

NGU



Norges geologiske
undersøkelse
Skrifter 77

Jens Tore Nielsen & Noralf Rye:
Kvartærgeologiske og
hydrogeologiske forhold i en
løsmasseakvifer under
marin grense i Solør,
Sør-Øst Norge.

Trondheim 1987

Kvartærgeologiske og hydrogeologiske forhold i en løsmasseakvifer under marin grense i Solør, Sør-Øst Norge.

NIELSEN, JENS TORE & RYE, NORALF

Nielsen, J.T. & Rye, N. 1987: Quaternary geology and hydrogeology in a drift aquifer below highest postglacial marine limit in Solør, South-Eastern Norway. *Nor. geol. unders. Skr. 77, 1-13.*

Investigations of a sand and gravel aquifer below the marine limit in Solør, southeastern Norway have shown the following relationships between the sedimentological and the hydraulic properties. The thin (1-15m) and fine grained (fine sand, silt) superficial deposits cause the groundwater table to mainly follow the topography of the surface and the bedrock. The glaciofluvial sediments, which are interpreted as subaquatic deltas - eskers deposited in front of a calving glacier, have only a small extension. Both the glaciofluvial and the marine sediments are fine grained below the groundwater table, which is only to a small degree affected by the different sediment types. The hydraulic conductivity (k) of the glaciofluvial sediments calculated from grain size distribution (1.5×10^{-5} - 2.8×10^{-4} m/s) has a slightly lower value than k determined by the pumping test ($(2.7-7.3) \times 10^{-4}$ m/s). In a general range of hydraulic conductivity the k-values from both methods correspond to the hydraulic conductivity of pure sand.

J. T. Nielsen, Norges geologiske undersøkelse. P.O. Box 3006, N-7001 Trondheim, Norway.

N. Rye, Geologisk Institutt Avd. B, Universitetet i Bergen. Allegt. 41, N-5014 Bergen - Univ., Norway

Innledning

En *akvifer* er en geologisk formasjon, eller en gruppe av formasjoner, som (i) inneholder vann og (ii) lar en viss mengde vann bevege seg gjennom den under de naturlige forhold. I en løsmasseakvifer er de hydrogeologiske forhold avhengig av løsmassenes utbredelse, mektighet, porøsitet og permeabilitet, nedbørsforhold, relasjoner til vann og vassdrag, samt topografi og berggrunn.

Målsettingen for undersøkelsene, som ble utført ved Hasla, Våler i Solør, har vært å kartlegge og forstå en løsmasseakvifer, derav:

- utbredelse og variasjon av løsmassene
- hydrogeologiske forhold i akviferen
- sammenhengen mellom kvartærgeologiske og hydrogeologiske forhold

I tillegg til et felles kvartærgeologisk og hydro-

geologisk kart (M 1:20 000), inngår det en løsmassebeskrivelse. De hydrauliske parametrene k (permeabilitet), T (transmissivitet) og S (magasinkoeffisient) er beregnet innenfor en av de glasifluviale avsetningene. Permeabiliteten k er beregnet både ved pumpeforsøk og ved kornfordelingsanalyser.

Det undersøkte området ligger innenfor det sørøstnorske grunnfjellsområdet og dominerende bergart er en rød, fin til middelskornig granitisk gneis (Solørgneisene). Gneisformasjonene er stedvis brutt av små avlange og oppstikkende hyperittintrusjoner (Gvein mfl. 1973 og 1974, Oftedahl 1974).

Opp til 200-205 m o.h. (marin grense) karakteriseres Solør av flate jordbruksarealer og små myrområder. Rundt ligger skogkledde åser 300-500 m o.h. Elvene Nordre- og Søndre Hasla møtes sør i forsøksfeltet og munnar ut i Glomma 10 km lenger sør (jfr. kart, Pl. 1.)

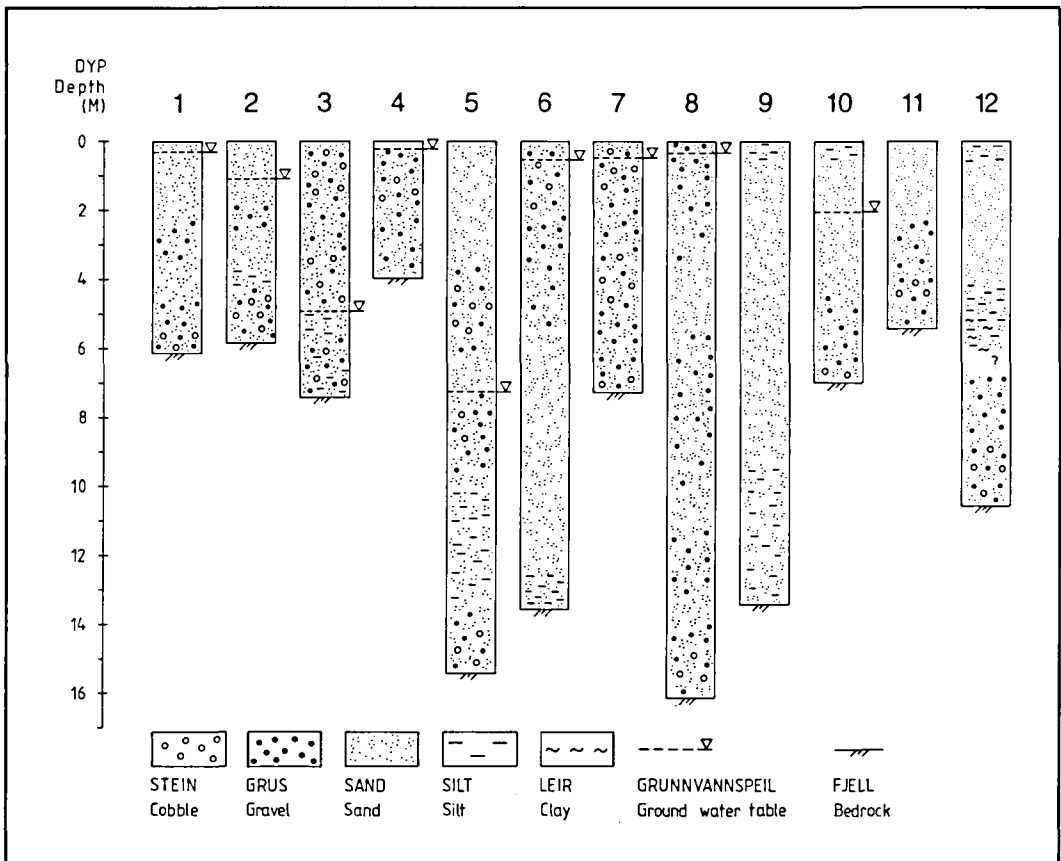


Fig. 1. Sonderboringer. Boringene 1-4 og 6-8 er gjort i bunn av massetak. Lokalitetene er vist på kartet, PL.1.

