i Vest.

Tabel 8.1 Overordnet vandbalance for LAR-systemet bestående af befæstede arealer tilsluttet trug, damme og faskiner. Vandbalancen er beregnet med simuleringssystemet STORM. Figur 8.1 illustrerer resultaterne grafisk.

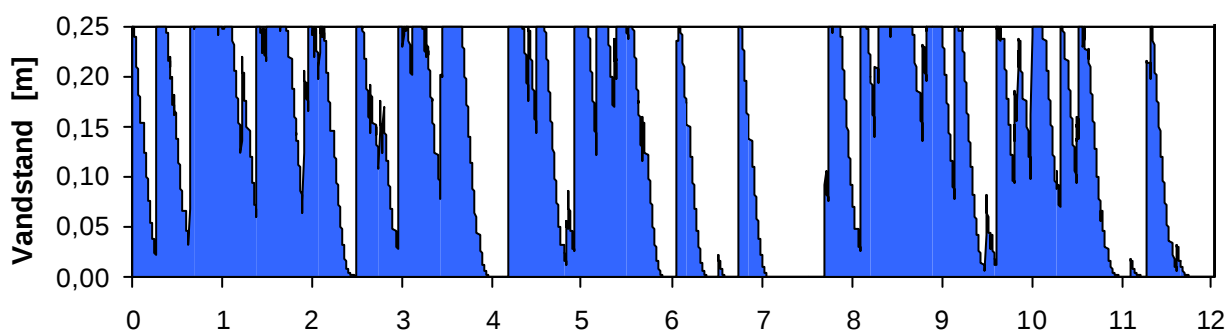
	mm	%
Bruttonedbør	676	100%
Fordampning fra befæstede arealer	-155	-23%
Tilstrømning til LAR—anlæg	521	77%
Fordampning fra LAR-anlæg	-16	-2%
Overløb fra LAR-anlæg til kloak	-87	-13%
Nedsivning fra LAR-anlæg	418	62%



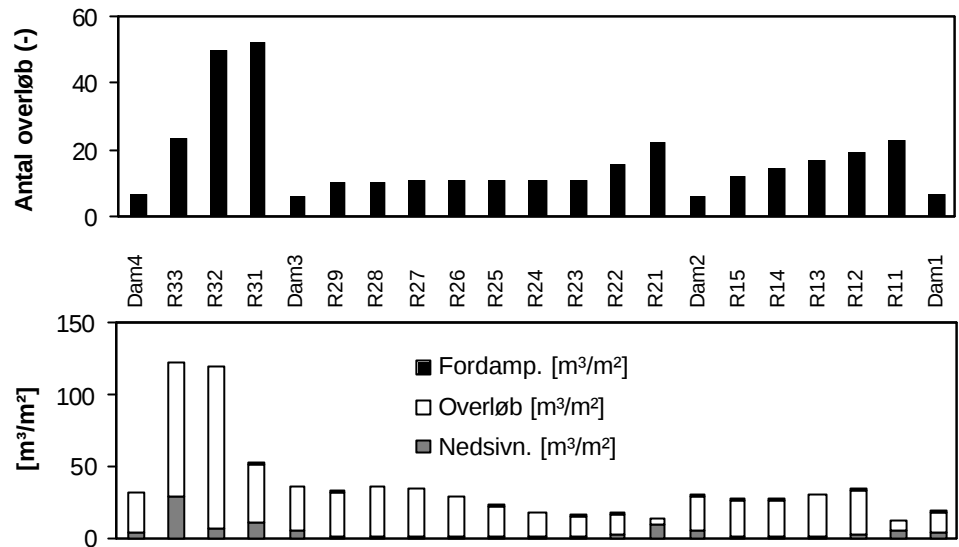
Figur 8.1 Den overordnede vandbalance for LAR-systemet bestående af befæstede overflader tilsluttet trug, damme og faskiner. Vandbalancen er beregnet med simuleringssprogrammet STORM.

Figur 8.2 illustrerer, hvordan vandstanden i én af infiltrationsdammene (Dam 2) varierer gennem året 1995. Det viser sig, at infiltrationsdammen i 1995 var tørlagt i 13% af tiden (knap 50 dage), og at 80% af den tilførte vandmængde fra de tilknyttede overflader samt opstrøms beliggende trug/faskiner og magasin blev ledt videre til det nedstrøms beliggende trug som overløb. Længden af våde og tørre perioder for infiltrationsdamme har afgørende betydning for den vegetation, som dammene skal beplantes med. F.eks. kan græs ikke ånde i vandmættet jord, mens sump og moseplanter kan vokse i vandmættet jord men til gengæld ikke kan tåle udtørring og evt. slid fra færdsel i de udtørrede fordybninger.

Figur 8.3 illustrerer, hvordan vandet fordeles og nedsiver gennem det øst-vestgående system af infiltrationsdamme og trug, hvor der også tilføres regnvand fra magasinerne via deres drosselledninger. De opstrøms beliggende elementer (indtil Dam 3) løber over ca. 5-20 gange om året, og vandbalancen er derfor domineret af overløb. Vandbalancen er sat i forhold til bundarealerne af de enkelte elementer, så deres effektivitet kan sammenlignes uanset deres forskellige størrelse. Beregningerne viser, at der kan nedsives fra 1,5-30 m³ vand pr. m² pr. år - altså op til 40 gange mere end bruttonedbøren på kun 0,676 m³ pr. m², hvilket illustrerer at LAR-anlæg kan benyttes til at nedsive regnvand koncentreret på et meget lille areal. Det er tydeligvis de nedstrøms beliggende elementer, som modtager mest regnvand og som der derfor også nedsives mest regnvand fra.

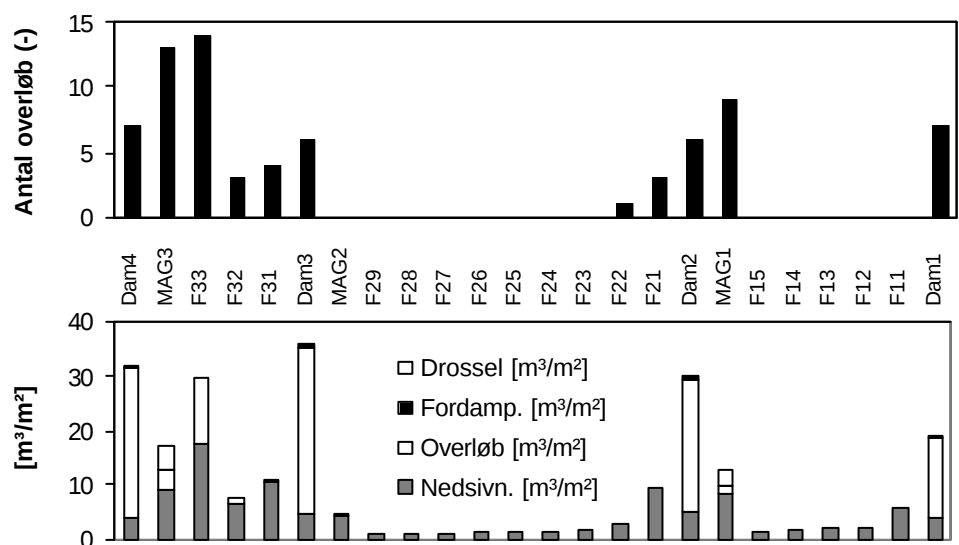


Figur 8.2 Vandstand i Dam 2 gennem året 1995 (måned 1-12), simuleret med STORM.



Figur 8.3 Antallet af overløb samt vandbalancer for de overfladenære elementer i det øst-vestgående system af infiltrationsdamme og -trug (Dam 1 ligger længst mod øst). Vandbalancen er sat i forhold til bundarealet af damme og trug. Simuleret med STORM for 1995.

Figur 8.4 viser, at de underjordiske anlæg udnyttes mere ujævnt. Trugene og dermed også faskinerne modtager kun vand via overløb fra infiltrationsdammene, og derfor nedsives mest vand fra de faskiner, som ligger tættest ved dammene. De hårdest belastede faskiner løber over op til 14 gange om året (F33), mens de mindst belastede slet ikke løber over i 1995. Det bemærkes, at der ved beregningerne illustreret på figur 8.3 og 8.4 er regnet med, at vandet nedsiver uhindret fra damme, trug og faskiner. I praksis vil der, jf. afsnit 8.2, afhængigt af årstiden være grænser for, hvor meget vand der kan nedsives, og i virkeligheden vil LAR-systemerne derfor være mere våde end beregnet.



Figur 8.4 Antallet af overløb samt vandbalance for hvert af de underjordiske elementer i det øst-vestgående system af infiltrationsdamme, -magasiner og -faskiner. Vandbalancen er sat i forhold til bundarealet af damme, magasiner og faskiner. Simuleret med STORM for 1995.

Simuleringsresultaterne vil naturligvis afhænge meget af de parametre, simuleringerne er baseret på, herunder parametre for jordens infiltrationskapacitet og hydrauliske ledningsevne. Usikkerheden herpå kan man imidlertid søge at nedbringe ved at inddrage relevante baggrundsdata, og man kan desuden gennemføre sensitivitetsanalyser, dvs. variere parametrene indenfor rimelige rammer og iagttagelse, hvorledes LAR-elementernes funktion afhænger heraf. For beregningerne illustreret på figur 8.2-8.4 er der benyttet en infiltrationskapacitet på 10^{-5} m/s for trugene og en hydraulisk ledningsevne på 10^{-6} m/s for øvrige elementer, hvilket stemmer godt overens med in-situ målinger i forbindelse med dette projekt samt erfaringer fra tidligere eksperimenter, jf. afsnit 3.2. Om det er realistiske værdier i den aktuelle situation med massiv nedsivning over et større område vil fremgå af næste afsnit.

Eksemplerne i figur 8.2-8.4 viser, at simuleringer af denne art kan benyttes til at tilpasse designet af LAR-anlæg med henblik på at få de enkelte anlægskomponenter til at leve op til specielle funktionskrav som f.eks. overløbshyppighed eller længden af våde og tørre perioder. Det er dog ikke forsøgt indenfor rammerne af dette projekt at optimere designet ud fra en hydrologisk indgangsvinkel.

Eksemplerne viser også, at simple dimensioneringsmetoder som angivet f.eks. i Spildevandskomitéens skrift nr. 25 ikke kan anvendes ved planlægning af komplicerede LAR-systemer som de hér beskrevne. I dette tilfælde svarer opgaven i virkeligheden til planlægning af større afløbssystemer med mange koblede ledningssystemer og bassiner. Hér kan man heller ikke sætte sin lid til simple metoder men må planlægge iterativt under anvendelse af simuleringsmodeller. STORM modellen svarer da i virkeligheden meget til afløbsmodeller som SAMBA og MOUSE, der benyttes meget i Danmark – blot er brugergrænsefladen specielt indrettet på problemstillingen. Det er imidlertid et åbent spørgsmål, om der i LAR-projekter som på Tingbjerg vil være ressourcer til rådighed til så komplicerede planlægningsopgaver.

8.2 Vandbalancen for Gavlhusgården

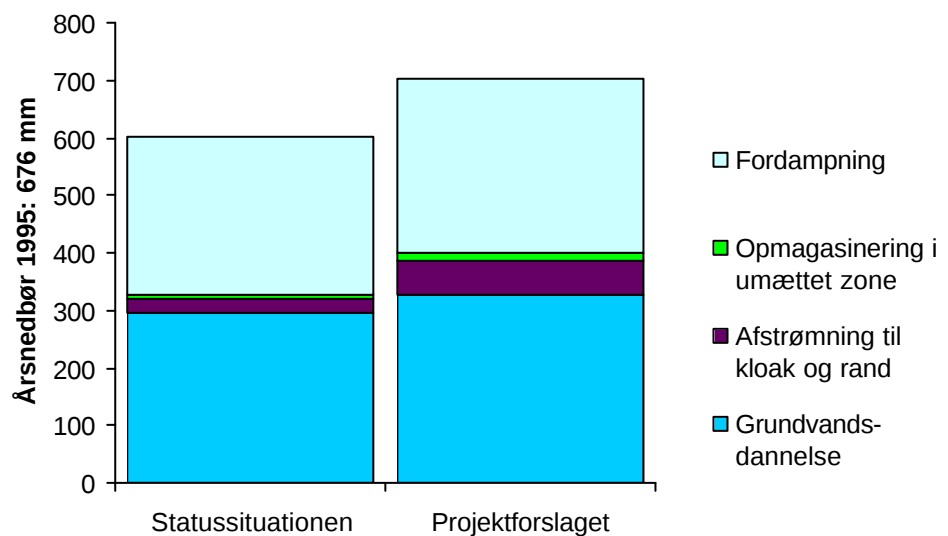
Ved simuleringen af grundvandsstrømningen i Gavlhusgården i status-situationen er den kalibrerede grundvandsmodel benyttet, og den tilpassede grundvandsmodel er benyttet til simulering af projektforslaget med udstrakt brug af LAR i Gavlhusgården, se afsnit 7.1 for yderligere detaljer.

