



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R 23: 1974**

**Regnvattenavledning  
genom magasinering  
och perkolation**

**Kjeld Paus, Runar Andersson &  
Bo Carlstedt**



**Byggforskningen**

# Regnvattenavledning genom magasinering och perkolation

Praktiska försök, metodjämförelser och projekteringsråd

## Kjeld Paus, Runar Andersson & Bo Carlstedt

Urbaniseringens skadeverkningar på den hydrologiska balansen har under det senaste decenniet varit föremål för stort intresse. Detta har framförallt föranletts av skadeverkningar på byggnader som inträffat på grund av sättningar i lera, vilka har förorsakats av sänkt grundvattenstånd genom dräneringseffekter av tunnlar och rörgravar. I dessa ledningssystem leds vattnet direkt till perifera vattendrag.

Inom bebyggelseområden har andelen hårdgjorda ytor ökat, varigenom även försök att bibehålla naturlig växtlighet omintetgjorts i stor utsträckning.

Denna rapport redovisar resultatet av undersökningar av olika sätt att tillvarata regnvatten från taktytor med målsättning att bibehålla en oförändrad grundvattenbildning och -nivå. Forskningen ingår som en del i ett större forskningskomplex med målsättning att omhänderta så mycket som möjligt av regnvattnet inom urbant avrinningsområde genom infiltration, magasinering och perkolation.

Regnvattenledningar utgör idag en integrerad del av det urbaniserade samhällets totala avloppssystem. När rörledningar först började användas för att avleda spillvatten från bostäderna var regnvattenledningar ett okänt begrepp. I och med förbättrad gatustandard, som innebär att diken slopades och trottoarer infördes, var man tvungen att även låta regnvattnet gå under jorden. Detta skedde genom att det leddes ned i samma ledningar som spillvattnet, s.k. kombinerade system. När man senare konstaterade att våra vattendrag började bli svårt förorenade och insåg att avloppsvattnet måste renas, uppstod problem genom de kraftigt ökade flödena vid starka regn. Härmed aktualiserades att låta regnvattnet och spillvattnet gå i separata ledningar, s.k. separata system.

Det har emellertid på senare år visat sig att regnvatten från olika marktytor innehåller betydande föroreningsmängder och rening av regnvatten har blivit en aktuell fråga. Det regnvatten, som nu avledes till recipienterna, härrör från olika slags ytor. Tidigare undersökningar i in- och utlandet har visat att regnvatten från taktytor är renast me-

dan regnvatten från gatumark är mest förorenat.

Ett annat problem är att bergtunnlar dränerar grundvattnet så att mark-sättningar och byggnadsskador ofta uppstår. Regnvattenavledningen bidrar även till att förvärpa denna utveckling genom att grundvattenbildningen blir sämre.

### Redogörelse

Studier av magasinering och perkolation av regnvatten från taktytor har utförts på fullskaleprojekt. Olika magasintyper har testats. Resultaten har lagts till grund för utformning av projekteringsråd. Anläggningarna fungerar på så sätt att vattnet efter avskiljning av löv o. dyl. leds till magasin under mark bestående av poröst fyllnadsmaterial, varifrån vattnet bereds möjlighet att långsamt perkolera genom befintliga jordlager till grundvattenytan. Förfaringssättet är i princip ej nytt utan har tillämpats länge på många håll, speciellt vid enfamiljshus, där man avlett takvattnet till stenkistor i marken.

Undersökningarna har gett till resultat att perkolationsmagasin vid rätt dimensionering fungerar väl och att de fungerar även vid relativt liten genomsläpplighet hos undergrunden. Under den relativt korta observationstiden, ett år, har några tecken på reduktion av perkolationseffekten genom igensättning av magasinet ej kunnat iaktas. Sedimentation av suspenderat material sker i själva bädden och ej i magasinets botten tack vare långsam vattenrörelse.

Magasinen kan utföras antingen som separata magasin, dvs. enbart för detta ändamål, eller genom att utnyttja hålrummen i sprängstensfyllnader eller i rörgravsåterfyllnader av grovkorniga friktionsmaterial. Ett exempel på principutförande av perkolationsmagasin framgår av FIG. 1. Valet av magasin-

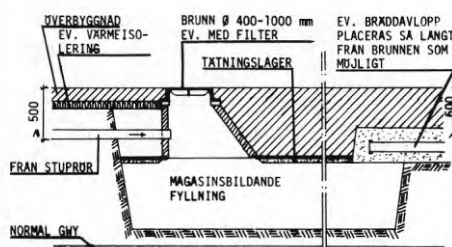


FIG. 1. Principutförande av perkolationsmagasin

# Bygghorsningen Sammanfattningar

## R23:1974

Nyckelord:

regnvattenavledning, magasinering (regnvatten), perkolation (regnvatten), grundvatten

Rapport R23:1974 hänför sig till forskningsanslag D 924 från Statens råd för byggnadsforskning till Orrje & Co-Scandiaconsult och Svenska Riksbyggen, Stockholm.

UDK 556.3  
628.221  
628.334.6  
SfB (50)  
ISBN 91-540-2372-6

Sammanfattning av:

Paus, K. Andersson, R & Carlstedt, B, 1974. *Regnvattenavledning genom magasinering och perkolation. Praktiska försök, metodjämförelser och projekteringsråd*, (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R23:1974, 111 s., ill. 22 kr exkl moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403  
111 84 Stockholm  
Telefon 08-24 28 60  
Grupp: installation

typ är beroende av de förutsättningar som finns på platsen. Separata magasin kräver extra schaktningsarbete men ger större möjligheter till flexibla lösningar såväl för val av lägen som ifråga om den porösa fyllningens sammansättning. Magasin i ledningsgravar resp. sprängstensutfyllning kan ge stor magasinvolym till ringa eller ingen merkostnad men läget blir bundet till ledningsgravarnas sträckning resp. sprängstensbankens läge. Den porösa fyllningen i ledningsgrav måste med hänsyn till ledningarna väljas relativt finkornig, varigenom regelmässigt torde krävas extra ledning (dräneringsrör) längs magasinet i ledningsgraven för fördelning av det inströmmande takvattnet. Exempel på magasin i ledningsgrav visas i FIG. 2.

Perkolationsmagasinen dimensioneras till en viss nettovolym (=effektiv volym) och en viss bottenyta mot undergrunden. Nettovolymen bestäms bl.a. av dimensionerande nederbörd. Det största vart annat år återkommande regnet med en varaktighet av 1 dygn har med ledning av forskningsresultaten bedömts utgöra en betryggande grund för dimensionering.

Magasinets totalvolym bestäms av:

- avvattnad takyta
- lokala nederbördsförhållanden
- magasinets terränkläge
- geologisk jordlagerföljd (perkolationskapacitet)
- slag av porös fyllning och packningsgrad

Magasinets form och nivåläge bestäms av:

- geologisk jordlagerföljd (perkolationskapacitet)
- karakteristiska grundvattennivåer.

Omfattningen av erforderliga förundersökningar för projektering av magasin är beroende av topografiska och geologiska förutsättningar. Översiktligt torde de geotekniska undersökningar som utförs för bebyggelse normalt vara tillräckligt omfattande för en preliminär

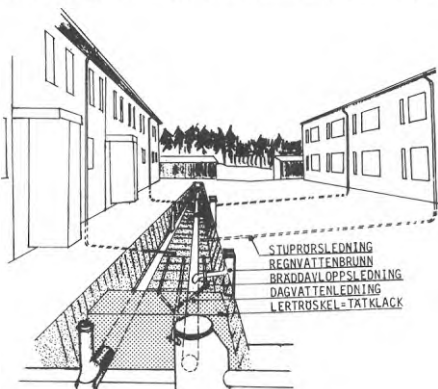


FIG. 2. Rörgrav som magasin

dimensionering. För att bestämma perkolationskapaciteten i samband med detaljprojektering erfordras emellertid jordprovtagning med t.ex. spadborr, där magasinerna avses att bli placerade för att bestämma perkolationskapaciteten. Vidare erfordras bestämning av grundvattennivåerna. För bestämning av den naturliga grundvattenbildningen erfordras ett tillfredsställande topografiskt och geologiskt kartunderlag.

Även om perkolationsförutsättningar ej finns, t.ex. vid förekomst av lera i undergrunden eller vid högt grundvattenstånd, kan liknande anläggningar användas såsom fördröjningsmagasin.

Kalkyler har upprättats för två områden för att få fram de ekonomiska konsekvenserna vid val av föreslaget regnvattensystem jämfört med konventionellt sätt att leda bort dagvatten. Det ena området är Bäckby i Västerås med flack terräng utan berg och det andra är ett bostadskvarter i Munkmora i Gustavsberg med kuperad bergterräng. Man kan därav dra slutsatsen att utförande med perkolationsmagasin inte synes bli dyrare än konventionellt utförande inom kvarter med angränsande gata. Ytterligare kostnadsbesparingar uppstår emellertid för det förra alternativet längre nedströms i dagvattenledningsnätet tack vare avsevärt mindre ledningsdimensioner. Speciellt gäller detta för ledningar i flack terräng. Om man antar att tillgänglig lutning på en stamkulvert är 1 ‰ blir erforderlig rördiameter vid konventionell lösning 800 mm och vid tillämpning med fördröjningsmagasin 500 mm.

Perkolations- och utjämningsmagasin synes även kunna bli ett realistiskt alternativ till omläggning från kombinerat till separat system inom befintlig bebyggelse. Därvid erfordras studier av befintliga ledningsgravar, värmekulvertar, dräneringar och förekomst av källare eller andra anläggningar under mark, t.ex. skyddsrum, som komplement till nyss angivna förundersökningar. Val av magasinutformning och läge får bli beroende av resultatet av dessa inventeringar.

Det har i ett räkneexempel visats hur ett genomförande av perkolations- och fördröjningsmagasin för takvattnet inom ett område nedbringar dimensionerande dagvattenflöde till hälften jämfört med konventionellt system. Vid kombinerade ledningssystem innebär detta, om perkolations- och fördröjningsmagasin för takvattnet genomfördes, att antalet bräddningar avsevärt skulle minska och

att sålunda vattenmiljömässiga fördelar för recipienten skulle vinnas.

## Rekommendationer

Artificiella anläggningar, t.ex. dammar av betong eller bergrum är dyrbara att utföra. Även ledningsnätet blir kostsamt för transport av regnvattnet till dylika magasin. Genom att utnyttja markens hålrum för magasinering och genom att sprida magasinerna över stora arealer, erhålles möjlighet att ta hand om stora vattenmängder. Genom planmässigt utnyttjande av markens naturliga infiltrationsförmåga inom många områden kan vattenflödet via ledningar till recipient ytterligare minskas. Vid många byggnadsprojekt är markarbetena omfattande. Detta ger samtidigt möjlighet att utnyttja markens "inbyggda" hålrum. De yttre rörnäten innehåller exempelvis alltid hålrum i ledningsbäddar och kringfyllningsmaterial. Sammantaget kan detta innebära sänkta rörnätskostnader genom mindre dimensioner då uppsamling till centrala enheter undviks.

Fördröjningsmagasin kan principiellt utformas genom utfyllnader under mark av relativt ensorterat, grövre material såsom sprängsten, makadam, singel, grovt grus etc., till vilka utfyllnader regnvattnet kan ledas via ledningar, infiltrationsbrunnar och/eller infiltrationsdiken så att magasinet fylls upp vid regn och därefter långsamt töms genom att vattnet antingen perkolerar i angränsande, naturlig jord, eller avleds genom långsam tömning till regnvattenledning. Motsvarande utfyllnader kan göras i ledningsgravar, massutbytesgravar eller -gropar för att på så sätt skapa fördröjningsmagasin för perkolations samtidigt som masstransporterna många gånger kan förbilligas.

Parkeringsytor (med vattengenomsläpplig ytbeläggning) och bollplaner kan byggas upp på makadam- och grusbädd. Intensiva regn kan omedelbart magasineras för att därefter perkolera i underliggande naturlig jord eller avledas i makadam- och grusbädd till planeringszoner och eventuellt till dränering för vidare befördran till regnvattenledning.

Då takvattnet utgör en stor del av dagvattnet kan ett konsekvent genomförande av metoden med perkolationsmagasin, där förutsättningar härför finns, avsevärt minska eller kanske helt eliminera olägenheterna med översvämningar vid håftiga sommarregn.

# Rainwater drainage by means of storage and percolation

Practical tests, comparison of methods and design recommendations

Kjeld Paus, Runar Andersson & Bo Carlstedt

The damage which urbanisation causes in the hydrological balance has been the subject of great interest over the past decade. The main reason for this has been the damage to buildings which has occurred as a result of settlements in clay due to lowering of the groundwater level as a consequence of the drainage effect of tunnels and pipe trenches. In these conduit systems, water is taken directly to peripheral watercourses.

The proportion of metalised surfaces in housing areas has increased, and this has also had the effect that attempts to retain natural vegetation have largely been unsuccessful.

This report describes the result of investigations of different methods of collecting the rainwater from roof surfaces with the object of keeping groundwater formation and the water table unchanged. This research forms part of a larger research complex, the object of which is to collect as much as possible of the rainwater in urban drainage areas by means of infiltration, storage and percolation.

Rainwater pipes at present constitute an integral part of the total drainage system of urbanised society. When pipe lines first began to be used for the drainage of soil water from dwellings, rainwater drains were an unknown concept. As street standards gradually improved, which implied that ditches were abandoned and footpaths were introduced, measures had to be taken to conduct the rainwater also under ground. This was done by draining the rainwater in the same pipes as the sewage water in combined systems. When it was later found that the watercourses were beginning to be heavily polluted and it was realised that the sewage must be purified, problems arose due to the greatly increased flows at times of heavy rain. This necessitated drainage of rainwater and sewage water in separate pipes.

It has however been found in recent years that rainwater from different ground surfaces contains considerable quantities of pollutants, and for this reason treatment of rainwater has become necessary. The rainwater which is now drained to the receiving watercourses comes from different kinds of surfaces. Previous investigations in this country and abroad have shown that rainwater from roof surfaces is the cleanest while that from streets is most

heavily polluted.

Another problem is that tunnels in rock drain the groundwater so that ground settlements and damage to buildings often occur. Drainage of rainwater is also instrumental in aggravating this development by virtue of the fact that it reduces groundwater formation.

## Description

Studies of storage and percolation of rainwater from roof surfaces have been performed in full scale projects. Different types of storage have been tested. The results have been made the basis of design recommendations. The installations function in such a way that the water, after removal of leaves etc, is conducted to an underground storage space consisting of porous backfill material, from which the water is enabled to percolate slowly to the groundwater surface through the existing soil strata. In principle, this procedure is not new but has long been applied in many places, particularly in detached and semi-detached houses where the water from the roofs was taken into soak-aways.

The investigations have shown that, when correctly designed, percolation storage works well, and that it works even when the subsoil is relatively impermeable. During the relatively short observation period of one year, no signs of reduction in the percolation effect due to blockage of the storage could be noted. Due to the slow movement of the water, sedimentation of suspended material takes place in the bed itself and not at the bottom of the storage.

Storage can be constructed either as separate storage, i.e. only for this purpose, or by utilising the voids in rock till embankments or in pipe trench backfill of coarse grained friction material. One example of the typical construction of a percolation storage is shown in FIG 1. The choice of type of storage is dependent on conditions on

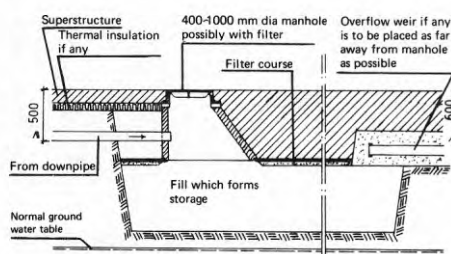


FIG. 1. Typical construction of percolation storage

# National Swedish Building Research Summaries

R23:1974

Key words:

rainwater drainage, storage (rainwater), percolation (rainwater), groundwater

Report R23:1974 refers to Grant D 924 from the National Swedish Council for Building Research to Orrje & Co-Scandiaconsult and Svenska Riksbyggen, Stockholm.

UDC 556.3  
628.221  
628.334.6  
SfB (50)  
ISBN 91-540-2372-6

Summary of:

Paus, K., Andersson, R & Carlstedt, B, 1974, *Regnvattenavledning genom magasinering och perkolation*. Rainwater drainage by means of storage and percolation. Practical tests, comparison of methods and design rekommendations. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R23:1974, 111 p., ill. 22 Sw. Cr.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst  
Box 1403,  
S-111 84 Stockholm  
Sweden

the site. Separate storage requires extra excavation but provides better facilities for flexible solutions with regard to both position and the composition of the porous fill. Storage in pipe trenches or rock fill can provide large storage volume at little or no extra cost, but the position is tied to the direction of the trench or the position of the rock fill embankment. In the pipe trenches, backfill must be relatively fine grained on account of the pipes, and for this reason an extra pipe (porous pipe) is generally needed along the storage in the trench in order to distribute the roof water entering the trench. An example of storage in a pipe trench is shown in FIG. 2.

The percolation storage is designed so as to have a certain net volume (=effective volume) and a certain base area towards the subsoil. One of the factors which determines the net volume is the design rainfall. On the basis of research results, the heaviest rainfall of 24 hours' duration which recurs every two years is considered to provide a safe design basis.

The total storage volume is determined by

- roof surface drained
- local rainfall conditions
- the topographical location of the storage
- geological soil stratum sequence (percolation capacity)
- type of porous fill and degree of compaction

The shape and level of storage are determined by

- geological soil stratum sequence (percolation capacity)
- characteristic groundwater levels.

The extent of the preliminary investigations necessary for the design of a storage scheme is dependent on topographical and geological conditions. On the whole, the geotechnical investigations performed for housing construction should normally be sufficiently ex-

tensive for preliminary design. In order to determine the percolation capacity in conjunction with detail design, however, soil samples taken by e.g. an auger at the place where the storage is to be sited, must be taken. Determination of the groundwater levels is also necessary. A sufficient coverage of topographical and geological maps is required for determination of the natural groundwater formation.

Even if conditions are unsatisfactory for percolation, for instance where there is clay in the subsoil or where the groundwater level is high, such installations can be used as delay storage.

Estimates have been drawn up for two areas in order to find the economic consequences of choosing the proposed rainwater system as against the conventional method of draining rainwater. One of the areas is Bäckby at Västerås which has flat country without rock, and the other is a housing district at Munkmora at Gustavsberg with hilly rocky country. The conclusion which may be drawn from these is that the scheme based on percolation storage does not appear to be more costly than a conventional scheme within the block and nearest road. However, there are further savings in cost in the first alternative further downstream in the surface water sewer system since the pipe-sizes can be considerably reduced. This is particularly the case in pipe lines in flat country. If it is assumed that the available gradient of a trunk culvert is 0.1 %, then the requisite pipe diameter for the conventional solution is 800 mm and for the scheme with the delay storage 500 mm.

Percolation and equalisation storage would also appear to prove a realistic alternative to a change from a combined to a separate system in existing building development. This necessitates studies of existing pipe trenches, district heating culverts, land drainage and the presence of basements or other installations below ground, for instance air raid shelters, as a supplement to the investigations mentioned above. The choice of storage design and position will have to depend on the results of these investigations.

It has been shown in a worked example that construction of percolation and delay storage for roof water in a certain area reduces the design surface water flow to a half of that in a conventional system. In a combined system, this means that if percolation and delay storage is constructed for roof water, the number of overflow weirs can be

considerably reduced and environmental gains can thus be made in favour of the receiving watercourse.

## Recommendations

Artificial installations, such as concrete dams or rock chambers, are expensive to construct. The pipe system for taking rainwater to such storage will also be expensive. By making use of the voids in the ground for storage and by spreading storage over large areas, it is possible to deal with large quantities of water. By planned utilisation of the natural infiltration capacity of the ground, water flow through pipe lines to the receiving waters can be further reduced in many areas. In many building projects, earthworks are extensive. At the same time, this provides facilities for utilisation of the "inherent" voids of the ground. For instance, pipe lines always contain voids in pipe bases and the material surrounding the pipes. The overall consequence may be lower pipe line costs because of smaller dimensions, since collection into central units is avoided.

In principle delay storage can be constructed by placing under the ground fill consisting of relatively singlized coarse material such as broken rock, crushed rock, pit run gravel, coarse gravel, etc, into which rainwater can be taken by pipes, infiltration wells and/or infiltration trenches, so that the storage fills during and after rain and then slowly empties by water either percolating into adjacent natural ground, or by being drained by slow discharge into surface water sewers. Similar fills can be placed in pipe trenches, borrow pits or borrow trenches in order to construct delay storage in this way, and at the same time haulage of spoil will in many cases become cheaper.

Parking areas (with surfacings permeable to water) and fields for ball games can be constructed on beds of crushed rock or gravel. Intensive rain can be immediately stored and then allowed to percolate into natural soil underlying the base material, or drained through the base material into cultivated zones and possibly into porous drains for delivery into rainwater pipes.

Since roof water constitutes a large proportion of surface water, consistent utilisation of the method comprising percolation storage can, where conditions for this are favourable, considerably reduce or perhaps completely eliminate the inconvenience due to flooding after violent summer rainstorms.

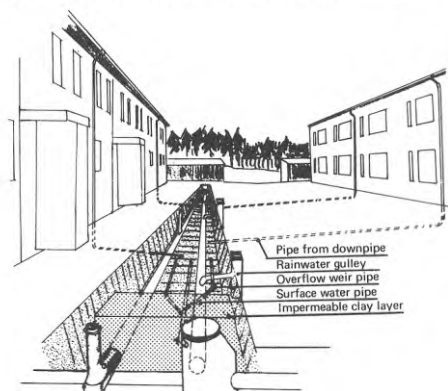


FIG. 2. Pipe trench as storage

Rapport R23:1974

REGNVATTENAVLEDNING GENOM MAGASINERING  
OCH PERKOLATION

Praktiska försök, metodjämförelser och  
projekteringsråd

av Kjeld Paus, Runar Andersson & Bo Carlstedt

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag D 924  
från Statens råd för byggnadsforskning till Orrje &  
Co-Scandiaconsult och Svenska Riksbyggen, Stockholm.

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm  
ISBN 91-540-2372-6

LiberTryck Stockholm 1974



## INNEHÅLLSFÖR TECKNING

	FÖRORD	5
1	BAKGRUND	6
2	MÅLSÄTTNING	7
3	UPPLÄGGNING AV PRAKTISKA FÖRSÖK OCH KOSTNADSJÄMFÖRELSER	12
3.1	Praktiska försök	12
3.1.1	Försöksplats Bäckby, Västerås	12
3.1.1.1	Geohydrologiska förhållanden	20
3.1.1.2	Försöksanordningar, ingångsdata	21
3.1.1.3	Observationsresultat	26
3.1.1.4	Utvärdering	40
3.1.2	Försöksplats Hölö, Södertälje	45
3.1.2.1	Geohydrologiska förhållanden	45
3.1.2.2	Försöksanordningar, ingångsdata	49
3.1.2.3	Observationsresultat	52
3.1.2.4	Utvärdering	53
3.1.3	Försöksplats Alby, Botkyrka	60
3.1.3.1	Geohydrologiska förhållanden	62
3.1.3.2	Försöksanordningar, ingångsdata	62
3.1.3.3	Observationsresultat	64
3.1.3.4	Utvärdering	67
3.2	Alternativa utföranden och kostnadsjämförelser	68
3.2.1	Anläggning utförd för magasinering och perkola- tion jämförd med omprojekterad konventionell VA-anläggning	68
3.2.1.1	Läge, geologi, topografi	69
3.2.1.2	Grundvattenförhållanden	69
3.2.1.3	Övrigt kalkylunderlag	69
3.2.1.4	Beskrivning av utförd anläggning	72
3.2.1.5	Beskrivning av omprojekterad, konventionell lösning	72
3.2.1.6	Kostnadsjämförelser	72
3.2.2	Konventionell VA-anläggning jämförd med om- projekterad anläggning för magasinering och perkolation	74
3.2.2.1	Läge, geologi, topografi	74
3.2.2.2	Grundvattenförhållanden	74
3.2.2.3	Övrigt kalkylunderlag	74
3.2.2.4	Beskrivning av utförd anläggning	76
3.2.2.5	Beskrivning av omprojekterad lösning enligt perkolutionsprincipen	76
3.2.2.6	Kostnadsjämförelser	78
3.2.3	Några driftskostnadskonsekvenser	81

4	PROJEKTERINGSRÅD	84
4.1	Magasintyper	84
4.1.1	Separat magasin	84
4.1.2	Magasin i ledningsgrav	87
4.1.3	Jämförelse mellan utförda magasintyper	89
4.1.3.1	Separat magasin	89
4.1.3.2	Magasin i ledningsgrav	90
4.2	Intagsbrunnar	90
4.2.1	Infiltrations- och rensbrunn på magasin	91
4.2.2	Filter- och rensbrunn vid stuprör	91
4.3	Förundersökningar	93
4.4	Placering av magasin	94
4.5	Dimensionering av magasin	95
5	FORTSATT FORSKNING OMKRING MAGASINERING OCH PERKOLATION FÖR ANDRA SLAG AV DAG- VATTEN	106
6	NOMENKLATUR	107
7	LITTERATUR	108

## FÖRORD

Svenska Riksbyggen och Orrje & Co Scandiaconsult har med stöd från Statens råd för byggnadsforskning sedan januari 1972 genomfört studier av magasinering och perkolation av regnvatten från takytor. Olika magasintyper har testats genom praktiska försök för att få fram driftserfarenheter. Dessa har lagts till grund för utformning av projekteringsråd.

Denna forskning ingår som en del i ett större forskningskomplex med målsättning att omhänderta så mycket som möjligt av regnvattnet inom urbant avrinningsområde genom infiltration, magasinering och perkolation. Därigenom uppnås en bättre grundvattenbalans vilket minskar sättningskonsekvenserna inom sättningskänsliga bebyggelseområden. Vidare erhålls kostnadsbesparingar genom bl. a. minskad omfattning på ledningsbyggandet. Ävenså uppstår positiva ekologiska effekter vilket är av stort värde vid försöken att behålla så mycket som möjligt av ursprungligt växtbestånd inom exploateringsområden.

Forskningen har handlagts av en arbetsgrupp bestående av Guj Cornell och Bo Carlstedt från Orrje & Co Scandiaconsult och Runar Andersson och Kjeld Paus som representanter för Svenska Riksbyggen. Runar Andersson har svarat för försöken i Bäckby, Västerås och Bo Carlstedt för anläggningarna i Hölö och Alby. Kjeld Paus har varit projektledare för forskningsetappen i sin helhet.

Runar Andersson, Bo Carlstedt, Guj Cornell, Kjeld Paus

## 1 BAKGRUND

Regnvattenledningar utgör idag en integrerad del av det urbaniserade samhällets totala avloppssystem. När rörledningar först började användas för att avleda spillvatten från bostäderna var regnvattenledningar ett okänt begrepp. I och med förbättrad gatustandard, innebärande att diken slopades och trottoarer infördes, var man tvungen att även låta regnvattnet gå under jorden. Detta skedde genom att det leddes ned i samma ledningar som spillvattnet, s. k. kombinerade systemet. När man senare konstaterade att våra vattendrag började bli svårt förorenade och insåg att avloppsvattnet måste renas, uppstod problem genom de kraftigt ökade flödena vid starka regn. Härmed aktualiserades att låta regnvattnet och spillvattnet gå i separata ledningar, s. k. separata systemet, vilket numera är ganska allmänt använt.

Det har emellertid på senare år visat sig att regnvatten från olika marktytor innehåller betydande föroreningsmängder och rening av regnvatten har blivit en aktuell fråga. Det regnvatten, som nu avleds till recipienterna, härrör från olika slags ytor. Genom ytornas olika karaktär (material, och urban påverkan, trafikslag m. m.) ger dessa det avrinnande vattnet varierande kvalitet. Tidigare undersökningar i in- och utlandet har visat att regnvatten från taktytor är renast medan regnvatten från gatumark är mest förorenat. Föroreningsmängden i regnvatten från övriga marktytor varierar, beroende på markytans karaktär och föroreningsgrad.

Ett annat problem är att bergtunnlar dränerar grundvattnet så att marksättningar och byggnadsskador ofta uppstår. Regnvattenavledningen bidrar till att förvärpa denna utveckling även genom att grundvattenbildningen blir mindre.

## 2 MÅLSÄTTNING

Det är sålunda angeläget att söka andra lösningar än bortledning av allt dagvatten i ledningssystem. Även en begränsad systemlösning som exempelvis kunde leda till en stark reduktion av de största regnvattenflödena skulle ha stort värde vilket framgår av följande. Orrje & Co Scandiaconsult har utfört en beräkning av fördelningen av regnvattenavflödena från ett nytt bebyggelseområde i Flemingsberg, Huddinge kommun, (33 ha), varvid det visade sig att takytan (21%) svarade för 45% av det beräkningsmässiga maximala regnavflödet, gatu- och andra permanentbelagda ytor (14%) svarade för 25% och övrig mark (65%) för endast 30% av det beräkningsmässiga maximala regnavflödet. Genom att ta hand om enbart takvattnet i s. k. fördröjningsmagasin i ett tidigt skede skulle således det dimensionerande avflödet i detta fall nära nog kunna reduceras till hälften, andra fördröjningsmöjligheter att förtiga. Minskat avflöde leder till kostnadsbesparingar i ledningssystem och till minskad bräddning i reningsverk i de fall då dagvattnet letts in tillsammans med avloppsvatten. Detta medför i sin tur mindre förorening i recipienten.

Artificiella anläggningar, t. ex. dammar av betong eller bergrum är dyrbara att utföra. Även ledningsnätet blir kostsamt för transport av regnvattnet till dylika magasin. Genom att utnyttja markens hålrum för magasinering och genom att sprida magasinerna över stora arealer, erhålles möjlighet att ta hand om stora vattenmängder. Genom planmässigt utnyttjande av markens naturliga infiltrationsförmåga inom många områden kan vattenflödet via ledningar till recipient ytterligare minskas. Sammantaget kan detta innebära sänkta rörnätskostnader genom mindre dimensioner då uppsamling till centrala enheter undviks.

Vid många byggnadsprojekt är markarbetena omfattande. Exploatering av mark för bebyggelseändamål innebär ofta markomvandling för att uppnå dagens krav på låg kostnad och god yttre miljö. Detta ger samtidigt möjlighet att utnyttja markens "inbyggda" hålrum. De yttre rörnäten innehåller exempelvis alltid hålrum i ledningsbäddar och kringfyllningsmaterial.

Fördröjningsmagasin kan principiellt utformas genom utfyllnader under mark av relativt ensorterat, grövre material såsom sprängsten, makadam, singel, grovt grus etc., till vilka utfyllnader regnvattnet kan ledas via ledningar, infiltrationsbrunnar och/eller infiltrationsdiken så att magasinet fylls upp vid regn och därefter långsamt töms genom att vattnet antingen perkolerar i angränsande, naturlig jord, eller avleds genom långsam tömning till regnvattenledning.

Viktigt är att därvid förebygga igensättningsrisker i fördröjningsmagasin, vilket företrädesvis kan ske genom lämpliga avskiljningsanordningar före vattnets inledande i magasinerna och genom att vattnet fördelas med stor spridning - exempelvis genom många och små magasin. Ett exempel på principutförande av perkolationsmagasin framgår av FIG. 1.

Parkeringsytor (med vattengenomsläpplig ytbeläggning) och bollplaner kan byggas upp på makadam- och grusbädd. Intensiva regn kan omedelbart magasineras för att därefter perkolera i underliggande naturlig jord eller avledas sidwärts i makadam- och grusbädd till planteringszoner och eventuellt till dränering för vidare befordran till regnvattenledning.

Utfyllnader kan göras av många olika slag i svackor i terräng med porösa massor, såsom utsprängt berg och krossmaterial, dit regnvatten kan ledas.

Motsvarande utfyllnader kan göras i ledningsgravar, massutbytesgravar eller -gropar för att på så sätt skapa för-

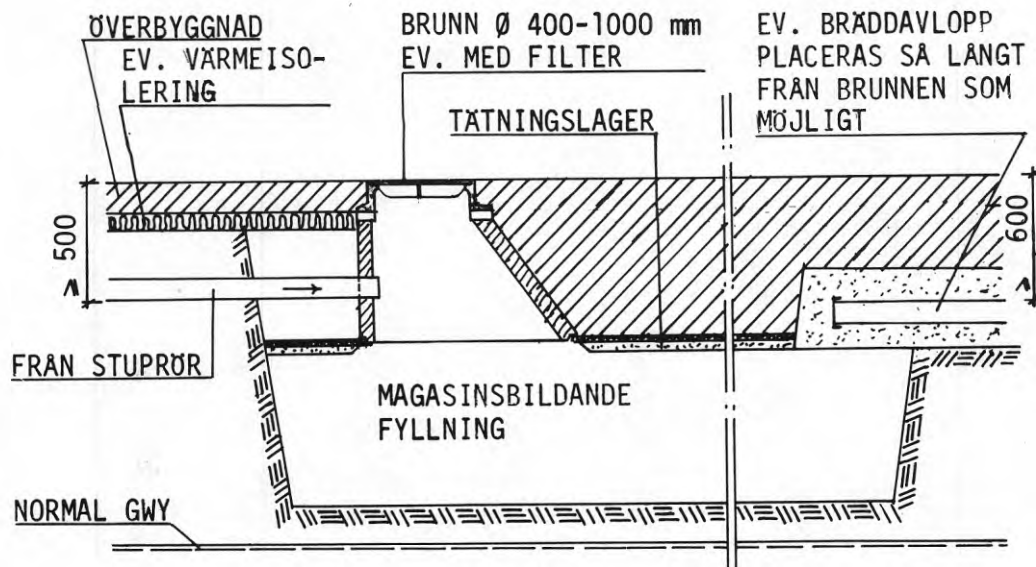


FIG. 1 Principutförande av perkolationsmagasin

dröjningsmagasin för perkolation samtidigt som mass-transporterna många gånger kan förbilligas.

