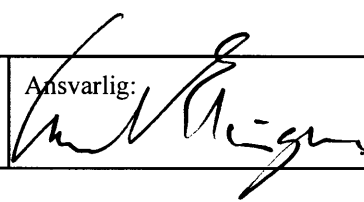


Rapport nr. 96.034		ISSN 0800-3416		Gradering: åpen	
Tittel: Bestemmelse av beskyttelsessoner på Eide, Hemne kommune.					
Forfatter: David Segar og Bernt Olav Hilmo (geokjemi)			Oppdragsgiver: Hemne kommune, Sør-Trøndelag fylke og NGU		
Fylke: Sør-Trøndelag			Kommune: Hemne		
Kartbladnavn (M=1:250.000) Trondheim			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1421 II, Vinjeøra		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 25		Pris: 45,-
			Kartbilag:		
Feltarbeid utført: Sommeren -94		Rapportdato: mars 96		Prosjektnr.: 63.2632.00	
				Ansvarlig: 	
Sammendrag:					
<p>Grunnvannsundersøkelser i Eide-området i Hemne kommune utført av NGU har vist gunstige forhold med tanke på grunnvannsforsyning. Det ble påvist tilstrekkelige grunnvannsressurser til å dekke vannbehovet på 30 l/s, og kommunen vurderer å bygge et grunnvannsanlegg i området. En klausulering av området må derfor vurderes.</p> <p>I denne hensikt ble grunnvannstrømningsmodellen MODFLOW brukt til å simulere grunnvannsstrømningen i akviferen. Modellen MODPATH ble da brukt til å beregne grunnvannets oppholdstid i akviferen i forskjellige retninger fra pumpebrønnene. Resultatene fra disse beregningene dannet basis for bestemmelsen av 60-døgns grensen dvs. klausuleringssone I.</p> <p>En vurdering av nitratinnholdet i vannet på Eide ble også utført. Dette tydet på at et forbud mot naturgjødsling i sone I vil ha liten betydning for nitratinnholdet i grunnvannet, men stor betydning for en sikring av grunnvannets hygeiniske kvalitet.</p>					
Emneord: Hydrogeologi		Grunnvannsmodellering		Grunnvannsforsyning	
Sonderboring		Brønnboring		Løsmasse	
Grunnvannskvalitet		Prøvepumping		Fagrapport	

INNHOLDSFORTEGNELSE

KONKLUSJONER	3
1. INNLEDNING	4
1.1 Introduksjon	4
1.2 Tidligere undersøkelser	4
1.3 Formål.....	5
2. GRUNNVANNSMODELLERING AV MAGASINET PÅ EIDE	6
2.1 Introduksjon	6
2.2 Metodikk.....	6
2.3 MODFLOW-modell.....	8
2.3.1 Fysisk modell	8
2.3.2 Matematisk modell.....	8
2.3.3 Kalibrering av MODFLOW	11
2.3.4 Simulering av grunnvannsstrømningen i akviferen.....	12
2.4 MODPATH-modell.....	13
2.4.1 Beregning av grunnvannets oppholdstid i akviferen.....	13
2.4.2 Resultater.....	13
3. FORSLAG PÅ BESKYTTELSE	14
3.1 Generelle vurderinger av beskyttelsessonene på Eide	14
3.2 Anbefalinger av beskyttelsessoner av grunnvannsmodellering	15
4. HYDROKJEMISKE FORHOLD PÅ EIDE	16
4.1 Beregning av vannbidragene fra Rovatnet/Eidselva og grunnvann	16
4.2 Nitrogenregnskap.....	16
4.2.1 Problemstilling	16
4.2.2 Nitrogenbudsjett	17
4.2.3 Nitratinhold i grunnvannet	18
4.2.4 Konsekvenser av redusert gjødsling.....	19
REFERANSER	20

KONKLUSJONER

Grunnvannsundersøkelser i Eide-området i Hemne kommune utført av NGU har vist gunstige forhold med tanke på grunnvannsforsyning. Etter en vellykket langtids prøvepumping der det ble påvist tilstrekkelige grunnvannsressurser til å dekke vannbehovet på 30 l/s, vurderer kommunen å bygge et grunnvannsanlegg i området.

Det er viktig for kommunen å foreta en beskyttelse av området rundt brønnene som sikrer at arealbruken ikke får negativ innvirkning på grunnvannskvaliteten. Begrensningen på dagens arealbruk bør samtidig bli minst mulig.

Grunnvannsstrømningsmodellen MODFLOW ble valgt til å simulere grunnvannsstrømningen i akviferen. Senkningsdata fra en korttids prøvepumping ble brukt som basis for kalibrering av modellen. Modellen MODPATH ble da brukt til å beregne grunnvannets oppholdstid i akviferen i forskjellige retninger fra pumpebrønnene. Resultatene fra disse beregningene dannet basis for bestemmelsen av 60-døgns grensen dvs. beskyttelsessone I på Eide. Det anbefales at grensen til sone I plasseres med en **radius på 100 m** fra produksjonsbrønnene. De øvrige beskyttelsessonene opprettholdes som anbefalt i NGU Rapport 94.069.

En vurdering av kloridinnholdet i oppumpet vann tyder på at minst 56% av grunnvannsuttaget fra prøvebrønnene stammer fra overflatevann dvs. Rovatnet og/eller Eidselva.

En vurdering av nitratinnholdet i vannet på Eide ble også utført. De høye nitratkonsentrasjonene i enkelte undersøkelsesbrønner og i starten av prøvepumpingsperioden skyldes gjødsling. Lave nitratkonsentrasjoner i grunnvannet etter en tids pumping skyldes både inntrekking av nitratfattig vann fra Rovatnet og et stadig mindre bidrag fra gjødsling etter som det stadig har gått lenger tid fra tidspunktet det ble gjødslet. Omtrent halvparten av beregnet nitrattilskudd til grunnvannet på grunn av gjødsling finnes igjen i pumpebrønnene. Et forbud mot naturgjødsling i sone 1 vil ha liten betydning for nitratinnholdet i grunnvannet, men ha stor betydning for en sikring av grunnvannets hygieniske kvalitet.