Den overordnede vandbalance beregnet med MIKE SHE modellen er illustreret i tabel 8.2 og figur 8.5. Modelområdet dækker et areal på godt 10.000 m² som vist på figur 7.1. Bruttonedbøren er på 676 mm pr. år. I statussituationen afledes regnvand fra tagene på godt 1.000 m² til afløbssystemet udenfor Gavlhusgården. Det svarer til 75 mm nedbør pr. år fordelt over hele modelområdet, dvs. der håndteres kun 601 mm nedbør indenfor Gavlhusgården. Fordampningen er på 41% af bruttonedbøren, hvilket er betydelig mere end for de befæstede overflader, der blev simuleret med STORM modellen jf. afsnit 8.1. Opmagasiner i den umættede zone på 1% af bruttonedbøren skyldes, at modellen ikke har været kørt helt længe nok til at opnå helt stabile startbetingelser. Afstrømningen til dræn og rand dækker over afstrømning i bygningsdræn og gennem modellens rand i den vestlige, lavtliggende del. I alt udgør dette bidrag kun 3% af vandbalancen. Grundvands-tilstrømningen, dvs. tilstrømningen til det dybtliggende sandmagasin, er i statussituationen på 297 mm pr. år, svarende til 44% af bruttonedbøren.

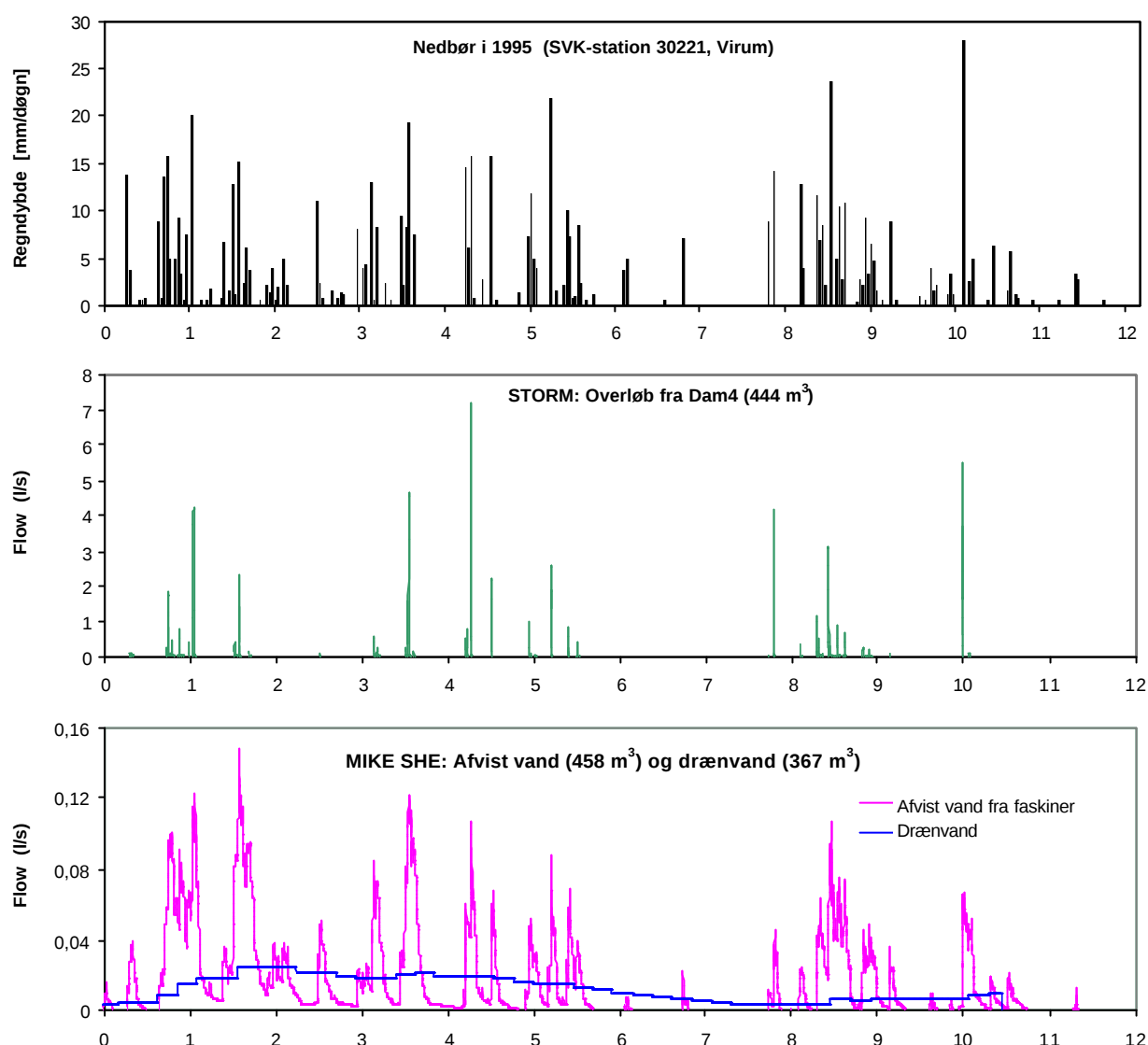
Tabel 8.2 Overordnet vandbalance for Gavhusgården, i alt 10.317 m², for status-situationen før indførelse af LAR og for projektforslaget med LAR. Vandbalancen er beregnet med simuleringsprogrammet MIKE SHE. Figur 8.6 illustrerer resultaterne grafisk.

	Statussituationen (uden LAR)		Projektforslaget (med LAR)	
	mm	%	mm	%
Bruttonedbør	676	100%	676	100%
Afstrømning befæstede arealer	-75	-11%	-139	-20%
Nedsivning fra LAR-anlæg			165	24%
Korrigeret bruttonedbør	601	89%	702	104%
Fordampning	-276	-41%	-304	-45%
Opmagasinerings i umættet zone	-6	-1%	-12	-2%
Afstrømning til dræn og rand	-23	-3%	-59	-9%
Grundvandsdannelse	297	44%	327	48%

Projektforslaget, hvor der gøres udstrakt brug af LAR, forandrer vandbalancen på flere punkter. For det første håndteres der mere vand i Gavhusgården end hvad der svarer til nedbøren over gårdens areal. Det skyldes, at afstrømning fra en del af de befæstede overflader nord for Gavhusgården tilføres magasiner, trug, damme og faskiner indenfor gården og nedsiver herfra. I alt håndteres nu 702 mm nedbør indenfor gården til sammenligning med 601 mm i statussituationen, hvilket svarer til en forøgelse på 101 mm nedbør eller 17% (se tabel 8.2 og figur 8.5). Nok så væsentligt er det, at grundvandsdannelsen øges med 10% fra 297 mm til 327 mm. Den resterende øgede vandmængde "forsvinder" som forøget fordampning (fra 276 mm til 304 mm ~ 10% forøgelse). Endelig er der en "fejl" i vandbalancen på 12 mm, som – svarende til for statussituationen – skyldes en opmagasinerings i den umættede zone, fordi modellen ikke har været kørt længe nok til at opnå helt stabile startbetingelser. Forandringerne af vandbalancen fremgår tydeligt af figur 8.5.



Figur 8.5 Overordnet vandbalance for Gavhusgården for statussituationen før indførelse af LAR og for projektforslaget med LAR. Vandbalancen er beregnet med simuleringsprogrammet MIKE SHE.



Figur 8.6 Elementer af vandbalancen for Gavlhusgården afbildet som tidsserier for 1995: Døgnnedbør, overløb fra LAR-anlæg (beregnet med STORM) samt afvist vand og drænvand (beregnet med MIKE-SHE). Tidsopløsningen for flow-tidsserierne er én time.

Den tidsmæssige dynamik i vandbalancens forskellige elementer er meget forskellig, hvilket er illustreret på figur 8.6 for projektforslaget med LAR. Nedbøren (øverst på figuren) er som sædvanligt fordelt i et meget irregulært mønster over året. Det samme mønster genfinder man delvist i tidsserien for overløb fra Dam 4 (midt på figuren), der er det nederste element i LAR systemet og dermed udløbspunkt for overløb til afløbssystemet udenfor Gavlhusgården. Dog er der tale om et begrænset antal overløbshændelser (med i alt 444 m³ vand), som optræder i de tilfælde, hvor det fortsætter med at regne, samtidig med at LAR-anlæggene er helt fyldte med vand.

Ved beregningerne af infiltrationen i magasiner, damme og faskiner med STORM er det antaget, at grundvandsspejlet altid står under bunden af faskinerne, og at grundvandssystemet dermed ikke er begrænsende for, hvor meget vand der kan infiltrere. Når de beregnede infiltrationsmængder fra STORM introduceres i grundvandsmodellen, stiger grundvandsniveauet imidlertid, og hvis grundvandsniveauet i modellen stiger over et prædefineret øvre niveau svarende til LAR-anlæggenes overløbsskoter, så "afvises" det

tiloversblevne vand af grundvandsmodellen. I virkeligheden svarer dette til, at vand vil løbe over fra faskine til faskine og til sidst løbe ud til afløbssystemet via bassinet mod vest, når grundvandspejlet står højt. Fænomenet kan iagttages på Figur 8.6 (nederst), som viser at det "afviste" vand (i alt 458 m³) afstrømmer i et mere udjævnet mønster end overløbene fra LAR-systemerne som simuleret med STORM, selvom en vis sammenhæng med meget regnfulde perioder godt kan spores.

Nedsivningen fra LAR-anlæg på 165 mm pr. år (se tabel 8.2) er forskellen mellem den med STORM beregnede nedsivning og den med MIKE-SHE beregnede "afviste" vandmængde. Det ville være muligt at undgå problemet med afvist vand, hvis blot parametrene for jordens infiltrationskapacitet og hydrauliske ledningsevne blev sat tilstrækkeligt lavt. Dette ville imidlertid ikke gøre beregningerne mere realistiske, da infiltrationen i situationer, hvor højtliggende grundvand ikke er begrænsende, i så fald ville blive simuleret for lav. En anden og bedre metode ville være at koble STORM og MIKE SHE modellerne dynamisk, så de for hvert tidsskridt kunne udveksle data. Dette er imidlertid langt fra nogen simpel sag, da modellerne er lavet til at analysere forskellige problemstillinger og desuden opererer på meget forskellige tidsskalaer. Direkte kobling af modeller ligger udenfor rammerne af dette projekt.

Figuren viser også, at drænastrømningen (i alt 367 m³) følger et endnu mere udjævnet mønster end både det afviste vand og overløbsvandet fra LAR-anlæggene. Her følger afstrømningen et sæsonbetonet mønster med højest flow i vinter- og forårmånederne. Det bemærkes, at maksimalafstrømningen for drænvand ligger omkring 0,03 l/s, hvilket er lidt mindre end maksimalafstrømningen for overløb fra Dam 4 (0,15 l/s) og meget mindre end maksimalafstrømningen for overløb fra LAR-anlæggene (7 l/s). Det bemærkes desuden, at tidsserien for overløb fra Dam 4 er afrundet til én-times værdier, og at de viste maksimalafstrømninger derfor i virkeligheden kan være større end angivet.

Vandbalancen viser overordnet, at etablering af LAR-systemet i Gavlhusgården gør det muligt at håndtere godt 100 mm mere regnvand indenfor gårdens område end i statussituationen, hvor denne vandmængde løber i afløbssystemet og tilføres renseanlæg. 30 % heraf går til forøgelse af grundvandsdannelsen, mens 28 % går til øget fordampning, hvilket skyldes jordens generelt øgede fugtindhold samt tilstedeværelsen af fri vandoverflader en del af året. 37% går imidlertid til øget afstrømning til dræn og rand, dvs. denne vandmængde "forsvinder" ikke helt men vender delvist tilbage til afløbssystemet - dog med stor forsinkelse og udjævning, som vist på figur 8.6 (nederst). Denne vandmængde har ikke betydning for afløbssystemets kapacitet pga. udjævningen, men den har fortsat betydning for den hydrauliske belastning af renseanlægget.