Forskningsarbetets i. riktning bygger på följande konstateranden:

#### Nuläget

Regnvattenledningarna för bort mycket regnvatten snabbt.

Nackdelar:                Rubbnings i vattnets naturliga kretslopp. Vattnet kan ej alls nyttiggöras för den biologiska produktionen.

Regnvattenledningarna får stora dimensioner. Tunnlarna i berg anläggs i ökad omfattning.

Nackdelar:                Höga anläggningskostnader; förruttelse i tunnlarna.

Regnvattnet borttransporterar stora föroreningsmängder till recipienter.

Nackdelar:                Regnvattnet måste renas; reningsåtgärder är kostsamma.

Regnvattenavledningen minskar grundvattenbildningen.

Nackdel:                 Ökad risk för sättningar i mark och ekologiska förändringar med bl. a. större anläggnings- och underhållskostnader som påföljd.

Regnvattentunnlar läcker.

Nackdel:                 Grundvattenavtappning och stor risk för sättningar i mark; vidlyftiga ersättningsfrågor.



### Inriktning

Regnvattenavledningen bör minskas såväl totalt som med avseende på maximala flöden genom skapande av fördröjningsmagasin, företrädesvis i porösa fyllningar under marknivå.

**Fördelar:** Regnvattenflödena minskar avsevärt och blir jämnare; Erforderliga ledningar får mindre dimensioner och kortare längder. Regnvattnet blir mindre förorenat. Det kan släppas ut i naturliga, små vattendrag (bäckar). Den totala regnvattenavrinningen kan minskas genom perkolation från fördröjningsmagasinen. Grundvattenbalansen kan bibehållas. Inriktningen mot fördröjningsmagasinen ger stort utrymme för olika idéutformningar i utförandet.

Ev. överskott av vatten från fördröjningsmagasin kan sammanföras med husgrundsdräneringar och kan avledas i från spillvattnet separerade ledningar till närmaste naturliga vattendrag eller dike.

**Fördel:** Grundvattentillskottet till spillvattenledningar reduceras betydligt till förmån för reningseffekten i avloppsverket. Mycket stora kostnadsbesparingar kan göras och mindre nedsmutsning av våra vattendrag som idag fungerar som recipient, kan uppnås.

### 3 UPPLÄGGNING AV PRAKTISKA FÖRSÖK OCH KOSTNADSJÄMFÖRELSER

#### 3.1 Praktiska försök

##### 3.1.1 Försöksplats Bäckby, Västerås

I ett bostadsområde i Västerås, inom stadsdelen Bäckby har magasin för uppsamling och perkolation av regnvatten utförts i samband med områdets utbyggnad med början 1970. Till magasinerna leds vatten från byggnadernas tak.

I forskningsuppgiften ingick såsom praktiska försök, att undersöka funktionen hos några magasin samt göra utvärderingar av resultaten. Magasinen har utförts i ett tidigare skede och forskningsuppgiften har därför ej innefattat detta arbete. Utformningen av magasinerna redovisas däremot i rapporten.

Området, som utgör en del av Bäckby, utbyggdes i huvudsak under åren 1970-1972 och omfattar 34 bostadshus i två våningar, 11 garagelängor och 5 separata envåningsbyggnader innehållande undercentraler och tvättutrymmen. (FIG. 2). Samtliga byggnader är källarlösa. Bebyggelsen är utformad med total trafikseparering.

Kvartersmarkens olika ytor utgöres av:

Takytor	26.100 m <sup>2</sup>	inkl. garage (22%)
Asfaltytor	19.200 m <sup>2</sup>	inkl. parkeringsytor vilka utgör 8.100 m <sup>2</sup> (16%)
Grusytor	3.400 m <sup>2</sup>	inkl. bollplaner och lekplatser (3%)
Grönytor	70.400 m <sup>2</sup>	inkl. naturmark inom kvarteret (59%)
<u>Total yta</u>	<u>119.100 m<sup>2</sup></u>	

### Projekteringsförutsättning och genomförande

En dagvattentunnel ca 800 m öster om området och ledningsnätet inom och utom Bäckby beräknades medföra grundvattensänkningar. Vid projekterings början diskuterades därför med representanter för Västerås Tekniska Verk möjligheten att genom infiltration minska grundvattensänkningen och därigenom undvika marksättningar inom stadsdelen Bäckby.

Genom att marken inom aktuellt bostadsområde till ca 30% bestod av morän i dagen och till 70% av lermark, bedömdes det möjligt att erhålla perkolationseffekt om vattnet kunde ledas till magasin i marken och därifrån perkolera till grundvattnet. Det bedömdes att perkolationseffekt delvis borde kunna erhållas även i lermark genom moränkontakt vid schaktning för magasin.

Vid undersökningar för ett annat större exploateringsområde i Kungsängen strax norr om Stockholm, som utförts av limnologiska institutionen Uppsala universitet, har Ahlgren I (1970) p. g. a. recipientförhållanden uttalat sig för infiltration av takvatten.

Med stöd av bl. a. detta utlåtande och med hänsyn till riskerna för grundvattensänkning, beslöts att för Bäckby-området projektera markmagasin för regnvatten från byggnadernas tak. För att påverka grundvattenbildningen i så stor omfattning som möjligt och för att kunna göra jämförelser, önskade Tekniska Verken att magasin borde anläggas i såväl ler- som moränmark.

### Dimensionering av magasin

Magasinen dimensionerades för en vattenmängd som faller vid ett 10-minuters 5-årsregn, vilket motsvarar en nederbörd av ca 11 mm. Den vattenmängd som vid detta dimensionerande regn avrinner från hustak till ett magasin skall

således rymmas i magasinet.

Eftersom magasinen till stor del placerades i lerjord med låg eller ingen perkolation erfordrades bräddavlopp.

Det största regn, som, enligt observationer utförda av SMHI, fallit i Västerås på ett dygn har gett 71 mm. Det normalt en gång vartannat år återkommande maxdygnregnet ger ca 32 mm enligt samma källa. Bräddavlopp utfördes således för att kunna avleda regnvatten från dessa långa men mindre intensiva regn.

#### Utformning av magasin

Vid studier för placering av magasinen konstaterades att ett utnyttjande av ledningsgravarna till magasin gav goda resultat med hänsyn till ekonomi, spridning av infiltrationsyta och inverkan på byggtid.

Ledningsgravarna inom området delades in i sektioner genom att lertrösklar byggdes på bestämda punkter. Uppströms en lertröskel bildas ett magasin (FIG. 2, 4 och 5).

Inom magasinet utfördes kringfyllningen kring ledningarna med naturgrus. Grusets hålrum utnyttjas sålunda som magasin. Siktkurva på använt material enligt FIG. 3.

Porositeten i det använda materialet har vid laboratorieundersökning mätts till 30% vid 90% packning enligt modifierad proctormetod.

#### Installationer för regnvattnets avledning till magasin

Bostadshusen är utförda med sadeltak.

Regnvattnet avrinner från takyta till 4 stuprör på varje hus via hängränna utmed husens långsidor. Vid intag till stuprör placerades en sil i hängrännan. Från stuprör leds vattnet till magasin i en servisledning som mynnar i grusmaterialet i magasinet. Varje mynning på servisledningarna har kringfyllts med ca  $0,5 \text{ m}^3$  singel för att erhålla

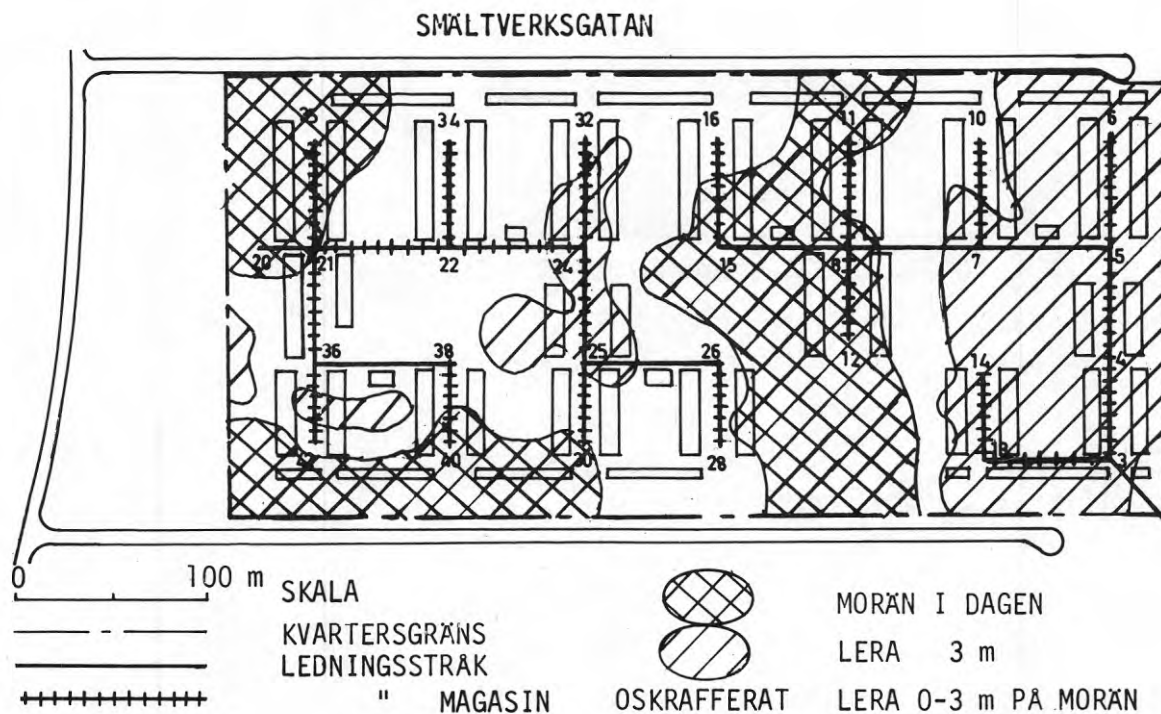


FIG. 2 Översiktsplan, försöksplats Bäckby

Kornstorleksfördelning

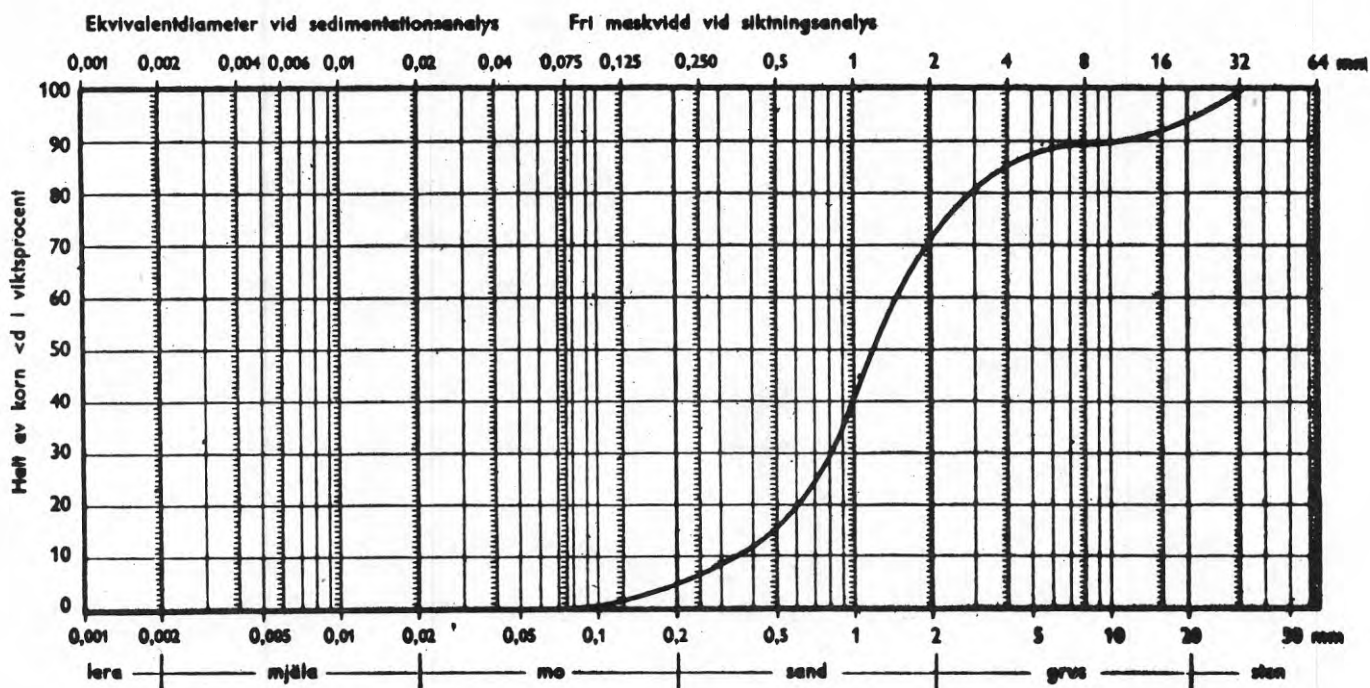


FIG. 3 Siktkurva

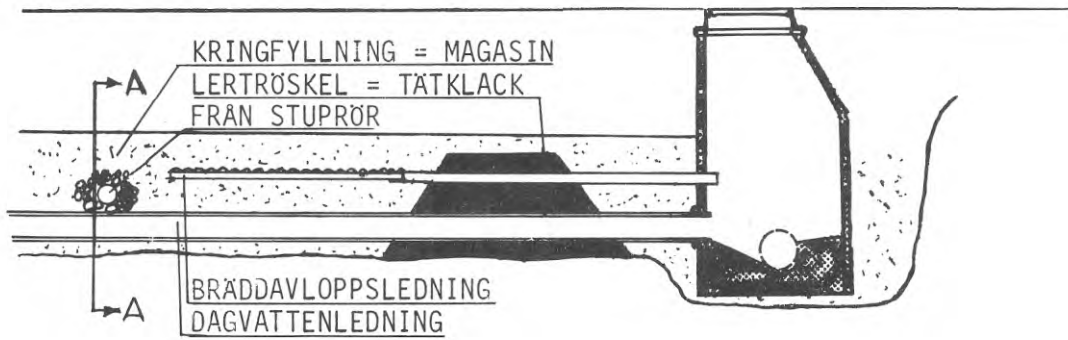


FIG. 4 Längdsektion genom magasin

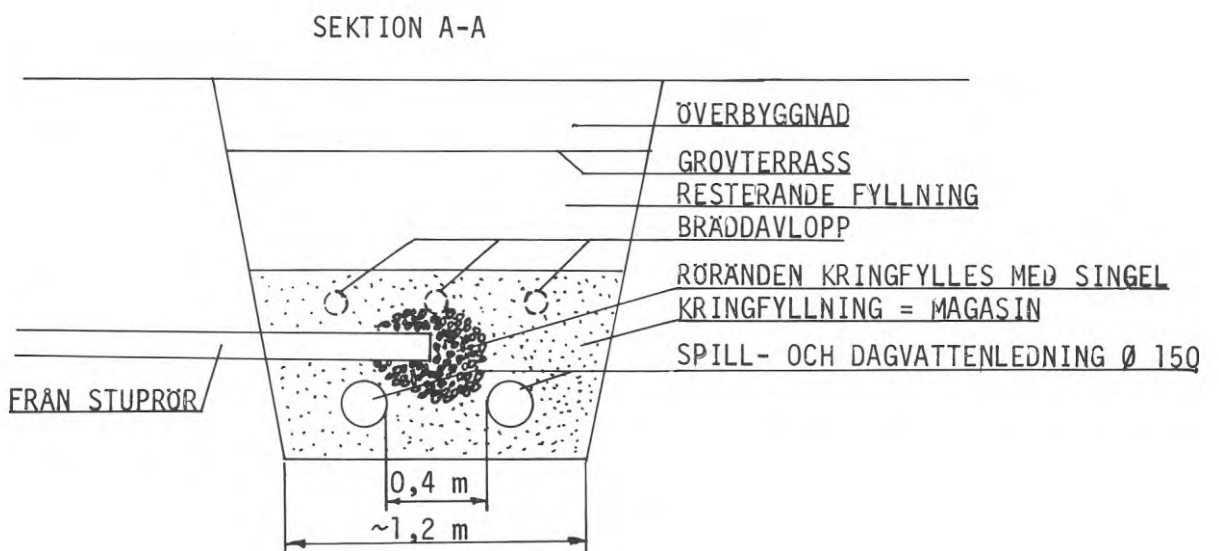


FIG. 5 Tvärsektion genom magasin

större yta mot omgivande grus och underlätta vattnets inträngning i gruset. I magasinets lägre del utlades bräddavloppsror vilka anslöts till nedstigningsbrunn på dagvattenledning i magasinets närhet. Rörgravar som utförts som magasin innehåller, förutom ovannämnda servis- och bräddavloppsledningar även spillvattenledning och dagvattenledning för regnvatten från gårdarna. (FIG. 6).

#### Utformning av rörnät

Rörnätet har projekterats och byggts på sätt som framgår av FIG. 7, där en del av området redovisats.

Nätet omfattar vattenledningar, spill- och dagvattenavloppsledningar samt primär- och sekundärvärmekulvertar.

Vattenledningarna består av PVC-rör och i mindre dimensioner PEL-rör. Spillvattenledningarna utfördes av s.k. markavloppsror, PVC-rör klass T. Som inspektionsbrunnar valdes att använda samma material, vilket innebär god täthet. Detta var naturligtvis ett krav, då ledningarna inom magasinen antogs erhålla något högre utvändigt vattentryck än normalt. Dagvattenledningarna utfördes i detta fall av betongrör med begränsade fogtäthetskrav enligt Mark AMA:s nomenklatur. Vattenledningarna följer från mätpunkter i undercentraler sekundärvärmekulvertarnas sträckning till varje hus.

Servisledningar för spillvatten ansluts till husen i varje trapphus. Uppsamlingsledning till vilken serviserna ansluts är placerad på entré gårdarna mellan husen.

Husen är utförda med sadeltak. Stuprör finns därför på byggnadernas båda långfasader. Regnvatten från taken avleds via servisledningar till magasin i mark. Magasinen är i huvudsak placerade på entrégårdarna utmed spillvattenledningen. Jfr FIG. 2 och 11. Totalt har 20 magasin utförts inom området.

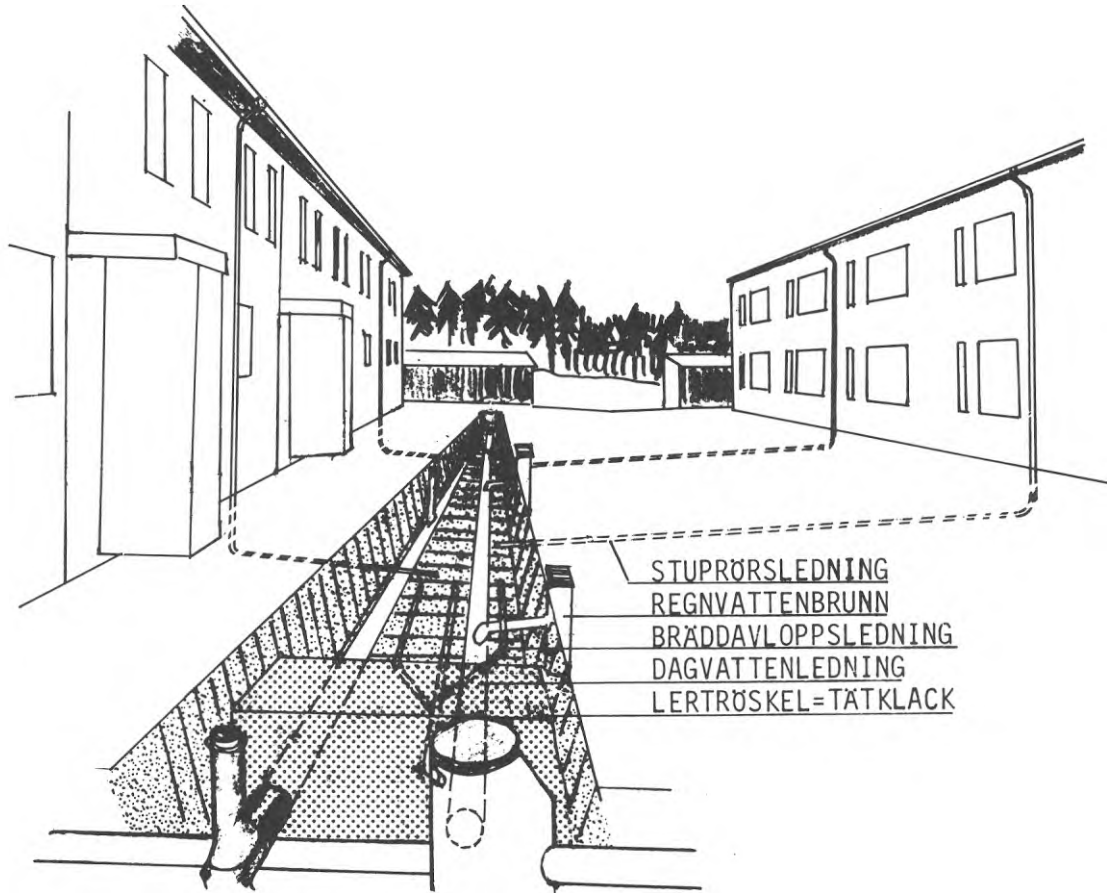


FIG. 6 Magasin 5-6



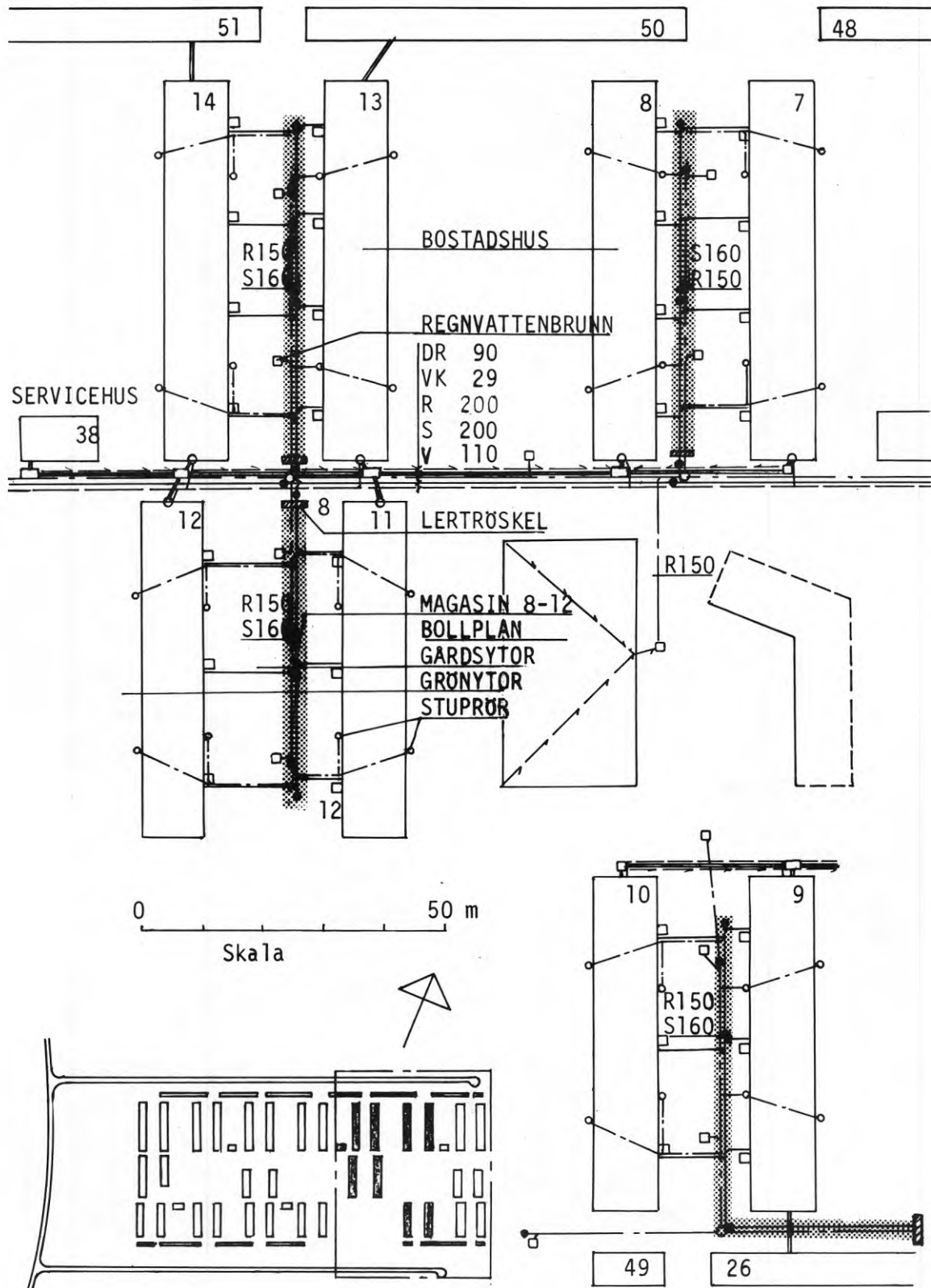


FIG. 7 Ledningsnät, Bäckby

Husen är källarlösa, varför lägningsdjupet för spill- och dagvattenledningarna är måttliga.

Samtliga värmekulvertar utfördes med skyddsror av eternit. I brytpunkter utfördes platsgjutna betongkammare.

Kulvertgravarnas dränering förstärktes med en extra dränledning. Åtgärden bedömdes motiverad för att undvika vattentryck på kulvertarna vid eventuella läckage från regnvattenmagasin.

#### 3. 1. 1. 1 Geohydrologiska förhållanden

Som naturmark bestod området av svagt kuperad åker- och hagmark. Under matjordsskiktet utgöres marken av lera och morän. (FIG. 2). Moränen finns i huvudsak i områdets mitt. I väster överlagras moränen av torrskorpelera. I öster har lerlagret upp till 5 m mäktighet och utgör här del av den lerslätt som Bäckby-området i huvudsak består av. Lerlagret utgöres i sistnämnda del av kvarteret av ca 1,5 m torrskorpelera, som underlagras av lös lera. Moränen har normal fasthet. Block förekommer rikligt. Lägsta marknivå är belägen på ca +14,00 och högsta marknivå på ca +17,00 m. Höjdskillnaden är således ca 3,0 m.

Innan området bebyggdes infiltrerades ytvattnet i marken och bildade markvatten och grundvatten.

Genom att jordbruk bedrivits har diken och åkerdränering bortlett en del av markvattnet. Via dikessystem har vattnet sedan avrunnit till Kapellbäcken söder om området som är avrinningsområdets naturliga recipient. Recipientens normalvattenstånd där denna tangerar avrinningsområdet är +9,00 m.

Grundvattenytan undersöktes 1970 vid den geotekniska utredning som utfördes för bebyggelsen. Genom pågående arbeten med en dagvattentunnel ca 800 m öster om området var grundvattenytan vid denna tidpunkt avsänkt till nivån ca +8,50 i öster och ca +11,70 i väster. Den lägsta nivån avspeglar tunnelarbetenas påverkan på grundvattenytan. Leran är normalkonsoliderad för en grundvattenyta belägen ca 3 m under ursprunglig markyta.

### 3.1.1.2 Försöksanordningar, ingångsdata

För forskningsuppgiften har två magasin utvalts för uppföljning, ett på sträcka 5-6 och ett på sträcka 8-12 (FIG. 2).

Magasinet på sträcka 5-6 är beläget mellan hus 5 och 6 och ligger i lerjord. Nu befintlig markyta ligger 20-30 cm över naturlig marknivå, vilket innebär att torrskorpeleran finns kvar kring magasinet. I torrskorpeleran finns sprickvatten, under torrskorpan finns ca 3 m lös till halvfast lera som vilar på morän. Markytan över magasinet (FIG. 8) är plan och består av planteringsyta med 30 cm matjord, gräsyta med 10 cm matjord och asfaltbelagda entrévägar med 30 cm grusöverbyggnad.

Återfyllning i magasinen består av sandigt grus som utgör kringfyllning, torrskorpelera (uppschaktat material) upp till grovterrass samt överbyggnader för planteringar och gångytor (FIG. 5).

Till magasinet ansluten takyta är  $1.400 \text{ m}^2$ . Hålrummet i magasinet är  $16,5 \text{ m}^3$  eller  $1,2 \text{ m}^3$  per  $100 \text{ m}^2$  takyta, vilket motsvarar  $55 \text{ m}^3$  av använt grusmaterial. Magasinet's längd är ca 53 m och innehåller således ca  $1,0 \text{ m}^3$  grus per m.

Magasinet på sträcka 8-12 är beläget mellan hus 11 och 12 och ligger i moränjord. Nu befintlig markyta är plan och



FIG. 8 Magasin 5-6 i lerjord. Markytans utformning.



FIG. 9 Magasin 8-12 i moränjord. Markytans utformning.

ligger 0-80 cm över naturlig marknivå. Markens utformning över magasinet framgår av FIG. 9.

Återfyllningen i magasinet är lika som i magasin 5-6. Till magasinet ansluten takyta är  $1,240 \text{ m}^2$ . Hålrummet i magasinet är  $13,5 \text{ m}^3$  eller ca  $1,1 \text{ m}^3$  per  $100 \text{ m}^2$  takyta och motsvarar ca  $45 \text{ m}^3$  av använt grusmaterial. Magasinets längd är ca 45 m och innehåller således  $1,0 \text{ m}^3$  grus per m ledningsgrav.

#### Försöksanordningar

I syfte att följa magasinens funktion har i FIG. 10 redovisad utrustning placerats i de utvalda magasinerna.

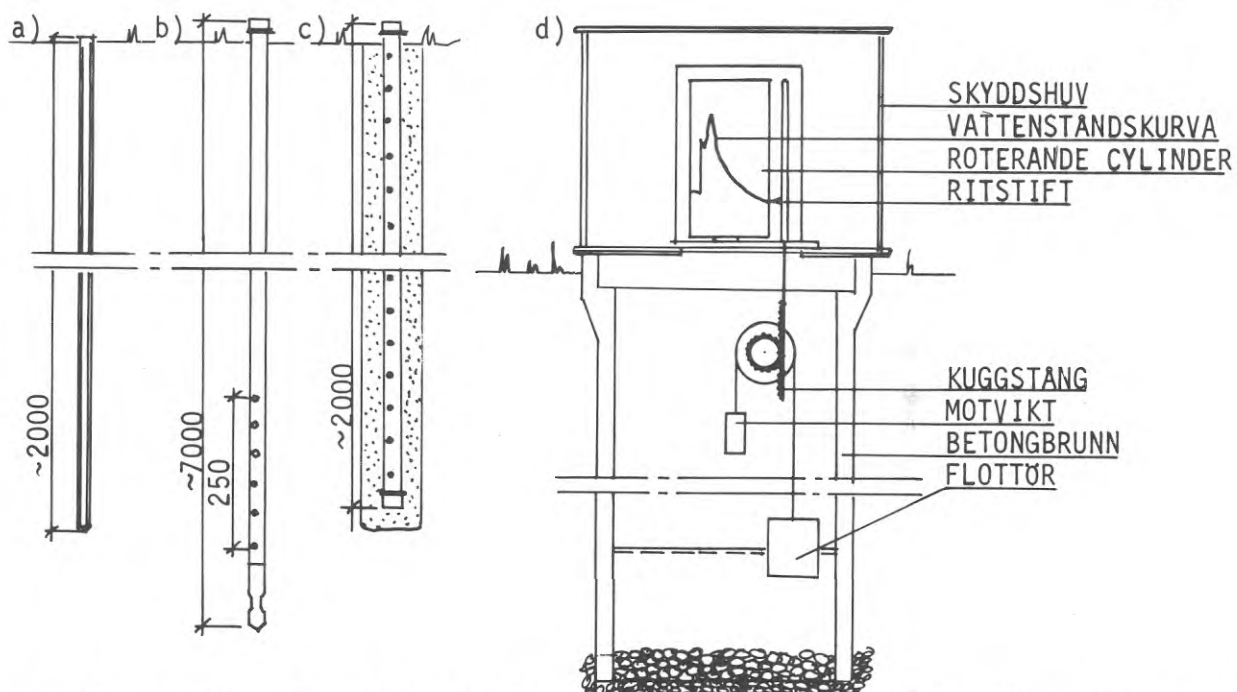
#### Observationsrör för sprickvatten och grundvatten

är placerade enligt FIG. 11. Sprickvattenrör 1-4 och grundvattenrör 5-10 installerades under mars månad 1972. I september 1972 kompletterades med sprickvattenrör i pkt 3 b och med grundvattenrör i pkt 3 a, 9 a, 10 a och 15 a. Grundvattenrör 9, 10 och 15 blev obrukbara sedan de fyllts med grus under observationstiden.

#### Pegelinstrument för kontinuerlig mätning av vattenstånd i magasin

placerades i betongbrunnar i de utvalda magasinens hög- och lågpunkter vid punkt 11, 12, 13 och 14. (FIG. 11). Brunnarna sattes i närheten av stuprörsservisledningens mynning i magasinet.

Kring brunnarna fylldes med singel upp till magasinets överkant. Instrument monterades i brunnen såsom framgår av FIG. 10. I brunnen vid punkt 13 erhöles under undersökningstiden ej någon vattenyta, varför pegel ej installerades i brunnen.



