



**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN**

**Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik**

ISSN 0347 - 8165

ENERGIFÖRLUSTER I LEDNINGSBRUNNAR

LABORATORIEMÄTNINGAR

VID

ICKE-STATIONÄR STRÖMNING

GÖSTA LINDVALL



**CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
GEOHYDROLOGISKA FORSKNINGSGRUPPEN**

**Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik**

ISSN 0347 - 8165

**ENERGIFÖRLUSTER I LEDNINGSBRUNNAR
LABORATORIEMÄTNINGAR
VID
ICKE-STATIONÄR STRÖMNING**

GÖSTA LINDVALL

Adress: Geohydrologiska forskningsgruppen
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Tel. 031/ 772 21 51

FÖRORD

Denna rapport utgör den tredje och sista i serien inom forskningsprojektet "Energiförluster i ledningsbrunnar" vid institutionen för vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, med ekonomiskt stöd från Statens råd för byggnadsforskning. Den första rapporten innehöll en litteraturinventering och hade nr 65 i Geohydrologiska forskningsgruppens rapportserie, den andra behandlade energiförluster i brunnar vid stationär strömning och hade nr 81. Föreliggande rapport handlar om energiförluster vid icke-stationär strömning.

Författaren tackar tekn. dr. Sven Lyngfelt och civ.ing. Jan Forsberg för värdefulla synpunkter under arbetets gång samt ing. Bengt Carlsson som på ett förtjänstfullt sätt svarade för elektroniken i mätningarna.

Gösta Lindvall

ENERGIFÖRLUSTER I LEDNINGSBRUNNAR.
LABORATORIEMÄTNINGAR VID ICKE-STATIONÄR STRÖMNING.

INNEHÅLL

Förord.

Sammanfattning.

	sida
1. Bakgrund.	1
2. Laboratiemodell.	5
3. Mätningar.	6
4. Resultat.	8
4.1 Inverkan av nivåändringens tidsförlopp.	8
4.2 Inverkan av flödes- kontra nivåändring.	15
4.3 Inverkan av brunsväggens råhet.	15
5. Slutsatser.	15

Referenser

SAMMANFATTNING

Energiförluster vid strömning genom nedstigningsbrunnar kan ha väsentligt reducerande effekt på kapaciteten i dagvattensystem. Mätningar har tidigare gjorts vid Vattenbyggnadslaboratoriet, CTH, för bestämning av förlusterna i helt fyllda ledningar vid strikt stationär strömning. Vid vissa flödessituationer, t.ex. inom ett speciellt djupområde vid rak genomströmning utan sidoleddning, uppkommer strömningsmönster som medför flerdubbling av förlusterna. Eftersom det bör ta en viss tid innan dessa strömningsmönster etablerats har det känts angeläget att komplettera de tidigare undersökningarna med mätningar vid icke stationär strömning.

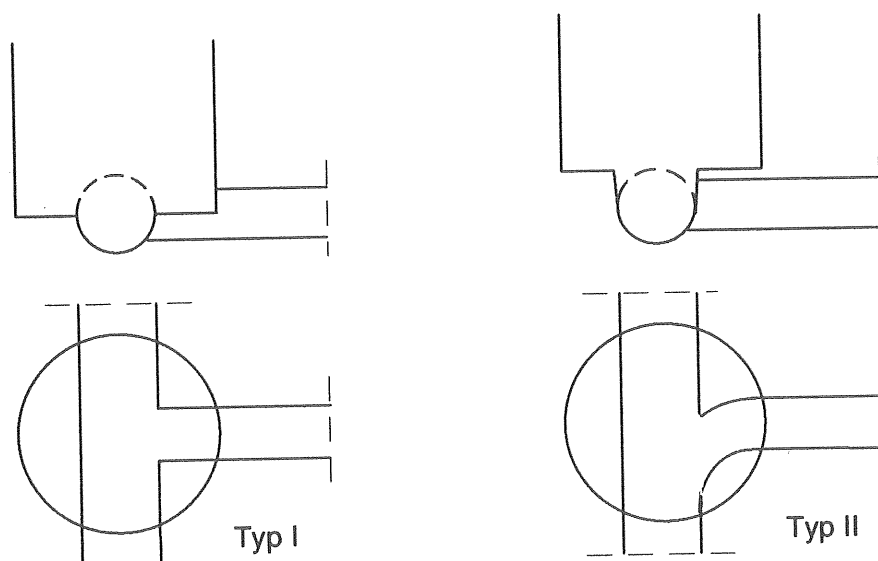
De icke-stationära mätningarna gjordes i samma laboratiemodell som de stationära mätningarna med vissa modifieringar. Nivåavläsningar med vattenståndsrör ersattes med elektroniska tryckgivare, en direktavläsande flödesmätare installerades i nedströmsledningen och mätvärdena insamlades och utvärderades med hjälp av dator.

Resultaten av mätningarna visar att det tar 20-30 sekunder i modellen, dvs 30-45 sekunder i verkligheten, innan det ovan beskrivna strömningsmönstret är etablerat i brunnen. Detta är en kort tid i jämförelse med tidsskalan i normala flödeshydrografer, men det kan vara viktigt att känna till att man under vissa förhållanden kortvarigt kan ha endera av två helt olika förlustkoefficienter för strömningen genom brunnen.

1. BAKGRUND

Knutpunktsförluster, dvs energiförluster vid strömning genom ledningsbrunnar, har en betydande inverkan på transportkapaciteten i ett ledningssystem, särskilt då ledningarna går helt fyllda, eftersom förlusten i varje brunn då adderas uppströms.

I en tidigare rapport (LINDVALL, 1986) redovisades resultaten av laboratoriemätningar vid vattenbyggnadslaboratoriet, CTH. Mätningarna omfattade de två vanligaste flödesfallen: rak genomströmning med och utan en 90° sidoledning. Två olika brunnstyper studerades; en typ med vallningsdjup lika med halva ledningsdiametern och med rak och skarp anslutning av sidoledningen (typ I) och en typ utformad enligt AMA med vallningsdjupet lika med ledningsdiametern och med mjukt rundad anslutning av sidoledningen (typ II), se figur 1.



Figur 1. De i tidigare undersökningarna studerade brunnstyperna.

I mätningarna varierades brunnsdiameter, sidoledningsdiameter och vattendjup. På vedertaget sätt definierades förlustkoefficienten KH som skillnaden mellan uppströms och nedströms trycknivå dividerad med hastighetshöjden i nedströmsledningen

$$KH = \frac{2g}{v^2} \Delta H$$

där ΔH är det vertikala avståndet mellan de till brunnscentrum extrapolerade trycklinjerna.

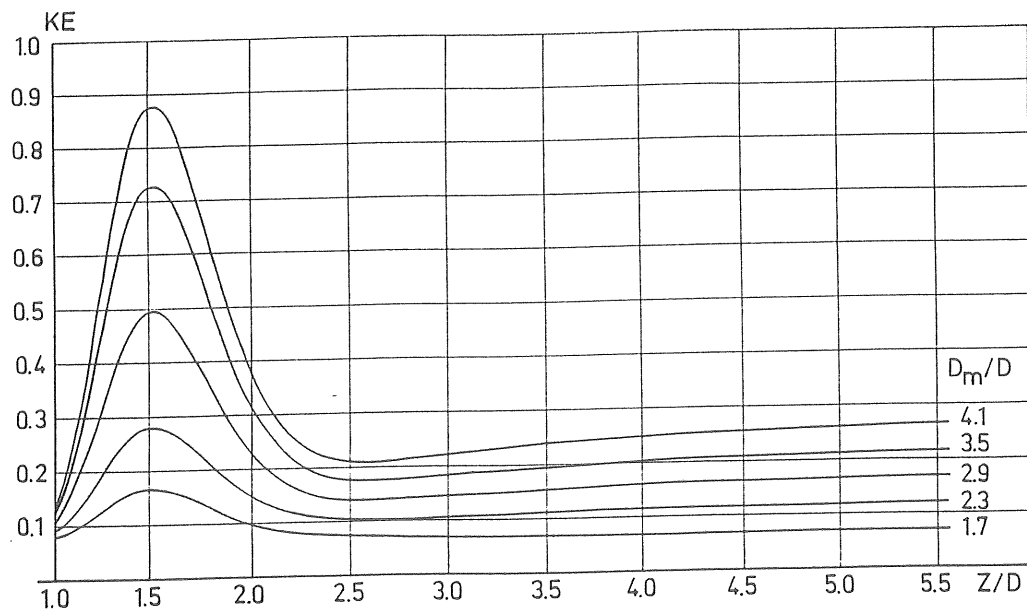
Observera att KH och ΔH refererar till tryckskillnader; energiförlusten skiljer sig från tryckskillnaden om hastigheterna är olika i uppströms och nedströms ledning.

Vattenströmningen genom en diskontinuitet i form av en nedstigningsbrunn sker i flera olika mönster beroende på brunnsform, vattendjup, flödeshastigheter och flödesfördelning. Till strömningen i huvudströmningsriktningen/-arna adderas förutom turbulenta fluktuationer rotationsströmmar och massvängningar i olika riktningar. Varje strömningsmönster resulterar i ett visst värde på energiförlustkoefficienten. Ett intressant resultat från den ovan relaterade undersökningen gällde fallet rak genomströmning utan sidoledning. Inom ett visst djupområde, $1,0 < y/D < 2,5$ (D = ledningsdiametern), uppstod en markant ökning av förlusten; större vid brunnstyp I än vid typ II och ökande med förhållandet mellan brunnsdiameter och ledningsdiameter (dvs i realiteten minskande ledningsdiameter), se figur 2. Det normala strömningsmönstret i brunnen är en måttlig expansion av strålen från inströmningen. När övre delen av strålen träffar nedströmsväggen uppstår en svag, symmetrisk returström med liten inverkan på genomströmningen och måttliga förluster. I det ovan angivna djupintervallet inträder emellertid en osymmetri i returströmningen med påföljd att en horisontell rotationsrörelse uppkommer och energiförlusten ökar markant. Ett annat strömningsmönster i ungefär samma djupintervall, och ofta i kombination med det ovan beskrivna, är massvängningar vinkelrätt strömningsriktningen.