1. INNLEDNING

1.1 Introduksjon

Grunnvannsundersøkelser på Eide i Hemne kommune har vist gunstige forhold med tanke på grunnvannsforsyning (Segar 1995). På grunnlag av en langtids prøvepumping ble det konkludert med at det finnes tilstrekkelige grunnvannsressurser til å dekke det oppgitte vannbehovet på 30 l/s.

I rapporten ble beskyttelsessone I anbefalt på basis av sylindermethoden, som ofte blir brukt her i landet. Denne metoden tar ikke hensyn til hydrauliske grenser og vannbidraget fra over- og underliggende lag. Disse faktorene kan ha betydelig innvirkning på formen og størrelsen til beskyttelsessonene.

For å få et bedre grunnlag for vurdering av arealrestriksjoner ved eventuell utbygging av grunnvannsanlegg på Eide, ønsket Hemne kommune en mer detaljert bestemmelse av beskyttelsessoner. Det ble derfor bestemt å konstruere en grunnvannsstrømningsmodell som kunne brukes til å simulere grunnvannsstrømningen i Eide-akviferen. Dette ville kunne brukes til å gi en mer presis vurdering av utstrekningen av beskyttelsessone I, som er grensen for 60 døgn oppholdstid på grunnvannet. Det er i denne sonen det er aktuelt med begrensninger på bruken av gjødsel, spesielt på naturgjødsel og sprøytemidler.

Denne rapporten gir en beskrivelse av modellene som ble brukt, samt en beskrivelse av måten modellene ble brukt til å bestemme utstrekningen av beskyttelsessone I på Eide.

Et oversiktskart som viser beliggenhet til Eide er vist i kartbilag 1. Et detaljkart som viser Eide-området og plasseringer av brønnene er vist i kartbilag 2.

1.2 Tidligere undersøkelser

Akviferen er undersøkt med sonderboringer og prøvepumper, samt georadarundersøkelser. Flere boringer i nærheten av Rovatnet viste seg å være positive med tanke på grunnvannsforsyning fra denne avsetningen.

På bakgrunn av de innledende undersøkelsene ble det satt ned tre Ø76 mm brønner samt flere observasjonsbrønner. En korttids prøvepumping ble gjennomført fra den 1. t.o.m. den 2. november med et samlet uttak på ca. 15 l/s fra to brønner. En langtids prøvepumping pågikk fra november 1994 til mai 1995 med et samlet uttak på 15-25 l/s.

Denne prøvepumpingen påviste grunnvannsressurser som kan dekke det oppgitte behovet på 30 l/s. Vannkvaliteten under prøvepumping var stort sett bra, men pH-verdien var noe lav i forhold til kravene i Drikkevannsforskriften og innholdet av jern og mangan lå rundt eller like under største tillatte konsentrasjon.

En nærmere beskrivelse av disse undersøkelsene er gitt i Segar (1995).

1.3 Formål

Formålet med denne rapporten er å gi en mer presis vurdering av formen og størrelsen til beskyttelsessone I på Eide ved bruk av grunnvannsstrømningsmodeller. Grunnvannsmodeller kan ta hensyn til alle de hydrauliske grensene i en akvifer, og kan simulere grunnvannsstrømningen på en realistisk måte. Grunnvannsmodeller kan også ta med bidraget fra under- og overliggende lag. Resultatet er en vurdering av beskyttelsesonene som tar hensyn til de alle fleste hydrogeologiske faktorer som kan påvirke grunnvannsstrømningen i en akvifer. Antall antakelser er dermed redusert til et minimum, og vurderingen blir betydelig mer pålitelig.

2. GRUNNVANNSMODELLERING AV MAGASINET PÅ EIDE

2.1 Introduksjon

Hensikten ved modellering av grunnvannsmagasinet på Eide var å produsere en eller flere matematiske grunnvannstrømningsmodeller som kunne simulere grunnvannsstrømningen i Eide-området, med spesiell oppmerksomhet rettet mot området rundt pumpebrønnene. Etter kalibrering kan modellen brukes til å bestemme visse egenskaper til grunnvannsmagasinet som for eksempel strømretninger, vannkilder og oppholdstid. Disse egenskapene kan brukes til å vurdere formen og størrelsen på beskyttelsesområdene rundt et eventuelt grunnvannsanlegg på Eide.

2.2 Metodikk

Modellene som ble valgt var MODFLOW og MODPATH. MODFLOW (McDonald & Harbaugh, 1988) er en 3-dimensjonal grunnvannsstrømning modell som simulerer grunnvannstrømning. Denne modellen simulerer grunnvannsstrømning i grunnen numerisk ved å dele opp akviferen i blokker (i mindre volum), og gå framover i tid med små tidssteg. Dette kalles endelig differens metode. Hver blokk gis en verdi for parametere som permeabilitet, magasinkapasitet, perkolasjon, osv. Modellen kalkulerer grunnvannstrykket i hver blokk, som en funksjon av de omkringliggende blokkene og grunnvannstrykket i forrige tidssteg. På denne måten simulerer modellen utvikling av grunnvannstrykket i hver blokk med tiden. En nærmere beskrivelse av grunnvannsmodellering er gitt i Ersland et al (1992).

MODFLOW gir imidlertid ikke «magiske» svar. Man må være klar over at simulerte data og målte data vil avvike på grunn av:

- i) Modellen er en forenkling av virkelighet. Målet med modellering er å tilpasse en modell til virkelige data, uten at den blir mer komplisert enn nødvendig.
- ii) Modellen er ikke mer pålitelig enn de data som den er basert på.
- iii) Modellen må kalibreres. En tilfredsstillende modell må kunne modellere kjente grunnvannsdata over en viss periode, før den kan brukes.

MODPATH (Pollock, 1989) er en modell som bruker resultatene fra MODFLOW til å bestemme grunnvannsstrømningsretningslinjer og grunnvannets hastighet i magasinet. Modellen gir dermed grunnvannets oppholdstid og en indikasjon på vannkildene til magasinet.