- a) Tjälgränsmätare typ Gandahl. Plaströr med vätska som ändrar färg vid frysning.  
 b) Grundvattenobservationsrör 25 mm stålrör i 1 meters längder. Nedre röret perforerat med hål  $\varnothing$  4 mm.  
 c) Sprickvattenobservationsrör 25 mm stålrör. Hela röret perforerat och kringfyllt med grus.  
 d) Pegelinstrument, princip

FIG. 10 Utrustning för observationer

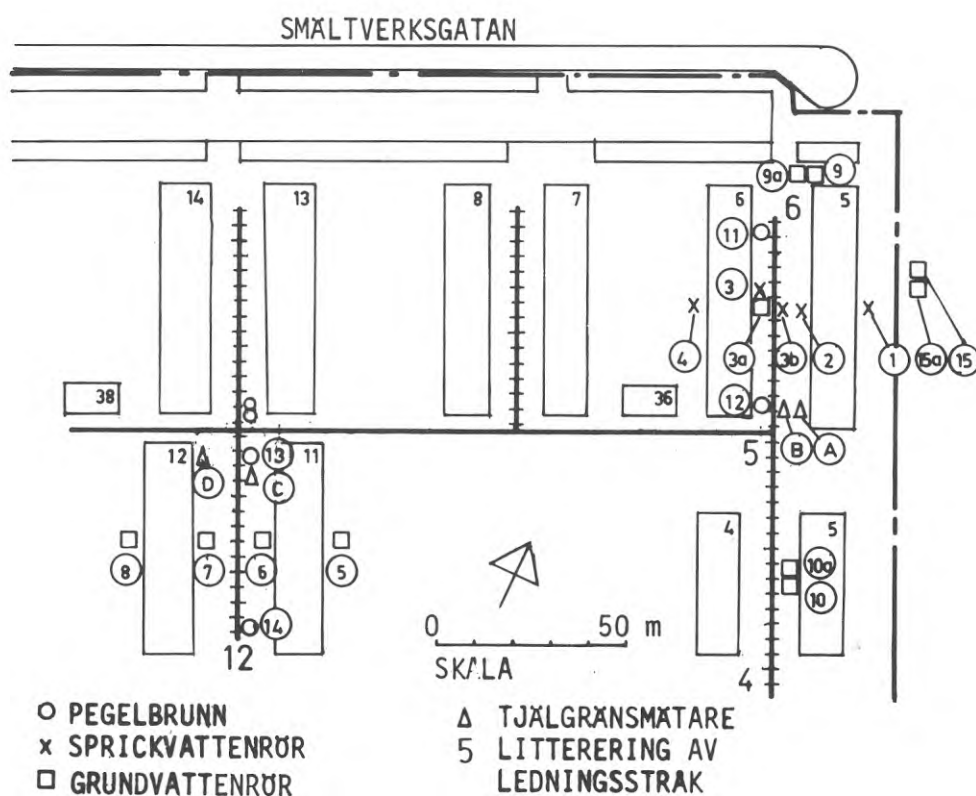


FIG. 11 Placering av utrustning vid magasin 5-6 och 8-12

Rör för uppmätning av tjäldjup i magasin (Gandahl tjälgränsmätare) placerades enligt FIG. 11. Ett rör är installerat i magasin och ett bredvid magasin, i markyta som ej snöröjes.

#### Regnvattenmätare

har uppställts inom området.

#### Program för observationer

Arbetsuppgifterna bestod sammanfattningsvis av 6 deluppgifter vilka redovisas nedan:

1. Mätning av vattenstånd i magasin. Peglar placerades i magasinets över- och nederände.
2. Mätning av vattenstånd i sprickvattenrör och grundvattenrör, punkterna 1-4 och 3 b resp. 3 a, 5-8, 9 a, 10 a och 15 a. Mätning utfördes under regnperioder en gång per dag och under torrperioder en gång per vecka.
3. Mätning av tjäldjup. Under tjälperioden utfördes mätningar en gång per vecka.
4. Provtagning av regnvatten från tak och magasin. Vattenprover togs i stuprör vid hus 5 och 6. Dessutom togs vattenprover i brunnarna vid punkt 11 och 12.
5. Mätning av nederbörd. Nederbörden mättes i en uppställd regnmätare. Mätning utfördes varje dag.
6. Samtliga mätresultat noterades. Diagram upprättades för sprickvattennivåer och grundvattennivåer. Dessutom erhöles från peglarna diagram över vattenstånd i magasin.

Arbetet påbörjades i april 1972 och avslutades under juni 1973.

### 3. 1. 1. 3 Observationsresultat

#### Sprickvatten

##### Allmänt

Sprickvatten bildas vid snösmältning och regn. Av mätningarna framgår att sprickvattenytan är hög vid snösmältningen varefter den sjunker under sommarmånaderna för att åter stiga under hösten. Under vintern sänks återigen nivån fram till snösmältningsperioden.

Någon höjning av sprickvattenytan omkring magasinen genom tillförsel av regnvatten från tak är ej märkbar.

##### Observationer vid magasin 5-6

Vattenstånd i magasinet framgår av diagram i FIG. 12. Kurvorna visar att sprickvattenytan lutar mot pkt 1 i öster (FIG. 11).

Den ursprungliga markytan lutar i samma riktning men sprickvattenytan har kraftigare lutning. Vid exceptionella regn under sommaren höjs sprickvattenytan till nära markytan. Under december sker motsvarande höjning vid betydligt mindre regnmängder. Sprickvattennivån i rör 1 är speciellt låg, jfr FIG. 12.

#### Grundvatten

Observationerna framgår av diagram i FIG. 13. Observationspunkternas läge sammanfaller för punkt 9 a och 10 a med under år 1970 nedsatta grundvattenrör i samband med den då utförda grundundersökningen.

Grundvattenytans nivå uppvisar i stort samma variationer som sprickvattenytan invid magasin 5-6. Grundvattenytan ligger ca 1,5 m lägre än sprickvattenytan vid detta magasin. Grundvattenytan påverkas tydligt vid större regn. Vid grund-



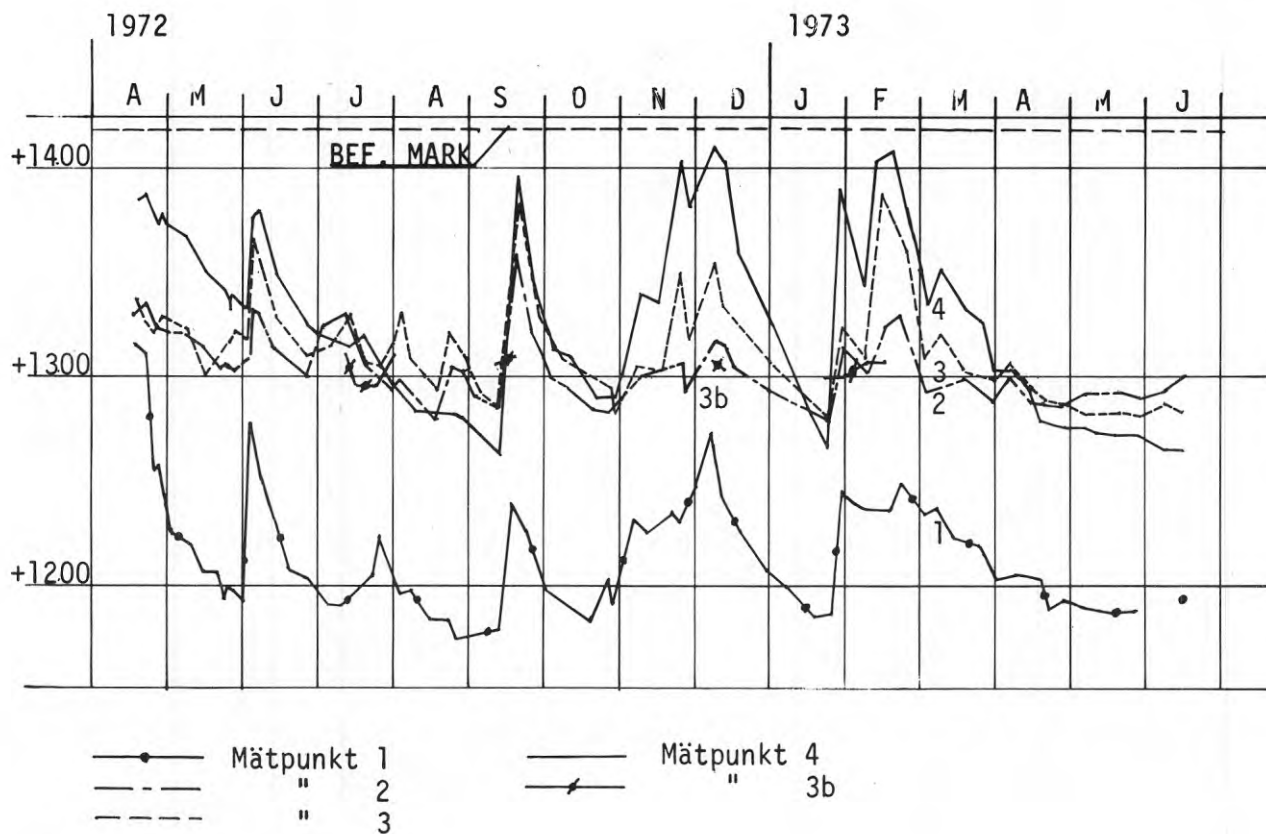


FIG. 12 Registrering av sprickvattenyta vid magasin 5-6

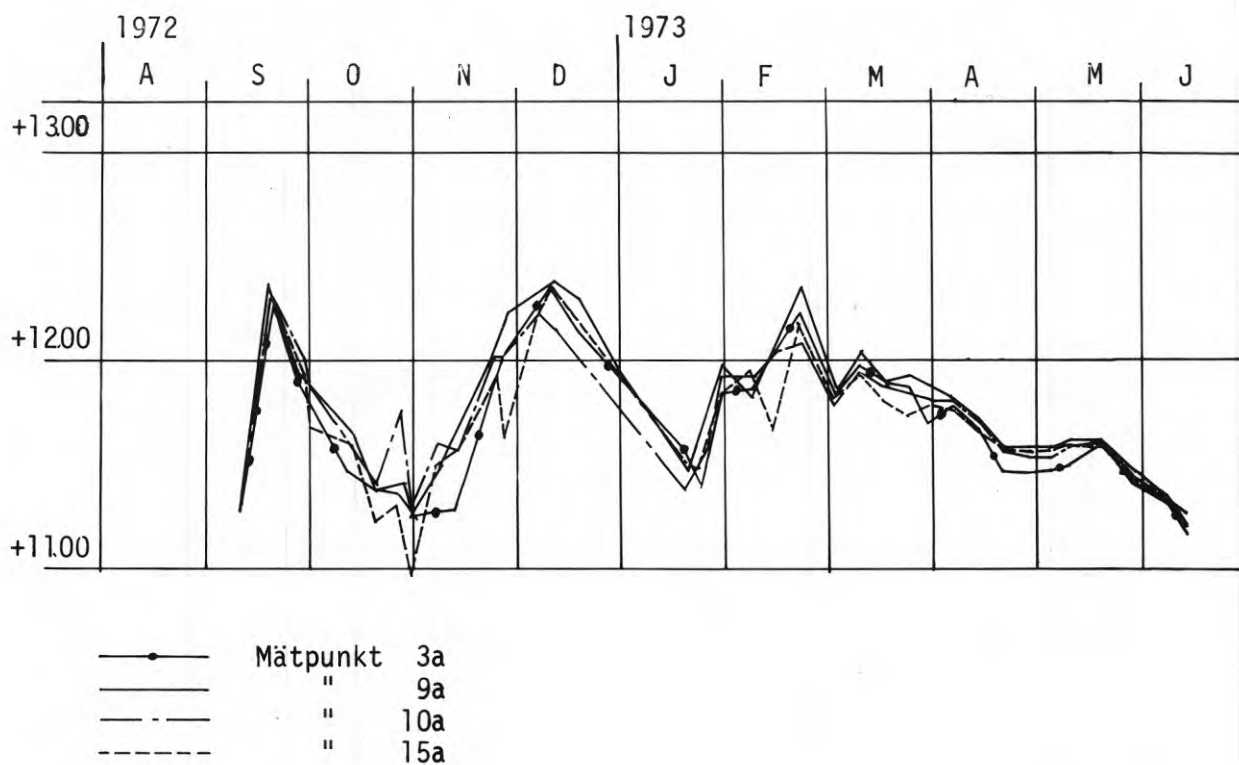


FIG. 13 Registrering av grundvattenyta

vattenobservationer 1970 i augusti-september var grundvattennivån, enligt uppgift från grundundersökningarna, ca +8,50. Ytan har alltså sedan dess stigit till ca +11,50, vilket är ca 1 m under botten på magasin 5-6.

Observationer vid magasin 8-12

Vattenstånd invid magasinet framgår av diagram i FIG. 14. Kurvorna visar att grundvattenytan invid detta magasin lutar mot öster, och följer i stort ursprunglig marknivå. I pkt 5 (FIG. 14) har vattenyta erhållits endast vid några få tillfällen. Röret är dock endast nedslaget 2 m.

Grundvattenytans variationer visar även här god överensstämmelse med sprickvattenytans variationer vid magasin 5-6. FIG. 15 visar sprickvattenytans variationer vid magasin 5-6, grundvattenytans variationer samt nederbörd.

### Regnvattenmagasin

Magasin 5-6

Pegelinstrumenten i pkt 11 och 12 redovisar vattenstånden i magasinet. Exempel på nivåvariationer vid nederbörd med efterföljande avsänkning av vattenytan i magasinet framgår av ett representativt veckodiagram i FIG. 16.

Vattennivån påverkas av tillrinning från stuprör och ovanliggande marklager (gräs- och planteringsytor) samt av avrinning från magasinet till omgivande mark och bräddavlopp. Vatten från stuprör leds in i magasinet på fyra punkter. (FIG. 6). Från inläppspunkterna sprids vattnet i kringfyllningen. Permeabiliteten i grusmaterialet är ej tillräckligt hög. Vid starka regn fylls servisledningar och delvis även stuprör med vatten. För att undvika fuktskador på husfasader har därför bräddavlopp i efterhand anordnats vid marknivå (FIG. 17). Bräddning sker genom slitsarna i stupröret och över kanten på skyddsroret. Vattnet rinner ut på gräsyta eller planterad jordyta.

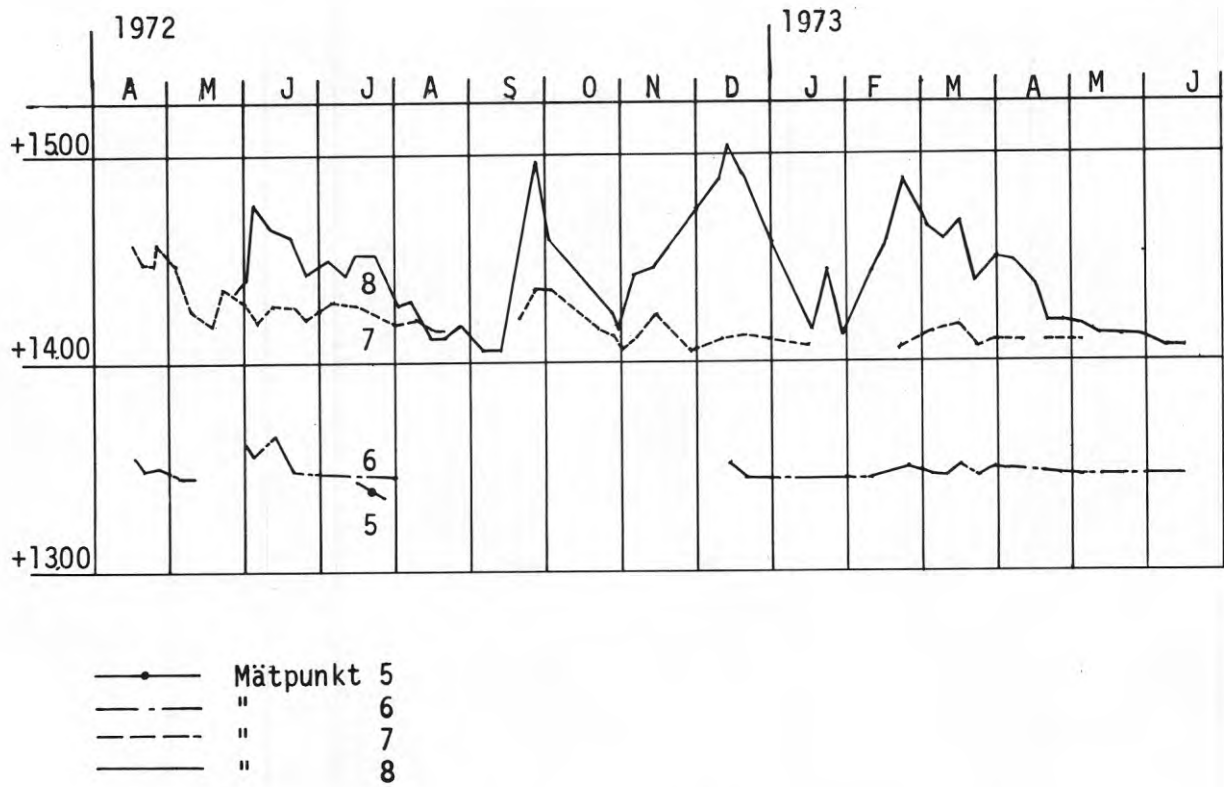


FIG. 14 Registrering av grundvattenyta vid magasin 8-12

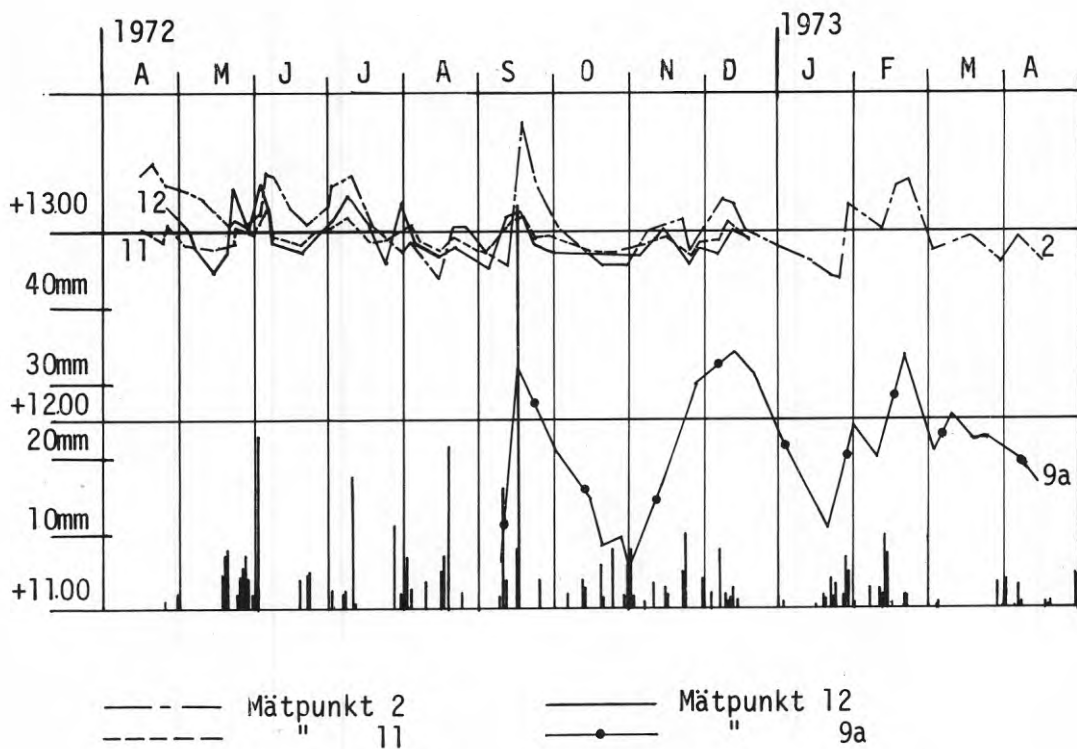


FIG. 15 Sprickvattenyta, grundvattenyta och nederbörd

## Ö.K. KRINGFYLLNING

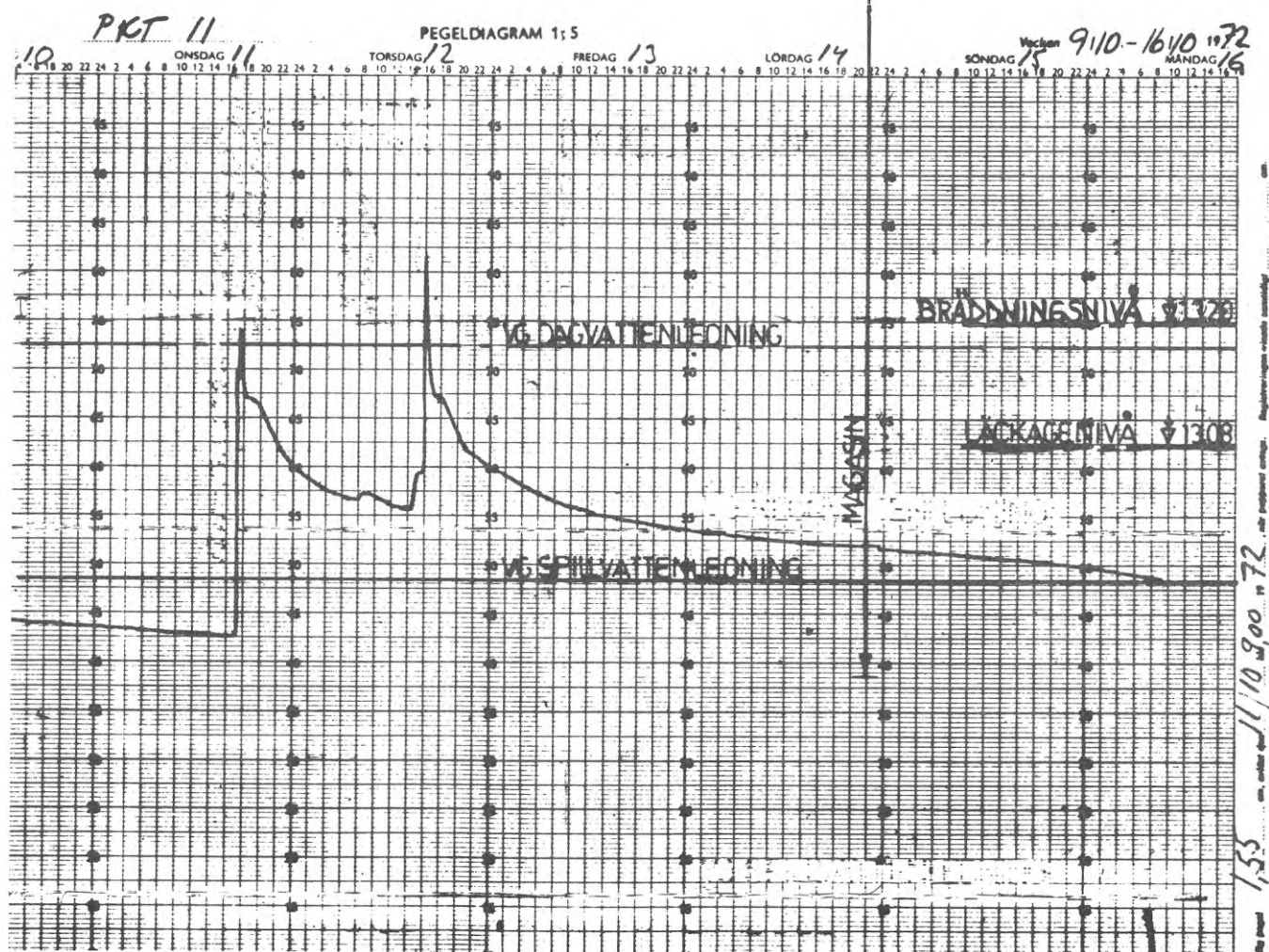


FIG. 16 Pegeldiagram vid punkt 11.

Pegel placerad i magasinet's högre belägna del.

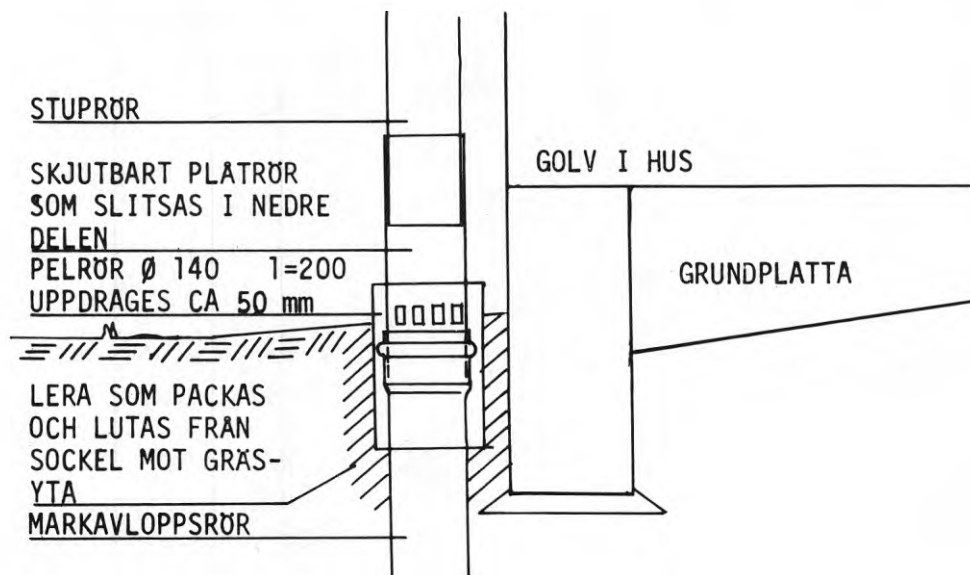


FIG. 17 Bräddavlopp vid stuprör

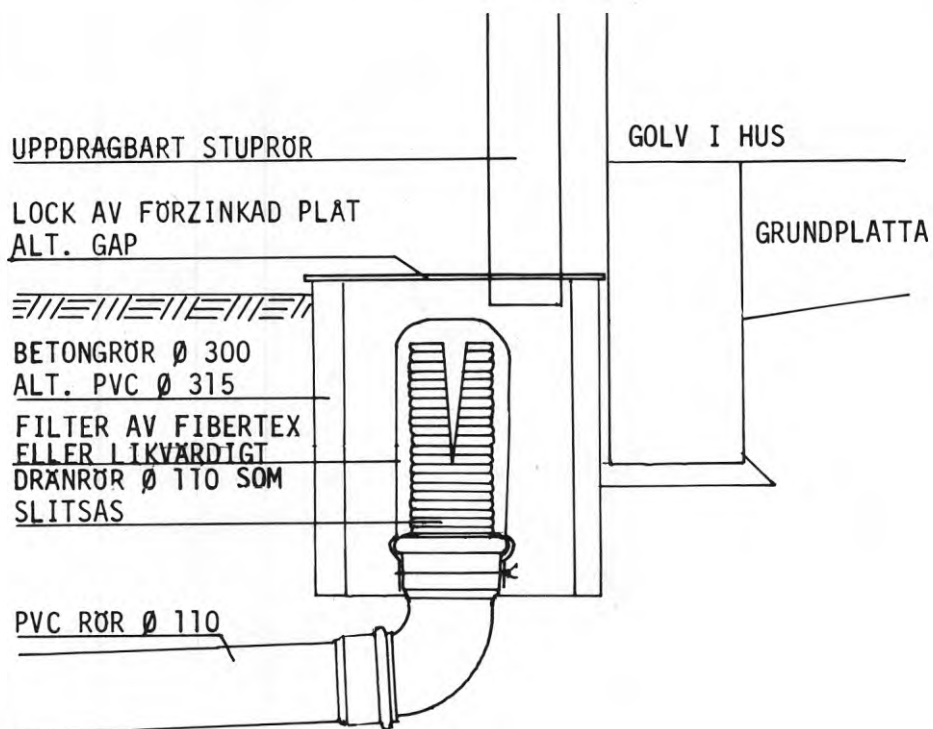


FIG. 18 Filterbrunn vid stuprör

För att mäta hur stor del av regnvattnet som magasinen förmår att ta upp spolades rent vatten samtidigt i de stuprörsledningar som är anslutna till magasinet. I genomsnitt var kapaciteten per servisledning till magasinet ca 10 l/min. sedan ledningarna fyllets, vilket motsvarar ca 2 mm nederbörd per timme.

Med ledning av nederbördsräkningarna och tidsuppgift på regnens varaktighet från pegeldiagrammen har till magasinet inkommande vattenmängd beräknats.

I magasin 5-6 har under hela mätperioden ca 60% av vatten från takytan avrunnit till magasinet. Ca 40% har således bräddat till markytorna kring hus 5 och 6.

Bräddningen sker vid de intensivare regnen, varför viss del av avrinningen sannolikt sker till regnvattenbrunnarna på de asfaltbelagda gårdarna.

På motsatt sida om husen utgörs markytorna till vilken bräddning sker av stora sammanhängande gräsytor, vilka under sommartid helt synes magasinera bräddad vattenmängd.

I grönytorerna finns i lågpunkter brunnar, till vilka ytligt markvatten och ytvatten på tjälad mark, avrinner.

På ovannämnda grunder kan bedömas att minst 90% av vattnet från taken avleds till dels magasin i rörgrav och dels genom infiltration till marken som omger husen.

För att erhålla erfarenhet av lämpligaste sätt att avskilja partiklar i vattnet från hustaken har vid ett hus under varje stuprör installerats en brunn med silduk kring ledningsmynningen. I denna brunn sker bräddning över kanten på brunnen. FIG. 18.

I stuprören på ett annat hus har monterats avskiljningsanordning, som placerades i stuprören ca 1 m över mark. På övriga hus finns silar i hängrännor vid intaget till stuprören.

Utformning av brädd- och rensanordningar är ett resultat av överläggningar med byggherren och personal, som ansvarat för byggnadsverksamheten. Andersson, R (1972). Se under 3.1.1.4.

FIG. 16 åskådliggör vattennivån vid pkt 11 i magasin 5-6 under tiden 9.10-16.10 1972.

Den 11.10 föll 4 mm regn under ca 1 timme och den 12.10 3 mm under ca 2 timmar. Tillrinningen, som sker hastigt, redovisas i diagrammet med en nära lodrät linje. Detta indikerar att vattnet snabbt tränger in i magasinet vid servisledningens mynning.

Sedan regnet upphört sjunker vattennivån. Först relativt snabbt när vattnet från omgivningen av insläppspunkten, som är belägen nära pegelbrunnen, fördelar sig längs magasinet.

När utjämning skett i magasinet minskar sjunkhastigheten.

Av FIG. 16 framgår att vatten från magasinet läcker in i dagvattenledningen vid nivån ca +13,10, vilket påskyndar sjunkningen. Läckaget har även konstaterats vid utförda spolningar. Under nivån +13,10 slutar läckaget och avsänkningen visar storleken på övrig avrinning från magasinet. Diagrammet är representativt för samtliga regn.

Magasinet töms på 1-2 dygn beroende på tillrinningens storlek. Tömningstiden skulle ha blivit längre om bräddning (läckage) till dagvattenledning ej skett. Tiden är

svår att beräkna med hänsyn till att avrinningen till omgivande mark vid hög vattennivå ej är undersökt.

Med utgångspunkt från tömningshastigheten under läckagenivån skulle tömningstiden bli förlängd med ca 1 dygn, om dagvattenledningen vore tät.

Vid en jämförelse med sprickvattenobservationerna konstateras att sprickvatten rinner till magasinet från omgivande mark. Detta framgår av att vattenytan i magasinet är något lägre än omgivande sprickvattenytor. Läckaget i dagvattenledningen påverkar således även sprickvattennivån kring rörgraven.

Vid tillrinning till magasinet höjs vattenytan under sommartid över omgivande sprickvattenyta, för att under tömning sjunka strax under sprickvattenytan.

Magasinets högre del töms helt under uppehållsväder. Vattenytan är då belägen ca 0,2 m under spillvattenledningen (+12,78). Magasinets lägre del töms ej helt, utan vattenytan blir konstant ca 0,3 m över magasinets botten. (+12,88). I denna del av magasinet föreligger således ej någon perkolation. Vattennivån i magasinet är lika i punkt 11 och 12 när spridningen från utsläppspunkterna är avslutad.

Högsta nivå i magasinet har uppmätts till 0,9 m och lägsta nivå till 1,6 m under nuvarande mark.

FIG. 19 visar diagram från det största uppmätta regnet som föll den 15-17 september 1972.

Från magasinet har oavsiktlig bräddning skett i form av inläckning till dagvattenledningen i magasinet. Bräddning i installerade bräddavloppsrör har däremot ej konstaterats. Spillvattenledningar i flera magasin har okulärbesiktigats i samband med spolning i stuprörsledningarna. Någon inverkan på flödet i spillvattenledningarna har ej kunnat



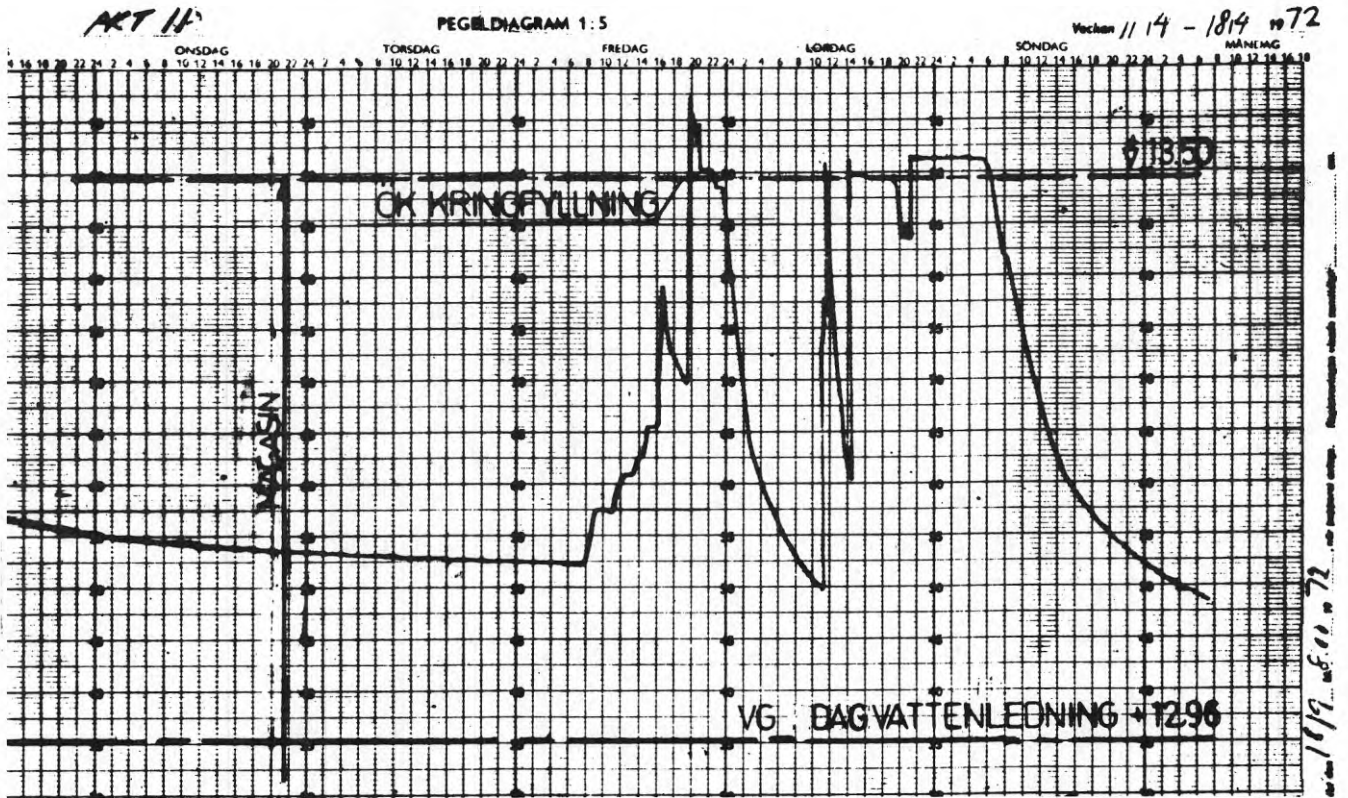


FIG. 19 Pegeldiagram vid punkt 11.  
Pegel placerad i magasinet högre belägna del.

märkas. Avvägningar av marken inom byggnadsetapp 1, där magasin 5-6 är beläget, visar att inga marksättningar ägt rum. Några sättningar i markytan över magasinet har ej observerats.