8.3 Vandbalancen for Gavlhusområdet

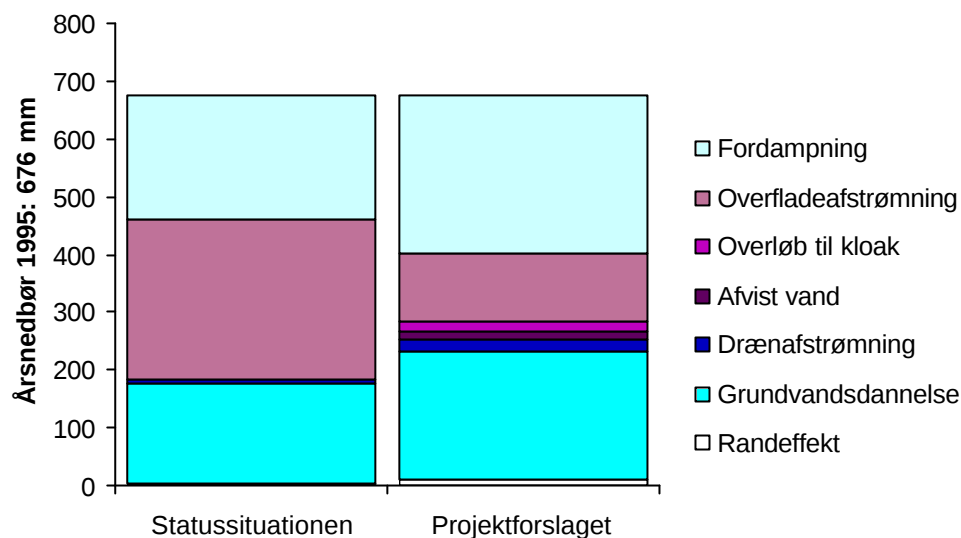
Tabel 8.3 og figur 8.7 viser den overordnede vandbalance for Gavlhusområdet som helhed i statussituationen før indførelse af LAR og for projektforslaget efter indførelse af LAR. I begge tilfælde er vandbalancen baseret på en kombination af simuleringsresultater og kvalificerede skøn, som er delvist baseret på simuleringsresultater.

Tabel 8.3 Overordnet vandbalance for Gavlhusområdet, i alt 28.180 m², for statussituationen før indførelse af LAR og for projektforslaget med LAR. Figur 8.7 illustrerer resultaterne grafisk. Vandbalancen for projektforslaget svarer til figur 8.8.

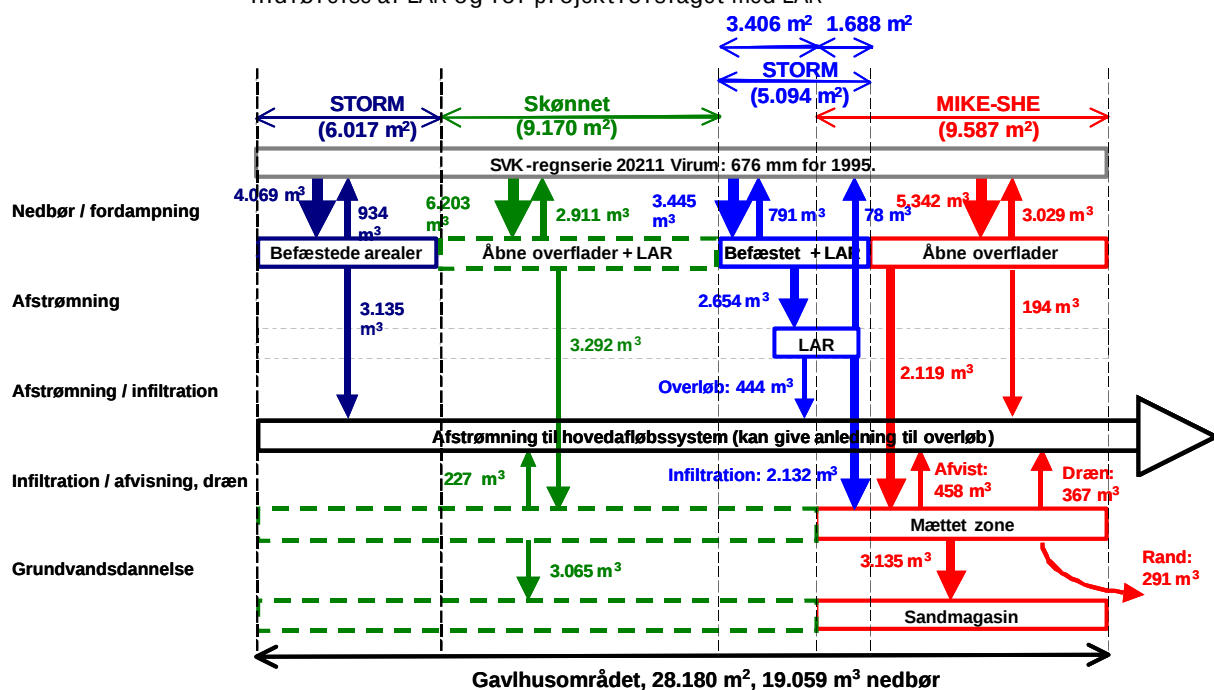
	Statussituationen			Projektforslaget		
	m ³	mm	%	m ³	mm	%
Nedbør	19.059	676	100,0%	19.059	676	100,0%
Fordampning	6.045	214	31,7%	7.743	275	40,6%
Kloakafstrømning	7.995	284	42,0%	4.825	171	25,3%
Overfladeafstrømning	7.805	277	41,0%	3.329	118	17,5%
Overløb fra LAR til kloak				444	16	2,3%
Afvist vand				458	16	2,4%
Drænastrømning	190	7	1,0%	594	21	3,1%
Grundvandsdannelse	4.919	175	25,8%	6.200	220	32,6%
Randeffekt	100	3	0,5%	291	10	1,5%

For statussituationen uden LAR er resultaterne fra kalibreringsberegningerne med MIKE SHE (se tabel 8.2) benyttet som grundlag for at skønne vandbalancen for det samlede areal med ubefæstet overflade, i alt godt 13.000 m² jf. figur 5.2(øverst). Tilsvarende er tallene fra STORM beregningerne (se tabel 8.1) benyttet til at skønne vandbalancen for de befæstede overflader (tage og øvrige tætte overflader) på knap 15.000 m².

For projektforslaget med LAR er den grundlæggende model for opstilling af vandbalancen i Gavlhusområdet noget mere kompliceret, hvilket er illustreret på figur 8.8. Modellen er baseret på 5 ”lag”, som repræsenterer fysiske elementer og geologien på Tingbjerg: Overfladerne, LAR-anlæggene, afløbssystemet, den mættede grundvandszone og det dybtliggende sandmagasin. Udvekslingerne mellem disse lag er: Nedbør/fordampning, direkte afstrømning (til LAR-anlæg samt afløbssystemet), overløb (fra LAR-anlæg til afløbssystemet), infiltration (til den mættede grundvandszone), afvisning og dræn (fra den mættede grundvandszone til afløbssystemet) samt randeffekt (udveksling med omkringliggende hydrologiske delområder) og grundvandsdannelse.



Figur 8.7 Overordnet vandbalance for Gavlhusområdet for statussituationen før indførelse af LAR og for projektforslaget med LAR



Figur 8.8 Illustration af, hvordan vandbalancen for Gavlhusområdet er fastlagt på baggrund af simuleringer med MIKE-SHE og STORM samt kvalificerede skøn. Tallene gælder for projektforslaget med LAR.

Den del af vandbalancen, som er baseret på beregninger på MIKE SHE programmet jf. afsnit 8.2 er optegnet med rødt på figur 8.8 yderst til højre. Tallene er nedskaleret en anelse i forhold til simuleringerne med MIKE SHE i erkendelse af, at godt 700 m² af modelområdet godt 10.300 m³ ligger udenfor afgrænsningen af Gavlhusområdet (9.587 m² ligger indenfor Gavlhusområdet). Modelområdet for STORM beregningerne (godt 5.000 m² jf. afsnit 8.1) er optegnet med blå på figur 8.8 og overlapper delvist med modelområdet for MIKE SHE beregningerne, fordi LAR-anlæggene er placeret i selve Gavlhusgården. Modelområdet for STORM og MIKE SHE modellen er samlet set på knap 13.000 m², hvilket sammen med bedene langs Gavlhusvej udgør arealet benævnt "arealer med lokal afledning af regnvand" på figur 5.2 (nederst). STORM beregningerne er desuden benyttet til at skønne vandbalancen for de øvrige befæstede overflader udenfor Gavlhusgården, godt 6.000 m² som afleder direkte til afløbssystemet (optegnet med blå længst til venstre på figur

8.8). Det tilbageværende areal på godt 9.000 m² udenfor Gavlhusgården (optegnet med grønt på figur 8.8) består af åbne overflader og befæstede arealer, som afledes umiddelbart til LAR-anlæg, herunder bede og fortove langs Gavlhusvej. Som grundlag for at skønne vandbalancen for disse arealer er MIKE SHE beregningerne for statussituationen i Gavlhusområdet benyttet.

Bruttonedbøren over Gavlhusområdet er som hidtil på 676 mm pr. år, og denne er i tabel 8.3 og figur 8.7 fordelt på hhv. fordampning, kloakafstrømning, grundvandsdannelse og randeffekt. Grundvandsdannelsen øges med 45 mm fra 175 mm i statussituationen til 220 mm pr. år efter indførelse af LAR. Dette svarer til en forøgelse på 25%, hvilket kan sammenlignes med, at grundvandsdannelsen kun blev forøget med 30 mm (10%) i Gavlhusgården isoleret set, jf. tabel 8.2.

Baggrunden for den større forøgelse af grundvandsdannelsen for Gavlhusområdet som helhed er, at overfladerne i Gavlhusområdet som helhed er meget forskellige fra arealerne i Gavlhusgården. Gavlhusgården har en meget lille befæstelsesgrad og en relativt stor status-grundvandsdannelse på 297 mm pr. år, hvorimod Gavlhusområdet som helhed har en stor befæstelsesgrad og en lille status-grundvandsdannelse på 175 mm pr. år. Det betyder, at potentialet for nedsivning og dermed grundvandsdannelse er udnyttet i mindre grad for Gavlhusområdet som helhed, fordi der antages ikke at være nogen infiltration under de befæstede overflader. Årsagen til, at grundvandsdannelsen øges med 30 mm i Gavlhusgården er, at det øverste grundvandsspejl hæves, hvilket øger den lodrette vandbevægelse indenfor et område, hvor der i forvejen var ret stor infiltration og dermed grundvandsdannelse. Når grundvandsdannelsen for Gavlhusområdet øges med hele 45 mm er årsagen imidlertid primært, at afstrømningen fra en del af det befæstede areal langs nordsiden af Gavlhusvej infiltreres frem for som i statussituationen at blive afledt til kloakken.

Udover en forøgelse af grundvandsdannelsen på 45 mm er der tale om en øget fordampning på 58 mm fra 214 mm til 272 mm pr. år og en sænkning af afstrømningen til hovedafløbssystemet på Tingbjerg på godt 100 mm fra 284 mm til 171 mm pr. år. Denne formindskelse af kloakafstrømningen med 37% er en stor fordel ved lokal afledning af regnvand på to måder: For det første sænkes den hydrauliske belastning på afløbssystemet, hvilket kan føre til hel eller delvis løsning af problemer med overløb til recipienter, og for det andet mindskes vandmængderne, som skal behandles på renseanlæg, hvilket vil reducere forureningsudledningerne og føre til et mindre forbrug af energi og kemikalier ved rensningen. Effekterne heraf for Tingbjerg som helhed vurderes i næste afsnit.