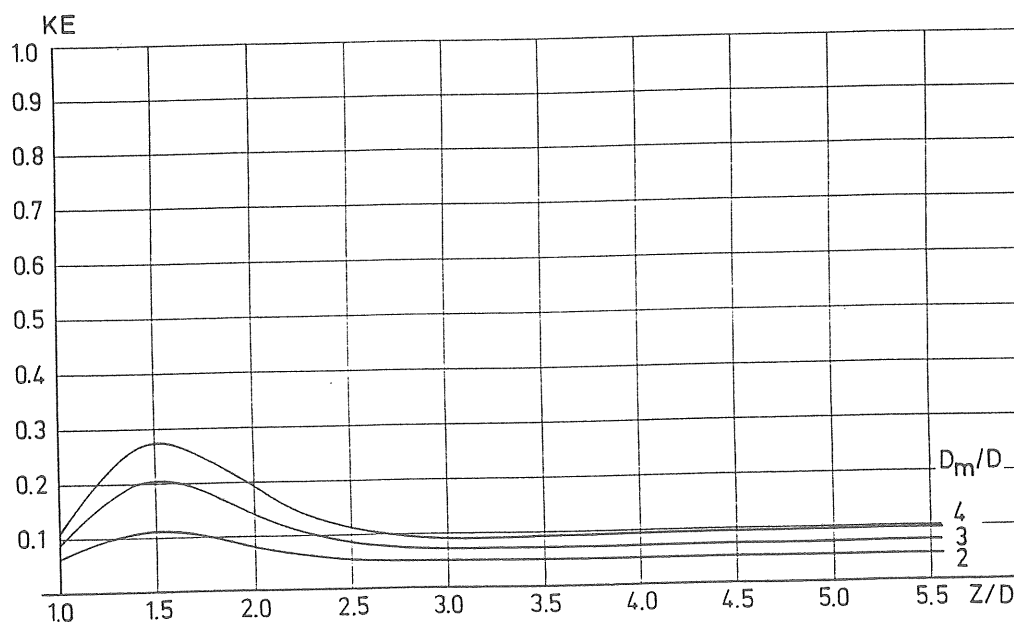
Liknande resultat som ovan kan man utläsa av rådata från mätningar vid några andra laboratorier; resultat i den form som presenteras i figur 2 och 3 märkligt nog inte framtagna i respektive rapporter (LIEBMANN, 1970 och ARCHER, m.fl., 1978), se figur 3 (begränsat mätmaterial).

De ovan relaterade mätningarna gjordes genomgående under strikt stationära flödesförhållanden; avläsningarna vid mätningarna vid CTH gjordes 10-15 min efter en ändring av flödet eller nivån för att det "representativa" strömningsmönstret och motsvarande trycknivåer skulle etableras i hela ledningssystemet. Helt stationära förhållanden existerar inte i verkligheten och det har därför känts viktigt att kontrollera hur en variation i tiden av flöde och nivå inverkar på strömningsmönster och energiförluster. Eftersom det ovan beskrivna strömningsmönstret har stor inverkan på energiförlusterna valdes detta som exempel i försök att bestämma tidsåtgången för etableringen och för att belysa effekterna av fördröjningen.

Föreliggande rapport redovisar sålunda resultat av mätningar vid icke stationära förhållanden för fallet rak genomströmning utan sidoledning och helt fyllda ledningar.

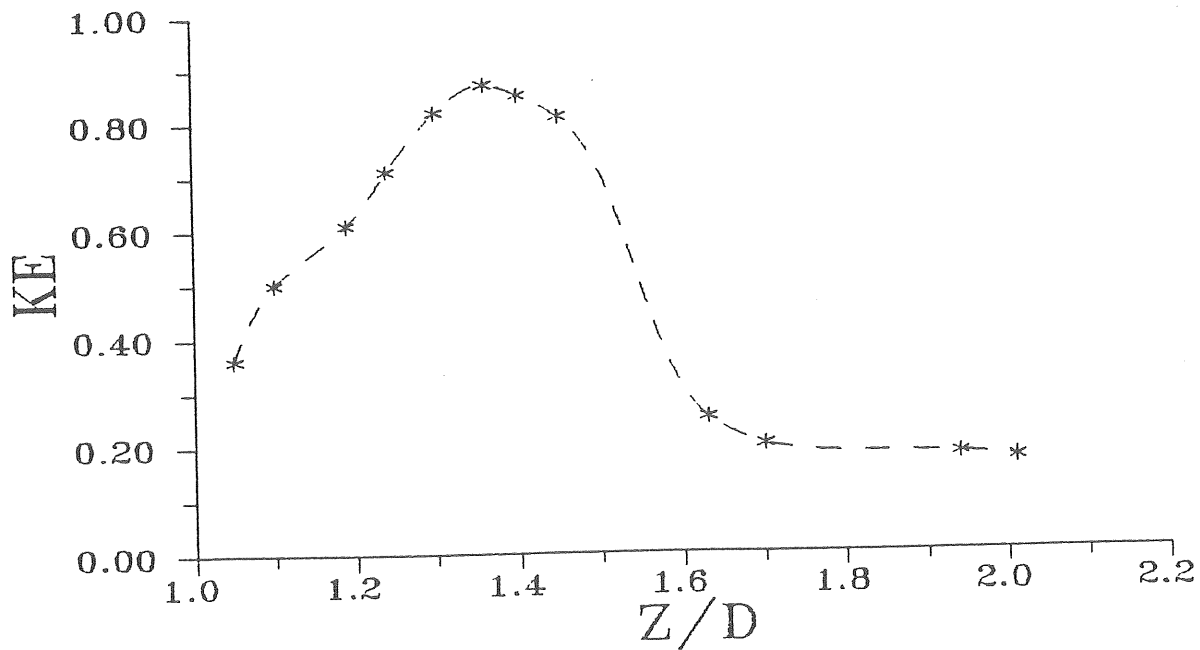


a) Brunnstyp I

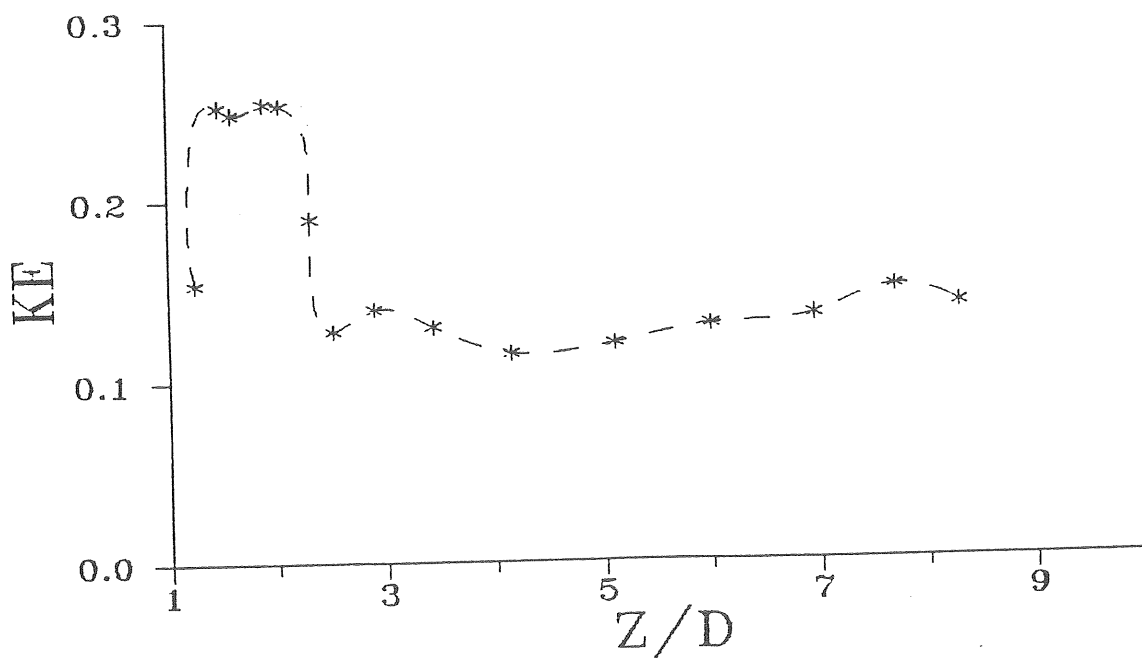


b) Brunnstyp II.

Figur 2. Energiförlustkoefficient, KE, som funktion av vattendjup, Z/D , och brunnsdiameter, D_m/D , enligt egna mätningar. a) Brunnstyp I. b) Brunnstyp II



a) Liebmann. Brunnstyp I, brunnsdiameter 3.3D.

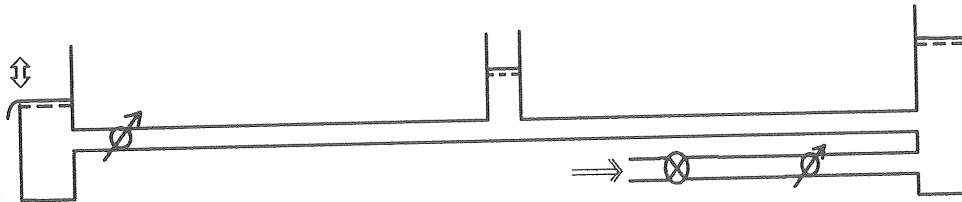


b) Archer m fl. Brunnstyp I, brunnsdiameter 4.8D

Figur 3. Energiförlustkoefficient, KE, som funktion av vattendjupet, Z/D, enligt a) Liebmann b) Archer m fl.

2. LABORATORIEMODELL

Mätningarna gjordes i samma modell som de med stationär strömning, se figur 4. Ledningsdiametern är 0,144 m och ledningslängderna uppströms och nedströms brunnen är 12,0 m resp 16,5 m. I både uppströms- och nedströmsänden är ledningen ansluten till lugningsbassänger med ytan $1 \times 1 \text{ m}^2$. Nedströmsbassängen är försedd med ett rörligt skibord för reglering av vattennivån i brunnen. Både skibordet och tillflödesventilen manövreras manuellt.