#### Magasin 8-12

Pegelinstrument placerades i magasinets högsta del i brunn vid punkt 14. (FIG. 11). I magasinets lägre del vid punkt 13 uppträdde ej någon vattenyta, varför pegel ej installerades i denna brunn. Bräddavlopp har utförts på stuprören enligt FIG. 17. Exempel på nivåvariationer i magasinets övre del framgår av representativt veckodiagram i FIG. 20.

Observationsresultaten avviker något från resultaten vid magasin 5-6. En jämförelse vid regntillfällena den 11 och 12 oktober visar att vattnet synes spridas snabbare i magasinet. Detta framgår av att pegeln ger mindre utslag i pkt 14 (FIG. 20) än i pkt 11 (FIG. 16). Takytan som avleder vatten till pkt 14 är dock 12% mindre än takytan vid pkt 11, varför skillnaden är liten.

Oavsiktlig bräddning har vid spolförsök konstaterats till en dräneringsledning som anslutits till en dagvattenbrunn på gården. Dräneringsledningen ligger ca 70 cm under mark och nära en servisledning från stuprör. Bräddningen inträffar då magasinet fyllts vid insläppspunkten på nivån ca +15,30.

Kurvan på avsänkningen visar storleken på perkolationen från magasinet. Något ledningsläckage inom magasinet har ej observerats. Detta framgår också av diagrammet, som visar ett jämnare tömningsförlopp än i magasin 5-6.

## Ö.K. KRINGFYLLNING

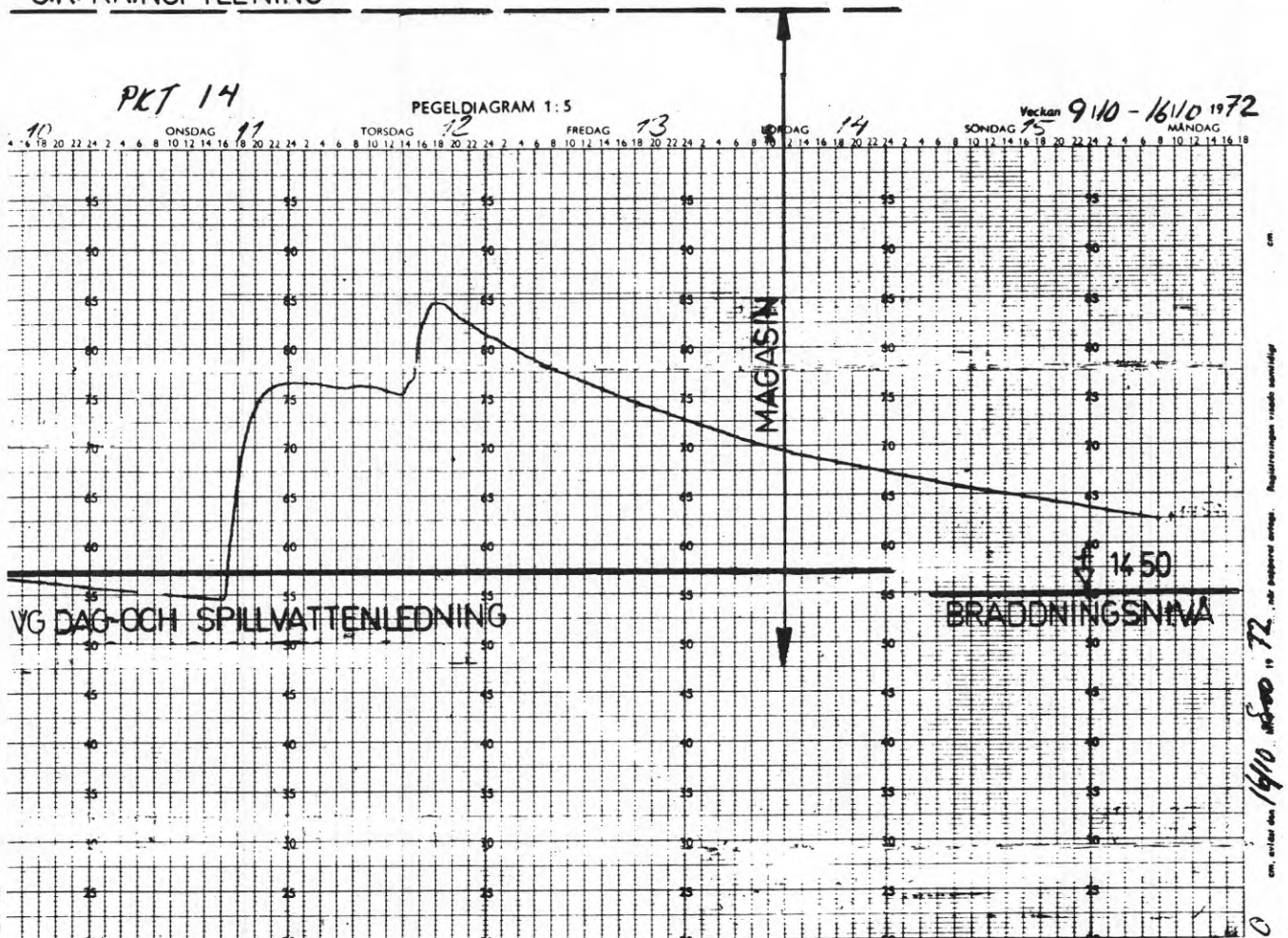


FIG. 20 Pegeldiagram vid punkt 14.

Pegel placerad i magasinets högre belägna del.

Den tid som åtgår för tömning av magasinet uppgår till ca 4 dygn. Tömningen sker snabbare under sommartid.

I magasinets nedre ände har dämning ej skett i pegelbrunnen. I samband med kraftiga regn tränger endast obetydligt med vatten in i brunnen. Någon bräddning utöver läckage till dränledning har ej skett.

Grundvattenrör 6 beläget mitt för och omedelbart intill magasinet, visar att grundvattenytan är belägen ca 2,5 m under mark vilket är något lägre än magasinbottens lägsta del. Högsta vattennivå i magasinets högre del har uppmätts till 0,8 m och lägsta nivå till ca 1,7 m under nuvarande mark.

Vid spolning uppmättes varje servislednings kapacitet till ca 11 l/min. i genomsnitt vilket motsvarar ca 2 mm regn per timme. Ca 72% av nederbörden under mätperioden har härigenom avrunnit till magasinet. Genom att markytorna är disponerade på likartat sätt som vid magasin 5-6 innebär detta att minst 90% av takvattnet magasineras i magasinet resp. i husen omgivande mark.

#### Tjäldjupsmätningar

Den milda vintern har inneburit att max. 20 cm tjäle under kort tid har registrerats.

#### Provtagning av vatten från takytor och magasin

Provtagning har skett dels av vatten som runnit ur stuprör och dels av vatten i brunnar belägna i magasin 5-6 och 8-12. Analysresultaten framgår av TAB 1.

En jämförelse visar att vattnet från taken är mycket rent. De första proverna takvatten var dock slamhaltiga och innehöll högre halter av mangan, järn, ammonium, sulfat samt visade större permanganatförbrukning och glödningsrest.

## TAB 1 Analysresultat av vattenprover

ORRJE &amp; CO SCANDIACONSULT

Vattenkemiska laboratoriet  
 FACK  
 102 60 STOCKHOLM 4  
 Tel. 08-24 20 80

Analys nr 720731

Protokoll över

FYSIKALISK-KEMISK VATTENUNDERSÖKNING

Uppdrags- givare		Svenska Riksbyggen			Stuprör			Brunnar i mark			
Prov på		regnvatten från Västerås			Stuprör			10/10 1972			
Prov		enl. uppgift taget den 26 / 7 1972 kl 16.00			23/10 1972			23/10 1972			
Prov		inkom den 31 / 7 1972									
Prov		märkt			8519 8531 8540			8534 8542 8527 8521 8537 8543			
Provs beteckning		pkt 11 pkt 12 pkt 14			pkt 11 pkt 12 pkt 14			pkt 11 pkt 12 pkt 14			
Temperatur (enl. uppg.)	°C				-	-	-	-	-	-	
Färg	Pt mg/l	40	55	70	< 5	< 5	< 5	18	20	20	
Grumlighet*)	A.E. X 10 <sup>6</sup>	680	1000	520	228	342	414	700	1620	1140	
Boltensats		icke ob	icke ob	icke ob	ingen	ingen	liten	liten	liten	liten	
Lukt		ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	ingen	
Spec. ledningsförmåga X 10 <sup>6</sup> ohm <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup>		56	31	43	7	13	10	60	712	480	
Glödgningsrest (beräkn.)	mg/l	39	22	30	5	9	7	42	498	336	
Permanganatförbrukning	KMnO <sub>4</sub> mg/l	25	25	54	3,5	3,6	5,5	9	16	23	
pH		5,6	5,5	5,6	6,3	6,9	6,4	6,9	7,3	7,7	
Ammonium	NH <sub>4</sub> mg/l	1,1	0,94	1,5	0,20	0,18	0,20	0,26	0,03	0,01	
Totalhårdhet	Ca mg/l	6	6	12	1	1	1	7	103	72	
"	°dH	0,9	0,8	1,8	0,2	0,2	0,2	1,0	14,5	10,1	
Järn	Fe mg/l	0,42	0,65	0,45	0,11	0,11	0,22	0,69	0,96	0,67	
Järn, luftat och filtr. prov	Fe mg/l				-	-	-	-	-	-	
Mangan	Mn mg/l	0,42	0,56	0,48	0,04	0,06	0,03	0,06	0,25	0,41	
Aluminium	Al mg/l				-	-	-	-	-	-	
Alkalitet (ber. som bikarbonat)	HCO <sub>3</sub> mg/l	3	3	3	2	11	2	20	425	282	
Kolsyra, aggr. (ber.)	CO <sub>2</sub> mg/l	12	10	15	2	10	7	4	0	0	
Klorid	Cl mg/l	1	4	2	9	7	5	8	13	12	
Fluorid	F mg/l				-	-	-	-	-	-	
Sulfat	SO <sub>4</sub> mg/l	4	4	6	< 1	2	< 1	4	44	42	
Nitrat	NO <sub>3</sub> mg/l	2,0	1,9	2,9	3,6	3	0,75	3,3	14	36	
Nitrit	NO <sub>2</sub> mg/l	0,020	0,021	0,024	0,02	0,024	0,027	0,19	0,071	0,081	
Fosfat	PO <sub>4</sub> mg/l	0,14	0,21	0,11	0,02	0,03	0,04	0,03	0,31	0,17	
Kiselsyra (löst)	SiO <sub>2</sub> mg/l	0,56	0,23	0,05	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,32	20	12	
Bedömning											
*) Mätt med Sigrist fotometer. < = mindre än > = större än > = större än > = större än											
STOCKHOLM den 15/8 1972				Namn <i>Harry Sundgren</i>				Namn <i>Harry Sundgren</i>			
				Namn <i>Harry Sundgren</i>				Namn <i>Harry Sundgren</i>			

Förklaringen till detta är att rengöring av hängrännorna ej hade skett sedan huset färdigbyggt. Före rengöringen var hängrännorna delvis helt fyllda med slam från luftföroreningar, filler från takpapp och asfaltklister.

Påtaglig är den låga fosfathalten i vattnet.

Vattnet i magasinen visade större föroreningar.

Den delvis höga slamhalten beror på att vattenmängden i brunnarna vid flera provtagningstillfällen var så liten att grumling av vattnet ej kunde undvikas.

#### Nederbördsmätning

Nederbörden har registrerats av regnmätare inom området. Under semestertid och vinterperioden har dock SMHI:s observationer använts. Nederbörden har uppträtt relativt jämnt under året. Längsta torrperiod ca 2 veckor, har uppträtt i maj-juni och månadsskiftet augusti-september. Nederbörden under sommaren (15.5 - 15.9) har uppgått till 207 mm och under hösten (15.9 - 15.12) till 147 mm.

Största regnet har gett 53 mm under ett dygn, (16-17. 9. 72), vilket motsvarar ett regn som statistiskt sett återkommer vart sjunde år. Medelintensiteten uppgick till ca 12 l/s ha. Den 1. 6. 72 föll på 4 timmar 23 mm regn. Medelintensiteten uppgick då till ca 15 l/s ha. Räknat per timme var medelvärdet på regnen 2,2 mm resp. 5,8 mm.

#### 3.1.1.4 Utvärdering

Vid utvärdering av mätresultaten i Bäckby, måste man hålla i minnet att magasinen och övriga anläggningar för takvattnets avledande tillkommit utan avsikt att forskningsmässigt uppföljas. När därför sådan uppföljning skett saknas den säkra dokumentation om arbetets verkliga utförande

som varit önskvärd för en säker utvärdering.

Två typer av magasin med avseende på deras geologiska belägenhet har undersökts - ett magasin, (5-6) i lera med torrskorpa och sprickvatten överlagrande morän med lägre grundvattenyta och ett magasin i morän (8-12) med grundvattenyta under magasinets botten.

Några helt säkra tecken på perkolation från magasin 5-6 har ej kunnat fastställas. Visserligen sjunker vattenståndet i magasinet efter regn under sprickvattenytan men det beror också på konstaterat läckage till dagvattenledningen i magasinet. Dessutom kan eventuellt läckage till spillvattenledningen förekomma som ej kan upptäckas vid okulärbesiktning eller vid lertröskel vid magasinets nederände.

Vid hög nivå i magasinet torde avrinning ske via torrskorpelerans spricksystem i detta fall i östlig riktning.

Samma slag av avrinning har konstaterats i ett småhusområde i Märsta. Enligt Cadling, L (1972) höjs sprickvattenytan i orörd lermark vid nederbörd för att sedan genom avrinning i torrskorpeleran åter sjunka. Under vår och höst kan sprickvattenytan nå markytan medan den under sommar och vinter är belägen 1, 2-1, 4 m under befintlig marknivå, vilket väl överensstämmer med observationerna i Bäckby (FIG. 12). Avledningen är således ej oväsentlig. Sprickvattenytan sjunker ca 1 m under en vecka vid uppehållsväder.

I magasin 8-12 antyder magasinavtappningskurvans karaktär vid hög uppfyllnad ett läckage vid nivån ca +14,75 emedan kurvan där övergår från hyperbolisk till nära rätlinjig form. Det konstaterade läckaget till dräneringsledningen är beläget på en högre nivå varför övergången vid nivå

+14,75, sannolikt beror på ett krön av dämmande lera. För övrigt föreligger vid detta magasin otvivelaktigt förutsättningar för perkolation. Liknande läckvägar som i magasin 5-6 kan förekomma.

Beträffande båda dessa magasin kan konstateras att de väl fyller sin funktion att utjämna och omärkligt avleda regnvatten från takytor.

Ledningsinstallationens utförande har medfört att regnvattnet vid servisledningens mynning i magasinets singel- och grusfyllning, vid häftiga regn ej tränger ut i magasinet tillräckligt snabbt. Det använda grusmaterialet har för låg permeabilitet varför dämning uppstått i servisledningarna och stuprör på flera hus och vatten har okontrollerat läckt ut ovan mark. En betydande förbättring har genomförts under första delen av undersökningsperioden med avsiktlig bräddning vid marknivå enligt FIG. 17 och 18.

Den relativt låga tillrinningskapaciteten hos de undersökta magasinerna, ca 2 mm nederbörd per timme, har dock ej inneburit några påtalade eller synbara nackdelar för de boende.

Vattnet som bräddat från stuprören vid marknivå har ej eroderat i markytorna kring husen, utan har omärkligt avrunnit till omgivande grönytor och eventuellt till regnvattenbrunnarna på gårdarna.

Om friktionsmaterial med liten kornstorlek skall användas i magasinerna bör dock en fördelningsledning läggas utmed magasinet i dess övre del. Härigenom kan magasinkapaciteten utnyttjas och bräddning sker först vid större nederbörd än magasinet är dimensionerat för.



Denna nederbörd (11 mm) har endast uppträtt 6 gånger under undersökningsperioden, vilket skulle ha inneburit att bräddning hade skett motsvarande antal gånger om magasinet helt utnyttjats. P. g. a. inträngningsmotståndet vid stuprörsservisens mynning har bräddning skett ännu fler gånger, dock utan störande konsekvenser.

Att utöka magasinen till att rymma takvatten från större regn, t. ex. 1 års maxdygnsregn ger ca 2 ggr större magasin i täta jordar. Kostnaderna ökar med gruskostnad men samtidigt hade i detta fall magasinering av nästan allt regnvatten från taken möjliggjorts. Där bräddning till markyta ej bör ske och/eller där målsättningen är att öka grundvattenbildningen, bör därför magasinen dimensioneras för minst 1 års maxdygnsregn.

Vid en jämförelse av nederbördens avrinning från olika ytor inom området framgår att vatten från takytor utgör nära 50% av den totala avrinningen vid dimensionerande regn, från såväl markytor som tak. Genom att ca 10% av vattnet från taken efter bräddning bedömts avrinna till regnvattenbrunnar har ca 45% av totala nederbörden magasineras i marken och ca 55% avrunnit till dagvattenledningarna.

Grundvattenytan inom delar av bostadsområdet har genom arbeten för en dykartunnel varit avsinkt till nivån ca +8,50 m. Observationerna visar att en höjning har skett till nivån ca +11,50 sedan tunneln tagits i drift, dvs. helt vattenfyllts och satts under tryck. Höjningen beror på minskad inläckning i tunneln. Även om magasinering av takvatten ej skett hade en höjning av grundvattennivån erhållits. Om nivån hade uppgått till de nuvarande nivåerna kan däremot ej avgöras.

Den snabba påverkan på grundvattenytan, som kan utläsas av FIG. 13, kan dock innebära att grundvattenmagasinet minskar under sommarmånaderna, då avdunstningen och

växternas vattenbehov gör att tillrinningen till grundvattnet helt upphör. Tillskott av takvatten har då betydelse för att marksättningar skall förhindras. Genom att takvattnet tillförs minst 1,0 m under mark bildar större del av vattnet grundvatten än vid utsläpp på markytan.

Okulärt har konstaterats att föroreningar har samlats i hängränorna genom att silarna i dessa sätts igen och hindrar föroreningar och även vatten att avrinna till stuprören. Vatten rinner vid regn över hängränorna och blir även stående i ränorna med ökad korrosion som följd.

Om silarna borttages föreligger risk för igensättning i magasinen. Diskussioner med driftpersonalen på Bäckby, Andersson, R (1972), har lett till prov med en enkel filterbrunn vid marknivå resp. med rensficka av plast monterad på stuprör över marknivå. Silarna i hängränorna har borttagits där proven genomförs.

Resultaten tyder på att hängränorna fungerar betydligt bättre utan sil. Såväl rensfickan som brunnen fungerar som sil. Med filterbrunn erhålles sannolikt en bättre avskiljning än med den provade rensfickan. Drifttiden har dock varit för kort för att en säker utvärdering skall kunna göras. Erfarenheter från stränga vintrar saknas bl. a.

Analyser av vattenprover från stuprören visar att takvattnet innehåller mycket litet föroreningar, särskilt sedan hängränorna rengjorts. Sålunda företer takvattnet efter hängränornas rengöring, närmast karaktär av grundvatten med undantag av att mängderna lösta salter är avsevärt lägre i takvattnet. Före rengöring i hängränorna är vattnet till karaktären jämförbart med ett relativt rent sjövattnet ehuru med något större bottensats. (TAB. 1).

Som exempel kan nämnas att permanganatförbrukningen, som utgör ett mått på vattnets innehåll av organiskt material, i takvattnet före rengöring av hängrännorna var 25-54 mg/l och efter rensning 3,5 - 5,5 mg/l.

Kravet på ett dricksvatten är att permanganatförbrukningen skall vara mindre än 20 mg/l.

### 3.1.2 Försöksplats Hölö, Södertälje

Vid ett enskilt bostadshus med taktegel har en försöksanläggning för magasinering och perkolation (betr. definition se under 7) av regnvatten från taket utförts.

Hängränna och ett stuprör uppfångar takvattnet från en yta av 65 m<sup>2</sup> horisontalprojektion för direkt inledning i försöksanläggningen (Fig. 21 och 22). Denna togs i drift i början av augusti 1972.

#### 3.1.2.1 Geohydrologiska förhållanden

Försöksplatsen utgöres av en moränplatå, utskjutande mot sydost från ett bergparti ca 10 m högre än platåns krön. Det senare ligger i sin tur ca 6 m över botten på omgivande lerdalar (Fig. 21).

Vid försöksmagasinet utgöres lagerföljden av 0,3 m matjord och lera-mjåla (torrskorpa) och 0,9 m varvig lera övergående i delvis sandig, delvis moig morän (Fig. 23).

Bildserie av schakt framgår av Carlstedt B. (1972).

Rördrivningar har utförts på ömse sidor om försöksmagasinet i avsikt att följa grundvattenståndets förändringar. Vid fyra rördrivningar har det därvid emellertid visat sig att berg påträffats mellan 2,4 och 5,2 m under markytan utan att grundvattenytan nåtts. Ej ens under tjälsmältningen våren 1973 kunde något grundvatten noteras i observationsrören, vars kommunikering med moränlagren kontrollerats.

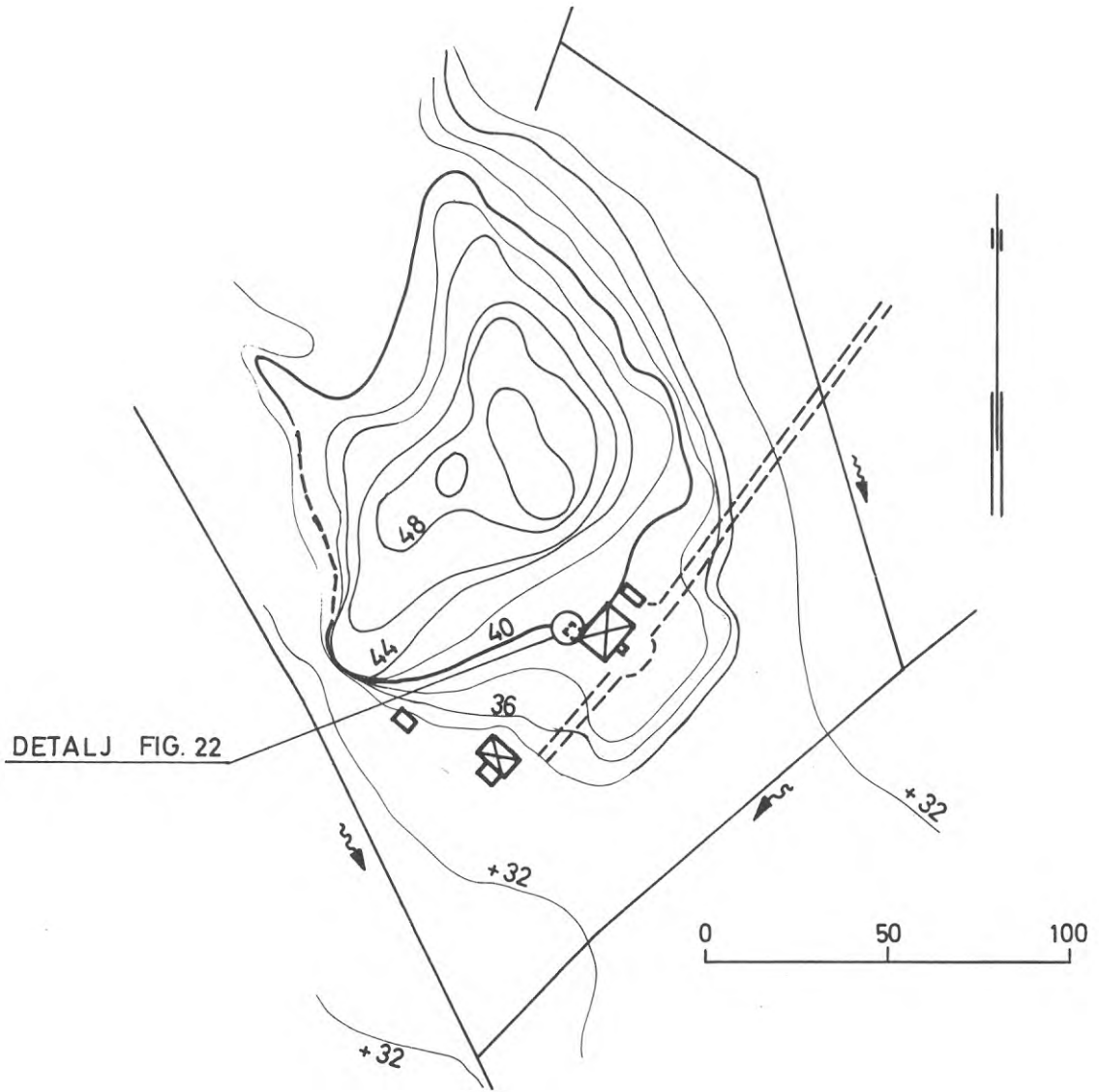


FIG. 21 Översiktsplan över försöksplats Höllö

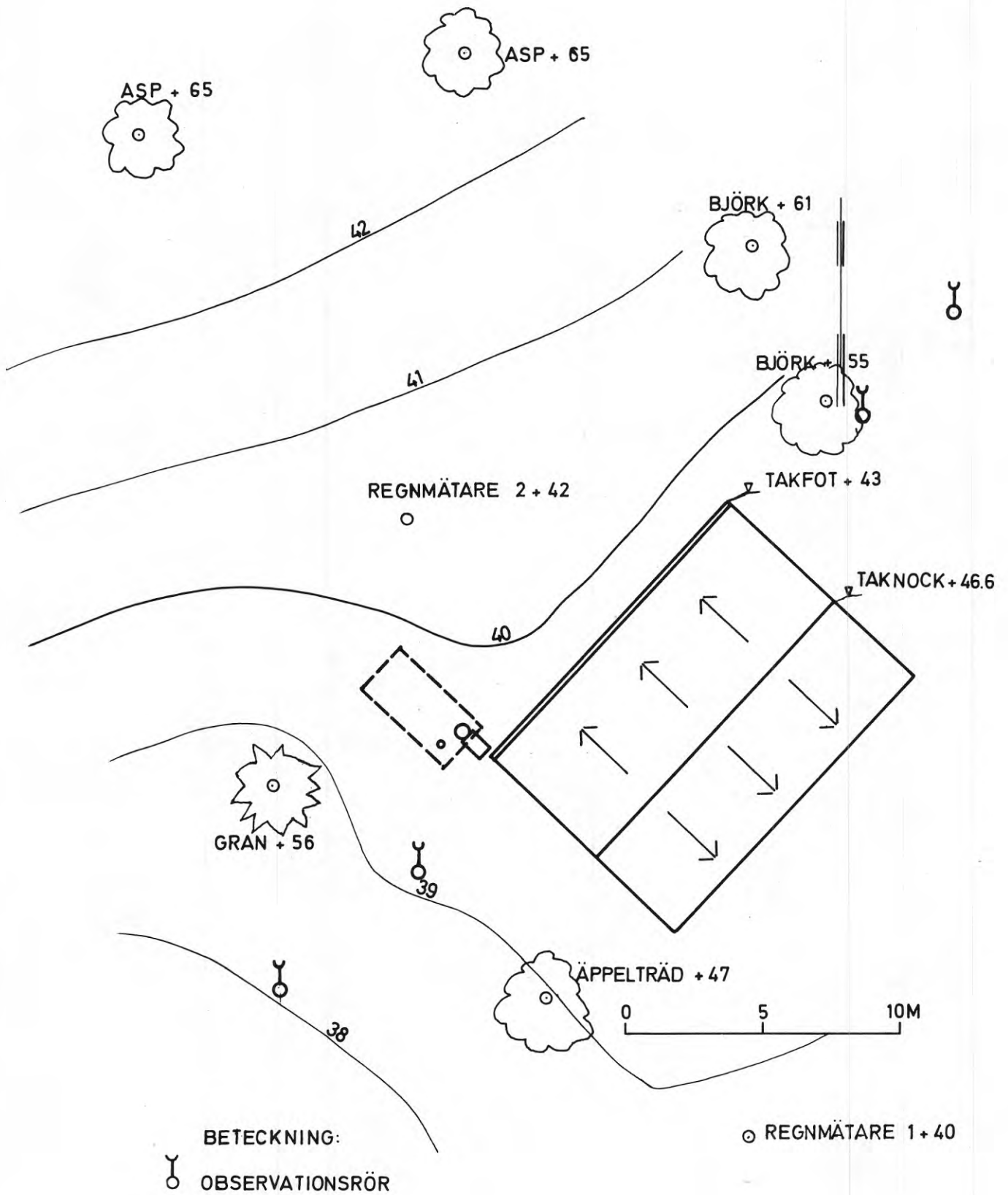


FIG. 22 Detaljplan över försöksplats Höllö

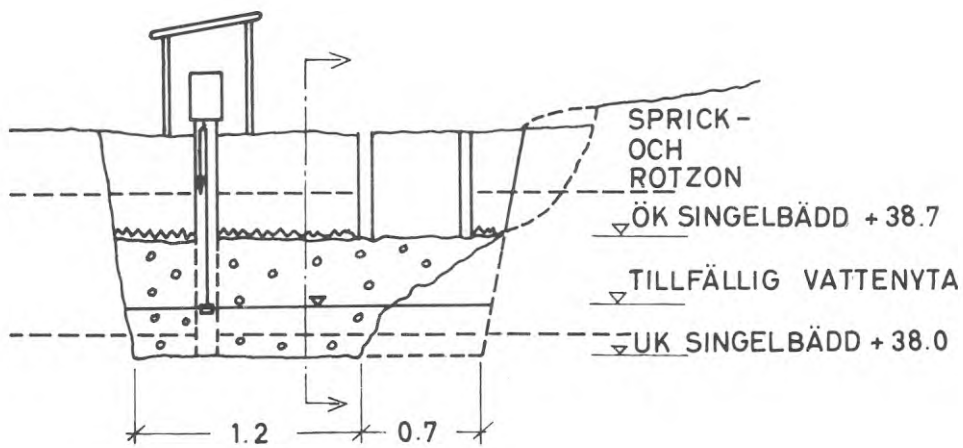
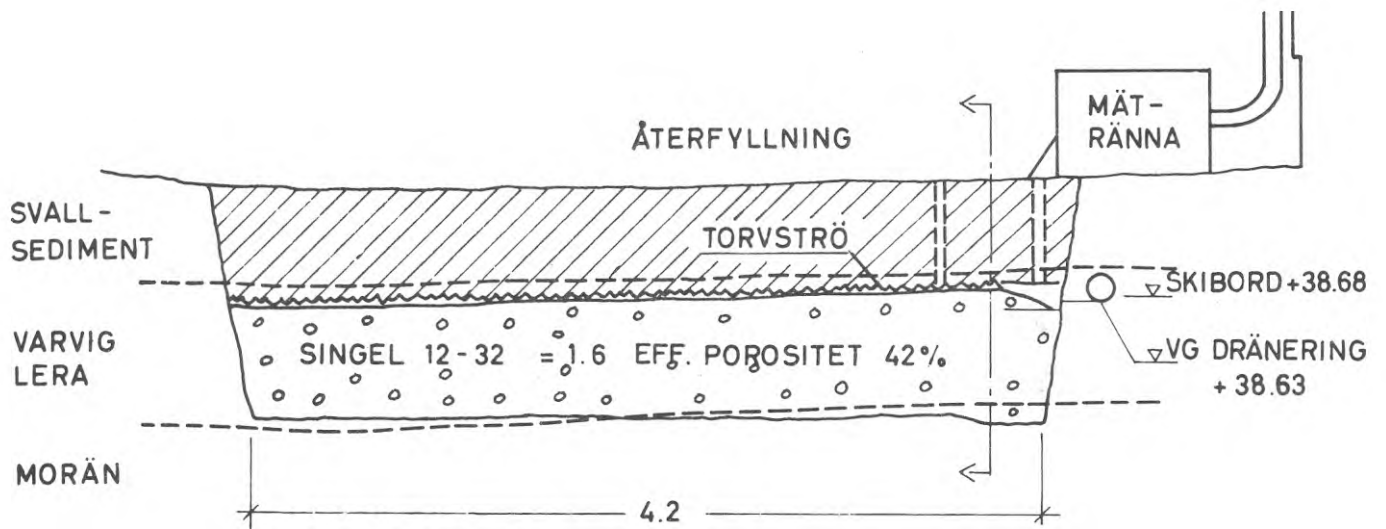


FIG. 23 Sektioner genom magasin, Hölö

genom vattenpåfyllning.