Borings. The borings 1-4 and 6-8 are done in gravel pits. The localities are shown on the map, Pl.1.

Kvartærgeologiske forhold

De kvartære avsetningene er for det meste dannet i sluttfasen av siste istid og under isavsmeltingen. Høydepartiene og dalsidene har stort sett et tynt og usammenhengende morenedekke, mens dalgangene er preget av store løsmassemektheter. Det undersøkte området (165-215 m o.h.) ligger hovedsakelig under marin grense (MG) og domineres av sorterte sand- og siltavsetninger. Det er usikkert om disse sedimentene er avsatt i et marint eller i et lakustrint/fluvialt miljø, men de betegnes heretter som marine. Delvis begravd i de marine avsetningene finnes små haugformige glasifluviale avsetninger, mens det over ligger spredte eoliske sanddyner.

Morenemateriale

Over MG ligger morenen oftest som et tynt og usammenhengende dekke. Flere steder er overflaten svært blokkrik og har preg av å være ablasjonsmorene. I området nær MG er det vanskelig å trekke grensen mellom morenen og de finkornige, sorterte avsetningene. Her kiler de overliggende sand- og siltavsetningene ut. På grunn av frostsortering anrikes stein i overflaten. Nærmere dalbunnen øker mektigheten av de sorterte avsetningene, og en eventuell morene overdekkes helt. Men ved de fleste sonderboringene (Fig. 1) er det påvist et opp til 2 m tykt hardpakket, usortert og steinholdig lag i bunnen. Dette tolkes som morene, som antas å dekke store deler av feltet.

Flere snitt viser at morenematerialet har et høyt innhold av sand og silt. Prøve 060 (kart, Pl. 1), tatt på 1 m dyp sørøst for Lonkemotjern (like over MG), viser at materialet mindre enn 19 mm inneholder hele 80 % sand og silt, mens leirinnholdet bare er på 0,3 %.

Glasifluviale avsetninger

Det glasifluviale materialet ligger i hauger og rygger i dalen under og like opp til MG (Pl. 1). Haugene har en diameter på 100-300 m og en høyde over terrenget på 6-8 m. Ved Otterhaugen i østlige del av feltet er det en 50-100 m bred og ca. 500 m lang rygg. Det er totalt påvist mektigheter på opp til 20 m.

Både snitt (Fig. 2) og sonderboringer (nr. 5, 11

og 12, Fig. 1) viser at det glasifluviale materialet fortsetter under de marine sedimentene. Andre borer og opplysninger fra brønngravingsarbeid viser likevel at de glasifluviale avsetningene kiler raskt ut og har svært begrenset utbredelse.

Avsetningene er bygd opp av skrålag som hovedsakelig faller mot SØ, langsmed dalen. Karakteristisk er den forholdsvis grove, steinholdige øvre delen (1-3 m) som med økende dyp raskt går over i sanddominerte masser. Ved Hasla Handel er det dannet såkalte "backset bed" som faller mot NV, oppover dalen (Fig. 3). Slike lag, med hellning mot isen, kan dannes ved at materialet presses ut av et subglasialt smeltevannsløp og på den måten plasseres over tidligere avsatte lag (Lundqvist 1979).

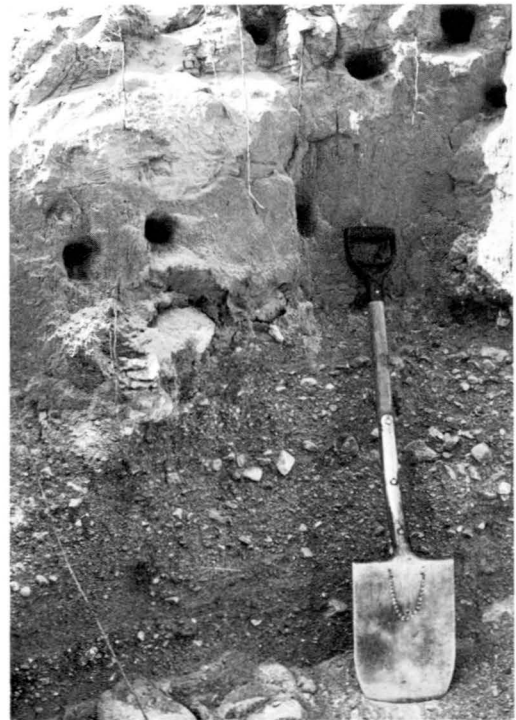


Fig. 2. Marin avsetning over glasifluvial avsetning ved Hasla Handel.

Glaciofluvial sediments overlain by marine sediments at Hasla Handel.

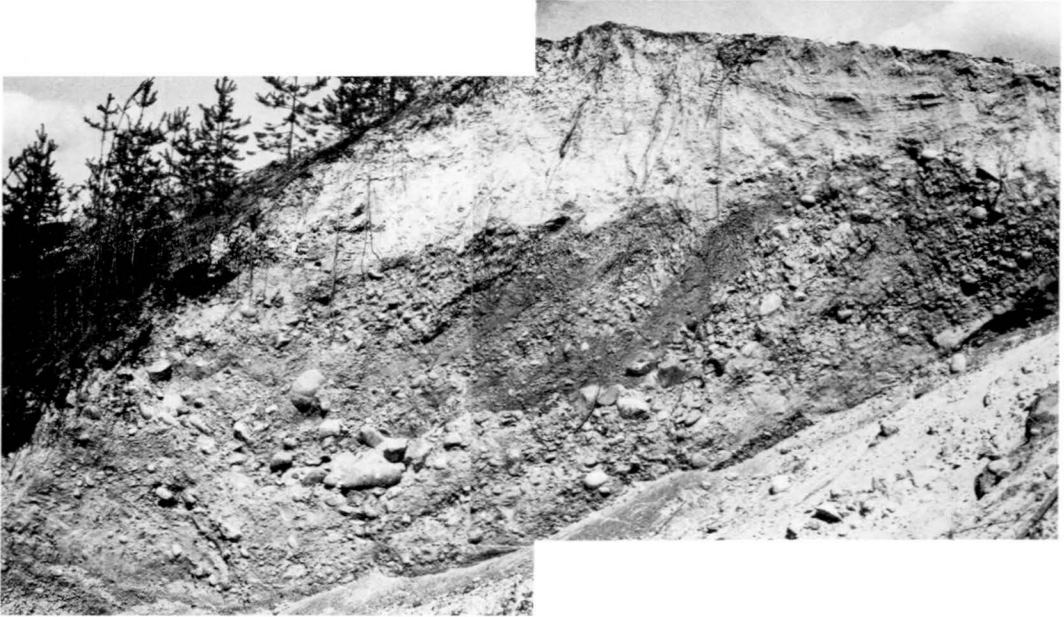


Fig. 3. Marin og eolisk avsetning over glasifluvial avsetning med "backset beds" ved Hasla Handel.