Datafilene som MODFLOW og MODPATH bruker ble konstruert ved hjelp av programmet MeshMaker Pro (Argus Interware Inc., USA). Dette er et program som gjøre det lettere å lage (og senere modifisere) store datafiler. Disse filene inneholder alle de nødvendige hydrogeologiske dataene i et format som kan leses av modellene. Modellene ble kjørt på en

CINET PPI-300 Pentium PC. Resultatene ble presentert ved hjelp av programmene MeshMaker Pro og Surfer.

2.3 MODFLOW-modell

2.3.1 Fysisk modell

For å lage en grunnvannsstrømningsmodell må man først ha en forståelse av akviferens oppbygging (grus, sand, leire, osv.) og dets grenser (vann, ugjennomtrengelige medier, områder med kjent filtrerings hastighet, osv.).

Akviferen er et delta ved Eidselvas utløp i Rovatnet. Avsetningen mates av både Rovatnet og Eidselva som sikrer et stabilt grunnvannsmagasin med hensyn til fornying. Mektigheten til akviferen øker fra under 10 m i den sørvestlige delen av området til over 15 m ved Rovatnet. Akviferen består av vekslende sand og grus. Undersøkelser med Georadar viste antydning til skrålagning og lagdeling enkelte steder, men også kaotiske forhold. Under akviferen er et ca. 20 m tykt lag av sand og finsand.

Den nordlige grensen til akviferen er Rovatnet som fungerer som en positiv hydraulisk grense dvs. vannivået i vannet er upåvirket av grunnvannsuttaket. Den sørøstlige grensen til akviferen er Eidselva som også kan fungere som en positiv hydraulisk grense. Langtidsprøvepumpingen viste at den hydrauliske forbindelsen mellom akviferen og Rovatnet og/eller Eidselva må være betydelig på grunn av at senkningen i peilerørene under prøvepumpingen var beskjeden. Dette tyder på at akviferen mates av Rovatnet og/eller Eidselva. Den større senkningen i peilerør 15, som ligger mellom prøvebrønnene og elva, tyder på at tilstrømningen av grunnvann er mindre fra denne retningen. Kalibrering av MODFLOW-modellen antydte også at elvebunnen består av materiale med lav permeabilitet som begrenser gjennomstrømningen av vann. MODFLOW-modellen antydte også at det finnes materiale med en forholdsvis lav permeabilitet på bunnen av Rovatnet (men ikke så lav som elvebunnen). Den vestlige grensen til akviferen er akviferens fysiske grense (dvs. hvor akvifertykkelsen blir null), og den betraktes derfor som ugjennomtrengelig.

Akviferen defineres som en åpen akvifer i og med at det ikke ligger tette lag over akviferen.

2.3.2 Matematisk modell

Gridet som ble brukt til å simulere akviferen på Eide er vist i kartbilag 3. De simulerte hydrauliske grensene til akviferen og blokkene som representerer pumpebrønnene er også vist i kartbilag 3.

Gridet består av mindre blokker i nærheten av pumpebrønnen for å øke modellens nøyaktighet i dette området. Gridet består av to lag. Det øverste laget representerer akviferen, mens det lavere laget representerer det underliggende laget av finsand og sand. Hver blokk i hvert lag gis en foreløpig verdi for akvifertykkelse, permeabilitet, infiltrasjonshastighet (fra nedbør) og et opprinnelig grunnvannsnivå. Disse foreløpige verdiene blir justert under kalibrering av modellen.

Akvifertykkelse

Akviferens tykkelse ble vurdert på basis av både georadar-undersøkelsene og resultatene fra sonderboringene. Tolkning av disse dataene antyder at akviferen består av de øverste 10-15 m sand og grus. Under dette ligger ca 20 m av finsand og sand.

Modellen ble derfor satt opp som en 2-lagsmodell:

- Lag 1: Det øverste laget som representerer akviferen. Består av det øverste 10-15 m sand- og gruslaget. Mektighet øker fra ca 7 m i den sørvestlige delen av området til ca 20 m i nærheten av prøvebrønnene.
- Lag 2: Representerer det underliggende laget av vekslende finsand og sand. Antas å ha en uforanderlig mektighet på ca 20 m. Bunnen til dette laget regnes å ha null permeabilitet.

Permeabilitet

Verdiene for permeabilitet ble anslått på basis av både konfordelingskurvene fra masseprøvene og resultatene fra prøvepumpingen. Beregningene som ble basert på kornfordelingskurvene brukte Bayer metoden (Langguth & Voigt, 1980). Denne metoden bruker formen på kornfordelingskurven til å anslå permeabiliteten, K:

$$K = C * d_{10}^2$$

hvor: $C = a + b \log_{10} U + c(\log_{10} U)^2 + d(\log_{10} U)^4 + e(\log_{10} U)^4 + f(\log_{10} U)^5$

$$U = d_{60}/d_{10}$$

$$a = 1,20E-02$$

$$b = -5,85E-03$$

$$c = -5,12E-04$$

$$d = 5,16E-03$$

$$e = -4,44E-03$$

$$f = 1,17E-03$$

Resultatene fra disse beregningene er vist i tabell 1. Beregninger av transmissivitet fra prøvepumpingen på Eide ble også brukt til å gi en indikasjon på lagets permeabilitet. Disse transmissivitet verdiene representerer derimot den kombinerte transmissiviteten til Lagene 1 og 2, og kan derfor ikke brukes direkte til å beregne permeabiliteten til lagene. Beregningene av transmissivitet fra prøvepumpingen er vist i tabell 2. Verdiene vist i tabellene 1 og 2 ble brukt som et grunnlag til å beregne foreløpige permeabilitetsverdier i MODFLOW-modellen. De ble justert under kalibreringen (avsnitt 2.3.3).

Tabell 1. Permeabilitetsverdier på Eide ved bruk av Bayer metoden (Languth & Voigt, 1980) .

Peilerør nr.	Dyp (m)	K (m/d)
12	4,5-5,5	31,3
12	6,5-7,5	13,9
13	2,5-3,5	49,9
13	4,5-5,5	52,6
13	8,5-9,5	50,4
13	12,5-13,5	3,5

Tabell 2. Transmissivitetsverdier (m^2/d) på Eide ved bruk av Cooper & Jacobs og Neumans metoder.