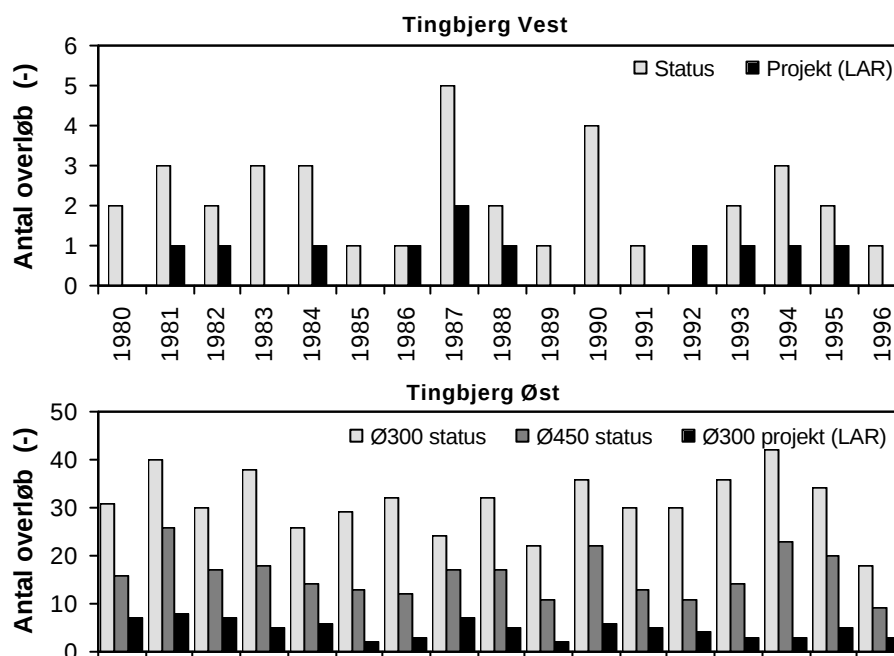
8.4 Effekten for afløbssystemet på Tingbjerg

I "typeprojektet" ved Gavlhusgården reduceres det befæstede areal, der afstrømmer direkte til kloakken, med 49% og afløbskoefficienten for alle de resterende overflader falder i gennemsnit med 7%, se afsnit 7.3. Ved simulering af effekten af LAR på afløbssystemet for hele Tingbjerg er de samme tal benyttet til at skønne arealreduktioner og reducerede afløbskoefficienter for hvert af de 10 hydrologiske delområder vist på figur 4.10, og afløbssystemets funktion er herefter simuleret med MOUSE-LTS for årene 1980-96 under anvendelse af regnserien fra Virum som input, jf. afsnit 3.4. De overordnede resultater for overløbsbygværkerne i Tingbjerg Vest og Øst fremgår af tabel 8.4.

Antallet af overløb pr. år til Gladsaxe's hovedkloak ved fæstningskanalen i Tingbjerg Vest reduceres som følge af indførelsen af LAR fra i gennemsnit 2,3 overløb pr. år til kun 0,6. Det årlige overløbsvolumen reduceres tilsvarende med ca. 75% fra godt 4.000 m³ til under 1.000 m³. Effekten på antallet af overløb i enkeltår fremgår af figur 8.9.

Tabel 8.4 Resultater af MOUSE-LTS simuleringer for de to overløbsbygværker i Tingbjerg Vest og Øst.

	Tingbjerg Vest		Tingbjerg Øst	
	Antal overløb (år ⁻¹)	Overløbsvol. (m ³ år ⁻¹)	Antal overløb (år ⁻¹)	Overløbsvol. (m ³ år ⁻¹)
Statussituationen (ø300, uden LAR)	2,3	4.080	31	21.300
Ændret pumpekapacitet (ø450, uden LAR)	-	-	16	10.300
Projektforslaget (ø300, med LAR)	0,6	930	4,8	2.100



Figur 8.9 Antallet af overløb pr. år for overløb i Tingbjerg Vest og Tingbjerg Øst for statussituationen uden LAR samt projektforslaget med LAR. For Tingbjerg Øst er endvidere vist antallet af overløb i situationen uden LAR, hvor diameteren af pumpeledningen ved Ruten er øget fra ø300 mm til ø450 mm.

Situationen i Tingbjerg Øst er som udgangspunkt værre end i Tingbjerg Vest, idet statussimuleringen peger på, at der er mellem 18 og 42 overløb til Utterslev Mose om året. Af tabel 8.4 fremgår det, at indførelse af LAR i hele Tingbjergs østlige del ville reducere overløbsmængden til Utterslev Mose væsentligt mere end de allerede udførte forøgelse af ledningsdimensioner og pumpekapaciteter. Den i afsnit 4.4 nævnte fordobling af pumpekapaciteten og udvidelse ledningsdiameteren fra ø300 mm til ø450 mm har iflg. tabel 8.4 og figur 8.8 bevirket ca. en halvering af antal overløb og overløbsmængderne til Utterslev Mose. Til sammenligning ville projektforslaget med LAR reducere det gennemsnitlige antal overløb fra 31 pr. år til knap 5, ligesom det årlige overløbsvolumen reduceres med 90% fra 21.300 m³ til 2.100 m³.

Det skal dog bemærkes, at beregningerne er behæftet med en ensidig usikkerhed, idet der ikke er taget hensyn til tilledning af drænvand, overløb fra LAR-anlæg og ”afvist” grundvand jf. figur 8.6. Ved indførelse af LAR i større boligområder som Tingbjerg får disse tilledninger af vand til kloakken betydning, idet de øger den hydrauliske belastning generelt og kan føre til en forøgelse af forureningsudledningerne via overløb – specielt i forbindelse med langvarige perioder med regn, hvor flere uafhængige regnskyl følger kort efter hinanden.

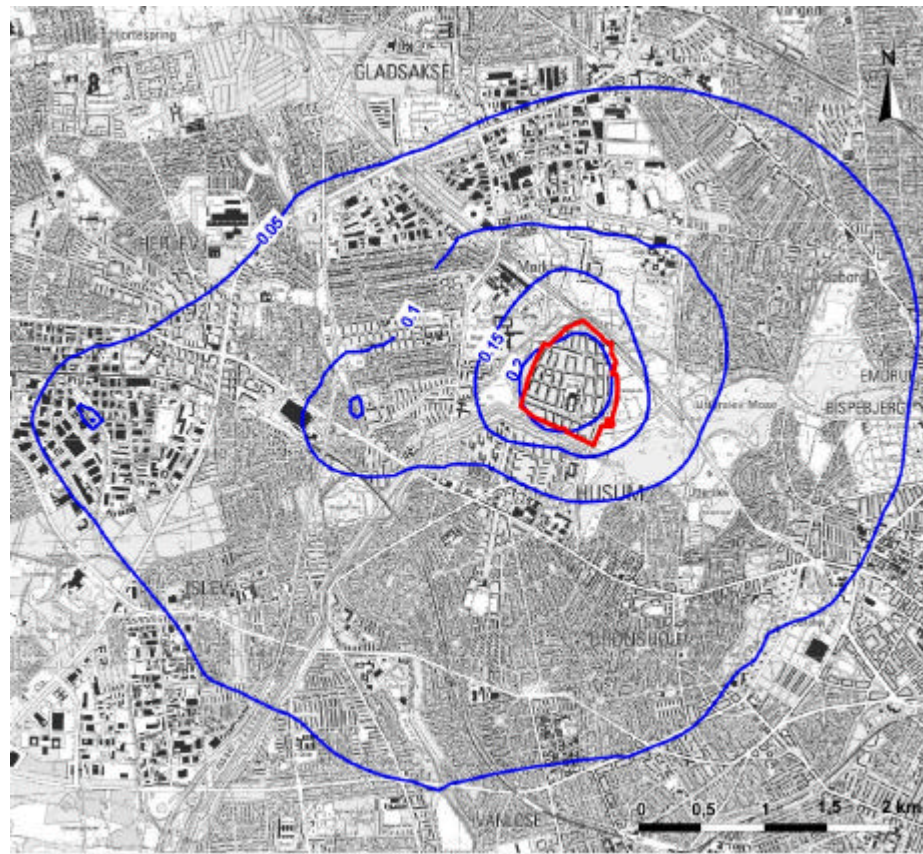
8.5 Effekten på det dybtliggende grundvand og grundvandsudvekslingen med Utterslev Mose

Som nævnt i afsnit 6.4 er det ved hjælp af en eksisterende regional grundvandsmodel opstillet med programmet MIKE SHE undersøgt, hvad lokal afledning af regnvand på hele Tingbjerg betyder for det dybtliggende regionale grundvandsmagasin under og omkring Tingbjerg samt for grundvandsudvekslingen med Utterslev Mose. Ved simuleringerne er det antaget, at infiltrationen til det primære magasin i Tingbjerg med de eksisterende forhold er 175 mm/år, og at infiltrationen efter etablering af infiltrationsanlæg og en reduktion af de befæstede arealer øges med 45 mm/år til 220 mm/år, jf. Tabel 8.3.

Den øgede infiltration af grundvand ved introduktion af LAR-anlæg i hele Tingbjerg medfører, at grundvandstrykket i det udbredte, dybtliggende magasin i kalken øges. Som vist på figur 8.10 bevirker den øgede infiltration en stigning i grundvandstrykket under Tingbjerg på 20-25 cm og en stigning på 5-15 cm under Utterslev Mose.

Grundvandstrykket under søerne i Utterslev Mose ligger 2 til 7 meter under søernes vandspejl, hvilket medfører at der sker en nedsivning af vand gennem søernes bund til grundvandet. Nedsivningen er i modellen beregnet til 200 mm/år, hvilket vurderes at være af den rigtige størrelse. Stigningen i grundvandstrykket under Utterslev Mose på 5-15 cm på grund af den øgede nedsivning fra LAR-anlæggene reducerer drivtrykket – forskellen mellem mosens vandspejl og grundvandets trykniveau – med et par procent. Med modellen er ændringen beregnet til ca. 1,5 %, hvilket svarer til en reduceret infiltration på ca. 3 mm/år eller 3.000 m³/år for hele Utterslev Mose, hvis areal er ca. 1 km². Vandudskiftningen i søerne er skønnet til 1,2 til 2,6 mio. m³/år (Markussen et al., 2002) svarende til at reduktionen på 3.000 m³/år udgør ca. 1,0 til 2,5 promille af vandudvekslingen i søerne.

Alt i alt må det konkluderes, at introduktionen af LAR-anlæg på Tingbjerg kun har en beskeden indflydelse på grundvandsniveauet i det udbredte, dybtliggende magasin i kalken og på vandudvekslingen i Utterslev Mose.



Figur 8.10 Stigningen af grundvandstrykket i det udbredte, dybereliggende magasin ved introduktion af LAR-anlæg i hele Tingbjerg. Enheden er meter.

9 Diskussion

9.1 Integration af fagdiscipliner

En grundlæggende erfaring i nærværende projekt har været, at lokal afledning af regnvand stiller krav til planlægningsprocessen, som ligger ud over gængs praksis. For det første er det nødvendigt at have et godt overblik over de tekniske muligheder for lokalt at håndtere regnvand ved hjælp af nedsivning, forsinkelse og fordampning via beplantning, så disse elementer kan indgå naturligt i udformningen af de landskabsarkitektoniske og planmæssige løsninger. For det andet er det nødvendigt at have kendskab til undergrundens beskaffenhed, hvilket skyldes, at jordens permeabilitet – og i vinterperioden også grundvandsspejlets beliggenhed og placeringen af bygningsdræn – er afgørende for, hvor meget vand, der kan afledes lokalt til jorden. Systematisk anvendelse af lokal afledning af regnvand på et niveau, så det har mere end signalmæssige værdi, kræver samarbejde mellem flere fagdiscipliner, som traditionelt arbejder på meget forskellige måder; landskabsarkitektur, hydrogeologi og afløbsteknik.

9.2 Integration af beregningsmodeller

Det er ønskeligt som led i en planlægningsproces at kunne designe anlæg til lokal afledning af regnvand, så de lever op til fastsatte funktionskrav. Sædvanligvis dimensioneres der for en ønsket *gentagelsesperiode* for overbelastning af faskiner eller tilsvarende typer af LAR anlæg på baggrund af information om anlæggets geometri og jordens beskaffenhed. Projektet har imidlertid illustreret, at så simple metoder ikke rækker, når der som her er tale om komplicerede systemer af indbyrdes forbundne trug, faskiner og damme. I sådanne tilfælde svarer opgaven i virkeligheden til planlægning af større afløbssystemer med mange koblede ledningssystemer og bassiner. Her kan man heller ikke sætte sin lid til simple metoder men må planlægge iterativt under anvendelse af simuleringsmodeller.