Glaciofluvial sediments with backset beds overlain by marine and eolian sediments at Hasla Handel.

Avsetningene på vestsiden av Nordre Hasla faller inn på en tilnærmet rett linje langs dalen (NNV-SSØ), og har en innbyrdes avstand på 0,3-1,0 km. Både denne beliggenheten og de beskrevne strukturer og teksturer taler for at avsetningene er dannet som punkteskete ("sub-

aquatic deltas") foran en tilbakesmeltende isfront (Lundqvist 1979). Avsetningene på østsiden av Nordre Hasla regnes enten å ha den samme opprinnelse, eller å være spor etter en lateral drenering.



Fig. 4. Eolisk avsetning over marin avsetning ved Haugland.

Marine sediments overlain by eolian sediments at Haugland.

Eoliske avsetninger

Utbredelsen av eoliske avsetninger er begrenset til to forholdsvis store (0,2-0,4 km²) og tre mindre områder i den sørlige halvdel av feltet (Pl.

1). Den vindtransporterte sanden ligger over de marine avsetningene (Fig. 4), og danner rygger og hauger som er opp til 30-40 m lange, 5-10 m brede og 3-4 m høye.

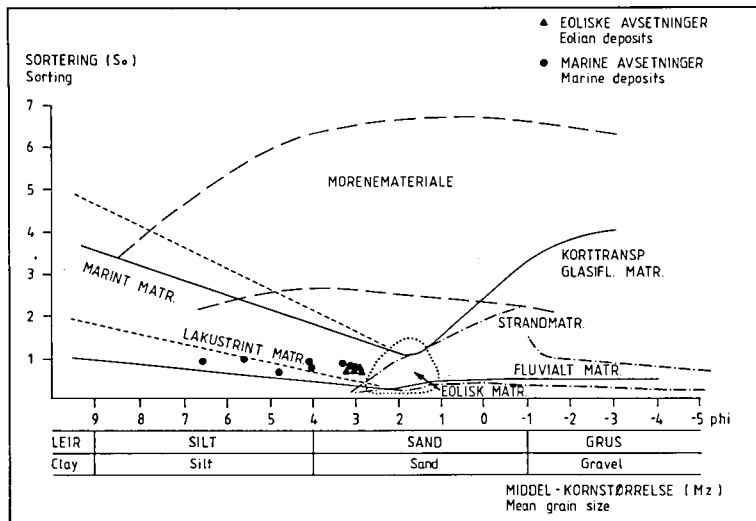


Fig. 5. Representative eoliske og marine prøver plottet i Mz/So-diagram.

Representative eolian and marine samples plotted in a Mz/So-diagram.

Avsetningene som både består av longitudinale og transversale dyner, har ingen entydig orientering. Sedimentære strukturer viser også at avsetningene er dannet under skiftende vindretninger.

kornfordelingsegenskaper fra kildematerialet (Klemsdal 1969). Mz/So-diagramet i Fig. 5 og kornfordelingskurvene i Fig. 6. viser stor likhet mellom de eoliske og de groveste marine prøvene. Dette indikerer at de eoliske avsetningene i Hasla-området hovedsakelig er derivert fra de marine avsetningene.

Vindavsatte sediment vil til en viss grad arve

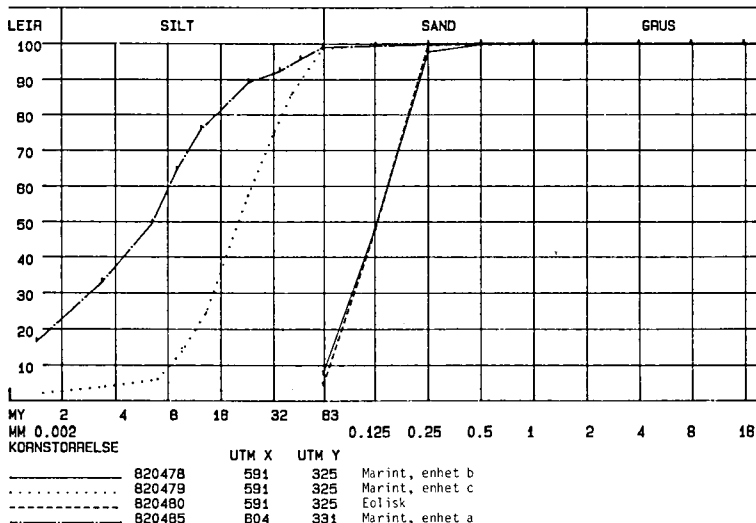


Fig. 6. Kornfordelingskurver for prøver fra marin sand og silt og eolisk sand. Prøvestedene er vist på Fig. 8.

Grain size distribution of samples of marine sand and silt and eolian sand. The sample localities are shown in Fig. 8.

Marine avsetninger

Marine avsetninger dekker hele feltet opp til 200-205 m o.h., et nivå som er i overensstemmelse med tidligere oppfatninger av MG (Holmsen 1954, Marthinussen: cit. Holmsen 1954, Knudsen 1965, Bargel 1983). Mektigheten av avsetningene er minst 30 m i sørlige del (seismisk profil IV, Fig. 7), men avtar raskt og kiler ut oppover dalsidene og mot andre høyereliggende partier i dalbunnen.

De generelle stratigrafiske forhold er vist i et tverrprofil (Fig. 8) samt ved sonderboring nr. 9 og 12, Fig. 1. Kornfordelingen til de enkelte enhetene er vist i Fig. 6.

Nederst ligger et 0,2-4 m tykt leirig siltlag (lag a, Prøve 820485), som etterfølges av en 2-30 m tykk pakke av finsand (lag b, Prøve 820478). Øverst ligger et 0,5-1,0 m tykt lag av grovsilt (lag c, Prøve 820479) som er påvist opp til 185-190 m.o.h. og synes å dekke hele feltet under dette nivået. Over 190 m koten domineres den marine sekvensen av finsand og sandig silt.