Från norr lutar markytan ca 1:6 ned mot magasinet (FIG. 22).

Sammanfattningsvis är geohydrologin följande:

Markvattnets perkolation (betr. definition, se under 7) försvåras genom att den varviga leran har ringa genomsläpplighet. Vattnet rör sig därför längs slutningen i torrskorpezonen vid tillräckligt hög markvattenhalt. Under sommaren kan denna vattenrörelse i allmänhet förutsättas vara noll, medan den når maximum vid tjälsmältningen. Moränen under den varviga leran saknar grundvatten, som endast finns i underliggande berg och tidvis i moränens lägsta skikt.

### 3. 1. 2. 2 Försöksanordningar, ingångsdata

Vid försöksplatsen har ett perkolationsmagasin intill det friliggande 1 1/2-planshuset med brutto  $9 \times 12,7 = 114,5 \text{ m}^2$  takyta utförts. Därav har  $5,1 \times 12,7 = 65 \text{ m}^2$  avvattnats till magasinet via en hängränna och ett stuprör, FIG. 22. Magasinet har en bruttovolym av  $4,2 \text{ m}^3$  och en nettovolym av  $1,8 \text{ m}^3$ . Utformningen framgår av FIG. 23.

Jordprover har tillvaratagits vid magasinets botten på åtta ställen efter indelningen i lika stora rektanglar, numrerade från nordväst mot sydost. Magasinbottnens fria yta mot singelfyllningen är  $5,0 \text{ m}^2$ . Jordproverna redovisas i TAB. 2. Som framgår av denna ligger nordvästra hälften av botten något över gränsen mellan varvig lera och morän. Magasinsbotten lutar något så att sydöstra änden är 0,1 m djupare än den nordvästra. Gropen uppschaktades på våren. Eftersom singelpåfyllningen ej skedde förrän i juli hann gropens nordöstra långsida utsättas för vårflödets sprickvattenerosion, vilken gav upphov till nedfallna rasmassor. Härigenom har magasinet blivit betydligt smalare i botten

TAB 2 Jordprover från magasinsbotten, Hölö

Läge Sektion	Jordart	Eff. kornstorlek $d_{10}$ , mm	Likformighetskoeff. $d_{60}/d_{10}$
1	Finmoig mjäla	-	-
2	Varvig lera/mo	-	-
3	Moig morän	-	-
4	Mjälilig finmo	-	-
5	Sandig morän	0,03	18
6	Sandig, moig morän	0,01	25
7	Sandig morän	0,07	11
8	Moig morän	0,006	19



än vid överytan. Rasmassorna har dock en betydligt större porositet än den orörda jorden, varför hela den ursprungliga schaktbotten får anses vara verksam vid perkolationen, FIG. 23.

Före singelpåfyllningen rensades den torra botten från tidigare i den öppna gropen i vatten sedimenterat finmaterial.

I sydöstra delen är ett 150 mm PVC-rör nedsatt i singelbädden. Röret är perforerat i mantelytan för vattenståndspejling på kontinuerlig skrivare (typ MSHI).

Stupröret från taket leder vattnet till en utjämningsbehållare med Thomson-överfall, varifrån vattnet via en brunnsring med 0,6 m diameter infiltreras i singelbäddmagasinet. I brunnsringens botten apterades en duk av Fibertex i mitten av december månad 1972. Vid magasinets överkant finns vidare ett bräddavlopp med mätöverfall med avledning till ett dräneringsrör från husgrunden i kanten av magasinet. Anordning för kontinuerlig mätning av vattenstånd i utjämningsbehållaren finns installerad (typ SMHI).

I magasinet till dess botten och i naturlig jord utanför magasinet finns installerad vardera en tjälgränsmätare typ Gandahl.

Pegelinstrument, enligt FIG. 10 d, för kontinuerlig mätning av vattennivå i magasinet har monterats på installerat 150 mm PVC-rör.

Pegelinstrument för periodvis mätning av vattennivå i utjämningsbehållaren har monterats på ett vertikalt PVC-rör med tät botten vid sidan om utjämningsbehållaren och kommunicerande med denna genom ett klen polyetenrör. Det visade sig dock att skrivarens utväxling var för liten för att des-

sa observationer skulle ge något av värde.

Regnmätare Pluvius har monterats 1,5 m över mark, en på vardera sidan om byggnaden.

Observationer har kontinuerligt skett av vattennivån i magasinet med början den 5 september 1972 och avslutning den 4 augusti 1973. Dessförinnan har manuella observationer utförts från den 26 juli 1972, vilken dag föll 29,5 mm regn.

Regnmätarna har avlästs i möjligaste mån efter varje regn och tömts efter avläsningarna. Datum och klockslag för detta har antecknats i särskilt upprättad protokollsblankett. Vid snöslask eller snabba växlingar regn-snö har regnmätarna tagits in för tining och därefter avlästs. Snöras från taket har noterats i anmärkningskolumnen. Snötäckets tjocklek har noterats efter större snöfall.

Tjälgränsmätarna har avlästs när så påfordrats av väderleksförhållandena.

### 3.1.2.3 Observationsresultat

#### Nederbörden

De två största regnen föll den 26 juli och 25 augusti 1972 med sammanlagt 29,5 resp. 33 mm. Regnet den 26 juli föll mellan kl. 10.30 och 13.30. Ett sådant regn återkommer beräkningsvis en gång vart sjunde år i Stockholmstrakten. Om varaktigheten för regnet den 25 augusti finns inga noteringar.

Av särskilt intresse är också väderleksförhållandena under perioden 11.2 - 22.2.1973, en period med snösmältning och samtidigt regn, FIG. 26. Den 11.2 uppmättes ett snötäcke på 18 cm. Den 12.2 föll ytterligare 5 cm blötsnö och blidväder satte in med efterföljande regn. Den 13.2 kl. 18 noterades

sålunda 13,5 mm i regnmätaren. Den 17.2 kl. 09 noterades ytterligare 17,5 mm och därefter den 19.2 kl. 07 och 22.2 kl. 18 totalt 1,3 resp. 2,9 mm. Därefter följde en period med minusgrader.

Det intensivaste regnet föll den 25 juli 1973 med 150 l/s ha under 10 minuter.

### Magasinet

Pegeldiagrammen (FIG. 24 - 26) visar att magasinet snabbt fylls upp vid regn och långsamt töms efter regn. Tömningen sker rätlinjigt och är sålunda oberoende av fyllnadshöjden. Tömningsintensiteten varierar dock oregelbundet. Den största noteringen, 53 cm/dygn, har gjorts den 26.7.1972 och den minsta, 2 cm/dygn, den 20.3.1973. Vid det största regnet den 25.8 1972 har utgångsnivån i magasinet omedelbart efter regnet beräkningsvis varit 55 cm över magasinet botten.

Vid blidväder och regnet den 12.2 fylls magasinet snabbt till bräddavloppsnivån +38,68. Ett instrumentfel har därefter uppstått, FIG. 26. Efter 17,5 mm-regnet den 16-17.2 höjs magasinet 21,5 cm men stiger ej upp till bräddningsnivån. När kylan sätter in sjunker magasinsnivån den 23-24.2 med 17,5 cm/dygn.

Vid det intensiva regnet 25 juli 1973 med 150 l/s ha steg nivån i magasinet 18 cm, huvudsakligen under regnet.

### Tjäldjup

Vintern 1972-1973 har varit ovanligt mild. Största uppmätta tjäldjup ovan magasinet har varit 20 cm, utanför magasinet 10 cm.

#### 3.1.2.4 Utvärdering

Den konstanta avsänkingsintensitet som genomgående noterats i magasinet efter regn visar konstanta flöden, dvs. konstant inflöde och konstant utflöde. Det senare bestäms

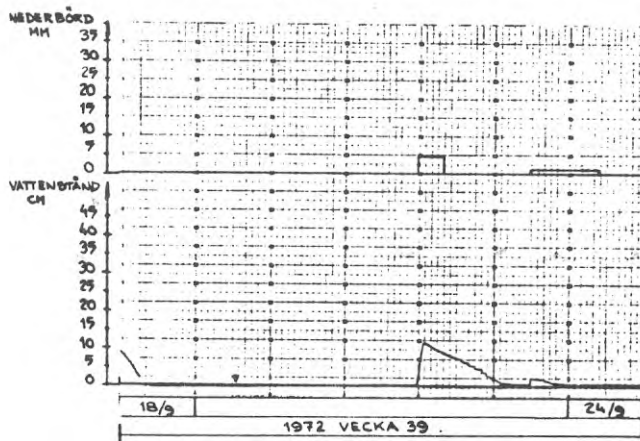
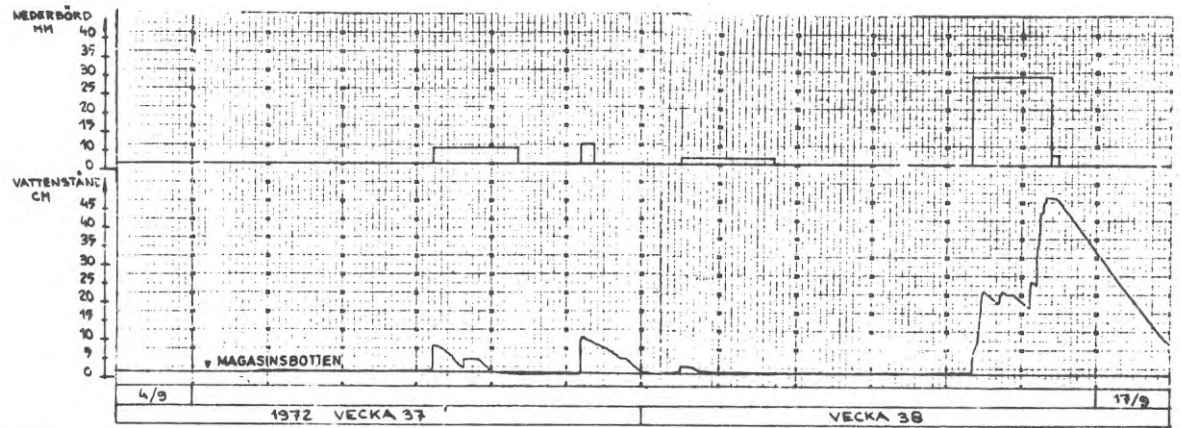


FIG. 24 Pegeldiagram vecka 37-39, Hölö

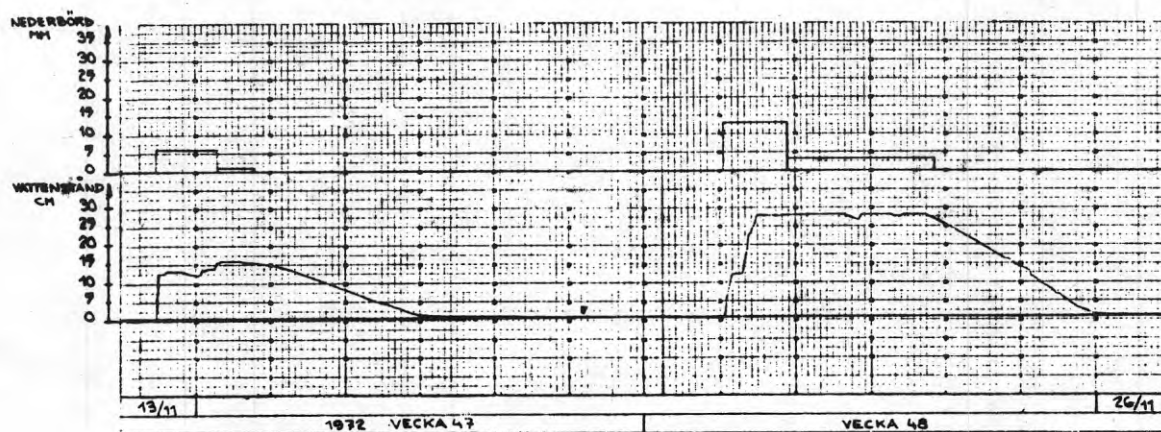
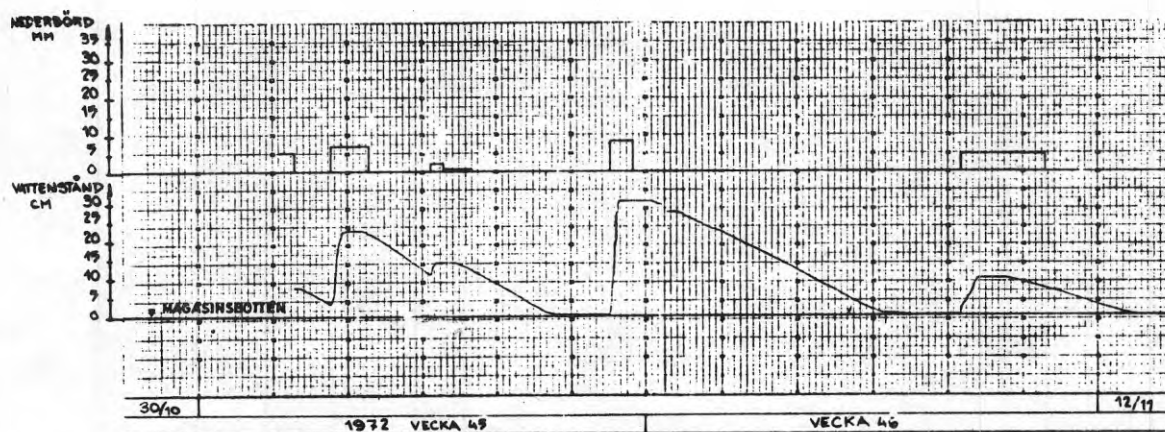


FIG. 25 Pegeldiagram vecka 45-48, Hölö

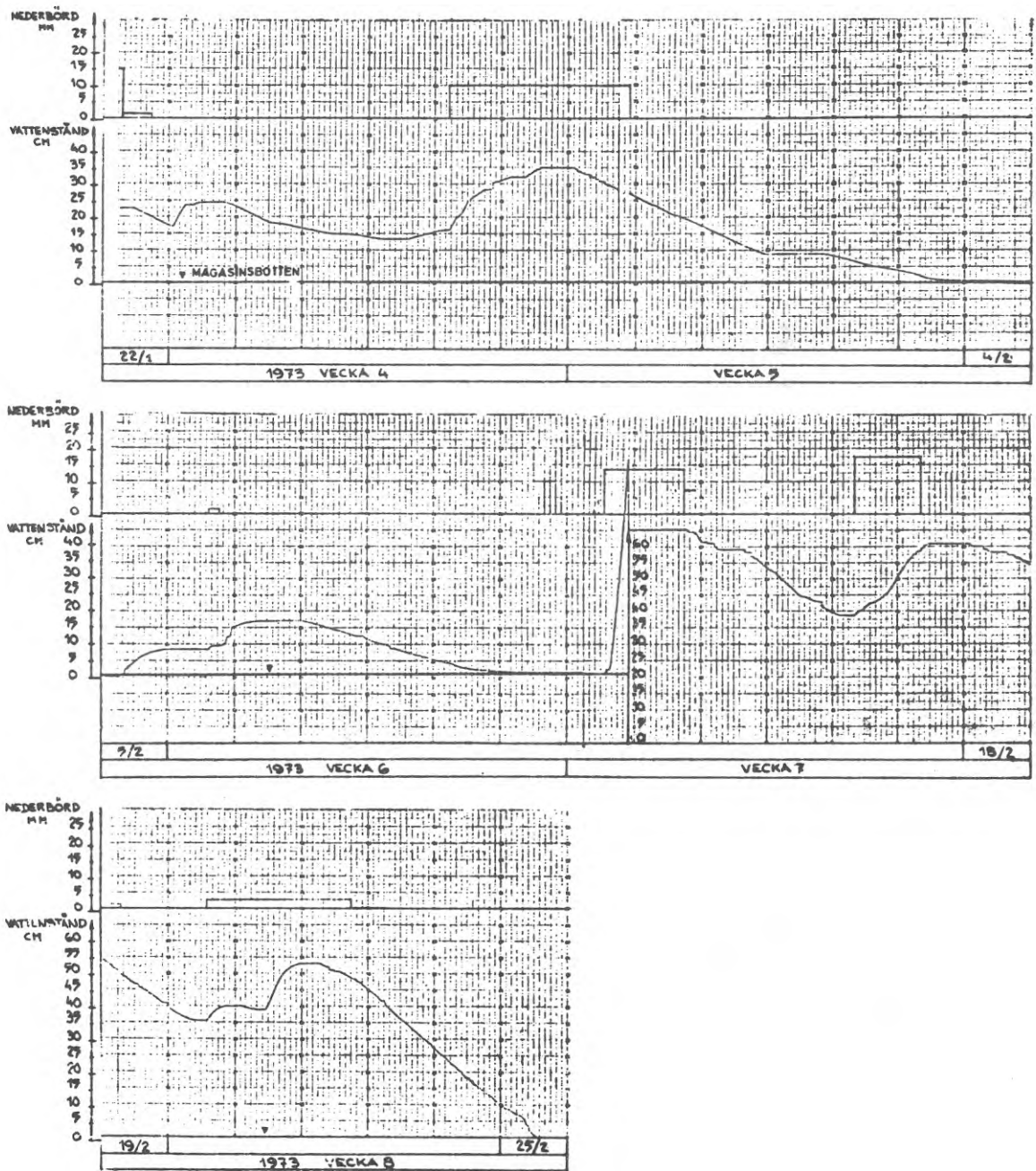


FIG. 26 Pegeldiagram vecka 4-8, Hölö

primärt av jordens genomsläpplighet under magasinet enligt Darcy' s lag:

$$v = k \cdot i_0$$

där  $v$  är flödes hastigheten genom tillgänglig totalarea,  
 $k$  är jordens genomsläpplighetskoefficient och  
 $i_0$  är största möjliga gradient, dvs. utnyttbart tryckfall i förhållande till jordskiktets tjocklek.

Enligt Sichardt (1928) gäller för största möjliga gradient sambandet

$$i_0 = \frac{1}{15 \sqrt{k}} \quad (1)$$

Så länge tryckfallet i förhållande till jordskiktets tjocklek är större än  $i_0$ , är således genomströmningen endast beroende av jordens genomsläpplighet  $k$  enligt sambandet

$$v = \frac{\sqrt{k}}{15}$$

dvs. flödet är konstant. För att Sichardts formel (1) skall gälla oberoende av det tryck som vattenuppfyllnaden i magasinet ger, måste  $k$ -värdet vara relativt högt när jordskiktet för mättad vattenutträngning är relativt tjockt eller  $k$ -värdet vara lågt när motsvarande jordskikt är tunt.

Sannolikt gäller det senare vid magasinets botten genom den skiktade lagerföljden medan det förra kan gälla för de grövre, nära horisontella skikten i undre delen av den varviga leran eller i rotkanaler. Båda förhållandena leder således till konstant utflöde.

Anledning till att avsänkingsintensiteten ej alltid är densamma kan ha flera orsaker. Vi vill här nämna två nära till hands liggande. Den ena är att vattnets viskositet får högre värde vid sjunkande temperatur, vilket minskar dess genomträngningsförmåga. Detta förklarar emellertid

endast en mindre del av förändringarna. Den andra förklaringen är att man efter regnen har olika stora inflöden till magasinet från sprickvatten i sluttningen ovanför. På sommaren efter torrperiod kan detta inflöde sättas till noll medan det kan vara betydande vid temperatur över  $0^{\circ}\text{C}$  under vinterhalvåret.

Den största uppfyllnadsgraden vid det största sommarregnet 33 mm den 25. 8. 1972 motsvarar en magasinvolym av  $1,2 \text{ m}^3$ , vilket omräknat innebär  $1,8 \text{ m}^3/100 \text{ m}^2$  takyta.

Vid vårvinterregnet 12-13. 2 blev magasinet fullt (volym  $1,9 \text{ m}^3$ ). Nettoppfyllnadsintensiteten omedelbart före motsvarar  $0,12 \text{ l/s}$ . Sammanräknar man nederbörden före (snö) och under detta uppfyllnadsskede, erhålles sammanlagt  $36,5 \text{ mm}$ . Från den aktuella takytan skulle detta innebära  $2,37 \text{ m}^3$  om all snön smält och runnit av. Om man förutsätter att avsmältningen skett under hela det dygn då magasinet fyllts upp och varit fyllt och att perkolationen från magasinet varit densamma som efter regnen, dvs.  $17,5 \text{ cm/dygn}$ , skulle magasinet ej ha blivit helt fyllt. Uppenbarligen har därför betydande mängd markvatten också tillförts magasinet. Det var således markvattnet som orsakade att vatten bräddades från

Detta markvatten skulle emellertid ha funnits även utan magasinet. Slutsatsen blir att förhållandena om magasinet ej varit försett med bräddavlopp ej skulle ha varit annorlunda än om magasinet ej funnits och takvattnet avletts direkt till dagvattenledningarna. Med andra ord de naturliga avrinningsvägarna för markvattnet träder i funktion när magasinet är fyllt, dvs. i detta fall rinner markvattnet vidare i marken längs sluttningen mot söder.

Sammanfattningsvis kan konstateras att detta perkolationsmagasin för regnvatten från tak fungerat helt tillfredsställande i sin funktion att tjäna som utjämnare för regnflöden



och att genom perkolation leda vattnet vidare till grundvattnet.

Någon fortgående igensättning av magasinet kan ej utläsas ur de erhållna mätresultaten. Detta var ej heller väntat p. g. a. magasinets intermittenta funktion med växling mellan vatten- och luftfyllnad i porerna. Enligt Amramy (1964), Thomas m. fl. (1966) innebär nämligen viloperioder med syretillgång att de mest verksamma igensättningskomponenterna, nämligen organiskt material, bryts ned så att igensättningseffekten i huvudsak försvinner.

Vid inspektion av Fibertex-duken i infiltrationsbrunnen i mitten av augusti 1973, således efter 8 månaders drift, konstaterades att den var endast obetydligt smutsad av löv och lövresten och långt ifrån i behov av rensning.

När det gäller magasinets dimension har observationerna visat att magasinet ej fyllts helt vid något tillfälle under observationstiden. Mot bakgrund av erfarenheterna från Bäckby, där magasinen fyllts vid flera tillfällen utan att några påtagliga olägenheter uppstått, finns anledning dra slutsatsen att magasinet i Hölö är något överdimensionerat. Om detta magasin varit dimensionerat för statistiskt största vart annat år återkommande dygnsregn, skulle det ha erhållit en bruttovolym av  $3,5 \text{ m}^3$ , dvs. 83% av nuvarande volym. Överdämning skulle då ha skett vid tre tillfällen, varav två i tät följd vid snösmältning och regn i februari 1973 och ett i början av maj 1973.

Tyvärre har den gångna vintern varit alltför mild för att erfarenheter av inverkan på magasinet av sträng kyla skall ha kunnat studeras. Då detta emellertid i och för sig är en viktig fråga skall den här behandlas något ur teoretisk synvinkel. Vad frågan närmast gäller är vad som händer när vatten vid snösmältning tillförs ett nedkyllt magasin. Är temperaturen i magasinet under  $0^\circ\text{C}$ , föreligger sålunda förutsättningar för isbildning när smältvattnet kommer ner i magasinet. Vattnet blir därvid värmeavgivande och maga-

sinsfyllningen värmemottagande medium. Händelseförloppet kan lättast följas med ett exempel:

Antag att tjäle gått ned till 2 m djup i jord bestående av mo intill ett magasin så att temperaturen vid magasinets ök är  $-6^{\circ}\text{C}$  och  $-1^{\circ}\text{C}$ , att magasinet består av makadam och har en volym av  $10\text{ m}^3$  och att magasinet ligger mellan 1,0 och 1,8 m under markytan. Därvid blir köldkapaciteten för magasinet 13.000 kcal och för mon ovanför magasinet 45.000 kcal. Den förra motsvarar frysning av 160 l och den senare 560 l nollgradigt vatten.

Värmetransporten eller egentligen köldtransporten i jorden från mon till magasinet är emellertid i sammanhanget försumbar, varför vatten som tillförts magasinet i mycket ringa mån nedkyls av den omgivande mon. Detta innebär att om magasinet helt fylls med 0-gradigt smältvatten endast ca 4% kan frysa till is och att detta företrädesvis kan väntas ske på makadamstenarnas yta. På en sten med exempelvis  $100\text{ cm}^2$  yta räcker köldkapaciteten ej till mer än 0,2 mm is över hela stenens yta.

Isen smälter sedan efterhand som mer smältvatten passerar magasinet. Denna teoretiska beräkning ger sålunda vid handen att frysning i magasin av denna typ ej borde utgöra något större problem för magasinens funktion.

### 3.1.3 Försöksplats Alby, Botkyrka

Vid ett hyreshus (hus 50, FIG. 27) med horisontellt, pappklätt tak har en försöksanläggning för magasinering och perkolation av regnvatten från taket utförts.

Denna takyta på  $208\text{ m}^2$  avvattnas via ett invändigt stuprör för direkt inledning i försöksanläggningen. Denna togs i drift den 20 november 1972.

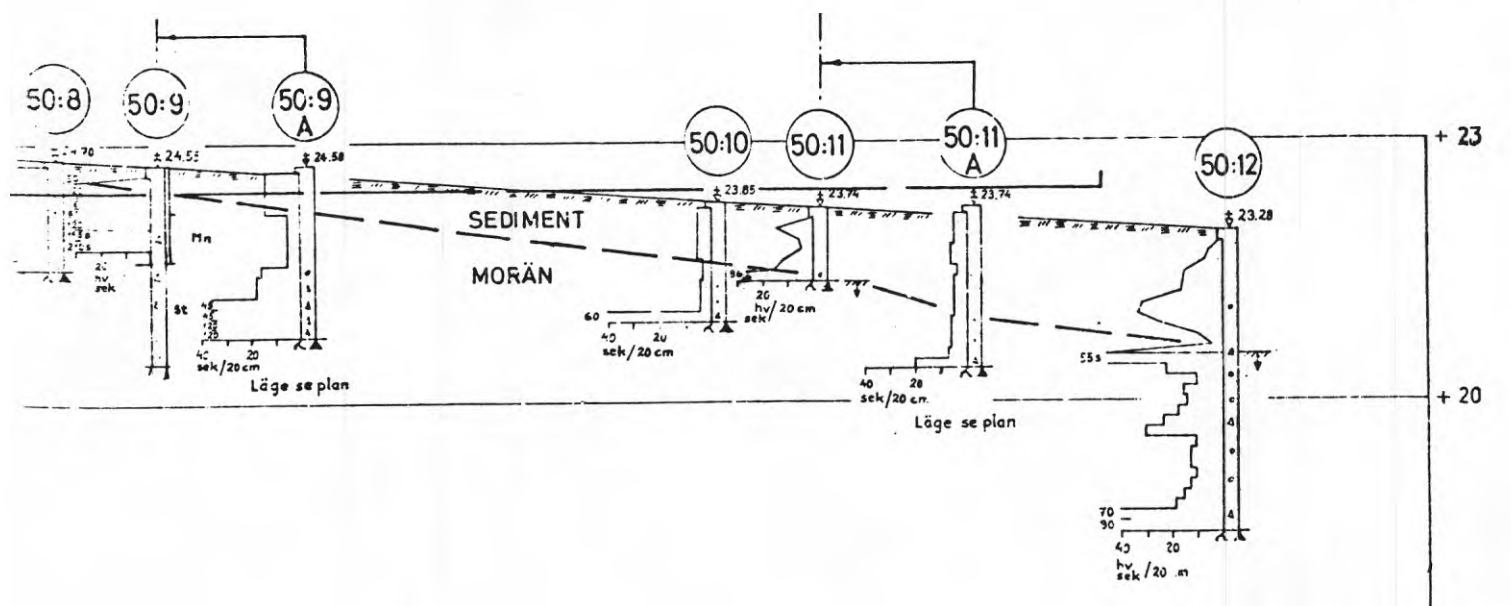
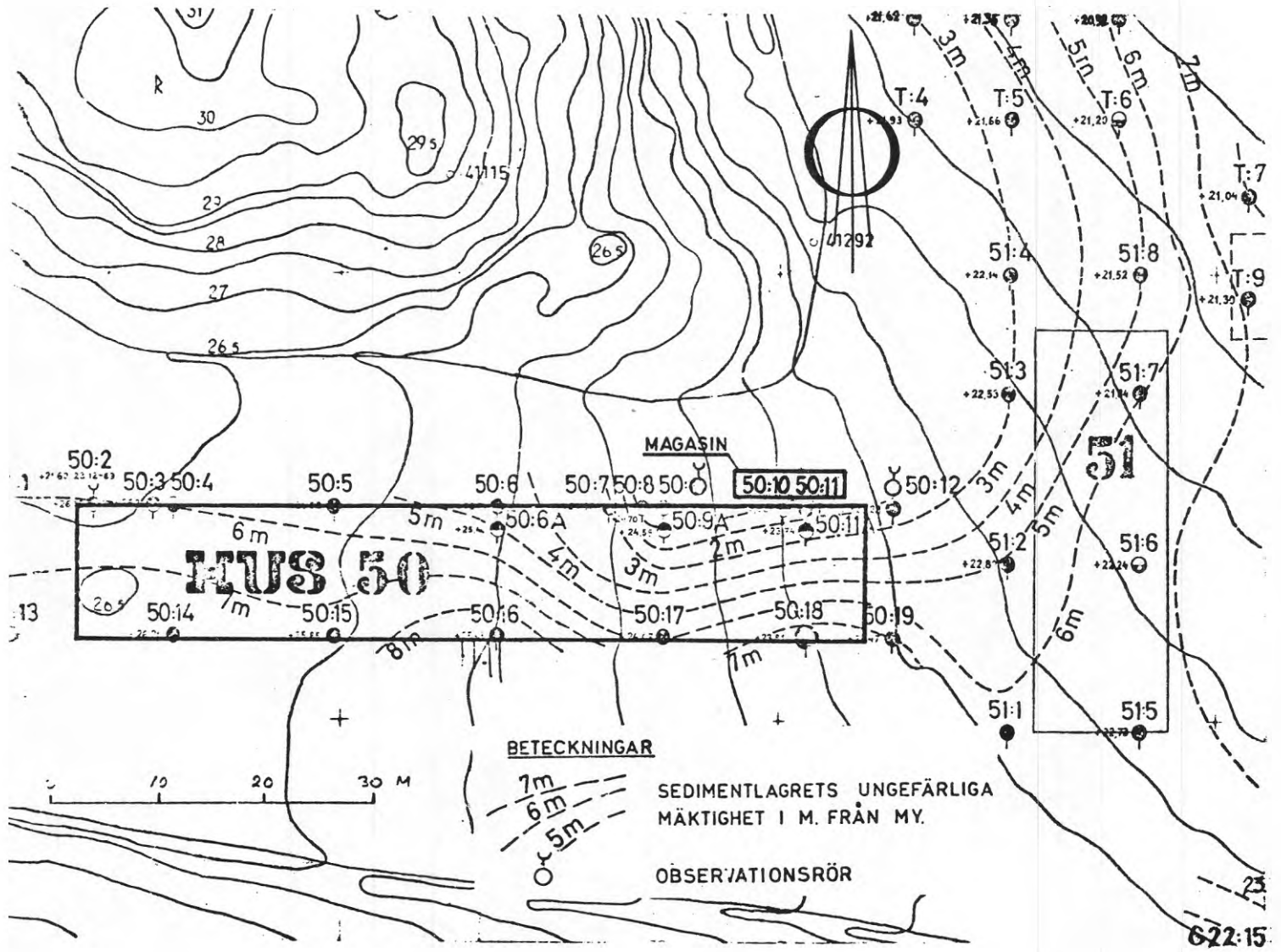


FIG. 27 Översiktplan samt plan över grundförhållanden, försöksplats Alby.

### 3.1.3.1 Geohydrologiska förhållanden

Vid försöksplatsen lutar marken ca 1:15 mot öster. Jordlagren består av finsediment på morän. Grundförhållandena har undersökts av Svenska Riksbyggens geotekniska sektion. Utdrag ur undersökningsresultaten i plan och profil framgår av FIG. 27. Sedimentens mäktighet är markerade med streckade kurvor. Det framgår att den valda platsen för försöket har minst mäktighet av sediment vid det berörda huset. Markbeskaffenheten framgår även av bildserie Carlstedt B. (1972).

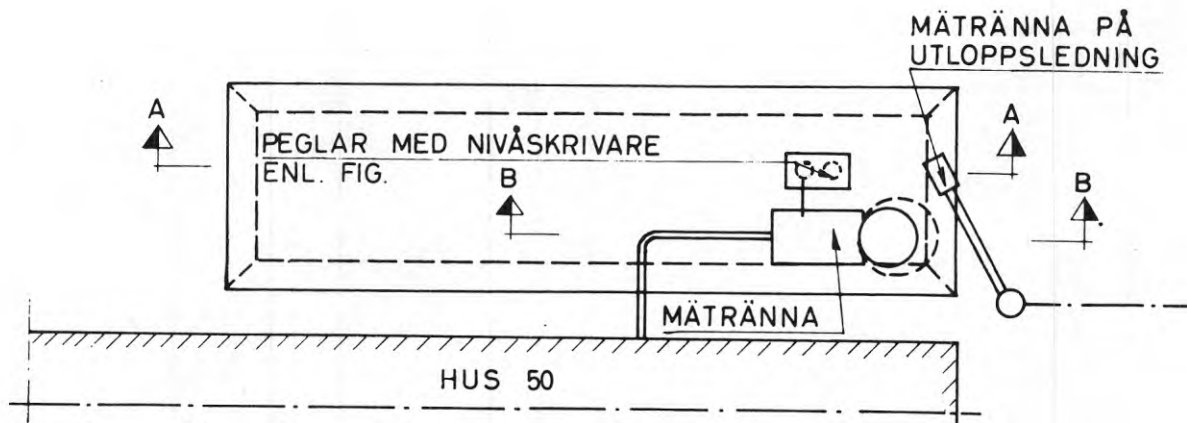
Rördrivningar har utförts på båda sidor om försöksmagasinet i avsikt att följa grundvattenståndsförändringar. Även i detta fall har det visat sig att grundvatten saknas på de djup till vilka rören kunnat drivas. Ej ens under tjälsmältningen våren 1972 fanns något grundvatten i observationsrören till 4,0 m under markytan vid rör 7201 och 2,9 m under markytan vid rör 7202.