Peilerør nr.	Cooper & Jacobs metode	Neumans metode
16	1993	1418
17	1725	1364
22	1517	1381
23	1534	1272

Permeabiliteten til Lag 2 regnes å øke fra ca. 3,5 m/d i den sørvestlige delen av området til ca. 7 m/d i den nordvestlige delen. Dette gir en transmissivitet for Lag 2 som øker fra 75 m^2/d til 150 m^2/d over området i en nordøstlig retning.

Infiltrasjonshastighet

Infiltrasjonshastigheten ble anslått som en fast andel (50%) av nedbør. Denne antakelsen ble gjort på grunnlag av Ersland et al (1992). Nedbør anslås som ca. 1431 mm/år (Hemne kommune, 1992), og dette gir en filtreringshastighet på 730 mm/år. Denne betraktes som uforanderlig over området.

Opprinnelig grunnvannsnivå

MODFLOW behøver opprinnelig grunnvannsnivå for hver blokk til å starte beregningene med. Vannivåene som ble brukt var de som ble målt like før langtids prøvepumpingen ble satt i gang den 2/11/94.

Effektiv porøsitet

MODPATH trenger de effektive porøsitetene (n_e) til de to lagene. Effektiv porøsitetsverdier ble anslått ved bruk av Hazens metode (1893). Denne metoden bruker kornfordelingskurvene fra masseprøvene. Resultatene fra disse vurderingene er vist i tabell 3.

Tabell 3. Porøsities- (n) og effektive porøsitiesverdier (n_e) på Eide ved bruk av Bayer metoden (Langguth & Voigt, 1980).

Peilerør	Dyp (m)	n	n_e
12	4,5-5,5	0,32	0,29
12	6,5-7,5	0,36	0,31
13	2,5-3,5	0,32	0,29
13	4,5-5,5	0,32	0,30
13	8,5-9,5	0,32	0,30
13	12,5-13,5	0,36	0,28

Den effektive porøsiteten til akviferen er sannsynligvis verdien med den største usikkerheten i modellen. Modellen ble derfor kjørt med to verdier av porøsitet - en middels og en minimumsverdi (henholdsvis 0,29 og 0,20). Det var unødvendig å kjøre modellen med en maksimumsverdi som ville gi det minst mulige beskyttelsesområdet. Et slikt beskyttelsesområde kan ikke brukes i denne sammenhengen på grunn av faren for å undervurdere risikoen for at forurensning vil nå pumpebrønnene.

2.3.3 Kalibrering av MODFLOW

MODFLOW ble kalibrert ved å simulere både grunnvannsnivåene før og under prøvepumpingen på Eide under undersøkelsene utført av NGU (Segar, 1995). Data fra 5 peilerør som ble målt før og under denne prøvepumpingen ble simulert. Senkningsdataene som ble brukt var de som ble tatt etter at grunnvannsnivåene hadde stabilisert seg. De foreløpige verdiene for permeabilitet, akvifertykkelse, osv. ble justert til MODFLOW-modellen simulerte de målte grunnvannsnivåene på en realistisk måte. De målte og simulerte grunnvannsnivåene og senkningene er vist i tabell 4.

Tabell 4. Målte og MODFLOW simulerte grunnvannsnivåer og senkningsdata fra prøvepumpingen på Eide (2-3/11/94). Grunnvannsuttaget var på ca. 15 l/s.

Peilerør nr.	Grunnvannsnivå før prøvepumping (m.o.h)		Grunnvannsnivå under prøvepumping (m.o.h.)		Senkning under prøvepumping (m)	
	målt	simulert	målt	simulert	målt	simulert
14	11,82	11,82	11,82	11,82	0,00	0,00
15	11,82	11,83	11,48	11,62	0,34	0,20
16	11,84	11,83	11,54	11,56	0,30	0,27
21	11,83	11,83	11,56	11,55	0,27	0,28
23	11,83	11,84	11,52	11,51	0,31	0,33

Tabellen viser at de simulerte resultatene stort sett stemmer overens med feltmålingene. Det er sjelden mulig å få de simulerte resultatene helt overenstemmede med målingene på grunn av de antakelsene som må gjøres før en matematiske modell kan konstrueres.

Permeabilitetsverdiene etter kalibreringen for akviferen (Lag 1) varierte fra 15 til 250 m/d. Kalibrering av MODFLOW-modellen antydte at akviferens permeabilitet er mye større i nærheten av prøvebrønnene, og avtar mot sørvest. Dette støttes av tolkningen av dataene fra sonderboringene og prøvepumpingen.

Senkningen i peilerør 15 viste seg å være meget vanskelig å simulere. Dette peilerøret ligger ca. 30 m unna pumpebrønnene, men har en senkning som tilsvarer senkningen i peilerør 23 som kun ligger 13 m fra pumpebrønnene. Årsaken til dette er ikke kjent, men det antyder at grunnforholdene i nærheten av peilerør 15 ikke er helt forstått. Det ligger et gammelt elveløp ca. 10 m unna peilerør 15, og dette løpet består sannsynligvis av materiale som er annerledes enn akviferen. Den store senkningen antyder at elvebunnen har en lav permeabilitet. Modellering av elvebunnen med en lav permeabilitet forbedret betydelig kalibreringen, uten å gi en stor nok simulert senkning i peilerør 15. Modelleringen antydte dessuten at grunnforholdene i nærheten av det gamle elveløpet ikke er avgjørende med hensyn til grunnvannsstrømningen i akviferen hvis permeabiliteten til elvebunnen er betydelig mindre enn akviferens permeabilitet.

Betydningen av akviferens hydrauliske grenser ble undersøkt ved å prøve ulike typer grenser langs Rovatnet og Eidselva. Disse testene antydte at det finnes et lag med lav permeabilitet på bunnen av elva. Permeabiliteten til Rovatnets bunn viste seg å være svært viktig med hensyn til størrelsen på senkningene i peilerørene. En verdi på 10 m/d gav de beste resultatene. Dette er høyere enn permeabiliteten i elvebunnen. Det må påpekes at andre kombinasjoner av akvifer/grense permeabiliteter kunne gi like bra eller bedre resultater. Prøver med slike kombinasjoner viste derimot at MODPATH-resultatene ikke ble betydelig påvirket.