Da den underste siltenheten (a) er påvist umiddelbart over de glasifluviale avsetningene (sonderboring nr. 12) antas den å være avsatt like etter at isen trakk seg tilbake og det ble åpent vann. Det ble tatt prøve av dette laget ved Gunnarsrud, sonderboring nr. 12. Ved en diatomeanalyse ble verken marine eller ferske diatomeer funnet, og hvorvidt det har vært marint, brakt eller ferskt miljø er uvisst.

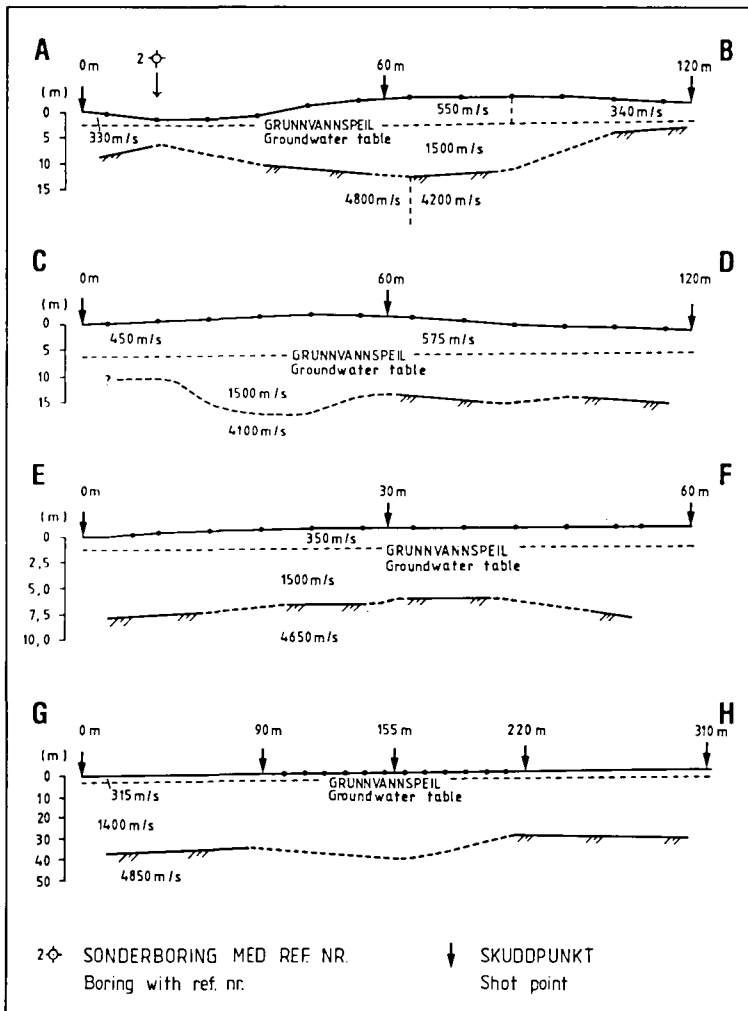


Fig. 7. Refraksjonsseismiske målinger fra Rydningen og Våtmoen.

Seismic refraction profiles from Rydningen and Våtmoen.

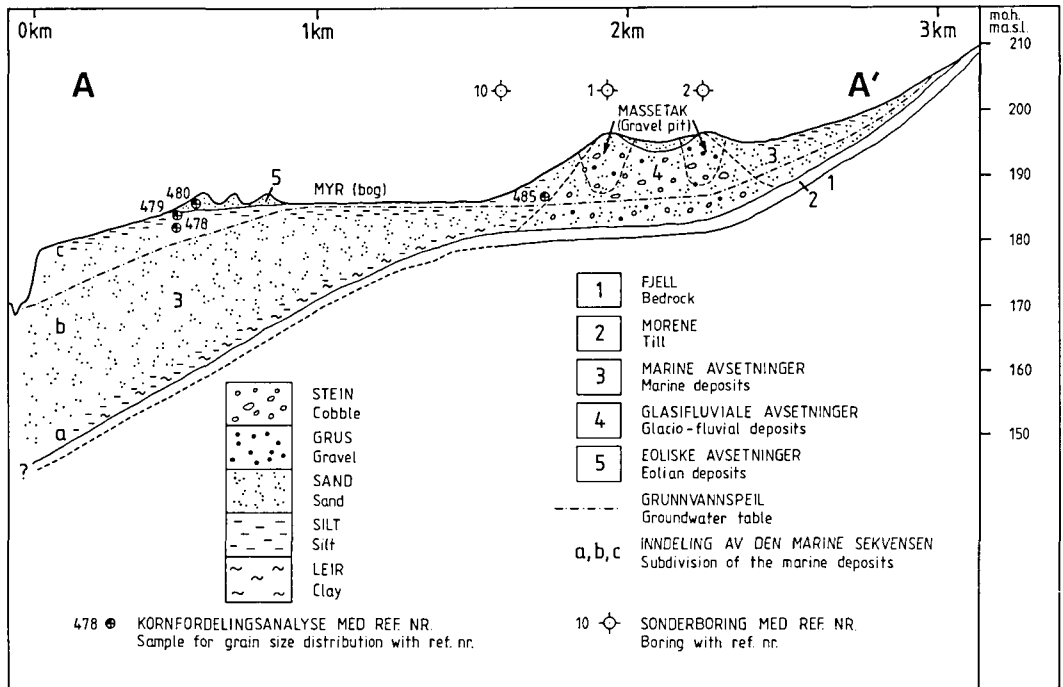


Fig. 8. Tverrprofil fra østsiden av elva Hasla. Plasseringen er vist på Pl. 1.

Section across the area east of the river Hasla. The locality is shown at Pl. 1.

Den mektige og utholdende sandenheten (b) regnes hovedsakelig å være avsatt under en omfattende drenering med stor materialtransport i hoveddalføret. Det er ikke gjort sedimentologiske undersøkelser som kan gi svar på om sedimentasjonen har skjedd under fluviale forhold eller som prograderende sedimentutbygging i åpent vann. Er modellen med åpent vann riktig, vil dannelsen av den øverste siltenheten (c) være en naturlig følge av avtagende material- og smeltevannstilførsel.

Beltet med finsand og silt i dalsida opp mot MG synes å stå i forbindelse med Romeriksmjelen (Longva pers. medd. 1986). Longva (1987) korrelerer mjelen med tapning av, og flompreget drenering fra bresjøer lengre nord i Østerdalen. Hvis flomteorien er riktig, vil en naturlig følge være at mye av de sandige sedimentene sentralt i dalen (b og c, Fig. 8), også er avsatt under den samme hendelsen. Dette kan være en årsak til at sandavsetningene langs Glomma i Solør er så ensgraderte og har så stor mektighet.