Figur 4. Laboriemodell.

Mättekniken måste anpassas för icke stationära förhållanden. För att få en direktavläsning av flödet i nedströmsledningen installerades i nedströmsänden av denna en elektromagnetisk flödesmätare (fabr. Danfoss). Det är en typ av mätare som har ett rakt, fritt genomlopp och som ger en utsignal som är proportionell mot flödet. Mätaren kalibrerades mot den turbinmätare som installerats i tillloppsledningen till modellen, varvid avvikelser i enskilt mätvärde var mindre än 1 %.

Tryckmätningarna gjordes med elektroniska tryckgivare (fabr. Kavlico). Antalet mätare begränsades till fyra, på uppströmssidan placerade 2,0 m och 12,0 m från brunnen, på nedströmssidan 2,0 m och 10,0 m. Från dessa mätare extrapolerades trycklinjerna linjärt till brunnscentrum. Mätarna kalibrerades med hjälp av vattenståndsrör inför varje mätomgång eftersom både absolutnivå och linearitet påverkar resultatet. Maxavvikelsen från regressionslinjen vid varje tillfälle var ungefär 0,5 mm, dvs lika med avläsningsnoggrannheten av vattenståndet. Detta borde innebära att mät noggrannheten vid de icke-stationära mätningarna var ungefär lika med den vid de stationära.

Nivåmätningen i brunnen gjordes med hjälp av en ekolodsmätare (fabr. Cerlic), vars tidskonstant justerades till ungefär tre sekunder. Fördelarna med ett ekolod i det här fallet är att mätningen är beröringsfri och att den avlästa nivån representerar en viss yta; uppskattningsvis en cirkel med diametern 7 cm. Ekolodets noggrannhet var sämre än tryckgivarnas men ändå fullt tillräcklig med hänsyn till den oroliga vattenytan i brunnen i det intressanta djupområdet.

Datainsamlingen vid mätningarna gjordes med hjälp av PC och mätprogrammet Labtech Notebook.

3. MÄTNINGAR

De i denna rapport redovisade mätningarna gjordes på en brunn av typ I med diametern 3,6D, ungefär motsvarande en $\phi 300$ -ledning genom en $\phi 1000$ -brunn, dvs en brunn där de stationära mätningarna visat stora variationer av energiförlusten med djupet.

Det enklaste sättet att skapa en vattenståndsvariation i brunnen var att höja eller sänka nedströmsskibordet; att åstadkomma tillräckligt stor variation endast med hjälp av flödesvariationer var omöjligt pga nedströmsledningens begränsade längd och den försämrade mätnoggrannheten vid låga flöden (små förluster). Nackdelen med förfarandet var att orealistiska flödessituationer simulerades: samtidigt som nivån steg minskade flödet och vice versa. Det är emellertid inte troligt att detta har någon betydelse eftersom strömningsmönstret i brunnen och därigenom förlusternas storlek enbart bör bero på skillnaden i tillflöde till och avrinning från brunnen, oavsett om ändringen kommer uppströms eller nedströms ifrån. Dock gjordes några mätningar där tillflödet reglerades för hand så att det låg i fas med nivåändringen.

De speciella strömningsmönster som ger de kraftiga ökningarna av energiförlusterna inom ett visst djupområde karakteriseras av stora partikelhastigheter utefter brunnsväggarna. Modellbrunnarna är gjorda av PVC, vilket innebär en hydrauliskt glatt yta. Jämförande mätningar gjordes därför med förhöjd råhet på väggarna och på den plana botten. Den åstadkomna råheten bedömdes vara något större än den skalenligt borde vara.

I detta sammanhang är det intressant att diskutera tidsskalan i modellundersökningen vad avser det speciella strömningsmönster som ger de kraftigt förhöjda energiförlusterna. Froudes modellregler skall tillämpas då gravitationskrafterna dominerar tillsammans med tröghetskrafterna och tidsskalan är då roten ut längdskalan. Reynolds' modellregler är tillämpliga då friktionskrafterna dominerar och tidsskalan är då kvadraten på längdskalan. Det skiljer alltså kraftigt i tidsskala beroende på vilka krafter som dominerar förloppet. Det kan tyckas att uppkomsten och upphävandet av en horisontell rotation inte så mycket kan påverkas av en vertikal kraft. Mätningarna visar emellertid att övergången mellan rotation/icke rotation sker på några sekunder och detta kan knappast åstadkommas av viskösa krafter. Froudes modellregler bör alltså gälla, och tidsskalan är då i vårt fall ungefär $1: \sqrt{2}$.

Mätningarna gjordes med en samplingsfrekvens av 5 Hz, dvs varje givare lästes fem ggr/sek. Vid utvärderingen filtrerades rådata med ett löpande medelvärde på 15 värden, motsvarande tre sekunder.

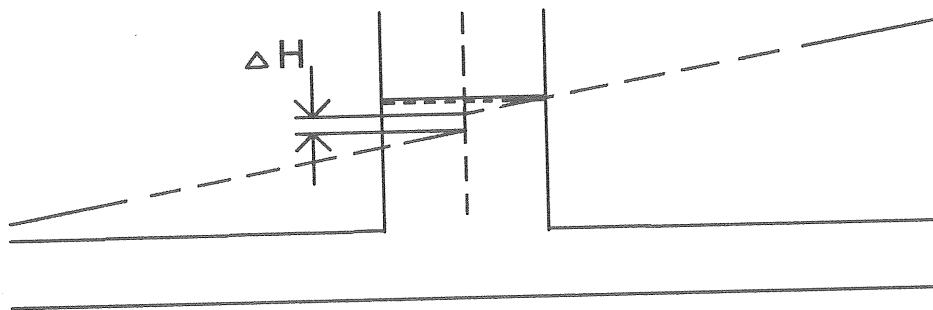
Tryckskillnaden ΔH definieras som det vertikala avståndet mellan de till brunnscentrum extrapolerade trycklinjerna uppströms och nedströms brunnen, se figur 5. Tryckskillnadskoefficienten KH definieras ur

$$KH = \frac{2g}{v^2} \Delta H \quad \text{där } v \text{ är hastigheten i nedströmsledningen}$$

Det är endast vid stationär strömning och med samma ledningsdiameter uppströms och nedströms, som energiförlusten är lika stor som tryckskillnaden. I den här undersökningen är det energiförlusten som är intressant att jämföra vid stationär resp. icke-stationär strömning. Energiförlustkoefficienten KE förhåller sig till KH enligt

$$KE = KH + (Q_u/Q)^2 - 1 \quad \text{där } Q_u \text{ och } Q \text{ är flödet i uppströms- resp. nedströmsledningen}$$

Q_u beräknades som summan av Q och magasineringen i brunnen per tidsenhet, vilken vid utvärderingen har beräknats som medelmagasineringen under två sekunder.



Figur 5. Definition av ΔH .

4. RESULTAT

4.1. Inverkan av nivåändringens tidsförlopp.

Avsikten med mätningarna var att studera tidsåtgången i etablerandet av det strömningsmönster i brunnen som ger en kraftig ökning av förlusterna och belysa effekterna av fördröjningen.

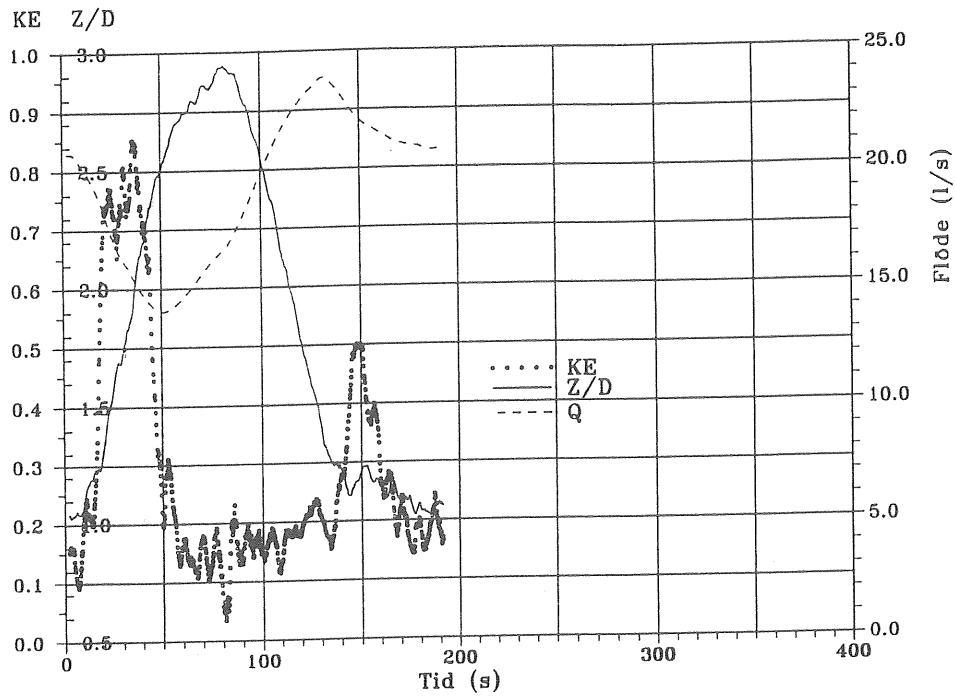
Figur 6a visar en mätning där vattennivån i brunnen (heldragen linje) först ökat från strax över röhjässan till ungefär 2D över hjässan på 80 sek och därefter avtagit i ungefär samma takt till strax över hjässan. Flödet i nedströmsledningen under samma tid visas som streckad linje. De beräknade värdena på energiförlusten, KE, är också plottade som funktion av tiden.