Sammanfattningsvis är geohydrologin följande: Regnvatten som faller i slutningen väster om magasinet kan via återfyllningsmassor tillföras magasinet såsom sidwärts avrinnande markvatten. Regn som faller på moränhöjden nordväst om magasinet perkolerar till grundvattennivån och avledes åt öster utan att kunna nå magasinet, då grundvattennivån ligger väsentligt under magasinets botten.

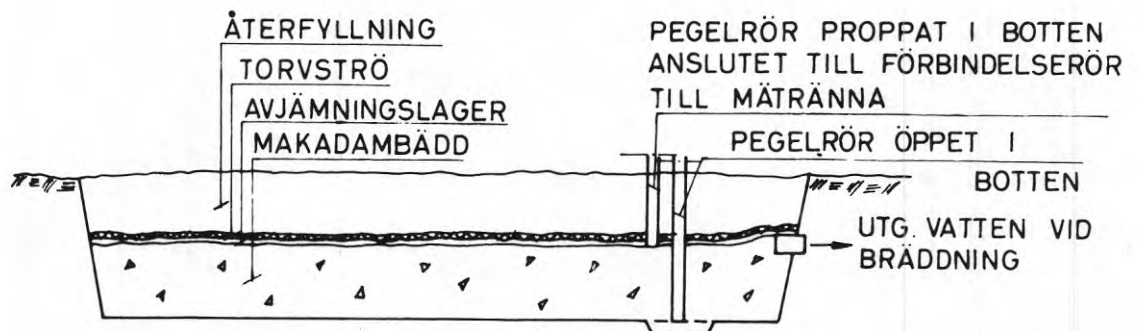
### 3.1.3.2 Försöksanordningar, ingångsdata

Vid försöksplatsen har utförts ett utjämningsmagasin. Vattnet från taket ( $208 \text{ m}^2$ ) rinner till magasinet via en mätskibordsränna och en infiltrationsbrunn, FIG. 28. Magasinet har en bruttovolym av  $20 \text{ m}^3$ . Det är fyllt med makadam för vilken hålrumsvolymer har bestämts till 35%, varför nettovolymen blir  $7 \text{ m}^3$ .

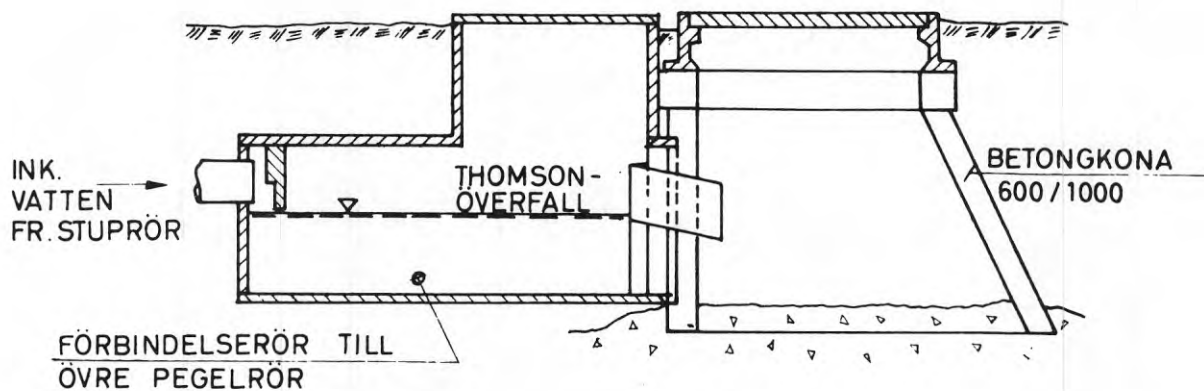
Gropen för magasinet togs upp lång tid innan makadamfyllningen skedde. Under mellantiden rann regnvatten från taket direkt ned i gropen, som därigenom kom att



**PLAN**



**SEKTION A: BASSÄNG MED PEGELRÖR**



**SEKTION B: MÄTRÄNNA**

FIG. 28 Installationer i magasin, försöksplats Alby

stå delvis uppfylld med grumligt vatten. Härigenom har sedimentation av finmaterial (mjäla-lera) kunnat ske under denna tid. Rensning skedde ej före makadampåfyllningen till skillnad mot vad som var fallet vid försöksplats Hölö.

Regnmätare Pluvius har monterats på byggnadens tak.

Pegelinstrument typ SMHI för kontinuerlig mätning av vattennivå i magasinet och för periodvis mätning av vattennivå i utjämningsbehållare har installerats enligt FIG. 28, alltså i likhet med vad som har skett vid försöksplats Hölö.

Observationer har kontinuerligt skett av vattennivån i magasinet med början den 20 november 1972 och avslutning den 4 augusti 1973. (FIG. 29 och FIG. 30).

Regnmätaren har avlästs i möjligaste mån efter varje regn och tömts efter avläsningarna. Datum och klockslag för dessa mätningar har registrerats i en särskilt upprättad protokollsblankett.

### 3.1.3.3 Observationsresultat

#### Nederbörd

Nederbörden har under större delen av mätperioden varit i genomsnitt låg men tidvis har rikligt med regn fallit. Ett sådant tillfälle var i mitten av februari. 42 mm regn föll mellan den 12 och 19 februari, delvis i form av snö, som emellertid smälte under perioden. En annan regnig period började den 17 juli 1973 och inleddes med 25 mm regn under en timme.

#### Magasinet

Den 12 och 13 februari steg nivån i magasinet med 60 cm på 26 timmar, FIG. 30. Den 17 februari nådde magasinet sin största uppfyllnad (79%) vid denna regnperiod. Tömning av magasinet fortgick därefter utan nämnvärda störningar till den 4 mars.

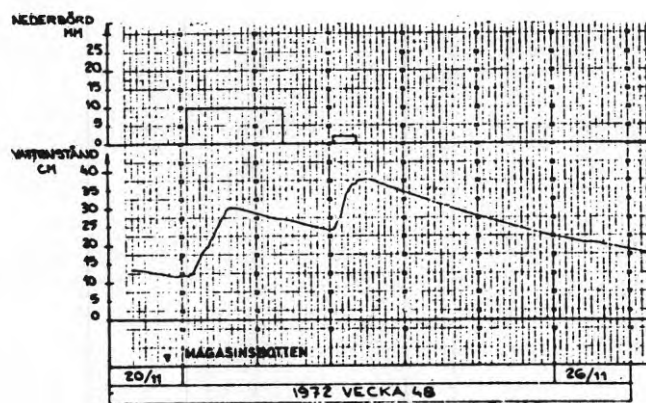


FIG. 29 Pegeldiagram vecka 48, 1972, Alby

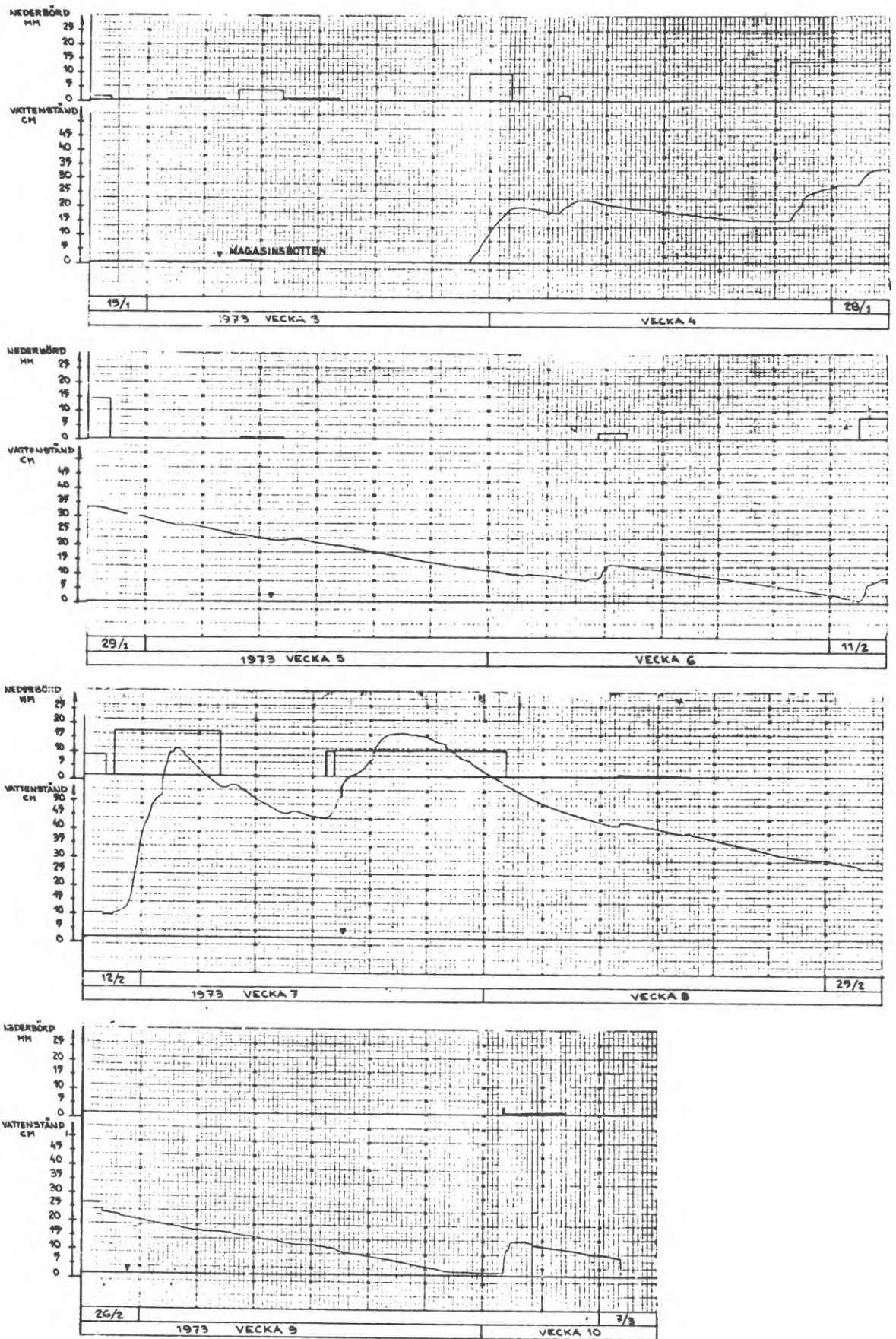


FIG. 30 Pegeldiagram vecka 3-10, Alby



Det intensiva regnet den 17 juli med 25 mm fyllde snabbt upp magasinet till 95%. Det var dock ej tömt före regnet utan hade redan då en uppfyllnad till 25%.

Avsänkingsförloppet i detta magasin skiljer sig betydligt från magasinet i Hölö, dels genom att det totalt sett töms långsammare och dels genom att man inte här har en rätlinjig avsänkning utan ett snabbt förlopp i början med successivt avtagande avsänkingsintensitet.

#### 3.1.3.4 Utvärdering

Det långsamma avsänkingsförloppet i magasinets undre delar under nivån ca 50 cm från magasinets botten visar att jordlagren i botten har dålig genomsläpplighet.

Över denna nivå är emellertid avsänkingsintensiteten betydligt snabbare men följer en tydligt utflackande kurva. Till skillnad mot magasinet i Hölö är tydligen tryckhöjden för vattnet här avgörande för utströmningsförloppet. Man kan med ledning av avsänkingskurvans derivata beräkna att tyngdpunktsnivån för utströmning ligger ca 35 cm över magasinets botten.

Detta innebär att den vertikala dräneringen genom botten är obetydlig och att sannlikt övergångszonen från sediment till morän, dvs. övre delarna av moränen spelar en betydligt större roll för avrinningen från magasinet.

Den största uppfyllnadsgraden i magasinet uppnåddes vid det största och mest intensiva regnet, 25 mm på en timme, och motsvarar en nettomagasinvolym av  $6,6 \text{ m}^3$ , vilket omräknat innebär  $3,2 \text{ m}^3 / 100 \text{ m}^2$  takyta. Vid detta regn, som statistiskt motsvarar ett vart 7-10 år återkommande regn ifråga om intensitet (70 l/s ha under 60 minuter) var dock magasinet redan före uppfyllt till 25% efter flera regn med början 8 dagar tidigare.

Sammanfattningsvis kan konstateras att även detta perkolationsmagasin för regnvatten från tak fungerat helt tillfredsställande i sin funktion att tjäna som utjämnare för regnflöden och att genom perkolation leda vattnet vidare till grundvattnet.

Ej heller i magasinet i Alby har fullständig uppfyllnad erhållits under observationsperioden, varför även detta magasin får anses vara överdimensionerat med samma motivering som angivits under utvärdering av resultaten från magasinet i Hölö (3.1.2.4). Om magasinet varit dimensionerat för största vart annat år återkommande dygnsregn skulle det ha erhållit en volym av  $13 \text{ m}^3$ , brutto, dvs. 65% av nuvarande volym. Överdämning skulle då ha skett vid två tillfällen, det ena i samband med regn och snösmältning i februari och det andra vid 25 mm 1-timmesregnet den 17 juli 1973.

### 3.2 Alternativa utföranden och kostnadsjämförelser

Kostnadsjämförelse mellan två alternativa utförandeformer har utförts varvid samma förutsättningar har tillämpats ifråga om användande av à-priser och material. Kostnaden för Västeråsanläggningarna är framräknad med 1972 års prisläge. Beräkningarna är utförda av BPA Byggproduktion AB:s kalkylkontor. Kostnaden för anläggningarna i Gustavsberg är framräknad med 1971 års prisläge enligt à-prislista upprättad för kostnadsberäkningar inom Orrje & Co Scandiaconsult.

#### 3.2.1 Anläggning utförd för magasinering och perkolation jämförd med omprojekterad konventionell VA-anläggning

### 3.2.1.1 Läge, geologi, topografi

Kostnadsjämförelsen avser bostadsområdet i Bäckby, Västerås. Som grund för beräkningarna utvaldes en representativ del av hela området. Detta utgöres av hus 1-14, två byggnader för tvätt och undercentral samt skyddsrum.

Beträffande geologi och topografi hänvisas till avsnitt

3.1.1.1.

### 3.2.1.2 Grundvattenförhållanden

Se avsnitt 3.1.1.3 observationsresultat.

### 3.2.1.3 Övrigt kalkylunderlag

Kalkylunderlaget för det utförda rörnätet utgjordes av i projekteringskedet upprättade arbetsritningar:

Rörnätsplaner, skala 1:400

Ledningsprofiler, skala 1:100, 1:400

samt grundundersökning

Del av rörnät framgår av FIG. 31.

För att kunna åstadkomma kostnadsjämförelse med konventionellt rörnät, där allt dagvatten avleds genom dagvattenledningar, projekterades ett rörnät efter i övrigt samma förutsättningar som för det byggda alternativet. Kalkylunderlag för det sålunda projekterade alternativet utgjordes av rörnätsplan i skala 1:400, FIG. 32.

Kostnadsberäkningar utfördes för spillvattenledningar, regnvattenledningar, vattenledningar samt magasin för regnvatten från tak. Kostnad för samtliga rörgravsarbeten inkl. återfyllning till grovterrass ingår även i beräkningarna.

Kostnad för värmekulvertar och kablar ingår ej. Däremot har kostnad för utökad dränering för värmekulvert medtagits i magasineringsalternativet.

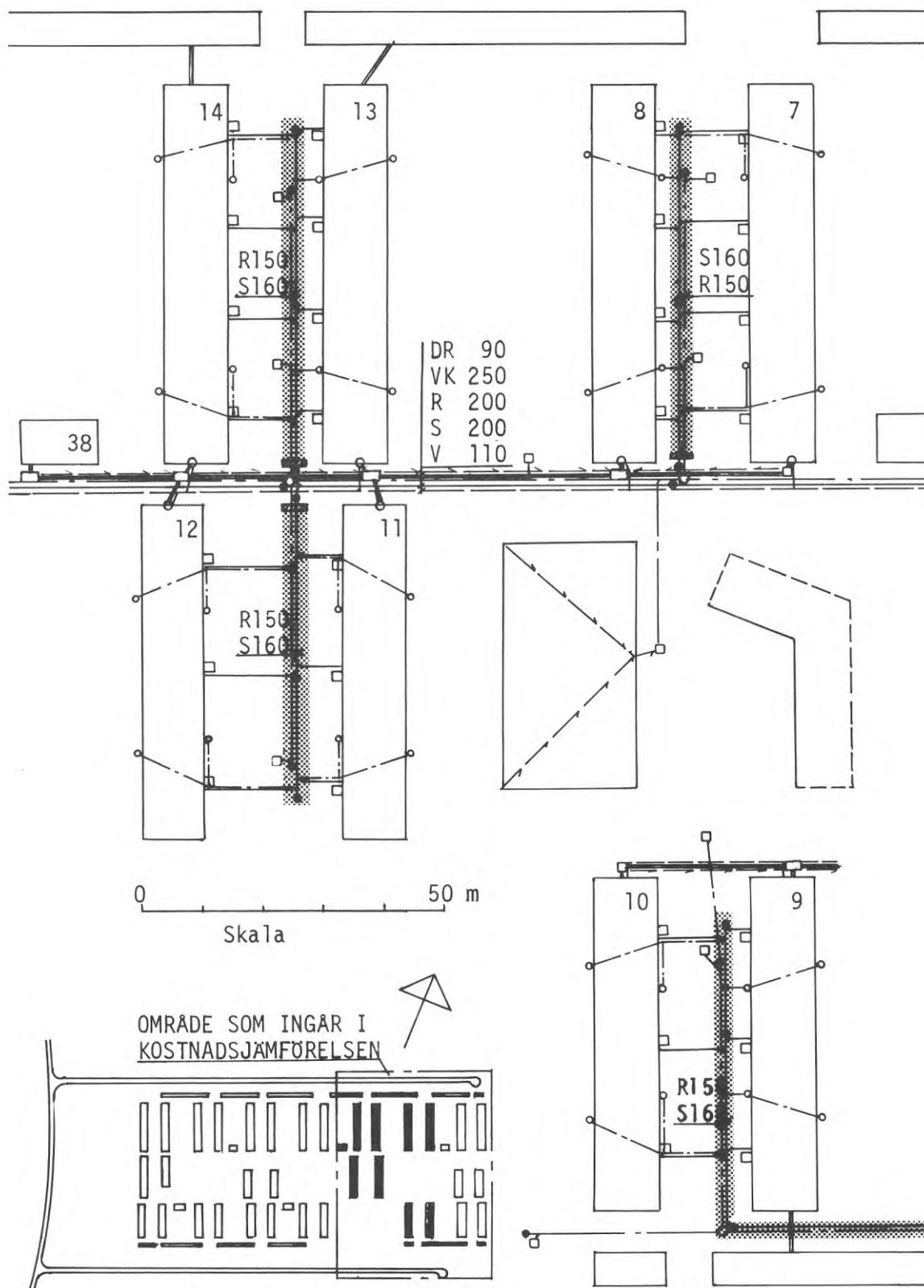


FIG. 31 Ledningsnät med magasin, Bäckby

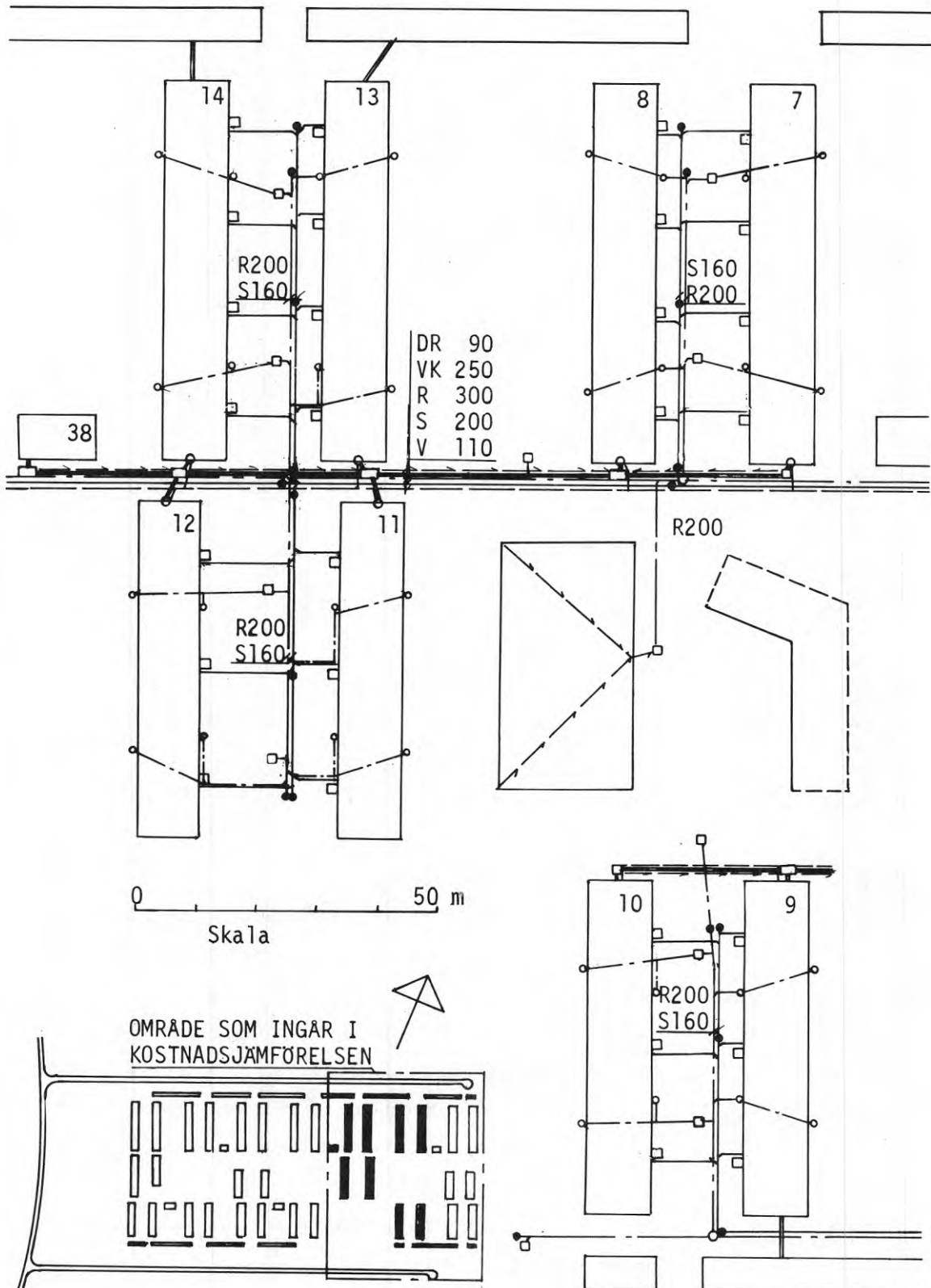


FIG. 32 Projekterat konventionellt ledningsnät, Bäckby.

#### 3.2.1.4 Beskrivning av utförd anläggning

Rörnätet är tidigare beskrivet i avsnitt 3.1.1.2.

#### 3.2.1.5 Beskrivning av omprojekterad konventionell VA-anläggning.

Rörnätet är till sträckning, utförande och material nära identiskt med rörnät under punkt 3.2.1.4. Läggningsdjupen är lika.

Avvikelserna består av följande:

- Magasin för regnvatten från tak har utgått
- Dagvattenledningarnas dimensioner har anpassats till att även takvattnet belastar dagvattenledningarna
- Värmekulvertarnas dränering är utformade på normalt sätt.

#### 3.2.1.6 Kostnadsjämförelser

De utförda beräkningarna visar att totalkostnaderna för de två alternativen blir relativt lika. Kostnaden för rörnätet med magasinering blir dock något billigare, vilket framgår av TAB. 3.

Av TAB. 3 framgår också att minskade ledningsdimensioner utgör nästan helt kostnadsminskningen för magasineringsalternativet. Genom att anslutning av servisledning från stuprör till uppsamlingsledningen bortfaller, avgår även vissa rördelskostnader. Bräddavloppsledningar och extra dränledningar för värmekulvert utgör däremot tillkommande kostnader.

Materialkrav på kringfyllningen i magasinen innebär att magasineringsalternativet belastats med 3.500 kr utöver kostnad för använt grusmaterial för att rätt värdering skall kunna erhållas vid jämförelse mellan de redovisade ledningsnäten. För samma kostnad kan istället en fördelningsledning läggas i magasinen.

TAB 3 Anläggningskostnadernas fördelning, Bäckby

Anläggningsdel	Kostnad för	
	Konventionell VA-anläggning	Anläggning för magasinering
Dagvattenledningar	56.200	43.200
Brunnar	18.900	18.900
Grus i kringfyll- ning resp. grus i magasin	49.400	49.700
Merkostn. för ensartat grusmaterial		3.500
Övriga arbeten för ledn. - gravar (samtliga led- ningar)	23.900	23.700
Spillvattenavl. - och vattenledn.	46.000	46.000
Summa	194.400	185.000

Volymen naturgrus vid ledningsnät med magasin överensstämmer nästan helt med erforderlig volym vid konventionellt ledningsnät. Kostnaden för grus är därför lika.

### 3.2.2 Konventionell VA-anläggning jämförd med omprojekterad anläggning för magasinering och perkolation.

#### 3.2.2.1 Läge, geologi, topografi

Den undersökta anläggningen utgör ett kvarter i området Munkmora i Gustavsberg (FIG. 33).

Terrängen är geologiskt uppbyggd av morän på berg med berget till stora delar i dagen och med mindre förekomster av lera och organisk jord i lågpartier.

Kvartersmarken är relativt starkt kuperad med en största nivåskillnad av ca 15 m. Största marklutning uppgår till ca 1:1. Största naturliga nivåskillnad där bebyggelse inom kvarteret är placerad uppgår till ca 9 m. Den naturliga nivåskillnaden längs angöringsgatan är 7 m. Huskropparna är i huvudsak grundlagda på berg (FIG. 33) och är utan källare.

#### 3.2.2.2 Grundvattenförhållanden

Grundvatten som bildas inom området avrinner till större delen sannolikt i moränen närmast bergytan. Till följd av den starka topografin avrinner grundvattnet relativt snabbt från området. Inom lokala sänkor i berggrunden uppstår emellertid mindre grundvattenmagasin, där grundvattenrörelsen blir långsam. Förutsättningarna för att utföra konstgjorda magasin för infiltration är goda.

#### 3.2.2.3 Övrigt kalkylunderlag

Som underlag för projekteringen har använts dels av Werns Inter VVS AB upprättade arbetsritningar för vatten, avlopp, värme och regnvatten inom byggnaderna och inom kvarteret och dels av Ingenjörfirman Orrje & Co AB upprättade planer och profiler för VA-ledningar i gata.



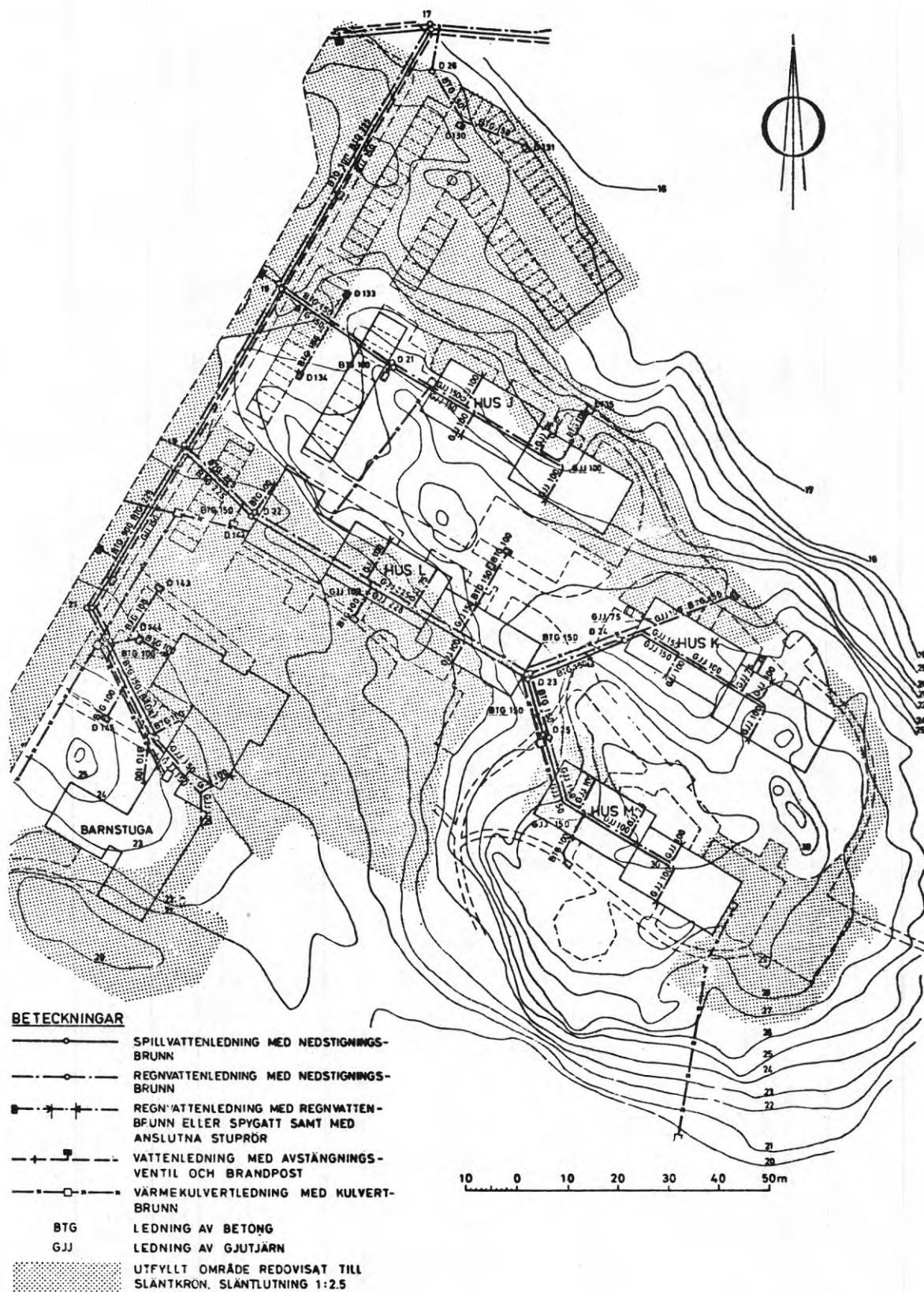


FIG. 33 Konventionell VA-anläggning, Munkmora, Gustavsberg

#### 3.2.2.4 Beskrivning av utförd anläggning (FIG. 11)

Samtliga ledningar inom huset är sammanförda i grunda gravar under bottenvåningens golv och spill- och regnvattenledningar är byggda av gjutna normalavloppsrör och rördelar.

I mark utanför hus utgörs ledningarna av gummiringsfogade betongrör. Nedstigningsbrunnar är utförda av cementbruksfogade 900 mm betongrör. Regnvattenbrunnar och gårdsbrunnar inom tomtmark har dimensionen 400 mm. I angöringsgatan är regnvattenbrunnarna utförda av 500 mm rör.

Vattenledningarna inom tomtmark är förlagda i anslutning till värmekulvertarna. Dessa går på vissa sträckor gemensamt med spill- och regnvattenledningarna. På andra sträckor ligger dessa ledningar skilda från spill- och regnvattenledningarna. Ledningssektioner inom tomtmark utanför byggnaderna framgår av FIG. 34.

Dräneringsledningar runt husen J, L och M leds ut i sprängstensfyllning under husen medan dräneringen från hus K ansluts till regnvattenledningen väster om huset.

Spill- och regnvattnet från kvartersområdet leds till resp. rörledningar i gemensam ledningsgrav i angöringsgatan (FIG. 33). Spillvattnet leds vidare till samhällets avloppswerk, medan dagvattnet leds vidare österut till ett dike.

#### 3.2.2.5 Beskrivning av omprojekterad lösning enligt perkolationsprincipen

Regnvatten från angöringsgatan samt från fyra regnvattenbrunnar och ett stuprör i områdets västligaste del uppsamlas till huvudledning i gatan och leds från området österut till öppet dike (FIG. 35).

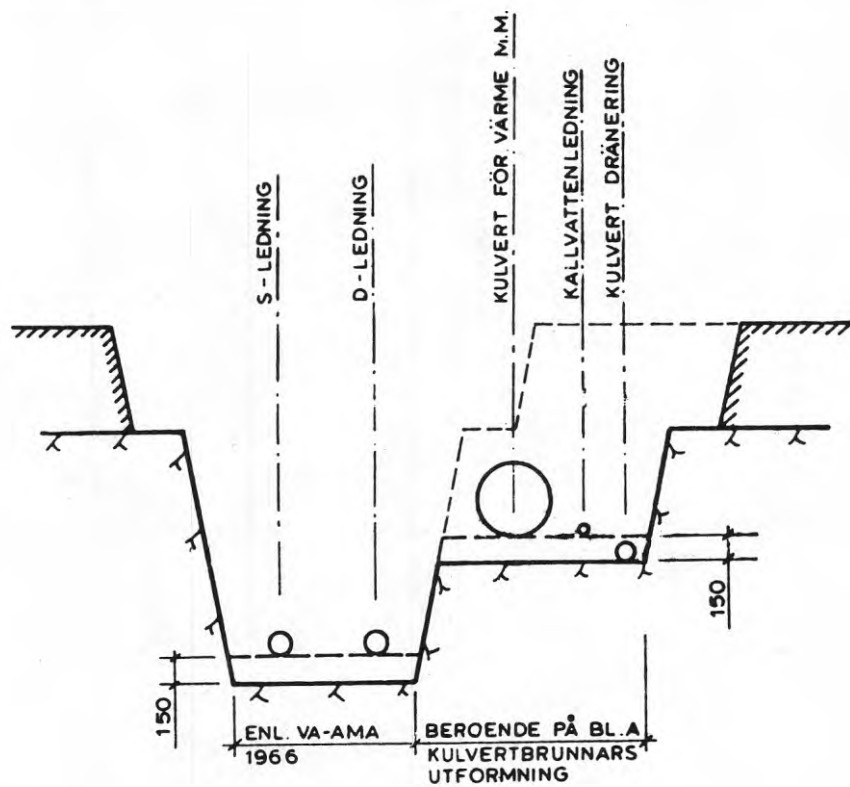


FIG. 34 Principsektion av ledningsgrav i Munkmora

Regnvatten från området i övrigt, parkeringsplats i norr, tak och tomtor, leds till ett antal (14) infiltrationsbrunnar, där vattnet infiltreras i sprängstensfyllningar som tillkommit vid planeringen av området (FIG. 35).