Fluviale avsetninger

De fluviale avsetningene, eller mer korrekt: de fluviale nedskjæringene, dekker en opp til 200 m bred stripe langs både Nordre og Søndre Hasla. I den sørlige delen, hvor erosjonen er mest markert, er terrasseskråningene 6-8 m høye og nesten loddrette. Elvesenga består av sand, og opphavsmaterialet må hovedsakelig være de marine sandavsetningene som elva har gravd seg ned i.

Hydrogeologiske forhold

Det hydrogeologiske kartet viser forløpet av grunnvannsspeilet (akviferer med fritt grunnvann), som i sin tur påvirkes av vannets bevegelse. Innenfor ett og samme medium, hvor permeabilitetskoeffisienten k er konstant, er gradienten på grunnvannsspeilet proporsjonal med vannhastigheten (Darcy's lov). Imidlertid varierer vannhastigheten også med k , slik at

områder med lav k -verdi og liten vannhastighet ofte vil ha steile gradienter. Grunnvannsspeilets hellning gir derfor opplysninger om flere kvartergeologiske forhold som kornstørrelse og jordartstype. Kartet gir også informasjon om inn- og utstrømsområder i akviferen som f.eks. elver og vann, samt avgrensninger mot fjell og andre impermeable masser.

Kartet bygger på vannstandsobservasjoner fra 66 eksisterende gravde brønner og seks 5/4" sandspisser; som alle ble nivellert ut fra NGO's fastpunkter. Alle grunnvannstander regnes i m o.h.

Akviferen er avgrenset av fjell, stedvis med tynt morenedekke. Bortsett fra enkelte oppstikkende fjellpartier under MG, samsvarer de hydrogeologiske grensene med utbredelsen av de marine og de glasifluviale avsetningene.

Akviferen blir hovedsakelig infiltrert direkte av nedbør, men særlig under snøsmeltingen er det også en del tilsig fra åssidene omkring. Langs både Nordre og Søndre Hasla, som stort sett renner i løsmasser, er det avrenning fra akviferen ut i elvene. Grunnvannsspeilet har stor hellning ned mot elvene og setter sitt preg på det hydrogeologiske kartbildet.

Akviferen karakteriseres dessuten av at grunnvannsspeilet i stor grad følger terrengoverflaten. Opp mot åssidene, hvor løsmassemekktighetene avtar, kan grunnvannsspeilet også gjenspeile fjelltopografien. Grunnvannsspeilets hellning, særlig langs elvene, tyder på at det her er finkornige løsmasser med liten permeabilitet som forårsaker en oppstuvning av vannet. Helt sør i feltet, hvor Nordre og Søndre Hasla møtes, er det en forholdsvis lav grunnvannstand. Her drenerer de to elvene tilsammen et stort område, og det dannes en naturlig senkningstrakt.

Myrene i området har en vannstand som er i samsvar med grunnvannstanden omkring. Dette vitner om en hydraulisk forbindelse mellom myr og grunnvannsmagasin.

Det er ikke funnet noen gjennomgående sammenheng mellom utbredelsen av de ulike jordartene og grunnvannsspeilets forløp. Dette tyder på at de glasifluviale avsetningene har så liten utbredelse at de ikke påvirker forløpet av grunnvannsspeilet. Pumpeforsøket, prøvetag-

ningen ved Rydningen og sonderboringer indikerer også dette.

Flere steder langs elvene slår grunnvannet ut 1-3 m over elvevannstanden og danner en såkalt "seepage zone".

Hydrauliske parametre

Permeabilitet (k), transmissivitet ($T=kD$, hvor D er akviferens tykkelse) og magasincoeffisient (S) benyttes til å beskrive en akvifers egenskaper til å oppta, transportere og magasinere vann. Videre kan akviferens respons på nedbør, kunstig infiltrasjon, pumpning, vannstandsendringer i vassdrag etc. til en viss grad forutsies (simuleres) når disse parametrene er kjent.

Her er parametrene bestemt ved pumpeforsøk og ved kornfordelingsanalyser.

Pumpeforsøk

Pumpeforsøket som er gjort er en akvifer-test for ikke-stasjonær tilstand, hvor både senkingsdata og stigningsdata er benyttet.

Forsøket ble utført i en av de glasifluviale avsetningene (punktarker) ved Rydningen (jfr. sonderboring nr. 2, Pl. 1), og en oversikt over pumpeområdet er vist i Fig. 9.

Punktarkeren ble valgt fordi det glasifluviale materialet ble regnet som den beste vanngivere i området. På dette tidspunktet var også dannelsen av de glasifluviale avsetningene mer usikker, og resultater fra et pumpeforsøk ville utvilsomt bidra til å øke forståelsen.

Som pumpebrønn ble et 2" slisset rør forsøkt, men dette ga for lite vann (37 l/min). For å kunne gjennomføre forsøket ble derfor fem 5/4" sandspisser benyttet (I-IV, Fig. 9). Disse ble satt ned slik at de dannet en sirkel med diameter ca. 10 m. På grunn av symmetrien ble sentrum av denne sirkelen (P1, Fig. 9) brukt som brønnsenter under beregningene. Filtrene (1 m lange) ble plassert fra 2-3 m under grunnvannsspeilet.

Den lave spesifikke pumpekapasiteten (ca. 60 l/min.) og de finkornige massene tilsa et lite influensområde og en senkningstrakt med høy gradient. Dette gjorde at peilestasjonene (4

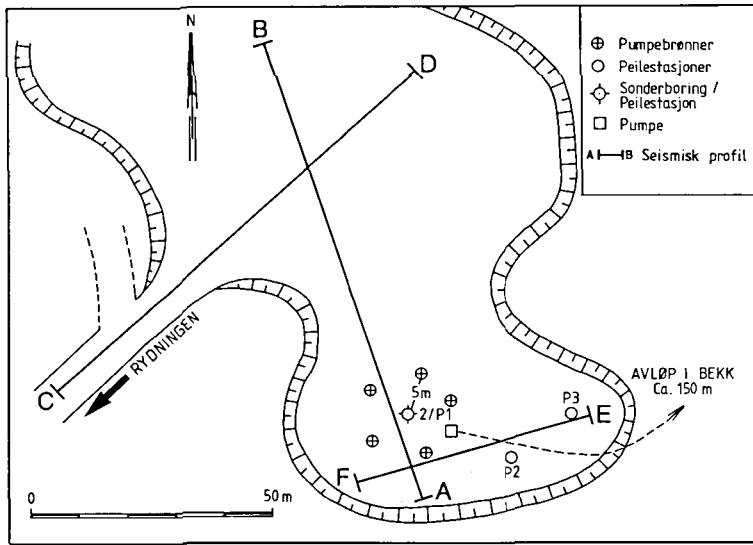


Fig. 9. Pumpeforsøks-området ved Rydningen.