Om KE i stället plottas som funktion av djupet i brunnen, Z/D , får man ett resultat som visas i fig 6b, där mätförloppet visas med pilar. Som jämförelse är medelkurvan för mätningarna vid stationär strömning inlagd (heldragen linje). Man ser då att det strömningsmönster som förknippas med stora förluster etableras omedelbart och sedan ligger kvar till det att vattendjupet är ungefär 2.3D, dvs klart längre än det skulle gjort vid stationär strömning. Vid $Z > 2.5D$ är strömningsmönstret det normala med låga förluster och detta mönster bibehålls när vattendjupet sjunker för att hinna slå om igen vid $Z = 1.2D$. Resultatet blir alltså att förlustkoefficienten vid icke-stationär strömning kan anta två olika värden för samma vattendjup.

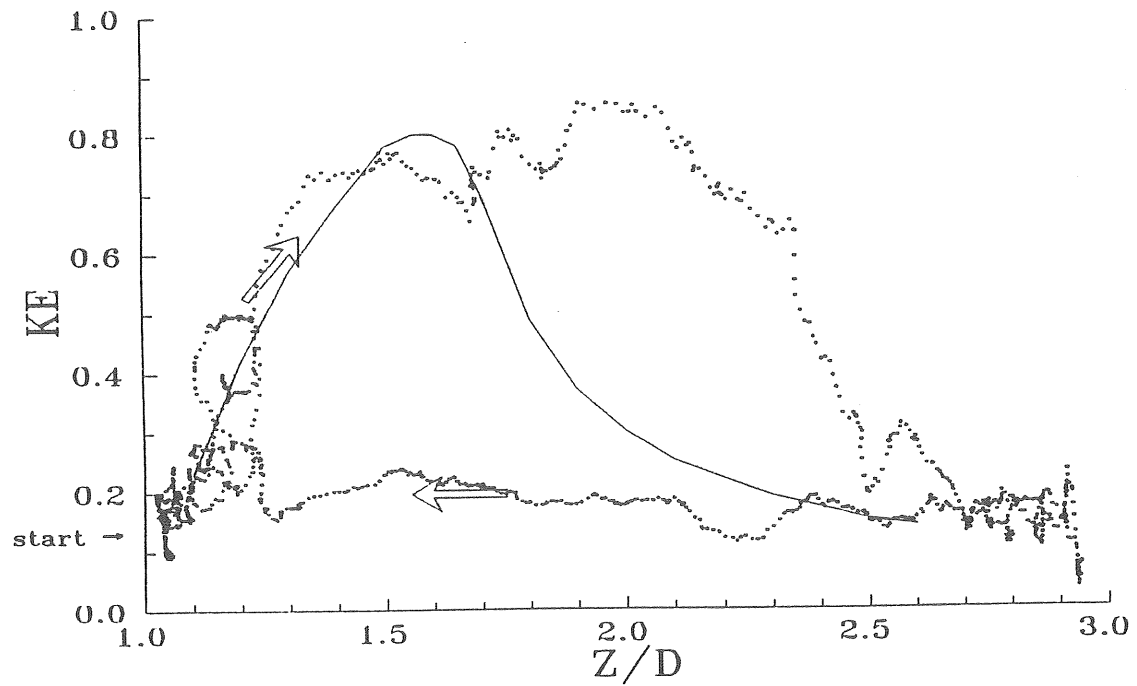
Om samma vattenståndsändringar görs på ungefär dubbla tiden fås resultat enligt figur 7a och 7b där man ser att omslagen mellan de olika strömningsmönstren ligger närmare de djup som gäller vid stationär strömning.

Figur 8a och 8b visar försök i omvänd ordning, dvs där starten skett vid stort djup och normalt strömningsmönster. Vid sänkning av vattendjupet ner till 1.2D och därefter ökning till 2.5D får man i stort sett samma resultat som i figur 6a och 6b. Försök med dubbla tidsförloppet, figur 9a och 9b ger samma närmande till det stationära förloppet som i figur 7a och 7b.

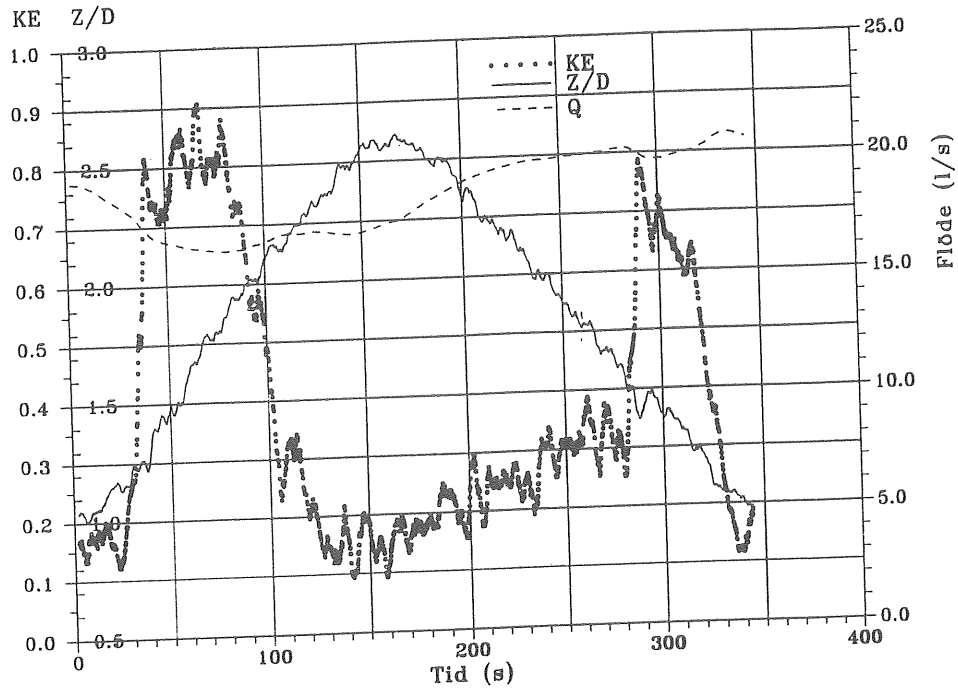
Mätningarna visar alltså att det tar en viss tid att ändra strömningsmönstret i brunnen och att detta leder till att förlustkoefficienten kan anta två helt olika värden inom det aktuella djupområdet. Storleken av detta djupområde beror på hur snabbt vattendjupet avtar/ växer, dvs på brantheten i hydrografen. Den exakta tidsåtgången för ändringen är svår att beräkna, eftersom det även vid stationär strömning finns ett övergångsområde för djupet vid maximala förluster och normala. Tidsåtgången tycks ligga kring 20-30 sekunder, vilket med en tidsskala på ungefär $\sqrt{2} = 1.4$ (Froudes modellregel, se ovan) skulle innebära 30-45 sekunder i verkliga ledningssystem.



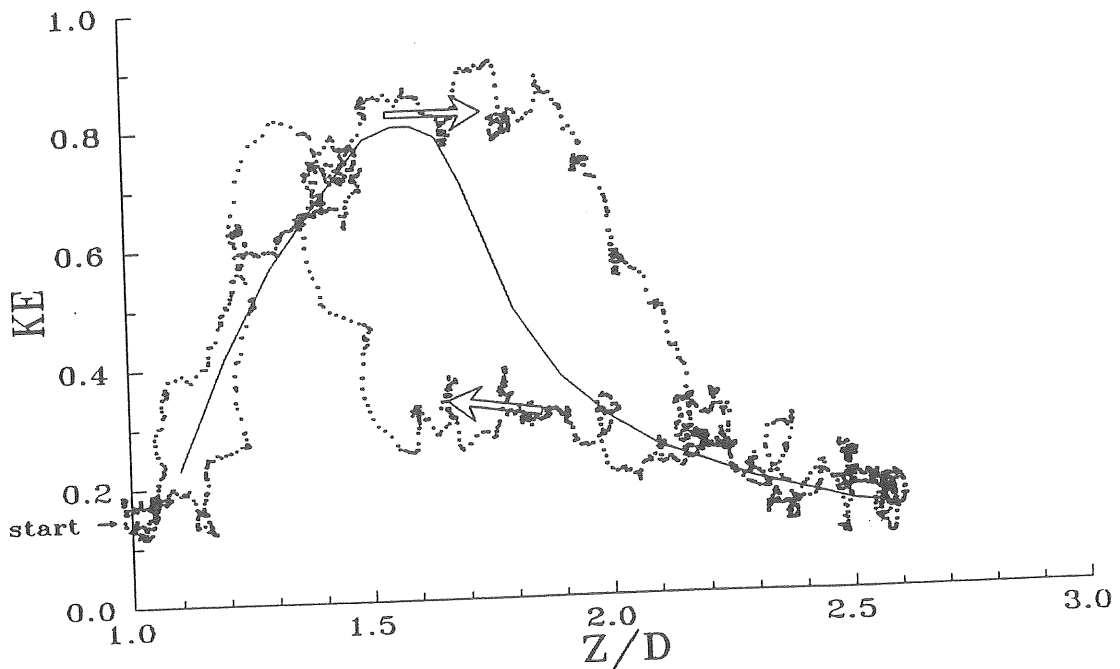
Figur 6a. Exempel på mätning med start vid lågt vattendjup - ökning till 3.0D - minskning till 1.0D.