Det var oprindeligt tanken, at simuleringerne med STORM og MIKE SHE modellerne for Gavlhuseområdet skulle gennemføres flere gange, så nedsivningen fra LAR-elementerne beregnet med STORM kunne tilpasses den vandmængde, som det iflg. MIKE SHE beregningerne er muligt at nedsive. Det var imidlertid kun muligt at gennemføre én beregningsgang i projektet pga. praktiske problemer med den benyttede testversion af STORM modellen og det betydelige omfang, som beregninger på dette detaljerede niveau har. Beregningerne viste desuden, at nedsivningen fra LAR-elementer er årstidsafhængig pga. variationen i grundvandsstand, og STORM programmet åbner ikke umiddelbart mulighed for at simulere sådan en sæsonbetonet variation i nedsivningen. Den anvendte beregningsmetode, hvor den afviste infiltration fra MIKE SHE opfattes som en tilledning til afløbssystemet i stil med afstrømningen fra bygningsdræn, vurderes dog som tilstrækkelig nøjagtig til at vurdere betydningen af LAR for vandbalancen i området.

De detaljerede bregninger med STORM og MIKE SHE er kun gennemført for Gavlhusgården, men delresultater fra disse beregninger er benyttet til at skønne vandbalancen for Gavlhusområdet, der udgør ca. 5% af Tingbjergs samlede areal. Det har indenfor rammerne af projektet ikke været muligt at opstille detaljerede modeller for hele Tingbjerg området, og derfor er resultaterne for Gavlhusområdet opskaleret og lagt til grund for en vurdering af betydningen af indførelse af LAR på hele Tingbjerg. Det er oplagt, at fuldt integrerede beregningsmodeller vil være en fordel, så simuleringerne af både detailløsninger og vandbalancen for større områder kan gennemføres i sammenhæng.

9.3 Beregningernes pålidelighed

Modellen til beregning af afstrømningen fra befæstede overflader, STORM, er opstillet på baggrund af data for størrelsen af enkeltarealer i området. Resultaternes nøjagtighed afhænger derfor direkte af nøjagtigheden på arealopgørelsen – samt naturligvis af grundlæggende modeldata for fordampning og afløbskoefficienter for forskellige overfladetyper. Der ligger et væsentligt element af skøn på modeldata, specielt relateret til beregning af fordampning fra de befæstede overflader og fra LAR-elementerne, og usikkerheden på de beregnede årlige afstrømningsmængder kan derfor være betydelig. Desuden må det erkendes, at infiltrationskapacitet af jorden under trug og omkring faskiner kan variere med flere faktorer indenfor korte afstande, og værdierne benyttet i STORM til at beskrive nedsivningen kan kun betragtes som kvalificerede skøn. Det må dog understreges, at selvom STORM modellens beskrivelse af de enkelte LAR-elementers funktion er temmelig usikker, er beskrivelsen af det samlede systems funktion væsentlig bedre, fordi effekten af variationerne fra sted til sted udjævnes, når hele systemet simuleres samlet.

Den benyttede MIKE SHE model for statussituationen uden LAR er opstillet på baggrund af hydrogeologiske data fra Gavlhusgården, og den er desuden kalibreret i forhold til observerede grundvandstrykniveauer. Den forøgede grundvandsdannelse i Gavlhusgården ved etablering af LAR – inkl. afvisningen af vand fra nedsivningsanlæg i vinterperioden - vurderes derfor at være et realistisk estimat. Sammenkoblingen med den kalibrede grundvandsmodel bevirker i realiteten, at usikkerheden på resultaterne beregnet med STORM mindskes betydeligt.

Det er klart, at der indføres usikkerheder på vandbalancen ved at skønne som anført ovenfor og i kapitel 8 - uden at gennemføre planlægningen detaljeret for hver enkelt gårdområde. Det må dog her understreges, at det gennemregnede projektforslag for Gavlhusområdet ikke kan opfattes som ekstremt, og den beregnede stigning i grundvandsdannelsen fra 175 til 220 mm i 1995 ligger da også indenfor det område, der blev opfattes som realistisk i studiet af Ballerup kommune, som er refereret i kapitel 2 (Dahl et al., 1997). Det vurderes ud fra projektgruppens generelle erfaringer og kendskab til området, at løsninger med tilsvarende effekt vil kunne etableres på Tingbjerg som helhed.

Resultater for reduktion af overløb er beregnet med en opstillet MOUSE model, som ikke er kalibreret i detaljer, og resultaterne kan derfor kun bruges til at give et overordnet indtryk af effekterne af LAR på Tingbjerg. Det bemærkes i den forbindelse, at konklusionerne i noget omfang er anderledes end i tidligere undersøgelser, som er refereret i kapitel 2. Det er tidligere vist (Jacobsen & Mikkelsen, 1996), at total afkobling af en del af de befæstede overflader fra afløbssystemet ikke har den samme gavnlige effekt på antallet af

overløb som etablering af forsinkelsesbassiner, fordi et bassin kan forhindre overløb helt for mindre og mellemstore regnskyl, mens afkoblingen af befæstede overflader kun reducerer afstrømningen delvist og derfor ikke fjerner overløb helt. Når beregningerne i dette projekt har vist, at projektforslaget på Tingbjerg er meget effektivt til at reducere antallet af overløb (75-85% reduktion), skyldes det, at LAR-systemets mange nedsivningsanlæg og damme indeholder et betydeligt magasineringsvolumen, som giver samme effekt på antallet af overløb til Utterslev mose, som et centralt beliggende bassin.

Det er ikke muligt på grundlag af arbejdet i projektet at kvantificere usikkerheden på vandbalancen eller usikkerheden på overløb til Utterslev Mose præcist. Til gengæld er det væsentligt at påpege, at de beregnede ændringer som følge af etablering af LAR-systemet er væsentligt mere nøjagtige end de absolutte talværdier. F.eks. kan det siges med stor sikkerhed, at grundvandsdannelsen vil øges med ca. 25% indenfor Tingbjergs areal, at afstrømningen til afløbssystemet vil reduceres med 40%, og at overløbsmængderne til Utterslev Mose vil reduceres med 80-90%, hvis LAR-systemer svarende til det skitserede projektforslag etableres på hele Tingbjerg.

9.4 Behov for bedre værktøjer og ny viden

Det er et åbent spørgsmål, om der i LAR-projekter som på Tingbjerg vil være ressourcer til rådighed til lige så komplicerede planlægningsberegninger. For at lette arbejdet – og gøre planlægningsberegninger mere realistiske i praksis – vil det være en fordel at koble modelværktøjerne direkte til geografiske informationssystemer (GIS), så vekslingen mellem skitsering af planløsninger og vurdering af LAR-systemernes funktion og effekt gøres mere fleksibel. Det vil vise sig, om der fremover ligesom i udlandet vil komme efterspørgsel efter værktøjer af denne art, eller om anlægsprojekternes typisk økonomisk beskedne størrelse vil forhindre en sådan udvikling.

I praksis etableres lokal afledning af regnvand på arealer, der er underlagt privat ejendomsret, og offentlige myndigheder har ikke adgang til at påbyde lokal afledning af regnvand, hvis der tidligere er givet tilladelse til afledning til afløbssystemet. Det betyder, at LAR-projekter kun kan gennemføres, hvis ejendommens ejer er indstillet på at medvirke. Der er i dag mulighed for at tilbagebetale en del af tilslutningsbidraget, hvis regnvandet nedsives på egen grund, men det er ikke sikkert, at dette incitament er nok til at opveje de ulemper, der er i forbindelse med gravearbejder osv. på privat grund. Erfaringer fra Japan viser, at gennemførelse af LAR i større stil kun er muligt, hvis beboere inddrages og motiveres til at medvirke (Fujita, 1996). Borgerinddragelse har endnu ikke været gennemført i Danmark i forbindelse med så gennemgribende løsninger som det skitserede LAR projektforslag i denne rapport.

Konkret betyder lokal afledning af regnvand, at et meget stort antal forskellige tekniske løsninger kan komme på tale, afhængigt af de lokale forudsætninger og de involverede beboere og rådgivere. Der er i dag ikke noget godt overblik over, hvordan de mange mulige løsninger dimensioneres, anlægges og vedligeholdes. Desuden eksisterer der kun nogle få eksempler, hvor LAR-projekter er evalueret over en årrække – både med hensyn til deres hydrologiske funktion og deres samspil med den arealmæssige planlægning fra beboernes synsvinkel. Økonomien i LAR-løsninger er desuden relativt uklar. Nærværende projekt har vist, at tidligere gennemførte overslagsberegninger over effekten af LAR i større skala holder, men der er endnu et stykke vej fra at beregne effekten af

LAR i detaljer til at demonstrere effekten i praksis. Der er kort og godt brug flere praktiske erfaringer, som kan gøre det mere gennemskueligt, hvad ambitiøse LAR-projekter indebærer.

I Danmark benyttes grundvand som primær vandforsyningskilde, og da regnvand under nogle omstændigheder kan være forurenet med tungmetaller og miljøfremmede organiske stoffer, opfattes nedsivning af forurenet regnvand undertiden som en trussel mod grundvandskvaliteten. Der er erfaringer i retning af, at nedsivning af forurenet regnvand gennem mange år kan medvirke jordforurening med tungmetaller og oliekomponenter, men der er til gengæld ingen dokumenterede tilfælde af grundvandsforurening på grund af nedsivning af regnvand (Mikkelsen, 1995). Samtidig må det også nævnes, at alternativerne til lokal afledning af regnvand også indebærer problemer. Ved afledning til fællessystemer koncentrerer en del af forureningsstofferne i rensningsanlæggets spildevandsslam, og ved afledning til et separatsystem forurenes overfladevand og sedimenter potentielt. Der er altså behov for integreret tænkning, så risikoen for forurening af jord, grundvand og overfladevand/sedimenter kan vurderes samlet, og den mest bæredygtige afledningsform kan vælges ud fra en helhedsvurdering (Mikkelsen et al., 2001).

10 Konklusion og anbefalinger

Projektets primære formål har været på et detaljeret niveau for et konkret boligområde at vurdere, hvordan vandbalancen forandres ved lokal afledning af regnvand, herunder hvordan grundvandsdannelsen, afstrømningen til afløbssystemet fra befæstede flader og dræn samt overløb til recipienter påvirkes. Samtidig har det været et sekundært mål at demonstrere, hvordan moderne modelværktøjer kan anvendes i konkrete planlægningssituationer til at vurdere funktionen af komplicerede systemer til lokal afledning af regnvand og deres betydning for vandbalancen. Endelig har det været formålet at demonstrere, hvordan lokal afledning af regnvand kan indpasses som et positivt bidrag i forhold til andre hensyn og interesser i grønne områder mellem bygninger.

Et boligområde på Tingbjerg i København blev valgt som case område med en detailbehandling af en af boligområdets gårde, hvor et projektforslag med forsinkelse og nedsivning af regnvand blev udarbejdet. Projektforslaget bygger på idéen om et blødt formet terræn, hvor man kan færdes overalt, og hvor regnvandet i maksimalt omfang samles og synliggøres ved nedsivning gennem centralt beliggende beplantede fordybninger og bassiner, der er forbundet med underjordiske faskiner og kun giver anledning til overløb til afløbssystemet under kraftig regn. Projektforslaget vurderes at være realistisk, forstået på den måde at løsninger med tilsvarende effekt ville kunne etableres på Tingbjerg som helhed, selvom ikke alle delområder åbner samme planlægningsmæssige muligheder.

For det konkrete projektforslag med forbundne LAR-komponenter i et delområde af Tingbjerg blev en model opstillet ved hjælp af simuleringsprogrammet STORM. Tilsvarende blev en model for infiltration, omfangsdræn ved bygninger og grundvandsdannelse opstillet ved hjælp af simuleringsprogrammet MIKE SHE, og nedsivning beregnet som output fra STORM blev derefter benyttet som input til MIKE SHE. Endelig blev en model for det samlede afløbssystem på Tingbjerg opstillet i simuleringsprogrammet MOUSE, ved at opskalere resultaterne fra detailbehandlingen af et enkelt delområde.

De detaljerede beregninger viser, at grundvandsspejlet i våde perioder stiger så højt, at nedsivningen fra terræn og faskiner begrænses, samtidig med at afstrømningen via bygningsdræn øges. Effekten heraf på afløbssystemet er dog begrænset, idet afstrømningen via bygningsdræn foregår langsomt og dermed ikke resulterer i overløb til recipienter i samme grad som ved direkte tilledning under regn.

Den samlede vandbalance for Tingbjerg, udarbejdet ved at kombinere modelberegningerne med kvalificerede skøn, viser at:

- Nedbørsdata anvendt ved beregningerne angiver en bruttonedbør over Tingbjerg på 676 mm i 1995. Bruttonedbøren fordeles som udgangspunkt på fordampning (32%), kloakafstrømning inkl. dræn (42%) og grundvandsdannelse (26%).
- Etablering af lokal afledning af regnvand svarende til projektforslaget på hele Tingbjerg vil forøge fordampningen til 41% af årsnedbøren,

hvilket er en forøgelse på knap 30%. Årsagen er omdannelse af befæstede arealer til grønne arealer, tilstedeværelsen af frie vandoverflader i terrænet samt generelt mere fugtig jord, der øger den aktuelle fordampning.