Vid barnstugan utföres dock särskild utgrävning och de urgrävda massorna ersättes med makadam eller singel så att erforderligt magasinutrymme erhålles.

Jämfört med den utförda anläggningen har ledningarna kunnat minskas från 300 till 225 mm för regnvatten i angöringsgata och från 225 till 150 mm för regnvattenledningar i tomtmark. Längden av gjutjärnsrör för regnvatten under hus har avsevärt minskats p. g. a att regnvattnet i stället leds ut från husen i betongrör.

Minsta läggningsdjup för samlingsledning till infiltrationsbrunn är 1,25 m.

Vid branta sprängstensslänter utanför perkolationsmagasin har avskärande dike utförts innanför släntfoten i vilka sprängstenen går ned.

Infiltrationsbrunnarna har utförts av betongrör 900 eller 1000 mm, längd 600 mm, som placerats i vertikalt läge direkt på sprängstenen eller makadamen. Ovanpå betongröret sätts en kona, 900/600 eller 1000/600, en passdel med höjden 150 mm samt en körbar betäckning. I brunnsbotten läggs filter av konstfiber, som kan tas upp för rengöring eller utbyte. Principutförandet framgår av FIG. 36.

### 3.2.2.6 Kostnadsjämförelser

Vid föreliggande kostnadsberäkningar för två alternativa utföranden har använts en à-prislista av den 1.3.1971, upprättad inom Orrje & Co Scandiaconsult. Kostnadsberäkningarna omfattar i båda fallen endast de delar som angivits i föregående två avsnitt, dvs. samtliga kostnader för utförande av spillvatten- och regnvattenledningar med

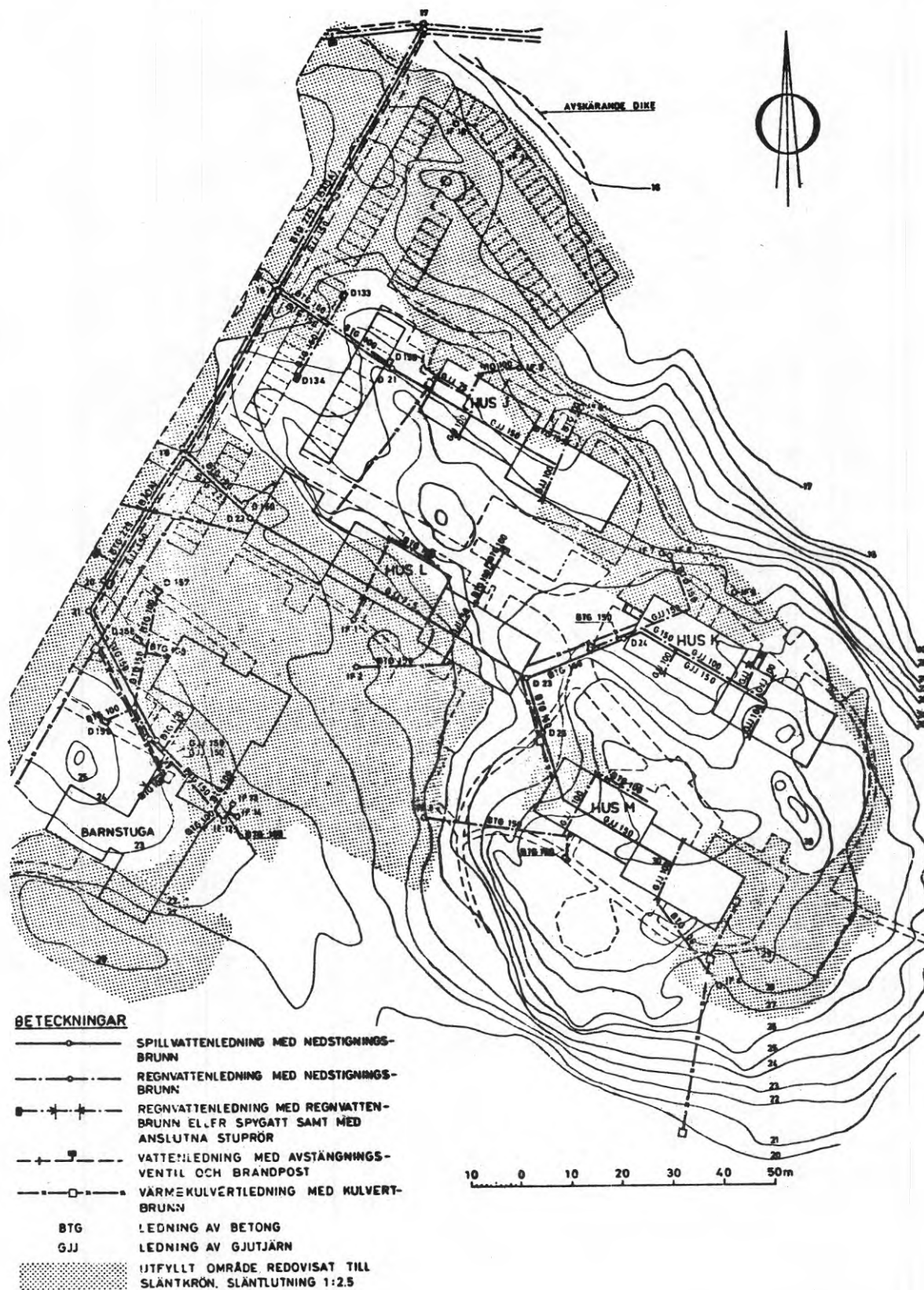


FIG. 35 Projekterad VA-anläggning enligt perkolationsprincipen, Munkmora

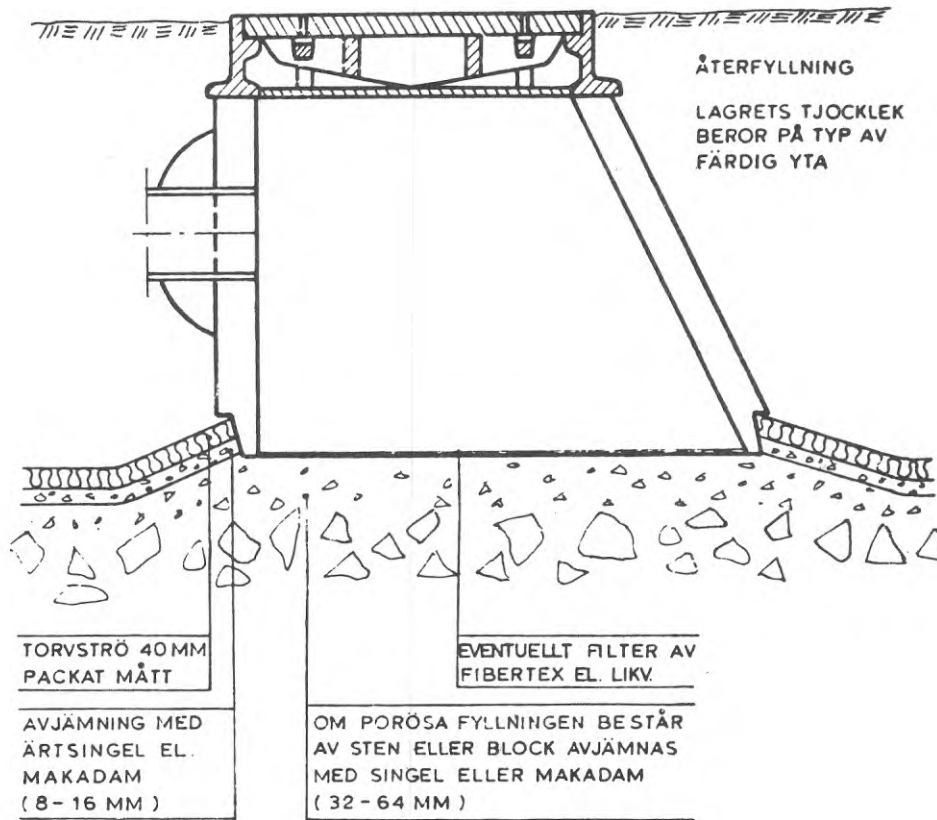


FIG. 36 Infiltrationsbrunn på perkolationsmagasin

tillhörande brunnar och i alternativet med magasinering och perkolation infiltrationsbrunnar och magasin samt när det gäller angoringsgatan kostnaden för spillvatten-, regnvatten- och vattenledningar.

Resultatet av kostnadsberäkningarna framgår av TAB. 4.

Totalkostnaden för regnvatten och spillvatten inom detta kvarter med tillhörande angoringsgata har således enligt denna kostnadsberäkning blivit ca 10% lägre för alternativet med magasinering och perkolation i jämförelse med konventionellt utförande.

Den främsta besparingen ligger i minskat behov av normalavloppsrör och rördelar inom byggnaderna. Dessutom uppstår besparingar genom mindre ledningsdimension. En ytterligare bidragande orsak till minskade kostnader är tillgången till sprängstensmassor för uppbyggnad av perkolationsmagasin.

### 3.2.3 Några driftskonsekvenser

Perkolationsmagasin för omhändertagande av regnvatten från taktytor kommer till övervägande delen att placeras inom tomtmark och blir därigenom objekt som skall skötas och vårdas av fastighetsägaren. En nära till hands liggande fråga är huruvida detta nya sätt att ta hand om takvattnet kommer att innebära ökade kostnader för fastighetsägaren.

Blad, barr och vittringsrester från takbeläggningen kan följa med regnvattnet ned i stuprören till magasinen om ej någon form av avskiljningsanordning åstadkommes. I sådana fall då risk finns för igensättning som minskar inflödet till magasinet bör en lätt utbytbar filtermatta placeras i infiltrationsbrunnens botten. Ett upptagande av

TAB 4 Anläggningskostnadernas fördelning, Munkmora.

Konventionell VA-anläggning		Anläggning för magasinering	
Sträcka	Kostnad Kr	Sträcka	Kostnad Kr
17-18-19-20-21	116.000:-	17-18-19-20-21	101.000:-
17-D26-D130-D131	9.000:-	1F10+1F11	2.500:-
18-D21-husliv hus J+ +D133+D134	28.000:-	18-D21-husliv hus J+ +D133+D134	24.500:-
19-D22-D142+stpr vid biltv. hus J fr husliv +D135	13.000:- 16.000:-	19-D150-D22-stpr vid biltv. hus J fr husliv	11.000:- 15.000:-
D22-D23	45.000:-	D22-D23	31.000:-
D23-D24	14.000:-	D23-D24	10.000:-
hus K fr D24	18.000:-	hus K fr S24	21.000:-
D23-D25-husliv hus M hus M fr husliv inkl. dagvattenanslutn.	13.000:- 15.000:-	D23-D25-husliv hus M hus M från husliv inkl. dagvattenanslutn.	8.000:- 23.000:-
Barnstuga m ansl.	29.000:-	Barnstuga m ansl	39.000:-
Summa	316.000:-	Summa	286.000:-



denna filtermatta för rengöring eller byte kommer således att ingå i fastighetsskötarens åliggande. Hittills erhållna erfarenheter tyder på att rensning av filtret i varje brunn ej behöver göras mera än en gång årligen, vilket utgör en relativt ringa kostnad. Frekvensen av rensning påverkas naturligtvis av vilka avskiljningsanordningar man i övrigt har och hur effektivt man sköter takytor och hängrännor. I övrigt hänvisas till punkterna 4. 2. 1, 4. 2. 2 och 4. 2. 3.

## 4 PROJEKTERINGSRÅD

För att kunna tillämpa de rön som framkommit vid denna forskningsuppgift har projekteringsråd framtagits enligt följande:

### 4.1 Magasintyper

Magasin i mark kan utföras på flera olika sätt. De kan vara utförda helt i betong eller i form av ett bergrum. Ledningsnät och tunnlar kan tjäna som magasin och även så porositet i mark - såväl i naturligt lagrad jord, som i anlagda fyllningar.

Projekteringsråden avser att belysa utförandet av magasin i form av porositet i anlagda fyllningar dels för perkolation och dels för enbart fördröjning.

I forskningsuppgiften har två olika magasintyper i mark följts upp. Inom Bäckby-området i Västerås är magasinen förlagda i ledningsgravar. I Hölö och Alby är magasinerna skilda från andra anläggningar i mark. Dessa senare magasin kallas i följande skrivning för separata magasin.

#### 4.1.1 Separat magasin

Magasin utföres i princip enligt FIG. 37 (för perkolation) och enligt FIG. 38 (enbart fördröjning).

Magasinutrymmet placeras i den omättade zonen, således över medelgrundvattennivån.

Som material till magasinbildande fyllning används grovkornigt friktionsmaterial. Minsta kornstorlek bör vara 2 mm, vilket motsvarar undre korngräns för grus.

Om naturgrus eller krossmaterial med mindre kornstorlek användes bör fördelningsledning läggas utmed magasinet för att underlätta vattnets spridning. Fördelningsledning

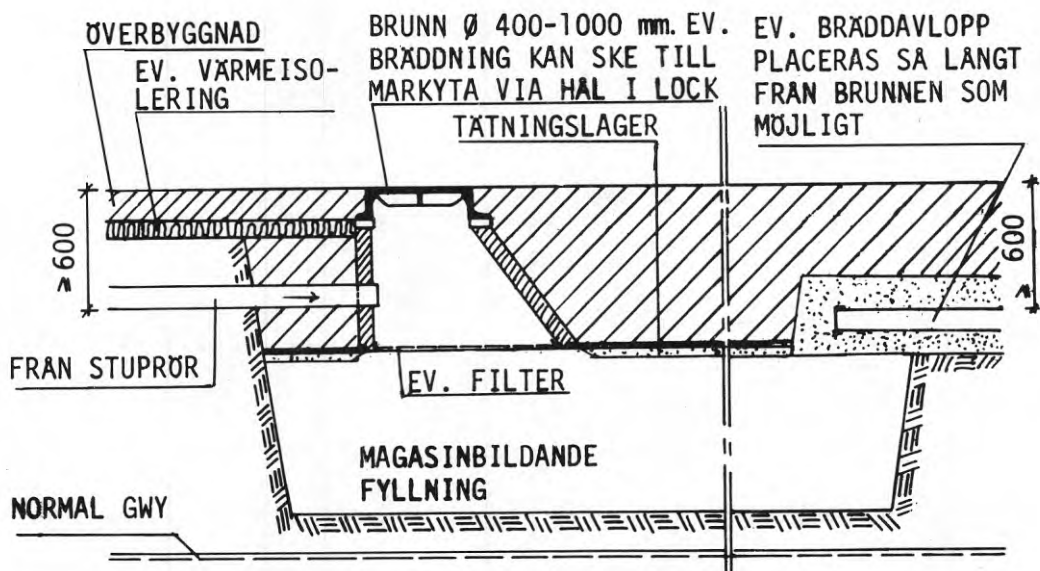


FIG. 37 Separat magasin för perkolation

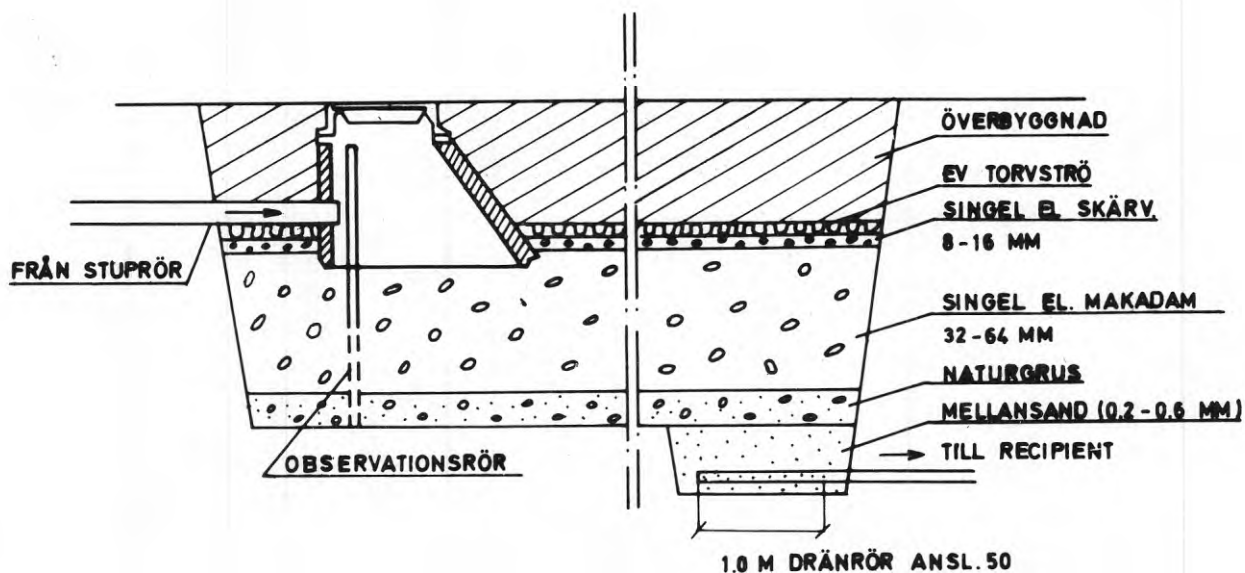


FIG. 38 Separat magasin för enbart fördröjning (exempel)

kan bestå av dräneringsrör av plast eller tegel eller av betongrör med öppna fogar. OBS dock att minsta kornstorlek i fyllningsmaterialet skall vara 0,6 mm.

Tätning vid överbyggnadens u.k. utföres enligt MarkAMA 72, C3.44 eller C3.45 beroende på slag av överbyggnad. Under gräs- och planteringsyta utlägges 40 mm torvströ.

Vid utförande av fördröjningsmagasin i lera där risk föreligger för uppträngning i magasinutfyllningen tätas botten med ett 150 mm tätningslager enligt MarkAMA 72, D1.1.

Överbyggnad över magasin utföres enligt MarkAMA 72 som för markyta på avjämnad sprängstensfyllning.

I områden med stark kyla - t. ex. i norra Sverige - bör hänsyn tas till eventuell frysrisk vid val av magasinläge och djup.

Eventuellt kan värmeisolering över magasin komma ifråga.

Beträffande magasinens placering i terrängen se under punkt 5.5.

#### Kommentar:

Den geologiska jordlagerföljden och GW-nivån bestämmer på vilken nivå magasinets botten bör ligga för att tillräcklig perkolation skall erhållas. Om magasinet skiljs från grundvattenförande lager av mycket tätt jordlager av mindre tjocklek, kan detta bortschaktas och ersättas med genomsläpplig friktionsjord.

Fyllning bör ej innehålla för mycket finmaterial då detta förutom stort motstånd i fyllningen även minskar effektiva porositeten och därmed magasinvolymen. Används friktionsmaterial med mindre kornstorlek än 2 mm, ökar motståndet för vattnets utbredning i magasinet. Vid häftiga regn kan då

vattennivån vid tillrinningspunkterna stiga så att bräddning sker vid marknivå.

En fördelningsledning längs magasinet sprider vattnet snabbt och möjliggör att hela magasinet kan nyttjas även om fyllnadsmaterialet är förhållandevis finkornigt. Vid höga anskaffningskostnader för sorterat grus eller där befintlig grusjord kan nyttjas kan därför sistnämnda lösning trots allt vara att föredra.

I de praktiska försöken har någon inverkan på magasinens funktion genom tjäle ej kunnat observeras. Vintertemperaturen var dock under observationstiden genomgående ovanligt hög. Enligt det teoretiska beräkningsexemplet under punkt 3.1.2.4 kan man anse att köldförhållandena i södra Sverige ej stör magasinens funktion.

#### 4.1.2 Magasin i ledningsgrav

Tekniskt sett skiljer sig denna magasintyp från separatmagasinet genom att läget sammanfaller med ledningsgravsavsnitt. I övrigt gäller samma krav och värderingar som för separata magasin. (FIG. 39).

Ledningar i ledningsgraven inom magasinet med undantag för fördelningsledning och ledningar för bräddavlopp utföres av fogtäta rör. Även brunnar skall vara fogtäta. Därigenom hindras inläckning av magasinvattnen i ledningssystemet.

För att hindra utdränering av magasinet längs ledningsgraven erfordras tätklackar av lera på ömse sidor om maga-

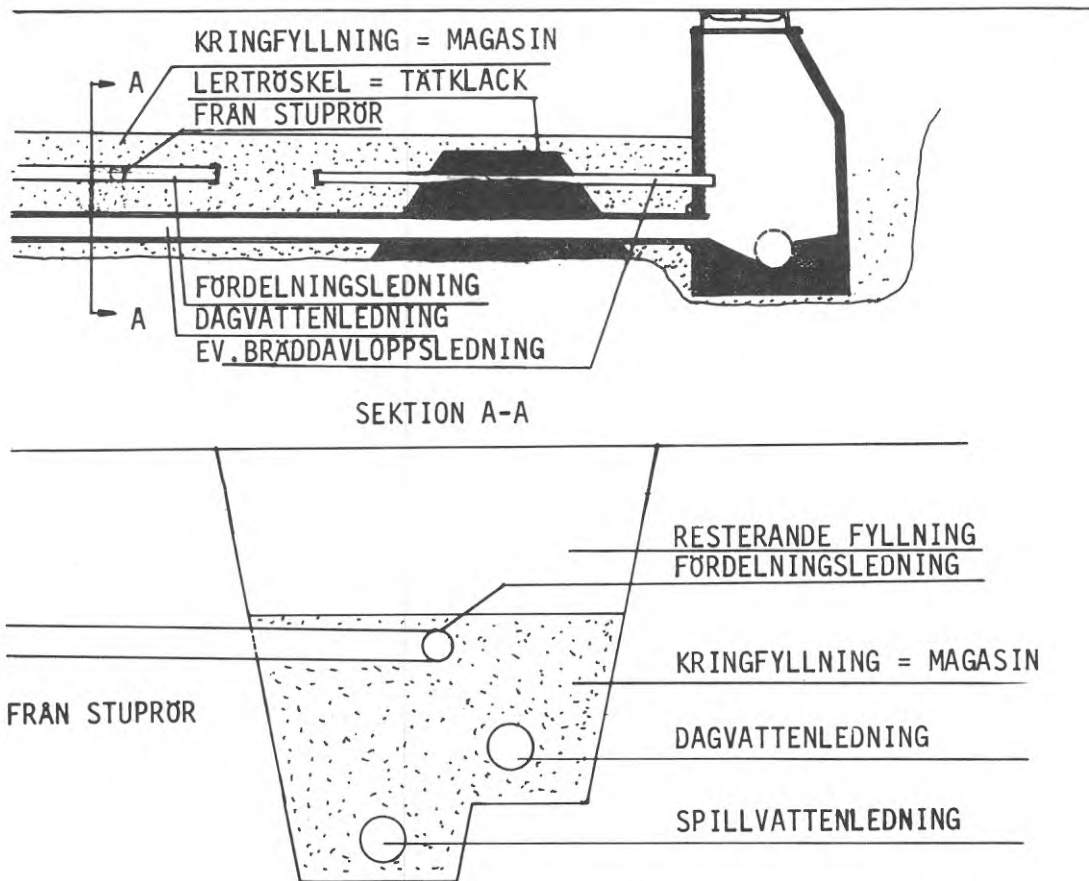


FIG. 39 Magasin i ledningsgrav

sinet i ledningsgraven. Leran skall utgöras av torrskorpelera som packas så att täthet erhålles. Om så erfordras tillsättes något vatten (puddling).

Bräddavlopp utföres av perforerade rör, typ dräneringsrör.

Rören placeras ovanför magasinfyllningen. Minsta täckning skall vara 400 mm varav 150 mm friktionsmaterial närmast röret.

Brädd-avloppsledningen anslutes till dagvattenledning, dike e. dyl.

#### Observationsrör

I de fall vattennivån i magasin skall kunna mätas, placeras ett perforerat rör, vertikalt i magasinets fyllning. Röret bör förses med betäckning av gjutjärn med låsbart lock.

#### 4. 1. 3 Jämförelse mellan utförda magasintyper

Val av magasin typ beror på många faktorer varför en vägning av för- och nackdelar för olika lösningar bör ske. I det följande redovisas de påtagligaste konsekvenserna för magasin typerna.

##### 4. 1. 3. 1 Separat magasin

#### Fördelar

Läget för separat magasin kan väljas efter topografiska och geologiska förhållanden varvid bästa förutsättningar för avsedd funktion erhålles. Fyllnadsmaterial - exempelvis sprängsten - kan väljas utan hänsyn till krav beroende på ledningar. Se vidare under 4. 4.

Läckage till ledningar inom ett magasin undviks. Inga komplikationer vid eventuell ledningsuppgrävning till följd

av reparationer. Direkta dräneringskontakter med husdräneringarna kan undvikas genom lämpligt val av magasinläge. Kringfyllning i en ledningsgrav har ofta direkt kontakt med dränering för byggnad.

#### Nackdelar

Schakt- och återfyllningskostnader för separat magasin blir jämförelsevis högre än vid magasin i ledningsgrav där schakt och fyllning ändå belastar ledningskostnaden. Då magasin är beläget i naturmark tillkommer även återställning av markytan såvida inte schaktmassorna utgör lämplig och för annat ändamål erforderlig fyllningsjord.

#### 4.1.3.2 Magasin i ledningsgrav

##### Fördelar

Kostnader för schakt och fyllning belastar ej magasin.

Friktionsmaterial som kringfyllning kring ledningar i ledningsgrav kan användas som magasinbildande fyllning.

Genom ledningsgravarna kan kommunicerande magasin utföras, för att nyttja goda perkolationsmöjligheter.

##### Nackdelar

Inläckning i ledning vid otäta fogar vilket leder till oavsiktlig avtappning av magasinet och oavsiktlig ökad vattenföring i ledningssystem.

För att undvika dränering längs ledningsgrav måste magasinet tätas med tätklack i gravens nedströmsände. (Se FIG. 39).

#### 4.2 Intagsbrunnar

I vanliga fall avskiljes löv och dylika grövre substanser redan i hängrännan eller i takbrunn genom en silanordning i anslutning till stupröret. Ofta förekommer även slambrunn på dagvattenledning från stuprör. Lövavskiljare kan även monteras in i stupröret i närheten av markytan



vilket underlättar fastighetsskötseln. Praktiska prov på detta utförande har gjorts i anslutning till försöken i Bäckby, Västerås.

Takvatten kan även innehålla finkorniga substanser - exempelvis från ytskikt på takpapp. Eftersom magasinering och perkolation skall kunna fortgå under byggnadens hela livslängd bör man hindra en eventuell igensättning av magasinet genom någon form av avskiljningsanordning innan takvattnet släpps in i magasinet.

I det följande visas två olika förslag till tekniska lösningar. Olikheter i utformningen är beroende på brunnsplacering i förhållande till magasinet ifråga.

#### 4.2.1 Infiltrations- och rensbrunn på magasin

I FIG. 40 redovisas filterbrunn av betongrör placerad ovanpå ett magasin. Till brunnen anslutes ledning från byggnads stuprör. Kapaciteten är beroende av filterytans storlek samt av genomsläppligheten i filtret och i fyllningen under filtret.

#### 4.2.2 Filter- och rensbrunn vid stuprör

FIG. 41 återger en brunn av betongrör med filter som placerats under stuprör. Från brunnen leds vattnet genom rörledning direkt till magasin.

#### Kommentar:

I samband med exploateringsarbeten i bergig terräng erhålles ofta stora sprängstensfyllningar som vida överstiger behovet av magasinvolym. Ca 40% av sådana sprängstensfyllningar består av hålvolym som kan tas i anspråk för magasinering. Genom hålrummens storlek är dessa fyllningar mindre känsliga för igensättning än fyllningar med grus. Sålunda har en 10 m lång

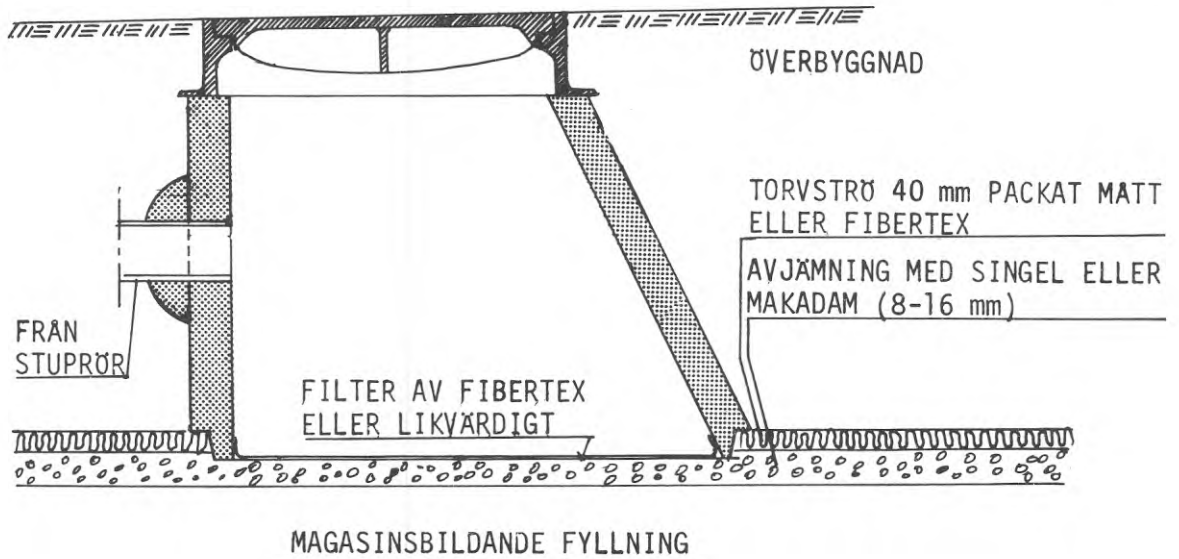


FIG. 40 Infiltrations- och rensbrunn på magasin

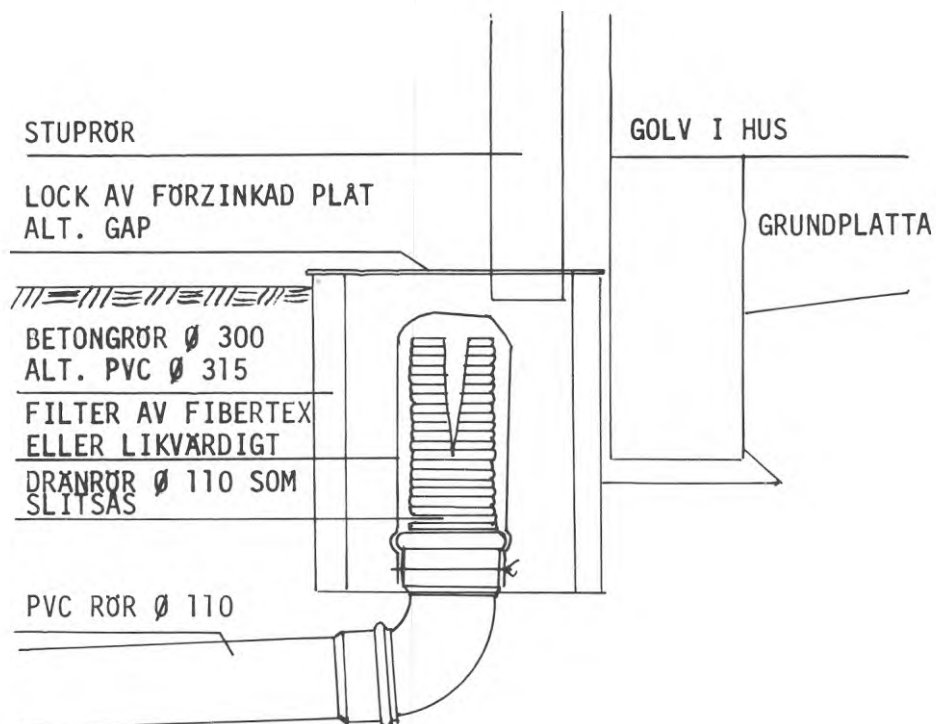


FIG. 41 Filter och rensbrunn vid stuprör

150 mm:s fördelningsledning med öppna fogar i ett praktikfall visat sig fördela regnvattnet från en takyta på 200 m<sup>2</sup>. Rensbrunn är ej utförd. Byggnaden som uppfördes 1965, har invändiga stuprörsledningar med lövavskiljning på taket. Stenfyllningens volym är ca 75 m<sup>3</sup>. Då erfarenheter härav hittills dock endast omfattar ett fåtal magasin rekommenderas att tills vidare utföra sil vid stuprör och/eller rensbrunn även vid magasin där fyllning utgöres av sprängsten. Särskilt vid lågbebyggelse i skogrik omgivning kan takytorna bli bemängda med stora mängder löv, barr, frömjöl o. dyl. Framtida behov av avskiljning bör kunna fastslås genom inspektion av rensbrunn och långtidserfarenheter av funktionen hos sådana magasin.

#### 4.3 Förundersökningar

Omfattning och slag av förundersökningar är beroende av topografiska och geologiska förutsättningar i det aktuella projektet. Nedan beskrives vad man behöver känna till för att kunna utforma och dimensionera ett magasin.