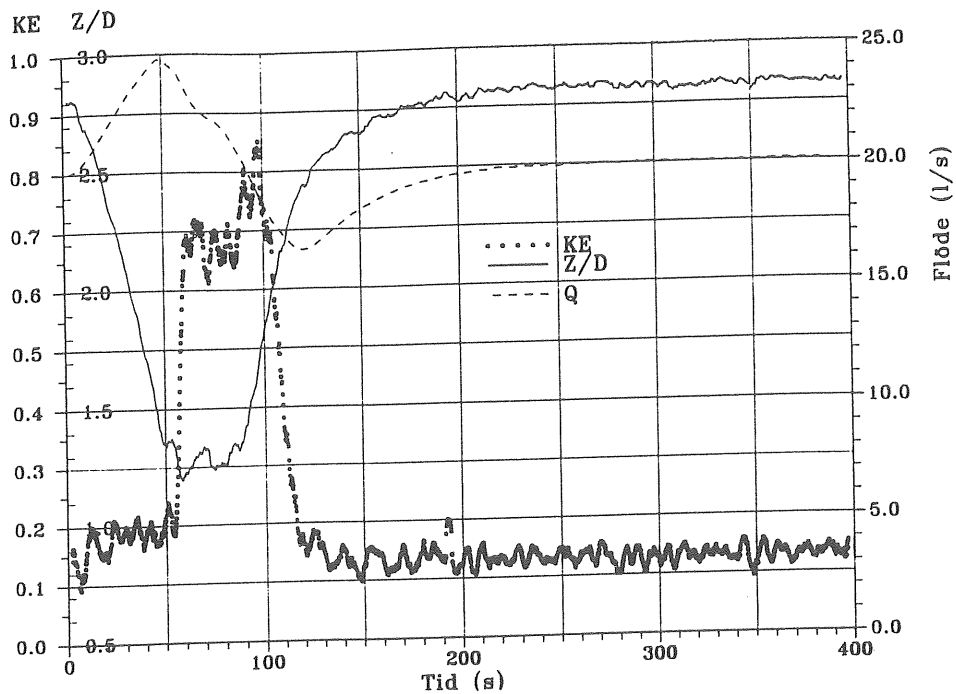
Figur 6b. Energiförlustkoefficient, KE, som funktion av relativa djupet, Z/D, för flödesförloppet i figur 6a. Heldragen linje visar medelkurva för mätningarna med stationär strömning.



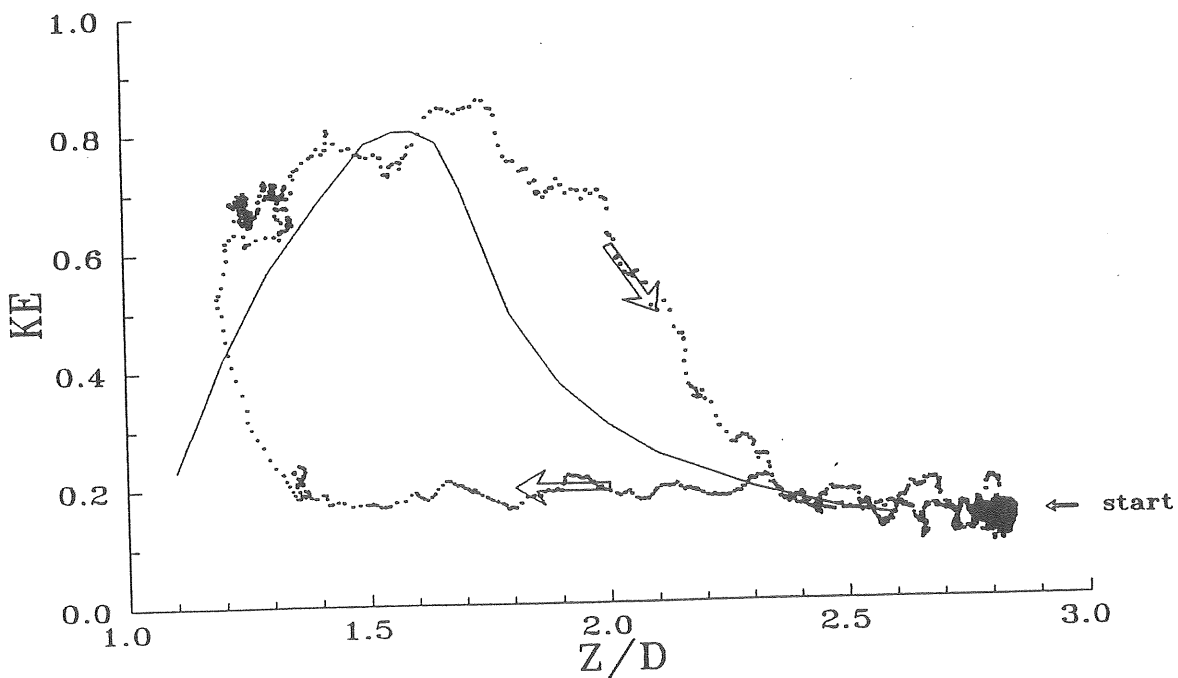
Figur 7a. Samma mätning som i figur 6a, men med dubbla tidsförloppet.



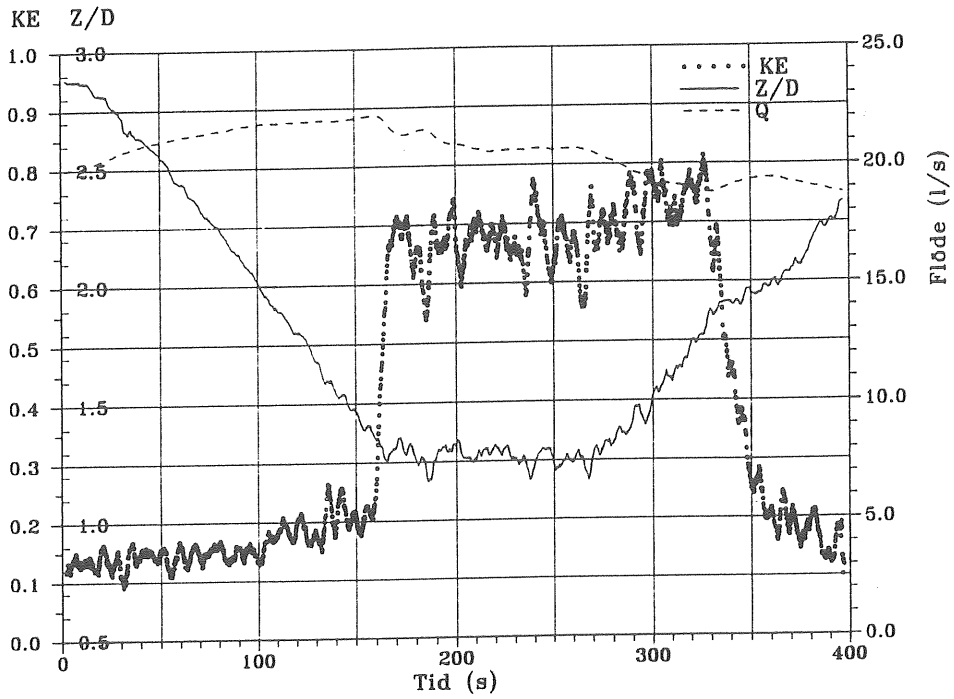
Figur 7b. Energiförlustkoefficient, KE, som funktion av relativa djupet, Z/D, för flödesförloppet i figur 7a. Heldragen linje visar medelkurva för mätningarna med stationär strömning.



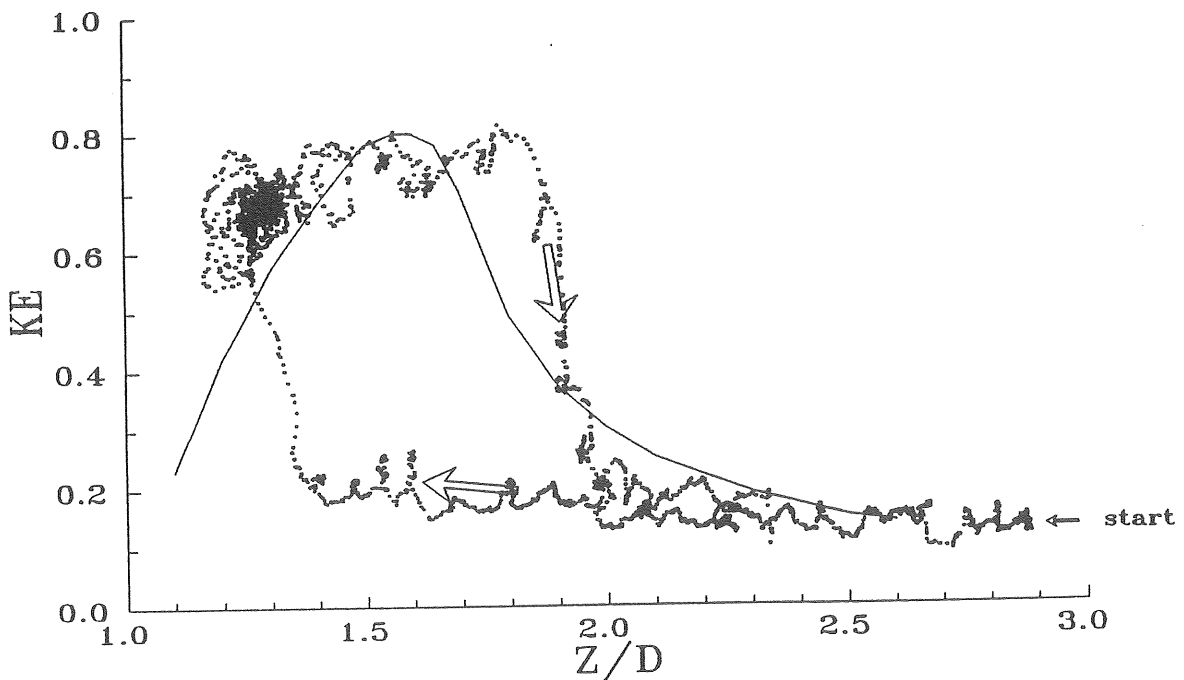
Figur 8a. Exempel på mätning med start vid stort djup - minskning till 1.2D-
ökning till 2.8D.