The pumping test area at Rydningen.

sandspisser) ble plassert i liten avstand fra brønnen (Fig. 9).

P4 ble liggende utenfor senkningstrakten og ble benyttet som referansebrønn for regionale vannstandsfluktasjoner. Både senknings- og stigningsdata fra de andre peilestasjonene er korrigert i forhold til P4.

Pumpingen varte i 7 dager, men for å kunne benytte stigningsdataene ("recovery test") fort-

satte vannstandsavlesningene en uke etter pumpestopp. Avlesningshyppigheten framgår av Fig. 10 og 11.

Både senknings- og stigningsdataene er behandlet etter Theis' metode (Theis 1935: cit. Kruseman og Ridder 1976). Typekurven og datakurven for senkningsdataene er framstilt i Fig. 12, og som et eksempel er senknings- og stigningsdataene fra P2 framstilt i Fig. 10 og 11.

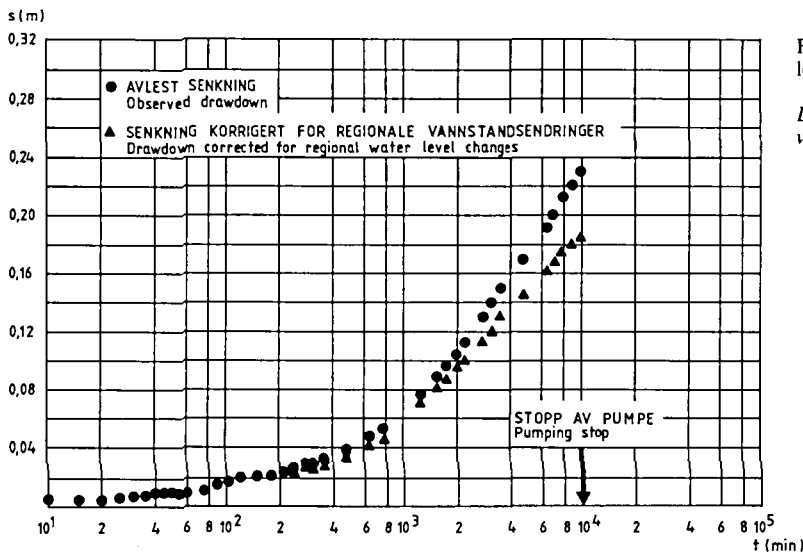


Fig. 10. Senkningsdata fra peilestasjon P2 at Rydningen.

Drawdown data from the observation well P2 at Rydningen.

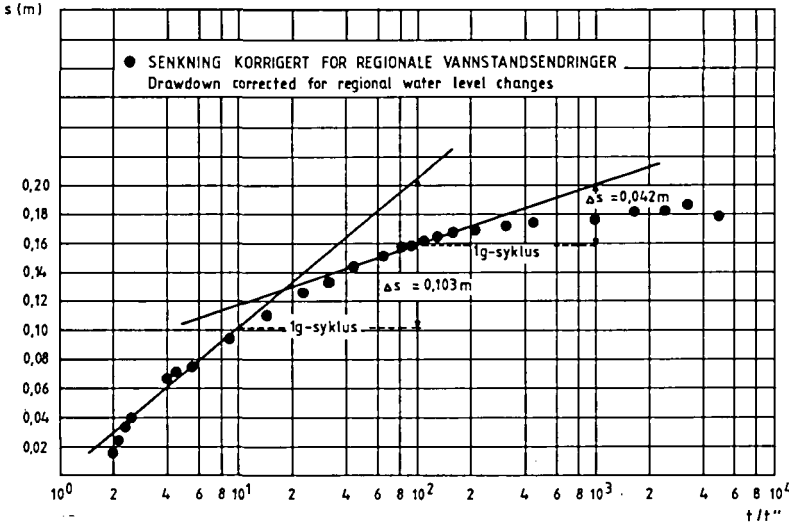


Fig. 11. Stigningsdata fra peilestasjon P2 at Rydningen.

Recovery data from the observation well P2 at Rydningen.

Fra Theis' formler får en disse resultater:

S (senkning) = 16 %

T (senkning) = $1,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

T (stigning, P1) = $1,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

T (stigning, P2) = $(1,8-4,4) \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

T (stigning, P3) = $(1,7-3,7) \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$

For beregninger av permeabiliteten k benyttes følgende sammenheng:

(1) $T = kD$ hvor D er mektigheten av det vannførende lag.

Ut fra sonderboring nr. 2 og de seismiske profilene I, II og III (Fig. 7) regnes D å være 6 m. Settes T og D inn i formelen får en følgende verdier for k :

$k = (2,2-7,3) \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Beregninger basert på kornfordelingsanalyser:

Permeabilitetskoeffisienten (k) er også beregnet ved to empiriske formler, henholdsvis A. Hazen (H) (Hazen 1893: cit. T. Klemetsrud pers. medd. 1983) og W. Seelheim (S) (Seelheim: cit. Nold 1968):

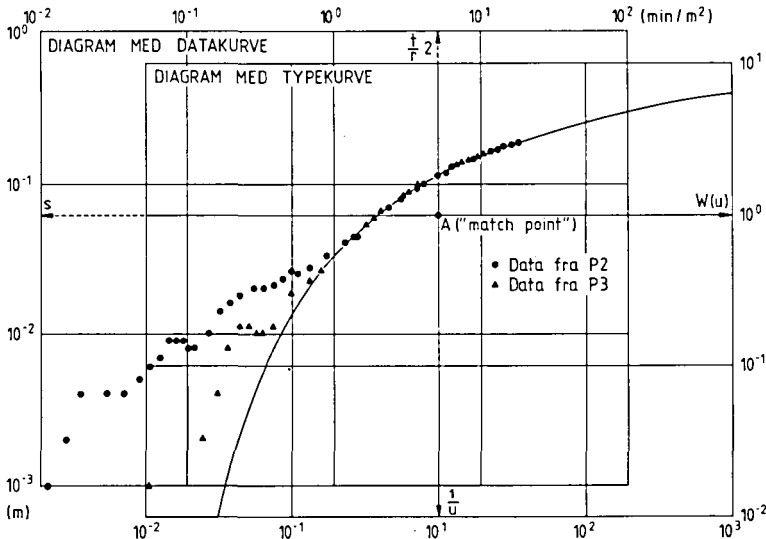


Fig. 12. Analyse av pumpefor-søksdata (senkningsdata) ved hjelp av Theis's metode. Typekurve og datakurve.