Det må påpekes at modellen ikke representerer den eneste løsningen med hensyn til akviferens hydrauliske parametere og geometri. Andre løsninger, som ikke har vært prøvd, kan gi et like bra svar. Med dette forbehold kan modellen betraktes som kalibrert, og kan brukes til å simulere grunnvannsstrømningen i akviferen på Eide.

2.3.4 Simulering av grunnvannsstrømningen i akviferen

Modellen ble brukt til å simulere tidsuavhengig strøm, dvs. nedbør, vannivå i elva og Rovatnet osv. betraktes som uforanderlig.

Etter kalibrering ble MODFLOW brukt til å simulere grunnvannstrømningen i akviferen under uttak av det oppgitte behovet, dvs. 30 l/s. De tre pumpebrønnene ble gitt et uttak på 10 l/s hver. MODFLOW ble kjørt slik at et simulert grunnvannsnivå ble beregnet for hver blokk i gridet. Disse simulerte grunnvannsnivåene ble da brukt av MODPATH-modellen.

2.4 MODPATH-modell

2.4.1 Beregning av grunnvannets oppholdstid i akviferen

MODPATH beregner posisjonene til 'partikler' som introduseres i akviferen på områder som er bestemt på forhånd. Disse partiklene representerer små 'vannpartikler' som strømmer gjennom akviferen. Modellen beregner strømningsretningslinjene til disse partiklene og deres hastigheter. Modellen kan derfor gi posisjonene til partiklene på oppgitte tidspunkt, og den kan derfor beregne hvor lang tid hver partikkel bruker for å nå pumpebrønnene dvs. dens 'oppholdstid'. Dette gir et anslag over grunnvannets oppholdstid. Kjemiske reaksjoner som forsinker grunnvannet blir derimot ikke tatt hensyn til av MODPATH. MODPATH gir derfor en undervurdering av oppholdstid, og dette betyr at resultatene derfor er noe konservative.

MODPATH ble brukt til å beregne grunnvannets oppholdstid i akviferen (dvs. Lag 1) med et samlet uttak fra prøvebrønnene på 30 l/s. Formen og utstrekningen av 60-døgns grensen (dvs. beskyttelsessone I) kunne dermed bestemmes på en mye mer nøyaktig måte enn ved andre vanlige metoder som for eksempel sylindermethoden.

2.4.2 Resultater

Grunnvannets oppholdstid til pumpebrønnene er vist i kartbilag 4 ($n_e=0,29$) og kartbilag 5 ($n_e=0,20$). Disse kartene viser at den største delen av vannet stammer fra Rovatnet. Kartbilag 4 tyder på at oppholdstiden fra Rovatnet er meget kort, dvs. mindre enn 30 døgn. Dette er imidlertid en minimum oppholdstid fordi mye av vannet vil infiltrere inn i akviferen lengre ut i Rovatnet slik at vannets oppholdstid økes. Oppholdstiden fra Eidselva er lenger på grunn av laget med lav permeabilitet som ligger på elvas bunn, og reduserer gjennomtrengeligheten. Oppholdstiden fra akviferen SV for pumpebrønnene er også lenger på grunn av den lavere transmissiviteten til akviferen i dette området, samt mangelen på en positiv hydraulisk grense.

Utsrekningen til 60-døgns grensen er større hvis den effektive porøsiteten er lavere. Dette er et resultat av at en lavere porøsitet resulterer i en høyere hastighet på grunnvannsstrømmen. Dette vises i kartbilag 5 hvor 60-døgns grensen ligger lengre unna pumpebrønnene hvis $n_e=0,20$ enn hvis den er 0,29. Det er derfor denne verdien som må tas med i vurderingen av sonene.

Resultatene fra MODFLOW og MODPATH ble brukt til å bestemme formen og størrelsen av beskyttelsessonene på Eide. En nærmere beskrivelse av disse sonene finnes i kapittel 3.

3. FORSLAG TIL BESKYTTELSE

3.1 Generelle vurderinger av beskyttelsessonene på Eide

Vannets oppholdstid i mettet sone har stor betydning for både grunnvannets kjemiske og hygieniske kvalitet. Folkehelsa anbefaler at grunnvann som skal benyttes til drikkevann bør ha en oppholdstid på minst 60 døgn som barriere mot bakteriologisk forurensning.

For å beskytte grunnvannskilden brukes en soneinndeling, basert på grunnvannets oppholdstid og influensområde. For sonene er det satt opp restriksjoner som avtar i styrke med økende avstand fra uttakstedet (GiN veileder nr. 7).

- Sone 0: Brønnområdet.
- Sone 1: Det nære tilsigsområde. Grense for 60 døgn oppholdstid ved full pumpebelastning. I sone I bør det innføres restriksjoner på gjødsling, spesielt av naturgjødsel og sprøytemidler.
- Sone 2: Det fjerne tilsigsområdet. Hele infiltrasjonsområdet.
- Sone 3: Det ytre verneområdet. Omfatter øvrige arealer som vil kunne influere på grunnvannets kvalitet.

Det nære brønnområdet (sone 0) bør være ca. 15 x 15 m, og bør inngjerdes.

Grensen for sone I kan defineres ut i fra de hydrauliske forholdene i magasinet. I Segar (1995) gis en vurdering av størrelsen på sone I ut i fra "sylinder metoden". Denne metoden ga en 60-døgns radius på 185 m, og på grunn av usikkerheter i forbindelse med tynne lag av grus som øker grunnvannets hastighet, ble det anbefalt å sette grensen til sone 1 ved en minimum avstand av 250 m fra brønnene.

Denne metoden tar ikke hensyn til hydrauliske grenser som kan påvirke grunnvannsstrømningen i akviferen. Når pumpebrønner plasseres i nærheten av en positiv hydraulisk grense (dvs. en grense som fungerer som en vann giver), kan denne påvirkningen ha stor betydning for grunnvannets hastighet og strømningsretninger. En pumpebrønn vil trekke mer vann fra en slik grense og mindre fra andre retninger. Dette betyr at grunnvannets oppholdstid i andre retninger økes.