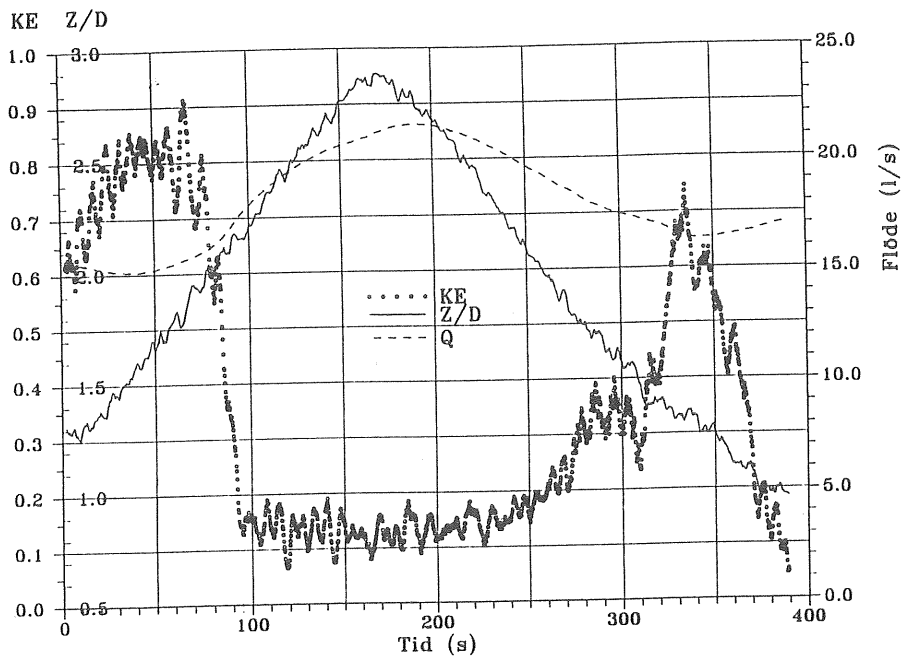
Figur 8b. Energiförlustkoefficient, KE, som funktion av relativa djupet, Z/D,
för flödesförloppet i figur 8a. Heldragen linje visar medelkurva för
mätningarna med stationär strömning.



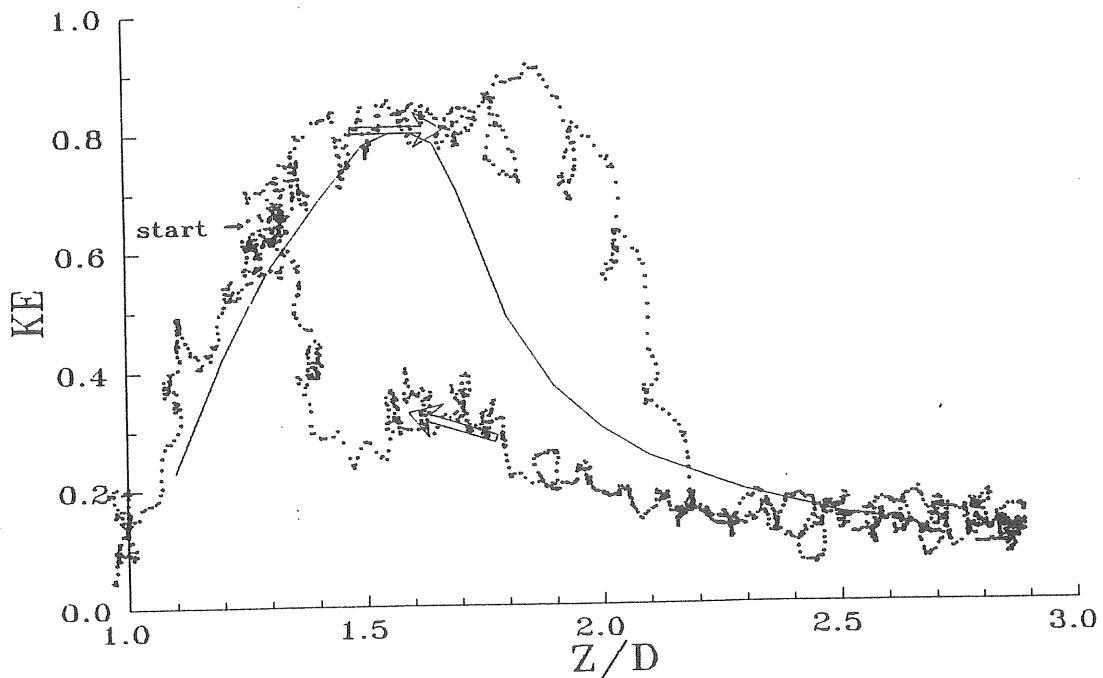
Figur 9a. Samma mätning som i figur 8 men med dubbla tidsförloppet.



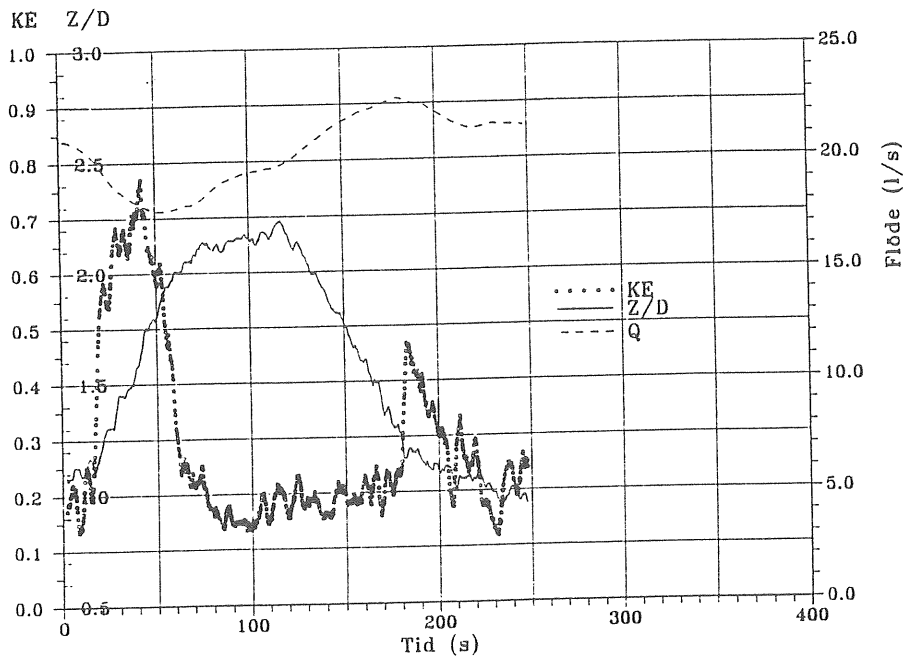
Figur 9b. Energiförlustkoefficient, KE , som funktion av relativa djupet, Z/D , för flödesförloppet i figur 9a. Helt dragen linje visar medelkurva för mätningarna med stationär strömning.



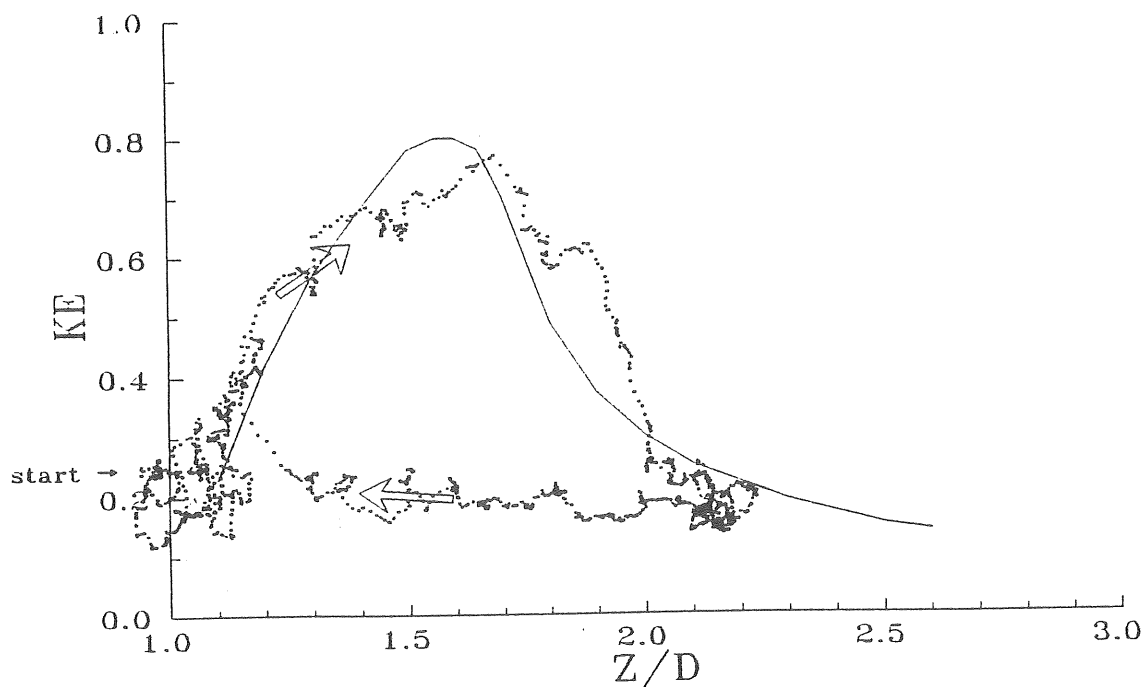
Figur 10a. Samtidig reglering av tillflöde och nivå.



Figur 10b. Energiförlustkoefficient, KE , som funktion av vattendjup, Z/D , för flödesförloppet i figur 10a. Heldragen linje visar medelkurva för mätningarna med stationär strömning.



Figur 11a. Mätning med ökad väggråhet i brunnen.



Figur 11b. Energiförlustkoefficient, KE, som funktion av vattendjup, Z/D, vid flödesförloppet i figur 11a. Heldragen linje visar medelkurva för mätningarna med stationär strömning.

4.2 Inverkan av flödes- kontra nivåändring.

Det försöksmässigt enklaste sättet att åstadkomma en nivåvariation i brunnen var naturligtvis att enbart reglera nivån i nedströmsänden med skibordet. Detta leder emellertid till ett naturligt samband mellan flödes- och nivåvariationer: normalt stiger och sjunker nivån i takt med flödet, här blir effekten den motsatta. Figur 10 visar en mätning där tillflödet reglerades samtidigt som nivån i nedströmsänden. Resultatet skall jämföras med mätningen i figur 7 och som synes är det inga märkbara, principiella skillnader.