- Samtidig vil kloakafstrømningen blive reduceret til 25% af årsnedbøren, hvilket er en formindskelse på ca. 40% i forhold til udgangspunktet. Dette dækker over, at overfladeafstrømningen reduceres med hele 58%, fordi en del af de befæstede overflader tilsluttes LAR-anlæg, men at effekten begrænses noget, fordi afløbssystemet indirekte tilføres vand pga. overløb fra LAR-anlæggene under kraftig regn og midlertidigt højtliggende grundvandsspejl om vinteren, der begrænser infiltrationen og øger drænafstrømningen.
- Som konsekvens af ovenstående forøges grundvandsdannelsen til 33% af årsnedbøren svarende til en forøgelse på godt 25% i forhold til udgangspunktet.

Beregningerne for afløbssystemet på Tingbjerg viser, at etablering af LAR på hele Tingbjerg svarende til projektforslaget reducerer hyppigheden af overløb fra Tingbjergs to overløbsbygværker med 75-85%, mens den årlige overløbsmængde reduceres med 80-90%.

Beregninger med en regional grundvandsmodel har desuden vist, at trykniveauet i det dybtliggende grundvandsmagasin under Tingbjerg stiger med 20-25 cm. Under Utterslev Mose stiger det tilsvarende med 5-15 cm, hvilket bevirker, at infiltrationen fra mosen falder med ca. 3 mm/år, svarende til mindre end 2,5 promille af den samlede vandudveksling i mosen. Effekten af at etablere LAR i alle områder omkring Utterslev mose er ikke vurderet som led i projektet.

Projektet peger på, at det er muligt ved hjælp af moderne simuleringssværktøjer at vurdere de hydrologiske effekter af LAR-projekter på et realistisk detaljeret niveau. Der er dog vanskeligheder forbundet med integration af modeller for LAR, grundvand og afløbssystemer, da modellerne opererer på forskellige skalaer i både sted og tid. Samtidig er modelberegningerne behæftet med usikkerheder, som er vanskelige at kvantificere uden detaljerede feltmålinger, men som dog betyder mindre i forbindelse med relative vurderinger af effekten af LAR-tiltag i forhold til udgangspunktet uden LAR. Realistiske projekter, der udnytter mulighederne til fulde under behørig hensyntagen til de lokale hydrogeologiske forudsætninger kræver desuden samarbejde og informationsudveksling mellem mange fagdiscipliner. Integration af plangrundlag og simuleringssmodeller i et fælles GIS-interface vil utvivlsomt gøre det mere realistisk at planlægge og gennemføre ambitiøse LAR-projekter, der indebærer mere end blot en demonstrationseffekt.

Sammenfattende kan det konkluderes, at lokal afledning af regnvand kan være en effektiv metode til at genskabe det hydrologiske kredsløb i byområder og nedsætte miljøbelastningen fra afløbssystemer. Det er imidlertid en række forhold, der bremser en udvikling i denne retning. Projektet har ikke omfattet vurderinger af, hvordan jord, grundvand og overfladevand påvirkes af forurening ved nedsivning af regnvand, hvor økonomisk attraktive løsninger baseret på LAR er samt hvordan beboere og boligforeninger oplyses, inddrages og motiveres i projekter om lokal afledning af regnvand. Disse elementer blev udskudt til et evt. efterfølgende projekt, efter det oprindeligt ansøgte projektbeløb blev reduceret, og der er således fortsat behov for syntese af viden og afklaring på området.

11 Referencer

Ahlman, S. and Svensson, G. (2002): Substance flow analysis of the storm-water system in Vasastaden, Göteborg. In: Strecker, E. W. & Huber, W. C. (eds.): Global solutions for urban drainage. 9ICUD, Portland, Oregon, 8-13 September 2002. CD-ROM, ASCE Publications, Reston, VA.

Anthonisen, U.; Faldager, I.; Hovgaard, J.; Jacobsen, P. og Mikkelsen, P.S. (1992): Lokal afledning af regnvand. *Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen*, Nr. 36, Miljøstyrelsen, København.

Basini, R. & Patton, V. (2001): Analysis of the Tingbjerg sewer system. 5 *ECTS credit special course*, Environment & Resources DTU, Technical University of Denmark.

Dahl, M.; Henriksen, H.J. og Morthorst, J. (1997): Lokal afledning af regnvand i bymiljøet, hydrologiske forudsætninger og eksempler fra Ballerup. Statens Byggeforskningsinstitut og Forskningscentret for Skov og Landskab. 74 pp.

DHI (1999): MIKE SHE Water movement, User Manual. Danish Hydraulic Institute.

DHI (1996): MOUSE Pilot, ver. 3.41, User manual. Danish Hydraulic Institute.

Dreiseitl, Herbert et al (2001) *Waterscapes – planning, building and designing with water*, Birkhauser, Basel 176 p.

Durchschlag, A.; Härtel, L.; Hartwig, P., Kaselow, M.; Kollatsch, D.; Otterpohl, R. og Schwenter, G. (1992): Joint consideration of combined sewage and wastewater treatment plants. *Water Science & Technology*, Vol. 16, No. 5/6, pp. 1125-1134.

Fujita, S. (1996): Measures to promote stormwater infiltration. In: 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover 9- 13 September, Proceedings, Vol. I, pp. 407-412. SuG-Verlagsgesellschaft, Hannover, Germany.

Geiger, W. og Dreiseitl, H. (1995) *Neue Wege für das Regenwasser – handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten*, Herausgeber Emscher Genossenschaft, Essen und internationales Bauausstellung Emscher Park, Oldenburg Verlag, 293 p.

IfS (1999): R-Win Stormwater Management, version 3.0 User Guide. Ingenieurgesellschaft für Stadthydrologie m.b.H.

Hartmann, S. og Villadsen, V. (1979): *Danmarks Arkitektur, Byens huse - Byens plan*. Arkitektens Forlag, 210 p.

Hovgaard, J.; Jacobsen, P. og Mikkelsen, P.S. (1992): Effekten af nedsivning på traditionel regnvandsafledning. Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Danmarks Tekniske Højskole, Lyngby.

Jacobsen, P. og Mikkelsen, P.S. (1996): Reduction of urban runoff pollution discharges by means of stormwater infiltration and detention basins. In: 7th International Conference on Urban Storm Drainage, Hannover 9- 13 September, Proceedings, Vol. I, pp. 515-520. SuG-Verlagsgesellschaft, Hannover, Germany.

Kruithof, A. (2000): Ecological handling of rainwater in Tingbjerg, Practical work at Rambøll Copenhagen. Udvekslingsstuderende fra TU Delft, Delft University of Technology.

Linde, J.J.; Winther, L.; Jensen, H.T.; Mathiasen, L.L. og Johansen, N.B. (2002): Afløbsteknik. Polyteknisk Forlag, 471 pp.

Makropoulos, C.; Butler, D. and Maksimovic, C. (2001): GIS-supported stormwater source control implementation and urban flood risk mitigation. In: Marsalek, J.; Watt, E.; Zeman, E. and Sieker, H. (Eds.): Advances in Urban Stormwater and Agricultural Runoff Source Controls, p. 95-105. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/NL.

Markussen, L.M.; Nicolaisen L.L.; Bitsch, K.; Nielsen, H.S. (2002): Københavns Energi. Forundersøgelser for en eventuel fremtidig vandindvinding i Brønshøj/Husum-området. RAMBØLL.

Mikkelsen, P.S. (1995): Hydrological and pollutional aspects of stormwater infiltration. *Ph.D. Thesis*. Institut for Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet, 82 pp + appendix.

Mikkelsen, P.S.; Jacobsen, P; Fujita, S. (1996): Infiltration practice for control of urban stormwater. *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 34., No. 6, pp. 827-839.

Mikkelsen, P.S.; Warnaars, E. og Larsen, A.V. (1998): Nedsivning af regnvand fra en boligkarré på Nørrebro. 2½ års monitoring af et faskineanlægs funktion – Dokumentation og databearbejdning. Institut for Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet, 40 pp.

Mikkelsen, P.S., Baun, A. & Ledin, A. (2001): Risk assessment of stormwater contaminants following discharge to soil, groundwater or surface water. In: Marsalek, J. (ed.), Advances in urban stormwater and agricultural runoff source controls, pp. 69-80. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL.

Nielsen, M.K. (2002): Drift af Spildevandskomiteens regnmålersystem – Årsnotat 2001. Teknisk rapport 02-04, Danmarks Meteorologiske institut,

Petersen, C.O.R.; Jacobsen, P. og Mikkelsen, P.S. (1994): Design of stormwater infiltration for reduction of combined sewer overflow (CSO). *Water Science & Technology*, Vol. 30, No. 1, pp. 53-61.

Rambøll (1999): Københavns Amt og Københavns Energi. Kort over grundvandspotentiale i kalkmaterialet, oktober 1999 for Københavns Amt.

Rambøll (2002a): GeoGIS database med oplysninger om ca. 20.000 boringer i Københavnsområdet. Databasen indeholder også oplysninger om grundvandsstanden.

Rambøll (2000b): Digital, tredimensional geologisk model for Københavnsområdet samt flere grundvandsmodeller fra området, 2002.

Sieker (2000): MURISIM 4.0 Handbuch. Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker mbH.

Sieker, H. (2001): Objectives of stormwater management – A general comparison of different measures . In: Marsalek, J.; Watt, E.; Zeman, E. and Sieker, H. (Eds.): Advances in Urban Stormwater and Agricultural Runoff Source Controls, p. 27-38. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/NL.

Sieker, H. and Klein, M. (1998): Best management practices for stormwater-runoff with alternative methods in a large urban catchment in Berlin, Germany. *Water Science & Technology*, Vol. 38, No. 10, pp. 91-97.

Spildevandskomiteen (1980): Spildevandskomiteens regmålersystem. *Skrift nr. 17*, DIF Spildevandskomiteen.

Spildevandskomiteen (1995): Nedsivning af regnvand – dimensionering. *Skrift nr. 25*, IDA Spildevandskomiteen, 45 pp.

Spildevandskomiteen (1999): Regional variation af ekstremregn i Danmark. *Skrift nr. 26*, IDA Spildevandskomiteen, 110 pp.

Stahre, P. (2002): Integrated Planning of Sustainable Stormwater Management in the City of Malmo, Sweden. In: Strecker, E. W. & Huber, W. C. (eds.): Global solutions for urban drainage. 9ICUD, Portland, Oregon, 8-13 September 2002. CD-ROM, ASCE Publications, Reston, VA.

Sørensen, C. Th. (1975): Haver: Tanker og arbejder. Christian Ejlers Forlag.

Warnaars, E.; Larsen, A.V.; Mikkelsen, P.S. (1999): Hydrologic behaviour of stormwater infiltration trenches in a central urban area during 2 ¾ years of operation. *Water Science and Technology*, Vol. 39. No. 2, p. 217–224.

DATANOTAT

RAMBØLL
Bredevej 2
DK-2830 Virum

Tlf: 4598 6000
Direkte tlf: 4598 6773
Fax: 4598 6700
E-post: Imm@RAMBOLL.DK
www.ramboll.dk

Økologisk håndtering af regnvand på Tingbjerg Etablering af boringer

1 Indledning

Til vurdering af jordlagene og grundvandsniveauet på Tingbjerg og i det udvalgte projektområde, Gavlhusgården, er der i perioden 20. til 29. marts 2000 blevet udført en række boringer ved 3 lokaliteter i gården og 2 lokaliteter uden for gården. Boringerne i Gavlhusgården blev i begyndelsen af september 2000 suppleret med tre korte boringer filtersat i bunden af fyldlaget. Placeringen af boringerne fremgår af figur 4.1

Dato 2002-12-12
Revideret
Initialer LMM/blb
Sag 990871
J.nr. BJ407502

Ved de tre lokaliteter, 2-4, i Gavlhusgården ligger de tre boringer A, B og C inden for en kvadratmeter. Baggrunden for at placere tre tætliggende boringer med filterintervaller i forskellig dybde var et ønske om at kunne vurdere grundvandsniveauets variation med dybden.