Metoden antar også at toppen og bunnen til akviferen har null permeabilitet. Dette betyr at det ikke blir tatt hensyn til vannbidraget fra over- og underliggende lag. Dette bidraget kan være stort, og vil resultere i et lavere bidrag fra selv akviferen, noe som medfører lavere grunnvannsstrømningshastigheter i akviferen og en mindre utstrekning av beskyttelsessone I.

3.2 Anbefalinger av beskyttelsessoner basert på grunnvannsmodellering

MODPATH resultatene med $n_e=0,20$ (kartbilag 5) gir en maksimum grense for 60-døgns oppholdstid på ca. 83 m fra pumpebrønnene med et uttak på 30 l/s. Det er da brukt en effektiv porøsitet på 20% som kan anses som et minimum for denne type løsmasseavsetning. Denne verdien er sannsynligvis en undervurdering av den virkelige verdien. På grunn av inhomogene forhold som det ikke er tatt hensyn til i modellen anbefales det likevel at grensen til beskyttelsessone 1 plasseres ca. 100 m fra pumpebrønnene. Dette er betydelig mindre enn det som ble foreslått ved bruk av sylinder-metoden (Segar, 1995). De anbefalte beskyttelsessonene for Eide-området blir da som vist i kartbilag 6. Soner II og III opprettholdes som anbefalt i Segar (1995).

4. HYDROKJEMISKE FORHOLD PÅ EIDE

4.1 Beregning av vannbidragene fra Rovatnet/Eidselva og grunnvann

For å beregne de ulike vannbidragene fra disse kildene, kan vi bruke forholdet mellom kloridinnholdet i det opp-pumpede vannet og det i Rovatnet og/eller elva. Kloridionene brukes fordi de ikke reagerer i særlig grad med mineralfasen i løsmassene dvs. kloridinnholdet vil ikke forandres i særlig grad mens vannet strømmer gjennom grunnen. Siden overflatevann og grunnvann vanligvis har forskjellig kloridinnhold, kan kloridinnholdet i opppumpet vann gi en indikasjon på hvor vannet stammer fra.

Fordelingen mellom eldre vann og overflatevann i opppumpet vann gis av uttrykket:

$$V_{gv} / V_o = (C_b - C_o) / (C_{gv} - C_o)$$

hvor: V_{gv} volum av vann som stammer fra grunnvann
 V_o " " " " " " overflatevann (dvs. Rovatnet og Eidselva)
 C_b klorid-innholdet i det opppumpede vannet (ca. 10 mg/l)
 C_{gv} " " " grunnvann (ca. 15 mg/l)
 C_o " " " overflatevann (ca. 6 mg/l)

Dette gir $V_{gv}/V_o = 4/5$. Dette antyder at 4/9 eller 44% av opp-pumpet vann stammer fra eldre grunnvann, mens 5/9 eller 56% stammer fra overflatevann (enten elva eller Rovatnet). Denne verdien er selvsagt meget usikker fordi kloridinnholdet i det eldre grunnvannet viser store variasjoner, men den beregnede fordelingen gir likevel en klar indikasjon på at hoveddelen av det opppumpede grunnvannet stammer fra Rovatnet eller elva, og dette stemmer godt overens med beregningene av oppholdstider basert på modellering av grunnvannets strømningsmønster.

4.2 Nitrogenregnskap

4.2.1 Problemstilling

Et nitrogenregnskap kan brukes til å bestemme hvor mye nitrat som tilføres grunnvannet fra gjødsling, og hvilken betydning dette kan ha for nitratinnholdet i et grunnvannsuttak.

Fra oppgitte verdier på gjødselmengder og antatte/beregnete verdier for andre nitrogenbidrag, er det forsøkt å beregne hvor stor innvirkning gjødslinga har på nitratinnholdet i opppumpet grunnvann, og hvor stor betydning en reduksjon i gjødselmengden har for nitratinnholdet i grunnvannet.

4.2.2 Nitrogenbudsjett

Nitrogentilskuddet til grunnvann kan beregnes ved følgende ligning:

$$N (\text{grunnvann}) = N (\text{gjødning}) + N (\text{nedbør}) - N (\text{avling}) - N (\text{utvasking/avrenning}) - N (\text{denitrifikasjon}) - N (\text{adsorbent/utfelt})$$

hvor N (grunnvann) er nitrogenmengden som når grunnvannsmagasinet.

N (gjødning) er total nitrogenmengde (nitrat + ammonium) fra gjødning.

N (nedbør) er total nitrogenmengde i nedbøren som faller ned på avsetninga og når grunnvannsmagasinet.

N (avling) er den totale nitrogenmengden i avlinga.

N (utvasking/avrenning) er nitrogenmengden fra gjødning som vaskes bort av overflatevann.

N (denitrifikasjon) er N-nitrat som omdannes til N-gass ved anaerobe forhold som forsterkes ved organisk innhold i løsmassene.

N (adsorbent/utfelt): Nitrationene er negativt ladet og lett løselig og vil ikke adsorberes/utfelles i nevneverdig grad, mens ammoniumionene kan adsorberes til partikler med negativ overflateladning p.g.a sin positive ladning. Denne verdien er likevel meget liten i forhold til totalmengden N i grunnvann og kan derfor neglisjeres.

N (gjødning)

Gjødselmengder: Kunstgjødning: To gjødslinger på h.h.v. 70 og 30 kg/dekar fullgjødning type 22-2-12 (21,6 % N).