Pumping test analysis by the Theis method. Type curve and test results.

(2) $k = 0,0116 \times d_{10}^2$ når $2 < d_{60}/d_{10} < 5$ (H)

(3) $k = 0,00357 \times d_{50}^2$ når $2 < d_{60}/d_{10} < 5$ (S)

Formlene gjelder for vann med temperatur på 20°C, men da k varierer med vannets viskositet som igjen er temperaturavhengig, må formelene justeres til den aktuelle grunnvannstemperaturen.

Bouwer (1978) viser følgende relasjon mellom permeabilitet (k) og viskositet (μ) :

(4) $k(t) = \mu(20) \times k(20)/\mu(t)$

hvor k(t) og k(20) er permeabiliteten hhv. ved temperatur t og 20°C og $\mu(t)$ og $\mu(20)$ er absolutt viskositet ved de samme temperaturene.

Målinger under pumpeperiodene viste en grunnvannstemperatur på 4-5°C.

Fra Fig. 13 ser en at $\mu(20)=1,0$ mens $\mu(5)=1,5$. Innsatt i (4) får en følgende korreksjonsfaktor:

$k(5) = 2/3 k(20)$

Hazen's og Seelheim's formler blir da for vann ved temperatur 5°C:

(5) $k = 0,00773 \times d_{10}^2$ (H)

(6) $k = 0,00238 \times d_{50}^2$ (S)

Kornfordelingsprøvene er tatt fra pumpeområdet, og bortsett fra én "in situ" prøve tatt over grunnvannsspeilet, er det benyttet såkalte spyle- og sugepøver. Disse taes som slamprøver fra utspylt og oppumpet vann umiddelbart etter neddrivningen av brønnene. De representerer derfor prøver av den samme stratigrafiske enheten som vannet ble pumpet ifra under pumpeforsøket.

Prøvetakingsprosedyrene for spyle- og sugepøvene medfører derimot at en går glipp av både de fineste og de groveste fraksjonene. Prøven blir kunstig godt sortert. Det groveste materialet slipper ikke gjennom brønnfilteret, mens det mest finkornige forsvinner med overskuddsvannet. Dette vil påvirke resultatene i hver sin retning. Går en glipp av det finkornige materialet vil prøvene fortone seg som mer permeable enn hva det reelt er (høyere k-verdi), og omvendt dersom de grove fraksjonene mangler. Hvilken

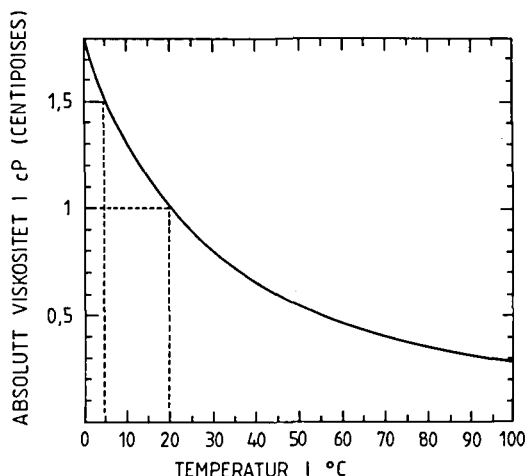


Fig. 13. Viskositeten til vann som funksjon av temperaturen.

The viscosity of water as a function of temperature.

av de to effektene som er dominerende er vanskelig å forutsi.

Oversikt over prøver, kornfordeling og resultater er vist i Tabell 1.

Sammenstilt får en:

k (pumpeforsøk) = $(2,2 - 7,3) \times 10^{-4}$ m/s

k (Hazen) = $1,5 \times 10^{-5} - 1,4 \times 10^{-4}$ m/s

k (Seelheim) = $3,7 \times 10^{-5} - 2,8 \times 10^{-4}$ m/s

Konklusjonen blir at k beregnet fra kornfordelingsanalysene ligger noe lavere enn k beregnet fra pumpeforsøket. En kan tenke seg flere mulige årsaker til avvikene:

- Theis' formler passer dårlig
- pumpeforsøkets forutsetninger (Kruseman og Ridder 1976) er ikke tilfredsstillende
- kurvetilpasning (typekurve/datakurve) er usikker (Fig. 12)
- beregning av D (akviferens tykkelse) er usikker
- Hazen's og Seelheim's formler passer dårlig
- spyle- og sugepøvene er for finkornige i forhold til det virkelige materialet

Prøvenr.	Sted	Prøve- type	Filter- type (m)	Prøve- dyp (m)	d ₁₀ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₆₀ (mm)	$\frac{d_{60}}{d_{10}}$	k (Hazen) (m/s)	k (Seelheim) (m/s)
062	II	in situ		0,5	0,0795	0,24	0,29	3,6	4,9 (-5)	1,4 (-4)
x)063	I	suge	sandspiss u/duk	4-5	0,0439	0,13	0,16	3,6	1,5 (-5)	3,7 (-5)
064	A	spyle	2" slisset rør	5-8	0,1480	0,58	0,8	5,4	1,7 (-4)	7,7 (-4)
065	A	suge	"	5-8	0,0565	0,14	0,17	3,0	2,5 (-5)	4,3 (-5)
066	B	suge	"	5-8	0,0657	0,16	0,20	3,0	3,3 (-5)	6,5 (-5)
x)067	P3	spyle	sandspiss u/duk	4,5-5,5	0,1065	0,35	0,50	4,7	8,8 (-5)	2,8 (-4)
x)068	P3	spyle	"	3-4	0,0911	0,26	0,31	3,4	6,4 (-5)	1,6 (-4)
x)069	P3	suge	"	3-4	0,877	0,24	0,29	3,3	6,0 (-5)	1,4 (-4)
070	P2	spyle	"	1,5-2,5	0,1051	0,38	0,50	4,6	8,5 (-5)	3,4 (-4)
071	P2	suge	"	1,5-2,5	0,1264	0,22	0,26	2,1	1,2 (-4)	1,2 (-4)
x)072	P2	spyle	"	3-4	0,1326	0,25	0,31	2,3	1,4 (-4)	1,5 (-4)
x)073	P2	suge	"	3-4	0,0781	0,19	0,22	2,8	4,7 (-5)	8,6 (-5)

x) prøvedyp tilsvarer filterplassering i pumpebrønnene
sample depth corresponds to filterdepth in the pumping wells

Tabell 1. Permeabilitetskoeffisienten (k) beregnet på grunnlag av kornfordelingsanalyser. Prøvestedene refererer til Fig. 8.