4.3 Inverkan av brunnsväggens råhet.

Modelledningen inklusive brunnen var gjord av PVC, dvs med så slät yta att strömningen blir hydrauliskt glatt vilket inte är fallet i prototypen. Eftersom de strömningsmönster som ger förhöjda energiförluster bl. a kännetecknas av högre partikelhastigheter utefter brunnsväggen, bör friktionen ha viss betydelse. Tilläggsförsök gjordes därför med förhöjd råhet på brunnsväggen. Råheten ökades med hjälp av limmad sand och bedömdes bli något större än den skalenligt skulle vara. Figur 11 visar ett typiskt resultat och kan jämföras med figur 6. Friktionen reducerar eller eliminerar tidsförskjutningen när det gäller att ta bort det speciella strömningsmönstret när djupet ökar mot 2D och bromsar möjligen uppkomsten av mönstret när djupet minskar igen.

5. SLUTSATSER.

Vid rak genomströmning i en brunn utan sidoleddning uppstår inom ett visst intervall av vattendjupet i brunnen, ungefär 1.1-2.1 ggr ledningsdiametern, ett sådant strömningsmönster att förlustkoefficienten flerdubblas. Detta mönster valdes i denna undersökning som exempel för att studera hur lång tid som åtgår för etableringen och för att belysa effekterna av en fördröjning.

Exakt etableringstid är svår att bestämma, eftersom det även vid stationär strömning finns ett övergångsområde för vattendjupet mellan de olika strömningstillstånden, men den är i modellskala uppskattad till 20-30 sekunder. Om Froudes modellagar anses gälla, blir motsvarande tid i verkligheten 30-45 sekunder, dvs en relativt kort tid i jämförelse med normala hydrografers tidsförlopp. *Detta innebär att de resultat som tidigare erhållits i de ganska omfattande mätningarna vid stationära förhållanden bör vara användbara med undantag endast för mycket kortvariga förlopp.*

Fördröjningen i skiftet av strömningsmönster leder till att förlustkoefficienten kan anta två helt olika värden i det angivna djupområdet. I ett avloppsnät där ledningarna går helt fyllda varierar vattennivåerna snabbare än i ett delfyllt system. Flödet kan bli instabilt om förlusterna varierar med vattendjupet i brunnen (på samma sätt som vid luftinsugning via brunnen vid vattendjup kring hjässnivån). Om fördröjningen av ökningen av förlusterna är större än den vid minskning, som försöken med förhöjd råhet pekar på, leder detta till att instabiliteten motverkas.

REFERENSER

ARCHER, B., BETTES, F., COLYER, P.J., 1978: Head losses and air entrainment at surcharged manholes. Report No. IT 185, Hydraulics Research Station, Wallingford, England

LIEBMANN, H., 1970: Der Einfluss von Einsteigschächten auf den Abflussvorgang in Abwasserkanälen. Wasser und Abwasser in Forschung und Praxis. Erich Schmidt Verlag.

LINDVALL, G., 1982: Energiförluster i ledningsbrunnar. Litteraturstudie. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande nr 65, Göteborg.

LINDVALL, G., 1986: Energiförluster i ledningsbrunnar. Laboratoriemätningar. Chalmers tekniska högskola, Geohydrologiska forskningsgruppen. Meddelande nr 81, Göteborg.

Institutionerna för
Geologi
Geoteknik med grundläggning
Vattenbyggnad
Vattenförsörjnings- och avloppsteknik

GEOHYDROLOGISKA
FORSKNINGSGRUPPEN

Meddelande:

- nr 1 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1972-07-01 - 1973-03-01). 1973. 100 sidor. (Utgången)
- nr 2 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 1. Evaluering av akviferers geohydrologiska data med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 67 sidor.
- nr 3 Leif Carlsson: Grundvattenavsänkning Del 2. Evaluering av lågpermeabla lagers hydrauliska diffusivitet med hjälp av provpumpningsdata. 1973. 17 sidor.
- nr 4 Viktor Arnell: Nederbördsräknare. En sammanställning av några olika mätartyper. 1973. 39 sidor. (Utgången)
- nr 5 Viktor Arnell: Intensitets-varaktighetskurvor för häftiga regn i Göteborg under 45-årsperioden 1926-1971. 1974. 68 sidor.
- nr 6 Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Lägesrapporter (1973-03-01 - 1974-02-01). 1974. 167 sidor.
- nr 7 Olov Holmstrand, Per O Wedel: Ingenjörsgelogiska kartor - litteraturstudier. 1974. 55 sidor. (Utgången)
- nr 8 Anders Sjöberg: Interim Report. Mathematical Models for Gradually Varied Unsteady Free Flow. Development and Discussion of Basic Equations. Preliminary Studies of Methods for Flood Routing in Storm Drains. 1974. 74 sidor. (Utgången)
- nr 9 Olov Holmstrand (red.): Seminarium om ingenjörsgelogiska kartor. 1974. 38 sidor. (Utgången)
- nr 10 Viktor Arnell, Börje Sjölander: Mätning av nederbördsintensiteter i Göteborgsregionen. Stationsbeskrivning. 1974. 53 sidor. (Utgången)
- nr 11 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Dagvattnets beskaffenhet och egenskaper. Sammanställning av utförda dagvattenundersökningar i Stockholm och Göteborg 1969-1972. Engelsk sammanfattning. 1974. 46 sidor. (Utgången)
- nr 12 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Interimrapport. Beräkningsmodell för simulering av dagvattenflöde inom bebyggda områden. Geohydrologiska forskningsgruppen i samarbete med VA-verket i Göteborg. 1975. 50 sidor.
- nr 13 Viktor Arnell, Sven Lyngfelt: Nederbörds-avrinningsmätningar i Bergsjön, Göteborg 1973-1974. 1975. 92 sidor.
- nr 14 Per-Arne Malmquist, Gilbert Svensson: Delrapport. Dagvattnets sammansättning i Göteborg. Engelsk sammanfattning. 1975. 73 sidor.
- nr 15 Dagvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 33 sidor. Följande uppsatser ingår:
Arnell V. Beräkningsmetod för analys av dagvattenflödet inom ett urbant område.
Lyngfelt S. Nederbörds-avrinningsstudier i Bergsjön, Göteborg.
Sjöberg A. CTH-ledningsnätmodell DAGVL-A.
Svensson G. Dagvattnets sammansättning, inverkan av urbanisering. (Utgången)
- nr 16 Grundvatten. Uppsatser presenterade vid konferens om urban hydrologi i Sarpsborg 1975. 1976. 43 sidor. Följande uppsatser ingår:
Andréasson L, Cederwall K. Rubbningar av grundvattenbalansen i urbana områden.
Carlsson L. Djupinfiltration i slutna akviferer.
Torstensson B-A. Följder av grundvattensänkning inom lerområden.
Wedel P. Exempel på dränering av jordlager på grund av tunnelbyggande. (Utgången)
- nr 17 Olov Holmstrand, Per Wedel: Markvattenundersökningar i ett urbant område. 1976. 127 sidor.
- nr 18 Göran Ejdeling: Beräkningsmodeller för prognos av grundvattenförhållanden. 1978. 130 sidor.
- nr 19 Viktor Arnell, Jan Falk, Per-Arne Malmquist: Urban Storm Water Research in Sweden. 1977. 30 sidor.
- nr 20 Viktor Arnell: Studier av amerikansk dagvattenteknik. Resa i december 1976. 1977. 64 sidor.
- nr 21 Leif Carlsson: Reserapport från studieresa i USA samt deltagande i 2nd International Symposium on Land Subsidence in Anaheim, USA. 29 nov-17 dec 1976. 1977. 61 sidor.

- nr 22 Per O Wedel: Grundvattenbildning, samspelet jordlager och berggrund. Exemplifierat från ett försöksområde i Angered. 1978. 130 sidor.
- nr 23 Viktor Arnell: Nederbördsdata vid dimensionering av dagvattensystem med hjälp av detaljerade beräkningsmodeller. En inledande studie. 1977. 29 sidor.
- nr 24 Leif Carlsson, Klas Cederwall: Urbaniseringsprocessens inverkan på ytvattenavrinning och grundvattenbildning. Geohydrologisk forskning vid CTH, Sektion V, under perioden 1972-75. 1977. 17 sidor.
- nr 25 Lars O Ericsson (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport från första verksamhetsåret 1976-02-01 - 1977-01-31. 1977. 120 sidor.
- nr 26 Ann-Carin Andersson, Jan Berntsson: Kontrollerad grundvattenbalans genom djupinfiltration. En inventering av djupinfiltrationsprojekt. 1978. 273 sidor.
- nr 27 Anders Eriksson, Per Lindvall: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Resultatredovisning av enkät rörande drift och konstruktion av perkolationsanläggningar. 1978. 126 sidor.
- nr 28 Olov Holmstrand (red.): Lokalt omhändertagande av dagvatten. Delrapport nr 2 från perioden 1977-02-01 - 1977-11-30. 1978. 69 sidor.
- nr 29 Leif Carlsson: Djupinfiltrationsstudier i Angered. 1978. 70 sidor.
- nr 30 Lars O Ericsson: Infiltrationsprocessen i en dagvattenmodell. Teori, Undersökning, Mätning och Utvärdering. 1978. 45 sidor.
- nr 31 Lars O Ericsson, Permeabilitetsbestämning i fält vid perkolationsmagasin. Dimensionering. 1978. 15 sidor.
- nr 32 Lars O Ericsson, Stig Hård: Infiltrationsundersökningar i stadsdelen Ryd, Linköping. 1978. 145 sidor.
- nr 33 Jan Hällgren, Per-Arne Malmquist: Urban Hydrology Research in Sweden 1978. Swedish Coordinating Committee for Urban Hydrology Research. 1978. 14 sidor.
- nr 34 Bo Lind, Göte Nordin: Geohydrologi och vegetation i Dalen 5, Karlskoga. 1978. 63 sidor.
- nr 35 Eivor Bucht, Bo Lind: Metodfrågor vid naturanpassad stadsplanering - erfarenheter från studie i Karlskoga. 1978. 65 sidor.
- nr 36 Anders Sjöberg, Jan Lundgren, Thomas Asp, Henriette Melin: Manual för ILLUDAS (version S2). Ett datorprogram för dimensionering och analys av dagvattensystem. 1979. 67 sidor.
- nr 37 Per-Arne Malmquist m fl: Papers on Urban Hydrologi 1977-78. 99 sidor.
- nr 38 Viktor Arnell, Per-Arne Malmquist, Bo-Göran Lindquist, Gilbert Svensson: Uppsatser om Dagvattenteknik. 1978. 30 sidor.
- nr 39 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - förutsättningar inom ett bergsområde, Östra Gårdsten i Göteborg. 1979. 32 sidor.
- nr 40 Per-Arne Malmquist (red.): Geohydrologiska forskningsgruppen 1972-78. Sammanställning av uppnådda resultat. 1979. 96 sidor. Kostnadsfri.
- nr 41 Gilbert Svensson, Kjell Øren: Planeringsmodeller för avloppssystem. NIVA-modellen tillämpad på Torslanda avrinningsområde. 1979. 71 sidor.
- nr 42 Per-Arne Malmquist (red.): Infiltrera dagvatten. Diskussioner och figurer från CTH-seminarium 1979-04-20. 1979. 86 sidor.
- nr 43 Bo Lind: Dagvatteninfiltration - perkolationsanläggning i Halmstad. 1979. 58 sidor.
- nr 44 Viktor Arnell, Thomas Asp: Beräkning av bräddvattenmängder. Nederbördens varaktighet och mängd vid Lundby i Göteborg 1921-1939. 1979. 80 sidor.
- nr 45 Stig Hård, Thomas Holm, Sven Jonasson: Dagvatteninfiltration på grönytor - litteraturstudie, kunskapssammanställning och hypotes. 1979. 278 sidor.
- nr 46 Per-Arne Malmquist, Per Lindvall: Dräneringsrörs igensättning - en jämförande laboratoriestudie. 1979. 44 sidor.
- nr 47 Per-Arne Malmquist, Gunnar Lannér, Erland Högborg, Per Lindvall: SÖDRA NÄSET - ett exempel på förenklad utformning av gator och dagvattensystem i ett upprustningsområde. 1980.
- nr 48 Viktor Arnell, Håkan Strandner, Gilbert Svensson: Dagvattnets mängd och beskaffenhet i stadsdelen Ryd i Linköping, 1976-77. 1980.
- nr 49 Lars O Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering, en metod att kartera markvattenhalt - Termovisionsförsök i klimatkammare. 1980. 65 sidor.