Naturgjødning: Ca. 1750 kg/dekar (ca. 2 % N)

Størrelsen på dyrket areal med avrenning mot brønnstedet er ca. 130 dekar og dette gir følgende gjødselmengder omregnet i Nitrogen/dekar og år:

Kunstgjødning: 70+30 kg * 21,6 %	= 21,6 kg/dekar	= 2808 kg/år
Naturgjødning: 1750 kg * 2 %	= 3,5 kg/dekar	= 455 kg/år
Total nitrogenmengde	= 25,1 kg/dekar	= 3263 kg/år

N (nedbør)

Nedbørfelt som drenerer mot brønnene: ca. 0,17 km³

N-innhold i nedbør ca. 0,3 mg/l

Nedbørmengde - avrenning: ca. 1000 mm/år

Samlet nitrogenmengde: ca. 51 kg

N (avling)

Ut fra tidligere undersøkelser kan man anta en utnyttelsesgrad på 60 %, dvs at 60 % av tilført nitrogen i form av gjødning tas opp i avlinga. Dette betyr at 25 kg/dekar * 60 % = 15 kg/dekar = 1950 kg N/år går med til avling og 10 kg/dekar (1300 kg/år) i avlingstap . Sammenlignet med andre undersøkelser (Haarstad, 1993) og Moen (1995) er dette et relativt høyt avlingstap.

N (utvasking/avrenning)

Denne mengden er vanskelig å beregne da den varierer mye med nedbørsforholdene under gjødsling. Ut fra erfaringstall kan det antas at ca. 10 % av tilført nitrogen i form av gjødsel forsvinner med utvasking/avrenning, dvs 2,5 kg N/dekar = 326,3 kg N/år.

N (denitrifikasjon)

Denne verdien er også vanskelig å tallfeste, men det er kjent at reduserende forhold og et organisk innhold i løsmassene øker denitrifikasjonen. I akviferen på Eide er det både påvist reduserende forhold og organisk innhold i løsmassene. I dette tilfellet settes derfor denitrifikasjonen til 5 % av tilført N i form av gjødsel. dvs 1,25 kg N/dekar = 163 kg/år.

Tilskuddet av nitrogen til grunnvannet blir da:

$$\begin{aligned} N (\text{grunnvann}) &= N (\text{gjødsel}) + N(\text{nedbør}) - N(\text{avling}) - N (\text{utvasking/avrenning}) - N \\ (\text{denitrifika.}) &= 3263 \text{ kg} + 51 \text{ kg} - 1950 \text{ kg} - 326 \text{ kg} - 163 \text{ kg} = \mathbf{875 \text{ kg N/år.}} \end{aligned}$$

Gjennomsnittlig uttak av grunnvann under pumpeperioden: 15 l/s = 473040 m³/år.

Gjennomsnittlig konsentrasjon av nitrogen i grunnvann : 875 kg/473040000 l = 1.85 mg N/l.

Hvis man antar at alt nitrogen i grunnvann opptrer som nitrat blir innholdet **8,2 mg NO₃/l**.

Dette tallet er selvsagt meget usikkert da det bygger på mange usikre verdier og det antas at alt vann som infiltreres på dyrkamarka mellom Eidselva, Rovatnet, riksveien og gården Eidet renner mot brønnen.

4.2.3 Nitratinnhold i grunnvannet

Nitratinnhold i grunnvann fra undersøkelsesbrønner varierer fra < 0,05 mg/l til 32 mg/l NO₃ med et gjennomsnitt på 7,3 mg/l. Nitratinnholdet er høyest i undersøkelsesbrønnen som står lengst inn på dyrka mark (borh. 13), mens det ikke ble målt nitrat i brønnen lengst ut mot Rovatnet (borh. 14).

Nitratinnholdet i grunnvann under prøvepumping av brønner I og II avtar fra 50 mg/l etter 1 døgns pumping til mindre enn 1 mg/l etter ca. 100 døgns pumping. I brønn 3 avtar nitratinnholdet fra 5,4 mg/l ved pumpestart til ca. 1 mg/l etter ca. 100 døgns pumping. Denne reduksjonen skyldes både at brønnene trekker mer nitratfattig vann fra Rovatnet og at det i løpet av pumpeperioden ikke er gjødslet. I drikkevannsforskriften er kravet til nitratinnhold maksimum 44 mg/l.

I løpet av den ca. fem måneder lange pumpeperioden er det pumpet ut ca. 770 kg NO₃ dvs. ca 175 kg nitrogen. I løpet av ett år gir dette ca. 440 kg nitrogen som er ca. halvparten av den beregnede mengden nitrogen som tilføres grunnvannet (875 kg/år). Forskjellen mellom denne verdien og det beregnede N-tilskuddet fra gjødsling skyldes mest at endel av grunnvannet i avsetningen ikke dreneres mot pumpebrønnene og/eller at en større andel av tilført nitrogen renner av på overflaten.

4.2.4 Konsekvenser av redusert gjødsling

Med liten tykkelse på umettet sone og åpen akvifer anbefales det et totalt forbud mot bruk av naturgjødning og sprøytemidler i sone 1. Dette vil ikke få vesentlige konsekvenser for nitratinnholdet i grunnvannet på grunn av at utbredelsen av sone 1 bare omfatter ca. 8 dekar dyrket mark og at nitrogeninnholdet i naturgjødning er forholdsvis lavt sammenlignet med kunstgjødning.

Forbud mot naturgjødning og sprøytemidler i sone 1 er av langt større betydning for en sikrere hygienisk kvalitet på grunnvannet. Hvis redusert gjødselmengde skal få vesentlig innvirkning på nitratinnholdet i grunnvannet, må det en større reduksjon til. Dette kan belyses med følgende eksempel:

Det antas at gjødselmengden reduseres med 20 % dvs. en total gjødselmengde på 2610 kg N og at dette gir en reduksjon i avlinga på 10 % dvs. en total avling på 1755 kg N.

Nitrogentilskuddet til grunnvann blir da $(2610 + 51 - 1755 - 261 - 131)$ kg N/år = 514 kg N/år, dvs. en reduksjon på ca. 40 %. Et gjennomsnittlig uttak av grunnvann på 15 l/s gir dermed en gjennomsnittlig N-tilskudd til grunnvannet på 1,09 mg N/l eller 4,8 mg NO₃ /l som er 40 % lavere enn før reduksjon i gjødselmengde. I og med at bare halvparten av nitrogentilskuddet igjennfinnes i pumpebrønnene, blir gevinsten av en 20 % reduksjon i nitrogenmengden i form av gjødsling en ca. 20 % reduksjon i nitratinnholdet i oppumpet grunnvann.