The hydraulic conductivity (k) determined from grain size distribution. The localities are shown in Fig. 8.

Da et pumpeforsøk måler egenskapene til en akvifer i naturlig og uforstyrret tilstand (bortsett fra områdene nærmest pumpebrønnen), regnes

denne metoden som den sikreste av de to (Bouwer 1978).

Konklusjon

De kvartærgeologiske og hydrogeologiske undersøkelser er utført mer eller mindre parallelt og en del av resultatene samsvarer godt. Særlig gjelder dette løsmassenes egenskaper og områdets topografi på den ene siden og forløpet av grunnvannsspeilet, strømningsmønstrer og vanngiveregenskapene på den andre. Det vil med andre ord si at en med kjennskap til løsmassenes utbredelse og variasjon kan forutsi mye om de hydrologiske forhold og omvendt. I mer detalj kan følgende framheves:

1. Både de marine avsetningene og de delene av de glasifluviale avsetningene som ligger under grunnvannsnivået er finkornige (finsand, silt). Dette, sammen med at løsmassemekktigheten er liten gjør at grunnvannsspeilet hovedsakelig følger overflatetopografien og fjelltopografien. Dette er spesielt tydelig i den nordlige delen hvor grunnvannsspeilet faller ned mot elvene og får et stort relieff. I den sydlige delen flater

terrenget ut, mektigheten av løsmassene øker og grunnvannsspeilet får et mindre relieff.

2. Selv om de ulike avsetningstypene (marine og glasifluviale) har svært forskjellig korngradering over grunnvannsspeilet, er de ensgraderte og finkornige under dette nivået. Videre har de glasifluviale avsetningene svært begrenset utbredelse. De ulike avsetningstypene har derfor liten innvirkning på grunnvannsspeilet.

3. k-verdien for en akvifer er en sentral opplysning for en hydraulisk og kvartærgeologisk forståelse av akviferens oppbygning. k-verdiene fra kornfordelingsanalysene ligger litt lavere enn de oppnådd ved pumpeforsøket. Sammenligner en imidlertid med en generell permeabilitetsfordeling (f.eks. Freeze and Cherry, 1979, s. 29), ligger samtlige resultater ($1,5 \times 10^{-5}$ - $7,3 \times 10^{-4}$ m/s) innenfor gruppen for ren sand. Avhengig av nøyaktighetskravet må en derfor vurdere hvilken undersøkelsesmetode som er mest gunstig. Selv om pumpeforsøket er den sikreste metoden, er den både omfattende og kostbar.

ETTERORD

Publikasjonen bygger på en hovedfagsoppgave ved Universitetet i Bergen (Nielsen 1983), og feltarbeidet ble utført i 1981-82. Innsamlingen av hydrogeologiske og seismiske data ble gjort i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse.

Manuskriptet er gjennomgått av O. Longva som har kommet med flere forslag til forbedringer. D. Roberts har korrigert den engelske teksten. Framstilling av kart og figurer er gjort ved NGU under ledelse av A. Haugan. Disse og andre som har vært behjelpelig takkes hjerteligst.

Litteratur

- Bargel, T.H. 1983: Elverum. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 2016 IV -1:50 000 (Med fargestrykt kart). *Nor. geol. unders.* 376, 46 pp.
- Bouwer, H. 1978: *Groundwater hydrology*. McGraw-Hill, Inc. Kogakusha, Ltd. Tokyo. 480 pp. Gvein, Ø., Sverdrup, T. og Skålvoll H. 1973: Hamar. Preliminært berggrunnskart NP 31, 32-16. 1:250 000. *Nor. geol. unders.*
- Gvein, Ø., Sverdrup, T. og Skålvoll H. 1974: Torsby. Berggrunnskart NP 31, 32-16. 1:250 000. *Nor. geol. unders.*
- Holmsen, G. 1954: Oppland. Beskrivelse til kvartærgeologisk landgeneralkart. *Nor. geol. unders.* 187, 58 pp.
- Klemsdal, T. 1969: Eolian forms in parts of Norway. *Nor. geogr. Tidsskr.* 23, 49-66.
- Knudsen, T.L. 1965: *Kvartærformer i Flisas dal*. Upubl. hovedoppgave. Univ. i Oslo.
- Kruseman, G.P. og De Ridder, N.A. 1976: Analysis and evaluation of pumping test data. *Bull. int. Inst. Ld Reclam.* 11, 200 pp.
- Longva, O. 1987: Ullensaker. Beskrivelse til kvartærgeologisk kart 1915 II -1:50 000 (Med fargestrykt kart). *Nor. geol. unders.* Skr. 76, XX pp.
- Lundqvist, J. 1958: Beskrivning till jordartskarta over Varm-lands lan. *Sver. geol. unders. Ser. Ca* 58.
- Lundqvist, J. 1969: Beskrivning till jordartskarta over Jamt-lands lan. *Sver. geol. unders. Ser. Ca* 45. 418 pp.
- Lundqvist, J. 1979: Morphogenetic classification of glacio-fluvial deposits. *Sver. geol. unders. Ser. C* 767. (Avhandlingar och uppsatser årsbok 73, 8.)
- Nielsen, J.T. 1983: *Kvartærgeologi og hydrogeologi i Hasla-området, Våler i Solør*. Upubl. hovedfagsoppgave. Univ. i Bergen.
- Nold, J.F. & Co. 1968: *Nold-Brunnenfilterbuch*. J.F. Nold & Co. Stockstadt am Rhein. 303 pp.
- Oftedahl, Chr. 1974: *Norges geologi*. Tapir. Trondheim. 169 pp.
- Selmer-Olsen, R. 1954: Om norske jordarters variasjon i korngradering og plastisitet. *Nor. geol. unders.* 186, 102 pp.
- Sørensen, R. 1982: Nordqua-ekskursjonen 1982. Preboreal-Boreal isavsmelting i Sørøst-Norge. *Institutt for Geologi, Norges Landbrukshøgskole, Ås. Rapport nr. 17.* (Ekskursjonsguide).

OMRÅDET MELLOM HASLEMOEN, STRÆTÅSEN OG RANUMSBERGET I VÅLER I SOLØR.

PL. 1: KVARTÆRGEOLOGISK OG HYDROGEOLOGISK KART 1:20 000