- nr 50 Viktor Arnell: Dimensionering och analys av dagvattensystem. Val av beräkningsmetod. 1980. 56 sidor, 22 figurer.
- nr 51 Lars O Ericsson: Markvattenförhållanden i urbana områden. Slutrapport. Göteborg 1980. 115 sidor.
- nr 52 Olov Holmstrand (red.): Ingenjörsgelogisk kartering. Seminarium 1980-04-17. 110 sidor.
- nr 53 Olov Holmstrand: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Sammanfattning av forskning om dagvatteninfiltration vid CTH 1976-79. 90 sidor.
- nr 54 Olov Holmstrand, Bo Lind, Per Lindvall, Lars-Ove Sörman: Perkolationsmagasin i ett lerområde. Lokalt omhändertagande av dagvatten i Bratthammar, Göteborg. 172 sidor.
- nr 55 Erland Högberg, Gunnar Lannér: Gatuplanering i bostadsområden i utlandet. Nya principer och lösningar i Danmark, Holland och England. 1981. 110 sidor.
- nr 56 Sven Lyngfelt: Dimensionering av dagvattensystem. Rationella metoden. 1981. 82 sidor.
- nr 57 Erland Högberg: Samband mellan gatustandard och trafiksäkerhet i bostadsområden. En förstudie. 1981.
- nr 58 Jan A Berntsson: Portryckförändringar och markrörelser orsakade av trädvegetation. 1980. 121 sidor.
- nr 59 Per-Arne Malmquist, Stig Hård: Grundvattenpåverkan av dagvatteninfiltration. 1981.
- nr 60 Annika Lindblad: Infiltrationsmätningar utförda vid Geologiska institutionen, CTH/GU, 1972-80. Sammanställning och statistisk bearbetning. 1981. 78 sidor.
- nr 61 Lars O Ericsson, Stig Hård: Termisk registrering - en metod att kartera markvattenhalt. Slutrapport. 1981. 18 sidor.
- nr 62 Jan Pettersson, Elisabeth Sjöberg: SÖDRA NÅSET - En intervjuundersökning rörande två alternativa upprustningsförslag av gator och dagvattentransport. 1981. 36 sidor.
- nr 63 Olov Holmstrand: Praktisk tillämpning av ingenjörsgelogisk kartering. 1981. 114 sidor.
- nr 64 Anders Sjöberg, Nils Mårtensson: REGNENVELOPEMETODEN. En analys av metodens tillämplighet för dimensionering av ett 2-års perkolationsmagasin. 1982. 29 sidor.
- nr 65 Gösta Lindvall: ENERGIFÖRLUSTER I LEDNINGSBRUNNAR - Litteraturstudie. 1982. 35 sidor.
- nr 66 Per-Arne Malmquist: Lathund för beräkning av Dagvattnets föroreningar. 1982. 32 sidor.
- nr 67 Sven Nyström: Kommuns skadeståndsansvar mot VA-abonment för översvämningsskador. 1982. 71 sidor.
- nr 68 Sven Lyngfelt, Gilbert Svensson: Dagvattenavrinning från stora urbana områden. Simuleringsmetodik exemplifierat på Göteborgsregionen. 1983. 118 sidor.
- nr 69 Hans Bäckman, Gilbert Svensson: Flödesmätning i avloppsnät med portabla utrustningar. Mät noggrannhet under kontrollerade förhållanden i en 225 mm:s betongledning. 1983. 51 sidor.
- nr 70 Olov Holmstrand (red): Naturanpassad stadsplanering i Dalen 5, Karlskoga. Erfarenheter av planeringsprocess och teknik under och efter byggandet. 1983. 114 sidor.
- nr 71 Olov Holmstrand (red): Reservvattentäkter. Redovisning av diskussionsdag 1983-05-18. 1983. 115 sidor.
- nr 72 Gilbert Svensson, Håkan Strandner (övers. och bearb.): NIVANETT manual. Ett datorprogram för simulering av flöden i avloppsnät. 1983. 101 sidor.
- nr 73 Gilbert Svensson (red): Byggande, drift och förnyelse av kommunala va-ledningar. -Är driftstörningarna omfattande? -Projekterar vi på bästa sätt? - Var ligger kostnaderna? 1984. 98 sidor.
- nr 74 Hans Bäckman: Avloppsledningar i svenska tätorter i ett historiskt perspektiv. -Ett sammandrag av tekniska förutsättningar, idéer och diskussioner under 1900-talets ledningsbyggande. 1984. 123 sidor.
- nr 75 Ann-Carin Andersson, Olov Holmstrand, Erik Almling, Rolf Rosen, Kjell Söderström: Infiltration och alternativa åtgärder vid grundvattensänkning. Jämförande beskrivningar och val av metoder. 1984. 115 sidor.
- nr 76 Viktor Arnell, Henriette Melin: Rainfall data for the design of sewer detention basins. 1984. 79 sidor.
- nr 77 Hans Bäckman: Överläckning från dag- till spillvattenledningar. Metoder för att påvisa och kvantifiera överläckning samt redovisning av mätresultat från kommunala avloppsnät. 1985. 102 sidor.

- nr 78 Chester Svensson, Göran Sällfors: Beräkning av dimensionerande grundvattentryck. 1. Göteborgsregionen. 1985. 43 sidor.
- nr 79 Jan-Arne Niisdal: Källaröversvämning i samband med regn. Reflexioner kring ett stadsdiab-
bat bostadsområde i Göteborg. Några förslag på hur förbättrad säkerhet hos kommunala
avloppsledningar kan erhållas. 1985. 68 sidor.
- nr 80 Bo Lind, Mats Nyborg: Moränstruktur och hydraulisk konduktivitet. 1986. 55 sidor.
- nr 81 Gösta Lindvall: Energiförluster i ledningsbrunnar. Laboratoriemätningar. 1986. 49 sidor.
- nr 82 Per Warnolf: Jorderosion i rörgravar för VA-ledningar. Laboratorieförsök och litteratur-
studie. 1988. 105 sidor.
- nr 83 Bo Lind, Mats Nyborg: Sediment structures and the hydraulic conductivity in till. 1988.
73 sidor.
- nr 84 Chester Svensson: Analys av påverkade grundvattennivåer. 1988. 44 sidor.
- nr 85 Lars Rosén: Sårbarhetsklassificering av grundvatten. Rapport från en studieresa i USA.
1988. 112 sidor.
- nr 86 Chester Svensson, Göran Sällfors: Beräkning av dimensionerande grundvattentryck. 2. Stock-
holmsregionen. 1988. 61 sidor.
- nr 87 Chester Svensson, Göran Sällfors: Beräkning av dimensionerande grundvattentryck. 3. Övriga
södra Sverige. 1988. 78 sidor.
- nr 88 Teresia Reuterswärd Wengström: Kartläggning av skador på segjärnsledningar i Göteborg
1977-1987. 1989. 39 sidor.
- nr 89 Göran Sällfors: Punktskattningsmetoden - En statistisk metod användbar på geotekniska
problem. 1990. 48 sidor.
- nr 90 Torsten Hedberg, Olle Ljunggren, Lars-Ove Sörman: Sammanställning av rapporter om vatten-
kvalitetsproblem i ändledningar av järn. Probleminventering, fältförsök och laboratorie-
tester. 1990. 56 sidor.
- nr 91 Hans Berggren, Torleif Bramryd, Lennart Henrikson, William Hogland, Olov Holmstrand, Bo
Lind, Torsten Rosenqvist, Christer Stenmark: Lokalt omhändertagande av dagvatten. Erfaren-
heter och kunskapsuppbyggnad under 1970- och 1980-talen. 1991. 82 sidor.
- nr 92 Lars Rosén: Sårbarhetsklassificering av grundvatten. Tillämpningar av standardiserade
klassificeringssystem på svenska förhållanden. 1991. 114 sidor.
- nr 93 Kerstin Lekander: Försurningens inverkan på grundvatten kring konstruktioner in Göteborg. 1991. 71 sidor.