De geotekniska undersökningar som framtas för att ligga till grund för bebyggelseprojektering är normalt tillräckligt omfattande för bestämning av markbeskaffenhet. Spadbörning och jordprovtagning erfordras för bedömning av jordart och därmed av möjligheten för perkolation. För bedömning av magasinens största djup skall grundvattenobservationer göras i omfattning som erfordras för godtagbar bestämning av grundvattennivåer inom aktuellt område.

På grundkartan som bör vara i skala 1:1000 skall markens nivåer framgå genom kurvor med 1 m:s ekvidistans. (1 meters kurvor).

Topografisk karta i minst skala 1:50000 skall framtas och omfatta samtliga avrinningsområden inom vilka aktuellt byggnadsområde är beläget.

Geologisk karta i minst skala 1:50000 skall framtas och omfatta samma område som den topografiska kartan.

Handlingar utvisande befintlig bebyggelse och anläggningar  
Undersökningar gällande befintliga ledningsgravar, dräneringsanläggningar, källare och andra anläggningar under mark bör göras i erforderlig omfattning - t. ex. beträffande konsekvenser för skyddsrum, värmekulvertar etc.

#### 4.4 Placering av magasin

Vid val av plats för fördröjnings- och perkolationsmagasin bör följande faktorer beaktas:

##### Marklutning

Undvik placering nedanför branta sluttningar där stort markvattentillskott kan förväntas.

##### Markbeskaffenhet

Friktionsjordar ger bästa perkolationseffekt varför man i första hand bör eftersträva att placera perkolationsmagasin med sin botten i sådana jordar. Vid mycket täta jordar bör i regel endast fördröjningsmagasin komma ifråga.

##### Grundvattenytans läge

Vid perkolationsmagasin skall sommarperiodens medelgrundvattenyta ligga under magasinets botten. Observera att grundvattenytans läge kan förändras på grund av urbana ingrepp. Avsänkning av grundvatten inom bebyggelseområden genom anlagda rörgravar och tunnlar är sålunda mycket vanligt förekommande vilket kan leda till behov av att anlägga perkolationsmagasin för att motverka denna effekt.

Vid fördröjningsmagasin i lera kan grundvattennivån i underliggande artesiska jordlager ligga högre än maga-

sinets botten under förutsättning att grundvattentrycket ej medför risk för bottenuppträckning vid anläggning av magasinets.

#### Byggnaders och anläggningars lägen

Byggnaders lägen, förekomst av källare och anläggningar i mark kan inverka på perkolationsmagasinets funktion eller alternativt bli påverkade av vattenföring från magasin på ej önskat sätt.

#### 4.5 Dimensionering av magasin

Perkolations- och fördröjningsmagasinets totalvolym bestäms av följande faktorer.

- a) Avvattnad takyta
- b) Lokala nederbördsförhållanden
- c) Magasinets terrängläge
- d) Geologisk jordlagerföljd
- e) Slag av porös fyllning och fyllningens packningsgrad.

Punkterna a) och b) bestämmer huvudsakligen erforderlig nettovolym (effektiva porositeten) i magasinet. Punkterna c) - e) kan inverka på magasinets volym genom till magasinets inströmmande sprickvatten, perkolation från magasinet, bräddningsmöjligheter samt fyllningens hålrum som varierar vid olika slag av fyllning.

När det gäller dimensionerande nederbörds mängd rekommenderas på orten gällande statistiskt underlag för största dygnsregn som i medeltal återkommer en gång vart annat år. I undantagsfall, då magasinets läge bedöms medföra speciell risk för skador bör dock större dimensionerande regn tillämpas.

Magasinets terrängläge kan vara sådant att sprickvatten tillföres magasinet efter regn speciellt höst, vinter och vår. Detta medför ett tillflöde till magasinet av annat vatten än

det som faller på taket och ställer större krav på magasinets volym. Lokal bedömning måste ske. I normalfallet med sådant terrängläge medför detta ej större effekt än att man bör inräkna ett nettovolymtillskott av storleksordningen 5 à 10 % av den för takvattnet beräknade volymen.

Geologiska jordlagerföljden ger underlag för bestämning av perkolationseffekten och därmed för magasinets erforderliga bottenyta. Den senare bestäms av önskad perkolationsintensitet och genomsläpplighetskoefficient för den aktuella jorden under magasinet. Perkolationen bör ha sådan kapacitet att magasinet vid maximiuppfyllnad beräkningsmässigt kan tömmas på högst fyra dygn. Från erhållen nettovolym enligt a), b) och c) kan avdragas perkolerad vattenmängd för erhållande av slutlig nettovolym. Vad här sagts om perkolation gäller på motsvarande sätt styrd avrinning vid fördröjningsmagasin.

Den porösa fyllningens korngradering och packningsgrad bestämmer effektiva porositeten och därmed erforderlig bruttovolym för fyllningen i magasinet. Bruttovolymen erhålles enligt formeln

$$V_b = \frac{100 \times V_n}{p_e}$$

där  $V_b$  = bruttovolym

$V_n$  = nettovolym

$p_e$  = effektiv porositet i %

Perkolationsmagasinets form och nivåläge bestäms av följande faktorer.

- d) Geologisk jordlagerföljd
- f) Karakteristiska grundvattennivåer.

Punkt d) bestämmer erforderlig perkolationsyta (bottenyta i magasinet) på sätt som ovan angivits och punkt f) bestäm-

mer magasinbottens lägsta nivå och därmed största möjliga höjd för magasinet. Med karakteristisk grundvattennivå avses i detta fall högsta beräknade grundvattennivå under vegetationsperiod. Denna nivå bör ej nå högre än 10 cm under magasinets botten. Vid hög grundvattennivå måste magasinet där så är möjligt med hänsyn till geologisk jordlagerföljd ges liten magasin höjd och därmed relativt stor bottenyta (t. ex. magasin i ledningsgrav).

Magasinet s höjd bestäms antingen ur bruttovolymen och erforderlig bottenyta eller också, om grundvattennivån är hög, av tillgänglig höjd intill ca 0,7 m under mark. I senare fallet blir bottenytan större än för beräknad erforderlig perkolation.

Fördröjningsmagasinets tömningsintensitet kan lämpligen styras genom att vattnet får avrinna via en sandbädd till ett dräneringsrör under del av magasinets botten. Sandbäddens tjocklek och kornsammansättning samt dräneringsrörets diameter och längd bestämmer avrinningskapaciteten. Från dräneringsröret måste vattnet kunna avledas till recipient.

#### Kommentar:

Vid konventionell dimensionering av dagvattenledning utgår man från det största intensiva regn som statistiskt återkommer en gång varje år vid separat system och en gång vart annat år vid kombinerat system och som ger största flöde i det aktuella fallet. Vid större regn än dessa dimensionerande regn, överskrides ofta ledningsnätets kapacitet. Sådana större regn återkommer statistiskt sett en gång vartannat resp. vart tredje år. Därvid erhålles översvämning närmast uppströms den trängsta sektionen d. v. s. där rörledningen har minst överkapacitet. En sådan översvämning får ofta förödande effekter på grund av vattenflödets relativa storlek vid översvämningsplatsen med

skador i källare eller bottenvåningsbjälklag vid lågt belägna hus som följd. Om man istället tillämpar systemet med perkolations- eller fördröjningsmagasin av här föreslagen modell blir konsekvenserna vid större regn än dimensionerande ej alls förödande eller ens märkbara i berört avseende om här föreslagna projekteringsråd följs. Detta beror framför allt på att överdämningar av de över stora arealer utspridda magasinerna sker med relativt sett mycket små flöden och att naturlig överkapacitet i form av porvolym i täckande jordlager utnyttjas. Det är ej heller de korta, intensiva regnen som är dimensionerande vid detta system utan i stället regn med längre varaktighet och därmed lägre intensitet. Iakttagelser från försöken i Bäckby bestyrker vad ovan påpekats. Största observerade dygnsregn inom området under försöksperioden var 56 mm, dvs 75 % mer än dimensionerande regn. Detta regn åstadkom ingen märkbar olägenhet för de boende, trots att magasinerna där ej uppfyllde de rekommendationer som lämnas i projekteringsråden. Mot bakgrund härav och av erfarenheterna från magasinerna i Hölö och Alby har befunnits lämpligt att vid dimensionering av magasin normalt använda största dygnsregn som statistiskt återkommer i genomsnitt en gång vart annat år. Uppgifter härom kan erhållas från SMHI. För Stockholm gäller värdet 29 mm och för Västerås 32 mm f. n. för dylikt dygnsregn.

Beräkningsexempel 1 Ett horisontellt tak med  $150 \text{ m}^2$  yta i Stockholmstrakten skall avvattnas. Huset skall ha källare med golv + 13,4 och husgrundsdränering + 13,1. Det skall grundläggas på pålar (pålavskärning + 12,9) genom 6-10 m mäktig lera, som tunnar av mot väster till 2 m mäktighet 10 m väster om huset. Leran underlagras av moig morän med beräknat k-värde  $10^{-6} \text{ m/s}$ . Planerad marknivå är



+ 15,2 och naturlig + 14,9 invid husliv väster om huset och såväl planerad som naturlig marknivå + 15,1 10 m väster om huset. Högsta grundvattennivå under vegetationsperiod är bestämd till + 13,2. En väst-östlig sektion får således det utseende som framgår av fig. 42.

Lämplig lösning är att utföra perkolationsmagasin ca 10 m väster om huset, varvid leran bortschaktas till moränen och magasinets botten bestäms till lägst nivån + 13,3.

Dimensionerande 2-års max dygnsregn är för Stockholm 29 mm. Total vattenmängd på taket blir då

$$29 \cdot 150 = 4.350 \text{ liter}$$

Någon hänsyn till magasinets terrängläge vid dimensioneringen behöver ej tas då den naturliga perkolationen i sluttningen ovanför ej ger något extra tillskott av vatten till magasinet.

Om fyllt magasin skall tömmas på 4 dygn blir erforderlig perkolationsintensitet

$$q_p = \frac{4,35}{4 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Ur formeln

$$\frac{q_p}{A} = k \cdot I$$

där lutning  $I$  sättes = 1 (perkolation)

$$k \text{ enligt föregående} = 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$A = \text{erforderlig bottenyta i magasin}$$

erhålles

$$\frac{1,26 \cdot 10^{-5}}{A} = 10^{-6} \cdot 1 \text{ och}$$

$$A = 12,6 \text{ m}^2$$

Med nyss angiven perkolationsintensitet avrinner från magasinet under nederbördsdygnet  $\frac{4,35}{4} = 1,1 \text{ m}^3$ .

Magasinets slutliga nettovolym blir då

$$4,35 - 1,1 = 3,25 \text{ m}^3.$$

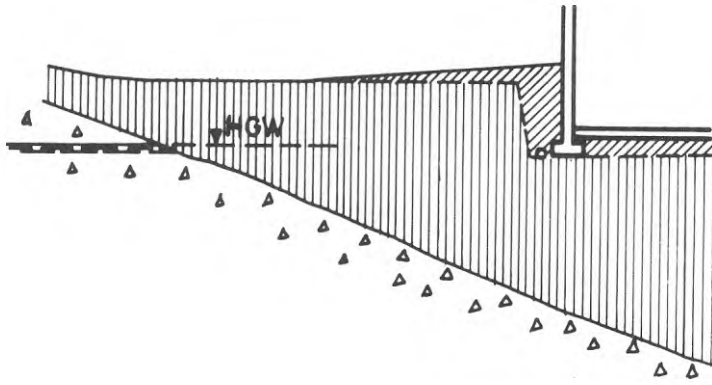


FIG. 42 Sektion till beräkningsexempel 1

Om magasinet uppbygges av makadam 16-32 mm, som efter packning får en effektiv porositet av 35 % erhålles magasinets bruttovolym

$$V_b = \frac{100 \cdot 3,25}{35} = 9,3 \text{ m}^3, \text{ säg } 10 \text{ m}^3$$

Med förut bestämd bottenyta  $12,6 \text{ m}^2$  blir magasinets höjd

$$H = \frac{10}{12,6} = 0,8 \text{ m.}$$

Räknar man med en överbyggnad av 0,7 m kommer magasinets botten således 1,5 m under mark, dvs på nivån +13,6 som är högre än lägsta tillåtna med hänsyn till grundvattenytan.

Slutsatsen blir att magasinet lämpligen placeras något mer än 10 m väster om huset, där lerans mäktighet är mindre än 1,5 m, att magasinets botten förläggs 1,5 m under mark, ges en bottenyta av  $13 \text{ m}^2$  och en total bruttovolym av  $10 \text{ m}^3$  makadam 16 - 32 mm. I övrigt utföres magasinet enligt förut givna råd under 5.1 och 5.2.

Beräkningsexempel 2 Ett småhus med  $90 \text{ m}^2$  takyta i Västerås, ingående i ett grupphusområde med relativt likartade grundförhållanden med mäktig lera skall avvattnas via fördröjningsmagasin till kombinerade ledningar.

Huset skall utföras utan källare med grundläggning på utbredd platta. Marknivå + 20,5 och husdränering + 20,0. Avloppsledning  $\varnothing$  250 i gata 10 m från huset kommer vid servisanslutningen med vattengång på nivå + 18,5. Fördröjningsmagasinets dräneringsnivå bör ej läggas djupare än + 18,8 för att möjliggöra dränering till avloppsledning.

Dimensionerande 2-års dygnsregn är för Västerås 32 mm. Total regnmängd på taket blir då

$$32 \cdot 90 = 2.900 \text{ liter.}$$

En viss dränering till magasinet vid torrskorpelerans sprickzon kan påräknas och skattas till 5 % av tillrinningen från takytan, varigenom totala tillflödet till magasinet blir

$$2.900 + 0,05 \cdot 2.900 = 3.050 \text{ liter.}$$

Tömning av fyllt magasin på 4 dygn ger tömningsintensiteten

$$q_t = \frac{3,05}{4 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ett 30 cm lager av sand med effektiv kornstorlek ( $d_{10}$ ) 0,2 mm och likformighetskoefficient mindre än 3, utlägges ovanför och kring dräneringsledning från magasinet. Dräneringsledningens yttre diameter (D) och Längd (L) bestäms enligt Bieske (1965) ur

$$D \cdot L = \frac{280 \cdot q_t}{\pi \cdot d_{10}} \quad \text{eller i exemplet}$$

$$D \cdot L = \frac{280 \cdot 0,9 \cdot 10^{-5}}{\pi \cdot 0,2} = 4,10^{-3} \text{ m}^2$$

Om D väljes till 0,06 m blir L = 0,07 m. Denna längd gäller för dräneringsrör med tät slitsning eller perforering längs hela mantelytan. Väljes normala svenska dräneringsrör, t. ex Lubonyl, måste längden ökas på grund av perforeringens gleshet ca 10 ggr. Välj därför längden 1,0 m av detta dräneringsrör.

Härvid avrinner från magasinet under nederbördsdygnet

$$\frac{3,05}{4} = 0,75 \text{ m}^3.$$

Magasinets slutliga nettovolym blir då

$$3,05 - 0,75 = 2,3 \text{ m}^3.$$

Om magasinet uppbygges av grus som får en effektiv porositet av 25 % erhålles magasinets bruttovolym

$$V_b = \frac{100 \cdot 2,3}{25} = 9,2 \text{ m}^3, \text{ säg } 10 \text{ m}^3.$$

Grövre fyllning bör ej användas i bottnen av magasinet med hänsyn till undergrunden (lös lera). Om man emellertid utför en avjämning med 15 cm grus i bottnen och därovan t. ex singel 16 - 32 mm med effektiv porositet 40 % och antar att grusdelen i magasinet utgör 20 % av magasinets totala bruttovolym erhålles

$$V_b = \frac{0,2 \cdot 2,3}{0,25} + \frac{0,8 \cdot 2,3}{0,4} = 1,85 + 4,6 = 6,46 \text{ m}^3,$$

säg 2 m<sup>3</sup> grus + 5 m<sup>3</sup> singel eller sammanlagt 7 m<sup>3</sup>.

Räknar man med en överbyggnad över magasinet av 0,7 m och ett höjdbehov för tömningsskikt och dränering av 0,35 m återstår en tillgänglig magasinshöjd av

$$20,5 - 18,8 - 0,7 - 0,35 = 0,65 \text{ m.}$$

Härvid blir erforderlig bottenyta för magasinet

$$A = \frac{7}{0,65} = 11 \text{ m}^2.$$

Magasinets överyta kommer således på nivå + 19,8, d. v. s under husdräneringen. Det innebär att magasinet kan placeras ett par m från och längs med huset och där ersätta dräneringen. Om huset har yttermått 7 x 10,7 m och magasinsskivans bredd ges en bredd av 0,5 m och placeras längs en långsida och två kortsidor med centrum 2 m från husliv blir gravens längd

$$2 \cdot 11 + 14,7 = 36,7 \text{ m}$$

Den erforderliga höjden blir då

$$H = \frac{7}{0,5 \cdot 36,7} = 0,38 \text{ m, säg } 0,4 \text{ m.}$$

I detta fall kan magasinets överyta placeras vid dräneringsnivån, d. v. s + 20,0. Stuprör och magasinanslutning kan utföras enligt FIG. 43. Observera att denna magasinsskiva måste ligga horisontellt, varför vid lutande mark nivå bestäms där markytan är lägst. Den rensbrunn som med överkant ligger lägst blir samtidigt bräddavloppsbrunn för magasinet och kommer eventuellt att träda i funktion vid extremt stora regn. Vatten från denna brunn måste således beredas möjlighet att avrinna ovan mark från huset. Det slutliga utförandet framgår av FIG. 43.

#### Kommentar till beräkningsexempel 2:

Om man antar att grupphusområdet består av 100 likadana hus och att antalet boende i varje hus i genomsnitt uppgår till 3,5 personer blir totala antalet boende 350. Dimensionerande spillvattenflödet från detta område kan beräknas till 2,5 l/s. Härtill kommer vid separata system i samband

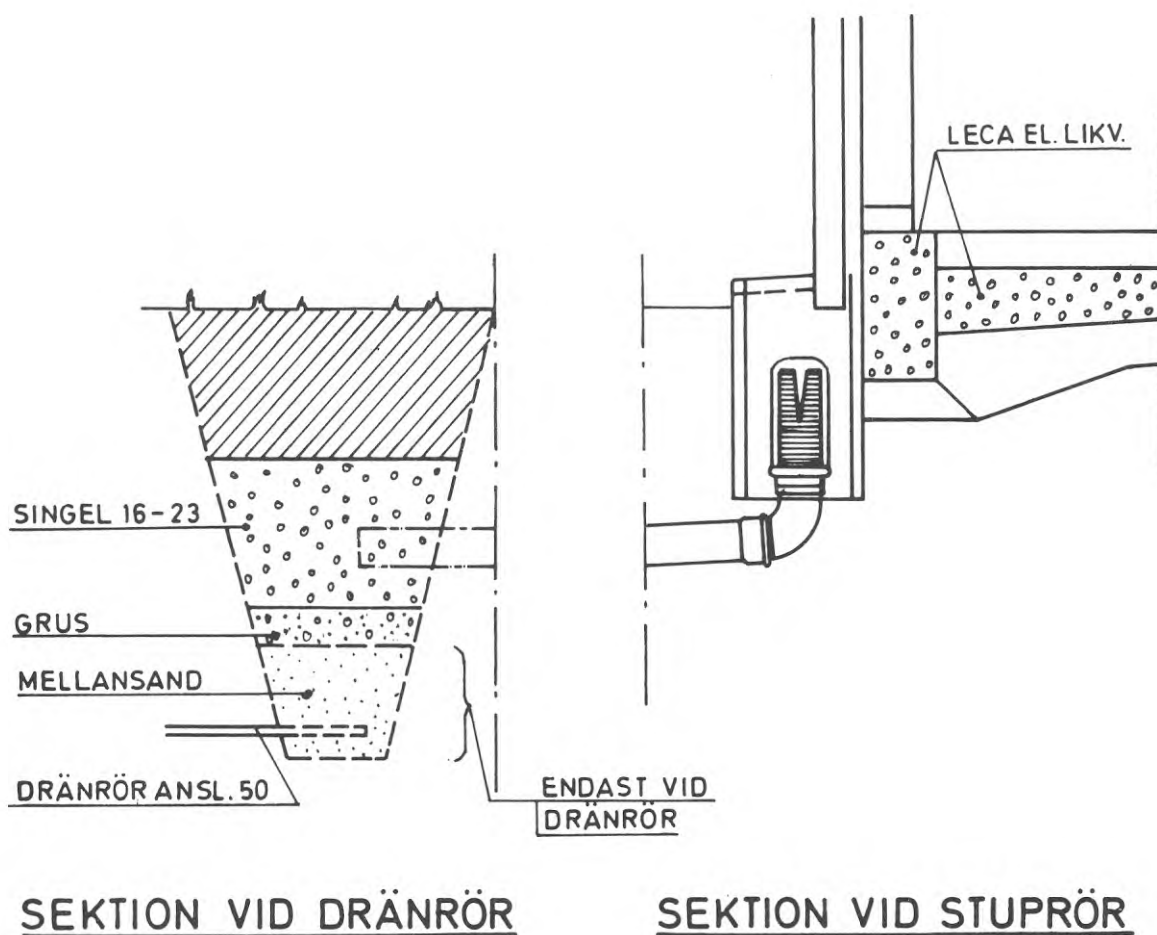
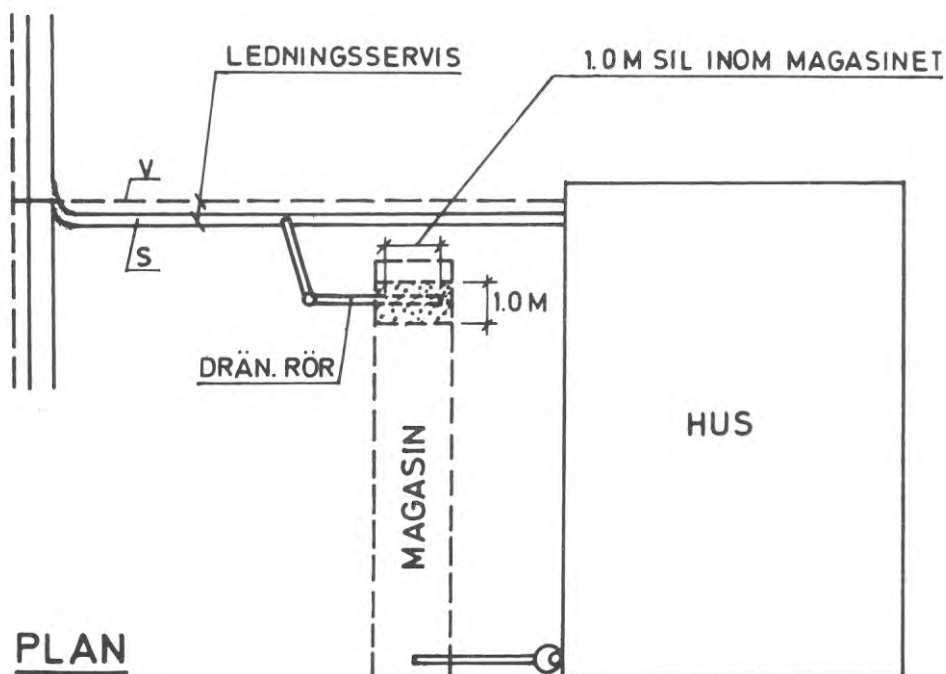


FIG. 43 Fördröjningsmagasin i lera, samtidigt fungerande som husdränering

med större regn ofta inläckande vatten till stor del av samma storleksordning, ofta ursprungligen just takvatten, eller sammantaget ca 5 l/s.

Om hela områdets takvattenavledning löses enligt räkneexemplet kommer takvattenflödet som genom fördröjningsmagasin tillføres ledningssystemet totalt att bli

$$0,9 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0,9 \text{ l/s}.$$

Det finns således skäl att räkna med att flödet i spillvattenledningarna blir mindre vid denna lösning även om magasinsavtappningarna sker till spillvattenledningarna än enligt det konventionella systemet. Dagvattenledningarnas dimension minskas också avsevärt genom att takvattnet elimineras.

Om man för samma område och med samma förutsättningar i övrigt i stället betraktar ett kombinerat system med konventionell regnvattenavledning erhålles beräkningsvis de dimensionerande flöden som nedan anges. Som jämförelse anges i kolumnen till höger dimensionerande flöden vid utförande med fördröjningsmagasin för takvattnet

	<u>Konv. lösning</u>	<u>Fördröjn. - magasin</u>
Spillvatten	2,5 l/s	2,5 l/s
Vatten från tak	113,0 l/s	0,9 l/s
Vatten från gator etc	<u>110,0 l/s</u>	<u>110,0 l/s</u>
Totalt	225,0 l/s	113,0 l/s

Det framgår härav vilken stor effekt på totala dimensionerande flödet som fördröjningsmagasinen för takvattnet medför och att dessa också väsentligt minskar frekvensen av bräddningar till recipient från samlingsledning. Kunde man dessutom genomföra en motsvarande fördröjningsmagasinerings för regnvatten från övriga hårdgjorda ytor skulle behovet av bräddning helt försvinna och såväl spillvatten som dagvatten kunna avledas i samma ledning (kombinerat system).

5            FORTSATT FORSKNING OMKRING MAGASINERING  
              OCH PERKOLATION FÖR ANDRA SLAG AV DAG-  
              VATTEN

I denna forskningsrapport beskrivs hur man kan leda regnvatten från takytor till magasin bestående av porositet i mark. Om kringliggande jord är vattengenomsläpplig kan sådant magasin utföras som perkolationsmagasin, från vilket vattnet kan perkolera och bilda grundvatten. Alternativt kan magasin fungera enbart som fördröjningsmagasin med långsam avtappning till ledning eller direkt till recipient.

Genom detta tillvägagångssätt kan ca 40 à 50 % av dimensionerande flöde avlastas ledningsnätet och - beträffande perkolationsmagasin - avledas via marklager.

Dagvattnets föroreningsgrad och art av förorening är i väsentlig omfattning avgörande för möjligheterna till ytterligare magasinering och perkolation av dagvatten. Man har anledning förmoda att regnvatten som exempelvis runnit på trafikgata ej i ett långsiktigt perspektiv bör tillföras marken utan någon form av åtgärd. Hur och i vilken omfattning påverkas mark, växtlighet och grundvatten av sådana föroreningar och vilka tekniska lösningar måste tillgripas för att begränsa eller helt avskilja tillförsel av sådan materia respektive för att hindra igensättning av magasin?

Tekniskt sett finns möjlighet att separera regnvattnet i del som på grund av stark förorening måste avledas till reningsanläggning och i del som kan infiltreras inom urbant område. Det kombinerade systemet kompletterat med magasinering och perkolation av obetydligt förorenat regnvatten kan i många fall ge bästa ekonomiska resultat samtidigt som en positiv påverkan på den naturliga vattenbalansen uppnås. Vidare bör även förorenat dagvatten kunna omhändertas lokalt och ledas till reningsverk och/eller recipient över fördröjningsmagasin i samma ledningar som spillvattnet. Därigenom kan ytterligare besparingar på ledningssystemet och reningsverk göras.



Vidare skulle detta kunna medföra mindre eller ingen bräddning, vilket totalt sett leder till mindre förorening av recipient.

Fortsatt forskning på detta område bör i ett inledningskede bedrivas i form av en litteraturinventering, varvid resultatet av tidigare undersökningar gällande förorening av jord, mark- och grundvatten genom regnvatteninfiltration är av speciellt intresse. Även de växtbiologiska konsekvenserna studeras. Inventeringsresultatet bör följas upp genom jord- och vattenprov från mark som bevisligen utsatts för ytinfiltration av regnvatten. Genom utförande av försöksanläggningar och uppföljning av deras funktion på likartat sätt som redovisats i denna rapport, erhålles praktisk erfarenhet som kan ligga till grund för utformning av projekteringsråd såväl beträffande tekniska lösningar av anläggningar som beträffande val av lämpligt dagvattenavledningssystem.

## 6 NOMENKLATUR

För definiering av speciella termer som använts i forskningsuppgiften lämnas här en närmare nomenklaturförteckning.

### Effektiv kornstorlek

Den kornstorleksgräns för en jord, under vilken gräns 10 viktsprocent av det torra jordmaterialet har mindre kornstorlek.

### Effektiv porositet

Den procentuella vätskevolymen av en total, vätskemättad jordvolym, som kan dräneras ur jorden.

### Fördröjningsmagasin

Porös fyllning i naturlig jord, företrädesvis lera, som avser att utjämna regnvattenflöden från takyta innan de når recipient.

### Geohydrologi

Läran om grundvattnets rörelse i olika geologiska formationer.

### Grundvatten

Vatten som helt fyller hålrummen i jord eller berg på grund av naturlig dämning.

### Infiltration

Vätska, som från luft rinner ned i porös eller sprickig grund, t. ex. vattens inträngande i jorden eller i bergsprickor vid markytan.

### Likformighetskoefficient

Kvoten mellan den kornstorleksgräns för en jord, under vilken gräns 60 viktsprocent av det torra jordmaterialet har mindre kornstorlek och effektiva kornstorleken för samma jord.

### Markvatten

Vatten som finns i jordskorpan yttre skikt av berg eller jord, som påverkas av klimat och vegetation.

### Omättad zon

Jord eller berg mellan grundvatten och markyta där vatten ej helt fyller hålrummen.

### Perkolation

Långsam, nedåtgående rörelse (hos vätska) genom lager av poröst material ovan grundvattnet.

### Perkulationsmagasin

Porös fyllning i eller på naturlig jord, vilande på genomsläpplig, naturlig jord och avseende att utjämna regnvattenflöden från takyta innan det perkolerar till grundvattnet.

### Sjunkvatten

Vatten som perkolerar.

### Sprickvatten

Grundvatten i torrskorpelerans sprickzon.

## 7 LITTERATUR

### 7.1 Referenser

Ahlgren Ingemar, 1970, Limnologiska synpunkter på dagvattenavledningen från bebyggelse inom Lillsjöns och Örnässjöns nederbördsområde i Upplands Bro kommun. Uppsala Universitet, Limnologiska institutionen, Uppsala. (Förvaras hos Statens råd för byggnadsforskning.)

Amramy A., 1964, Waste treatment for ground water recharge (Second Int. Conf. on Water Pollution Research.) Section II, Paper nr 8, Tokyo.

Andersson R., 1972, Protokoll från sammanträde angående magasinering av regnvatten i mark, Västeråshus 25. (Förvaras hos Statens råd för byggnadsforskning.)

Bieske E., 1965, Handbuch des Brunnenbaus, Band II (Verlag Rudolf Schmidt), Berlin-Konradshöhe.

Cadling L., 1972, Rapport över undersökning av dräneringens funktion vid vissa villor i Arenbergaområdet i Märsta. Svenska Riksbyggen, Geotekniska kontoret. Arb. nr 230331, Stockholm.

Carlstedt B., 1972, Bildserie från försöksplats Alby. (Förvaras hos Statens råd för byggnadsforskning.)

Carlstedt B., 1972, Bildserie från försöksplats Hölö. (Förvaras hos Statens råd för byggnadsforskning.)

Sichardt W., 1928, Das Fassungsvermögen von Rohrbrunnen und seine Bedeutung für die Grundwasserabsenkung, Berlin.

Thomas R. E., Schwartz W. A. och Bendixen T. W., 1966, Soil Chemical Changes and Infiltration Rate Reduction Under Sewage Spreading. (Soil Science Society of America Proceedings.) 30:5.

## 7.2 Kompletterande litteratur

Brown R. H. , Konoplyantsev A. A. , Ineson J. & Koodevsky V. S. , 1972, Lysimeteranläggningar, ringinfiltrometer och andra mätmetoder. Ground-water studies. An international Guide for research and practice.

Brömssen U. , 1968, Grundvattenbildning i geologiskt olika terrängavschnitt. Ur metod, teknik, analys. Orrje & Co Scandiaconsult AB, Stockholm.

Canarache A. , Motec E. & Dumitriu R. , 1969, Infiltration rate as related to hydraulic conductivity, moisture deficit and other soil properties. (Faktorer av vilka .infiltrationen är beroende). Ur Water in the unsaturated zone I-II. UNESCO.

Dvořák Jan & Numeč Zaroimir, 1969, Infiltration as a factor affecting runoff computations. (Behandlar förhållandet mellan avrinning och infiltration vid viss regnintensitet på små - några få m<sup>2</sup> - markytor, där jordarten har låg permeabilitet). Ur Water in the unsaturated zone I-II. UNESCO.

Feodoroff A. , 1969, Redistribution of moisture after infiltration in dry soils. Influence of gravity. (Laboratorieförsök med torr jord som visar att vattnets rörelse ej endast beror på gravitation utan även på jordens attraherande krafter). Ur Water in the unsaturated zone I-II. UNESCO.

Forsman A. , 1971, Infiltrations- och markvattenstudier under snösmältningen. Ur Markvann. Den Norske komite for Den internasjonale hydrologiske dekadé, rapport nr 2, Oslo.

Forsman A. och Milanov T., 1971, Markvattenstudier i Velenområdet. (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut). Serie HYDROLOGI, Nr 15, Stockholm.

Gustavsson Y., 1970, Topografins inverkan på grundvattenbildningen. Ur Grundvatten, Norstedt & Söner, Stockholm.

Nordberg L. & Modig S., 1973, Försök till bestämning av effektiv porositet i morän. (Statens Naturvetenskapliga Forskningsråd).

Nilsson L. Y., 1970, Grundvattenståndets korttidsvariationer och dess orsaker. Ur Grundvatten, Norstedt & Söner. Stockholm.

Sagi K., 1969, Infiltration in terms of soil moisture, rain, intensity and depth of rainfall. (Praktiska värden för infiltration). Ur Water in the unsaturated zone I-II. UNESCO.



**R23: 1974**

**Denna rapport avser anslag D 924 från Statens råd för byggnadsforskning till Orrje & Co-Scandiaconsult och Svenska Riksbyggen, Stockholm.**

**Försäljningsintäkterna tillfaller fonden för byggnadsforskning.**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm**

**Grupp: installation**

**Pris: 22 kronor + moms**