Vandstanden i de udførte boringer er blevet pejlet ca. hver anden uge fra boringernes etablering til begyndelsen af august 2001; og i de tre pejlerør på lokalitet 3 er der udført et simpelt infiltrationsforsøg.

2 Borearbejdet

Boringerne blev udført som forede tørboringer af United Drilling Contractors, GEO. De 3 supplerende korte C-boringer var dog ikke forede. RAMBØLL har indmålt koten til terræn ved boringerne.

Der blev udtaget omrørte jordprøver for hver halve meter - dog mindst fra hvert lag - og prøverne er efterfølgende blevet geologisk bedømt af en geolog i RAMBØLLs Geolaboratorium.

Bilag

Bilag 2.200 Signaturforklaring
Bilag 2.201-2.205 Boreprofiler

Medlem af F.R.I
CVR-NR 35128417

Boringerne er filtersat med 40 mm PEH rør bortset fra de korte C-boringer, hvor der er anvendt 25 mm PVC rør. Som filtergrus er anvendt Lund 0 bortset fra det dybe filter i boring 1, hvor der er anvendt Lund 3. I terræn er boringerne afsluttet med 150 mm betonrør med betondæksel bortset fra boring 1, hvor dimensionen er 400 mm.

Efter filtersætning blev filterrørenes funktion afprøvet ved påfyldning af vand.

3 Beskrivelse af de filtersatte boringer

Boreprofilerne fremgår af bilag 2.201-2.205, og signaturforklaringen er vist på bilag 2.200. I tabel 3.1 er vist en oversigt over boringernes opbygning.

Boring	Diameter	Dybde	Filterinterval* Meter under terræn
1	8"	30	3,5 - 6,0 14,5 - 29,9
2A	4"	5	3,3 - 5,0
2B	4"	3	1,5 - 3,0
2C	6"	1,5	0,5 - 1,5
3A	4"	5	3,3 - 5,0
3B	4"	3	1,5 - 3,0
3C	6"	1,5	0,5 - 1,5
4A	4"	5	3,3 - 5,0
4B	4"	3	1,5 - 3,0
4C	6"	1,5	0,5 - 1,5
5A	4"	7	5,2 - 7,0
5C	4"	3	1,5 - 3,0

* Filterinterval angiver det gruskastede interval

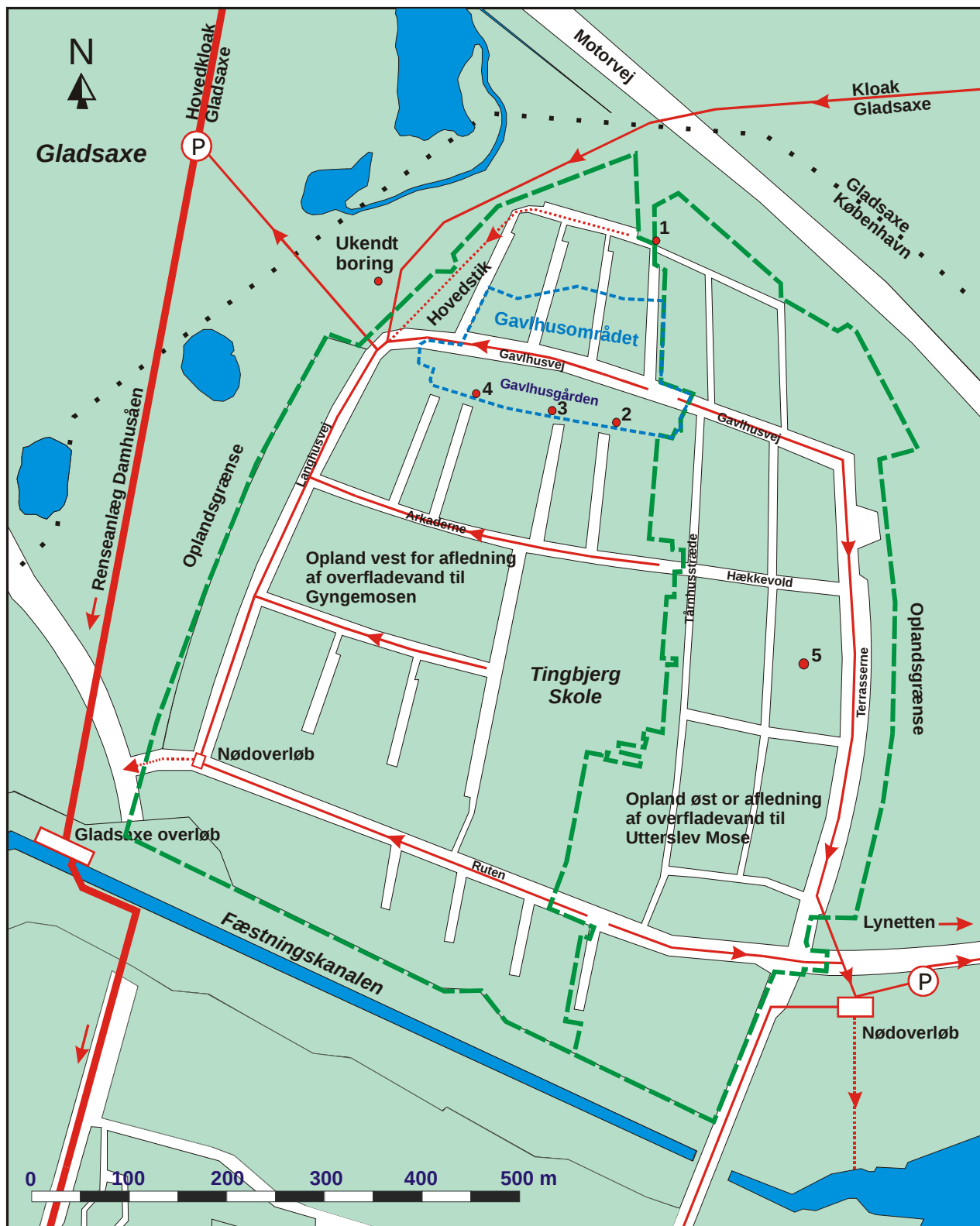
Tabel 3.1 Oversigt over boringernes opbygning

Den 17. april 2001 udførte RAMBØLL med assistance fra FSB et simpelt forsøg til etablering af et skøn over vandføringsevnen i de øvre jordlag i Gavlhusgården.

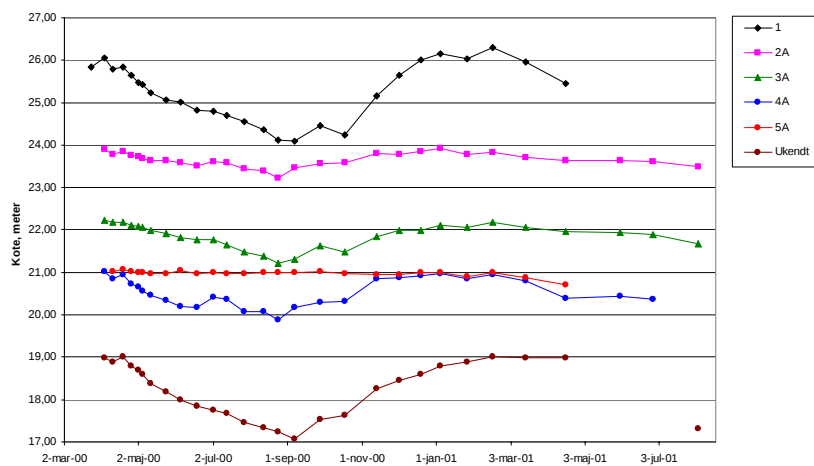
4 Pejlinger af vandstand i boringer

Vandstanden i de udførte boringer er blevet pejlet ca. hver anden uge fra boringernes etablering til begyndelsen af august 2001. Umiddelbart nord for Tingbjergbebyggelsen blev der fundet en boring, hvis oprindelse ikke kendes, med et 5 m dybt pejlerør. Denne boring er også blevet pejlet. Placeringen af boringen, der er døbt 'Ukendt', fremgår af figur 4.1 i afsnit 4.

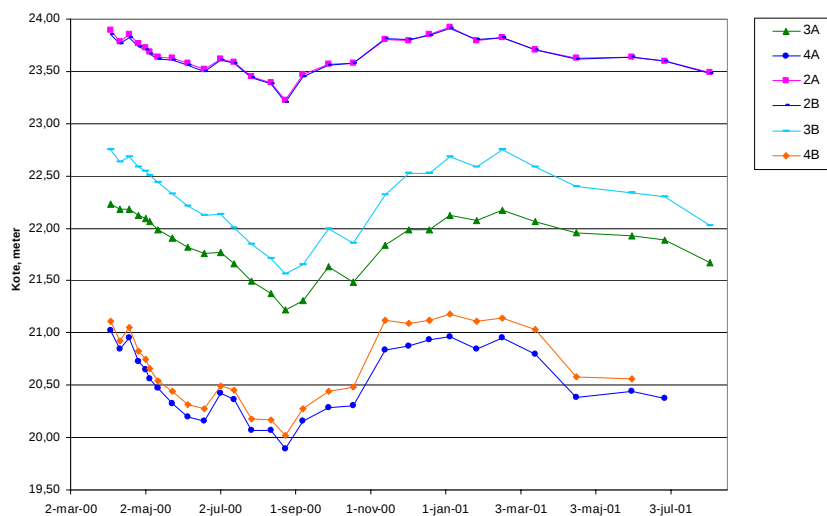
Pejlerresultaterne er vist på figur 4.2-4.4.



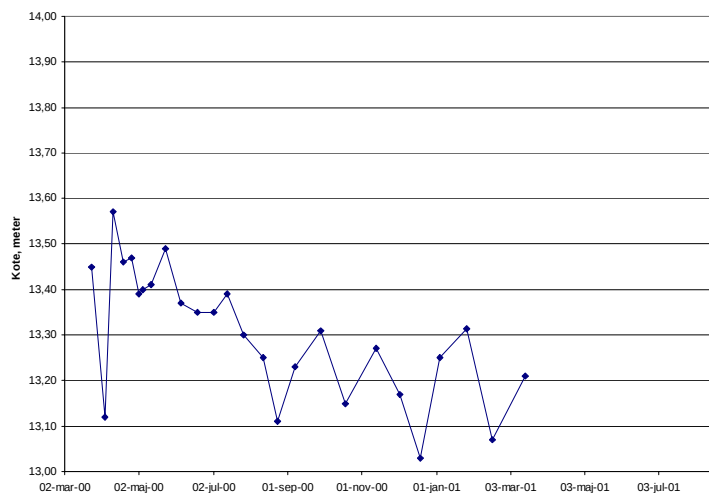
Figur 4.1 Placering af boringer



Figur 4.2 Vandspejlsvariationer for alle boringslokaliteter



Figur 4.3 Vandspejlsvariationer i borer i Gavlhushgården. Det øverste filter, C, er generelt tørt



Figur 4.4 Vandspejlsvariationer i det dybtliggende sandlag, boring 1

5 Infiltrationsforsøg

Infiltrationsforsøget blev gennemført ved efter tur at fylde vand i de tre pejlerør 3A, 3B og 3C på lokalitet 3 og måle, hvor stor en vandmængde der skulle tilføres for at fastholde vandspejlet ved top af rør. I tabel 5.1 er vist den skønnede værdi for lagenes horisontale vandføringsevne baseret på testresultaterne. Jordens gennemtrængelighed udtrykkes ved en såkaldt k-værdi med enheden m/s.

Boring	Filterinterval* Meter under terræn	Jordtype	Horisontal vandføringsevne, k, m/s
3A	3,3 – 5,0	Moræneler	5×10^{-8}
3B	1,5 – 3,0	(Fyld/)moræneler	$1,5 \times 10^{-5}$
3C	0,5 – 1,5	Fyld	$1,0 \times 10^{-5}$

Tabel 5.1 Skøn over horisontal vandføringsevne i jordlag i Gavlhusgården baseret på simpel hydraulisk test

Den eneste nærliggende test af de øvre jordlags vandføringsevne stammer fra et tidligere prøvefelt nær Utterslev Mose, hvor der ved test udført af Københavns Energi blev fundet en værdi for permeabiliteten på $k = 0,5 \text{ à } 0,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

GEOLOGISKE FORKORTELSER

DANNELSESMILJØ

Br	Brakvand	Sm	Smeltevand
Fe	Ferskvand	Vi	Vindaflejret
F1	Flydejord	Vu	Vulkansk
G1	Gletscher		
Ma	Marin		
Ne	Nedskyl		
O	Overjord		
Sk	Skredjord		

ALDER

Kv	Kvartær	Te	Tertiær	Kt	Kridt
Pg	Postglacial	Pi	Pliocæn	Se	Senon
Sg	Senglacial	Mi	Miocæn		
Al	Allerød	Ol	Oligocæn		
Gc	Glacial	Eo	Eocæn		
Ig	Interglacial	Pl	Palæocæn		
Is	Interstadial	S1	Selandien		
		Da	Danien		

KORNSTØRRELSER

fint	Finkornet
mellem	Mellemkornet
groft	Grovkornet

SORTERINGSGRADER

usort.	Usorteret	$U > 7$
ringe sort.	Ringe sorteret	$3.5 < U < 7$
sort.	Sorteret	$2 < U < 3.5$
velsort.	Velsorteret	$U < 2$

HÆRDNINGSGRADER

H1	Uhærdnet
H2	Svagt hærdnet
H3	Hærdnet
H4	Stærkt hærdnet
H5	Forkislet

BIKOMPONENTER

gytjeh.	Gytjeholdig(t)	plr.	Planterester
kfr.	Kalkfri	rodgn.	Rodgange
khl.	Kalkholdig(t)	rodtr.	Rodtrævler
muldstr.	Muldstriber	skalh.	Skalholdig(t)
organiskh.	Organiskholdig(t)	tørveh.	Tørveholdig(t)

ØVRIGE FORKORTELSER

enk.	Enkelte	klp.	Klumper	part.	Partier	udb.	Udblødt
hom.	Homogent	m.	Med	sli.	Slirer/striber	u.t.	Under terræn
iflg.	Ifølge	misf.	Misfarvet	stk.	Stykker	vs.	Vandspejl
indh.	Indhold	omdan.	Omdannet	st.	Stærk(t)	veks.	Vekslende
inhom.	Inhomogent	o.t.	Over terræn	sv.	Svag(t)	v.f.	Vandførende

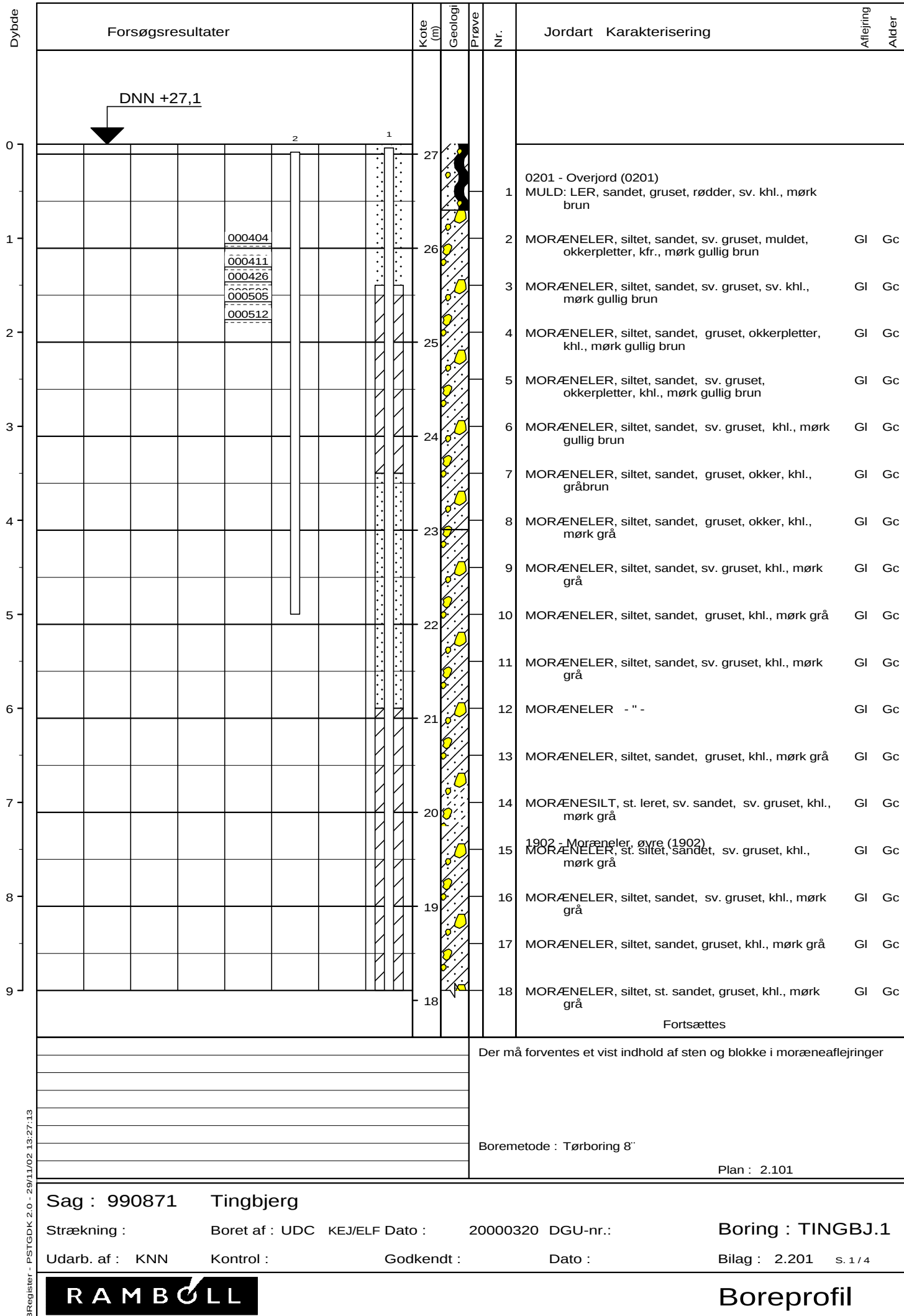
DEFINITIONER

Vandindhold (%)	w	=	Vandvægten i procent af tørstovvægten
Flydegrænse (%)	w_L	=	Vandindhold ved flydegrænsen
Plasticitetsgrænse (%)	w_P	=	Vandindhold ved plasticitetsgrænsen
Plasticitetsindeks (%)	I_P	=	$w_L - w_P$
Rumvægt (kN/m^3)	γ	=	Forholdet mellem totalvægten og totalvolumen
Kornrumvægt (kN/m^3)	γ_s	=	Middelværdien af tørstoffets rumvægt
Poretal	e	=	Forholdet mellem porevolumen og tørstovvolumen
Løs/fast lejring	$e_{\max}/e_{\min}$	=	Poretallet i løseste/fasteste standardlejring i laboratoriet
Tæthedsindeks	I_D	=	Relativ lejringstæthed $(e_{\max} - e)/(e_{\max} - e_{\min})$
Reduceret glødetab (%)	gl_r	=	Vægttabet ved langvarig glødning i procent af tørstovvægten (reduceret for eventuelt indhold af CaCO_3)
Kalkindhold (%)	ka	=	Vægten af CaCO_3 i procent af tørstovvægten
Vingestyrke (kN/m^2)	c_v	=	Den udrænnede forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i intakt jord
Vingestyrke (kN/m^2)	c_{vr}	=	Den udrænnede forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg efter omrøring ($10 \times 360^\circ$)
SPT-forsøg	N	=	Antal slag pr. 300 mm nedsynkning ved standardpenetrationsforsøg

HENVISNINGER

Fra boreprofiler til bilag med specielle laboratorieforsøg

S	Kornkurve	MP	Modificeret proctorforsøg	T_1	Simpelt trykforsøg	* Henvi- ning
SP	Standard proctorforsøg	K	Konsolideringsforsøg	T_3	Triaksialt trykforsøg	til rapport



Dybde	Forsøgsresultater								Kote (m)	Geologi	Prøve	Nr.	Jordart	Karakterisering	Aflejring	Alder	
9									18								
												19	MORÆNELER, siltet, st. sandet, gruset, khl., mørk grå		GI	Gc	
10												20	MORÆNELER, siltet, sandet, gruset, khl., mørk grå		GI	Gc	
												21	MORÆNELER - " -		GI	Gc	
11												22	MORÆNELER - " -		GI	Gc	
												23	MORÆNELER - " -		GI	Gc	
12												24	MORÆNELER, siltet, st. sandet, gruset, khl., mørk grå		GI	Gc	
												25	MORÆNELER - " -		GI	Gc	
13												26	MORÆNELER - " -		GI	Gc	
												27	MORÆNELER - " -		GI	Gc	
14												28	MORÆNESAND, sv. leret, gruset, sandpartier, khl., mørk grå		GI	Gc	
												29	SAND, fint - mellem, sorteret, siltet, khl., mørk grå		Sm	Gc	
15												30	SAND - " -		Sm	Gc	
												31	SAND, fint - mellem, sorteret, siltet, lerpartier, khl., mørk grå		Sm	Gc	
16												32	SAND - " -		Sm	Gc	
												33	SAND, mellem - groft, ringe sorteret, st. gruset, khl., mørk grå		Sm	Gc	
17												34	SAND - " -		Sm	Gc	
												35	SAND - " -		Sm	Gc	
18												36	SAND, fint - groft, usortet, sv. leret, gruset, khl., mørk grå		Sm	Gc	
													Fortsættes				
											Der må forventes et vist indhold af sten og blokke i moræneaflejringer						
											Boremetode : Tørboring 8"						
											Plan : 2.101						
Sag : 990871 Tingbjerg																	
Strækning :		Boret af : UDC		KEJ/ELF Dato :		20000320		DGU-nr.:		Boring : TINGBJ.1							
Udarb. af : KNN		Kontrol :		Godkendt :		Dato :		Bilag : 2.201 S. 2 / 4									
RAMBOLL																	
Boreprofil																	

Dybde	Forsøgsresultater								Kote (m)	Geologi	Prøve	Nr.	Jordart	Karakterisering	Aflejrings Alder
													Fortsat		
18									9			37	SAND, fint - mellem, ringe sorteret, gruset, khl., grå	Sm Gc	
19									8			38	SAND, fint - mellem, ringe sorteret, sv. gruset, khl., grå	Sm Gc	
												39	SAND, fint, sorteret, siltet, khl., grå	Sm Gc	
20									7			40	SAND - " -	Sm Gc	
												41	SAND, fint - mellem, ringe sorteret, st. gruset, khl., grå	Sm Gc	
21									6			42	SAND, fint - mellem, sorteret, khl., grå	Sm Gc	
												43	SAND - " -	Sm Gc	
22									5			44	SAND, fint - mellem, ringe sorteret, st. gruset, khl., grå	Sm Gc	
												45	SAND, mellem, sorteret, enk. . gruskorn, khl., grå	Sm Gc	
23									4			46	SAND, mellem, ringe sorteret, st. gruset, khl., grå	Sm Gc	
												47	SAND, fint - mellem, sorteret, siltet, khl., grå	Sm Gc	
24									3			48	SAND - " -	Sm Gc	
												49	SAND - " -	Sm Gc	
25									2			50	SAND - " -	Sm Gc	
												51	SAND - " -	Sm Gc	
26									1			52	SAND, fint - mellem, ring sorteret, gruset, khl., grå	Sm Gc	
												53	SAND, fint - mellem, sorteret, enk. gruskorn, khl., grå	Sm Gc	
27									0			54	SAND - " -	Sm Gc	
											Fortsættes				
											Der må forventes et vist indhold af sten og blokke i moræneaflejringer				
											Boremetode : Tørboring 8"				
											Plan : 2.101				
Sag : 990871 Tingbjerg															
Strækning :				Boret af : UDC		KEJ/ELF Dato :		20000320		DGU-nr.:		Boring : TINGBJ.1			
Udarb. af : KNN				Kontrol :		Godkendt :		Dato :		Bilag : 2.201 S. 3 / 4					
RAMBOLL															
Boreprofil															

Dybde	Forsøgsresultater	Kote (m)	Geologi	Prøve	Nr.	Jordart Karakterisering	Aflejrings Alder
27		0					
28		-1					
29		-2					
30		-3					
31		-4					
32		-5					
33		-6					
34		-7					
35		-8					
36		-9					
						Der må forventes et vist indhold af sten og blokke i moræneaflejringer	
						Boremetode : Tørborring 8"	
						Plan : 2.101	
Sag : 990871 Tingbjerg							
Strækning : Boret af : UDC KEJ/ELF Dato : 20000320 DGU-nr.:							
Udarb. af : KNN Kontrol : Godkendt : Dato :							
Boring : TINGBJ.1 Bilag : 2.201 S. 4 / 4							