REFERANSER

Ersland, B.G., Johnsen, B., Odling, N., Banks, D. & Misund, A. 1992. Numerisk modellering av grunnvannsstrømning - en introduksjon. *NGU Rapport 92.258*.

GiN veileder nr. 7: Grunnvann - Beskyttelse av drikkevannskilder. *Norges geologiske undersøkelse Miljøverndepartementet*.

Gjødselhåndbok 89/90. Norsk Hydro.

Haarstad, K. 1993. Forurensing og grunnvannskvalitet. *Jordforsk, NLH. Prosjekt nr. 1143*.

Hemne kommune, 1992. Hovedplan vannforsyning. *Hemne kommune, teknisk etat rapport, august 1992*.

Langguth, H.R. & Voigt, R.H. 1980. Hydrogeologische Methoden (Hydrogeologiske metoder - på tysk). *Springer Verlag, 486pp*.

McDonald, M.G. & Harbaugh, A.W. 1988. A modular three dimensional finite difference groundwater flow model. *Tech. wat. res. planning U.S.G.S. Book 6, Chapter A1*.

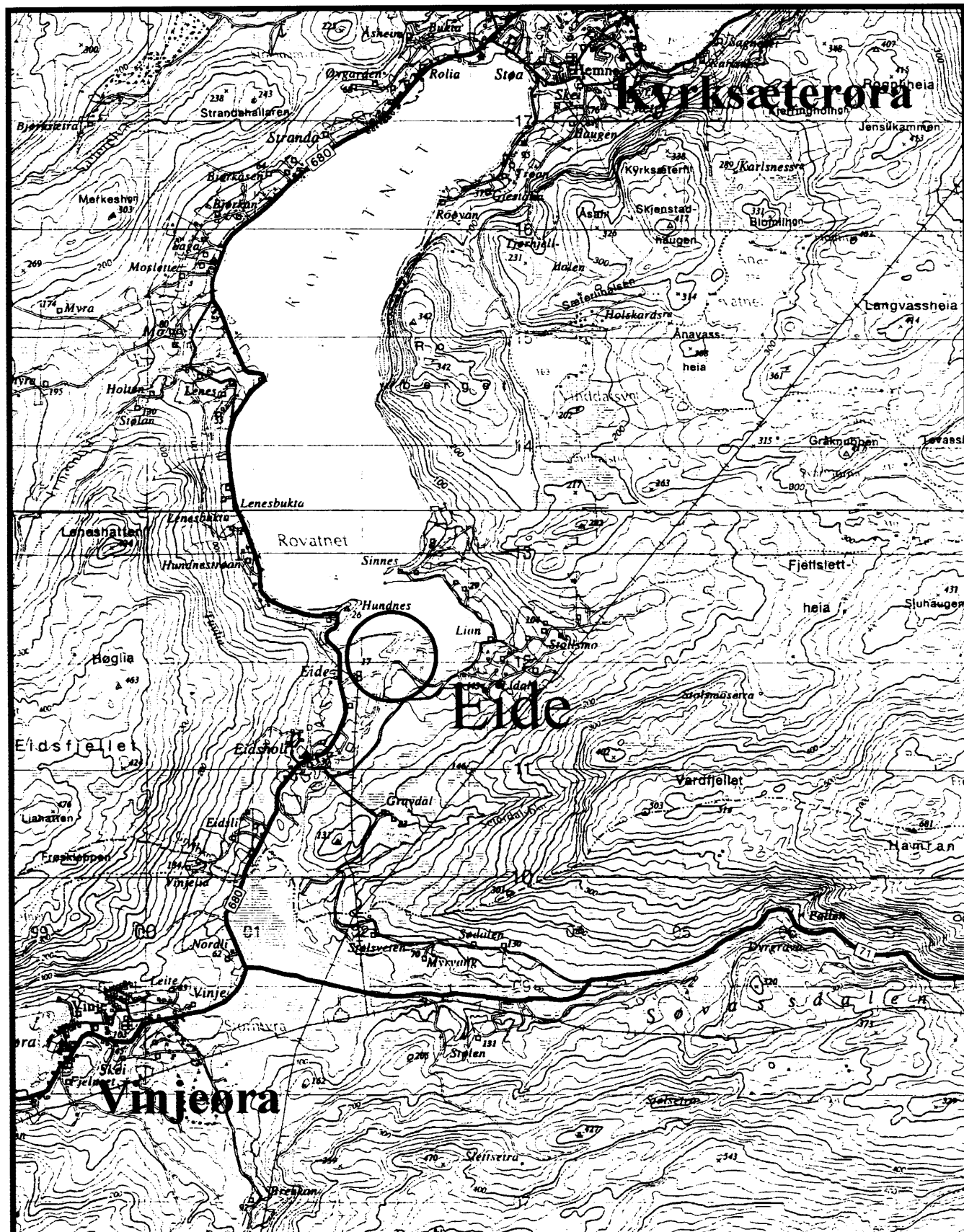
Moen, S. 1995. Nitrat i grunnvann - Ålmoavsetningen, Snåsa. *Prosjektarbeid 1995, institutt for geologi og bergteknikk, NTH*.

Pollock, D.W. 1989. Documentation of computer programs to compute and display pathlines using results from the U.S.G.S. Geological Survey modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. *U.S. Geological Survey Open File Report 89-381*.

Segar, D.A. & Muring, E. 1995. Grunnvannsundersøkelser i Hemne kommune. Oppfølging av GiN-prosjektet i Sør-Trøndelag fylke. *NGU Rapport 94.069*.

KARTBILAG

Kartbilag	1	Oversiktskart, Eide-området
	2	Detaljkart med plassering av brønner
	3	Endelig differans grid
	4	Oppholdstid til pumpebrønnen. Akvifer effektiv porøsitet=0,29
	5	Oppholdstid til pumpebrønnen. Akvifer effektiv porøsitet=0,20
	6	Forslag til soneinndeling ved beskyttelsessoner



Oversiktskart (utsnitt av kartblad 1421 II) som viser plasseringen av det undersøkte området på Eide.

EIDE

HEMNE KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:50.000

MÅLT

TEGN DAS

TRAC

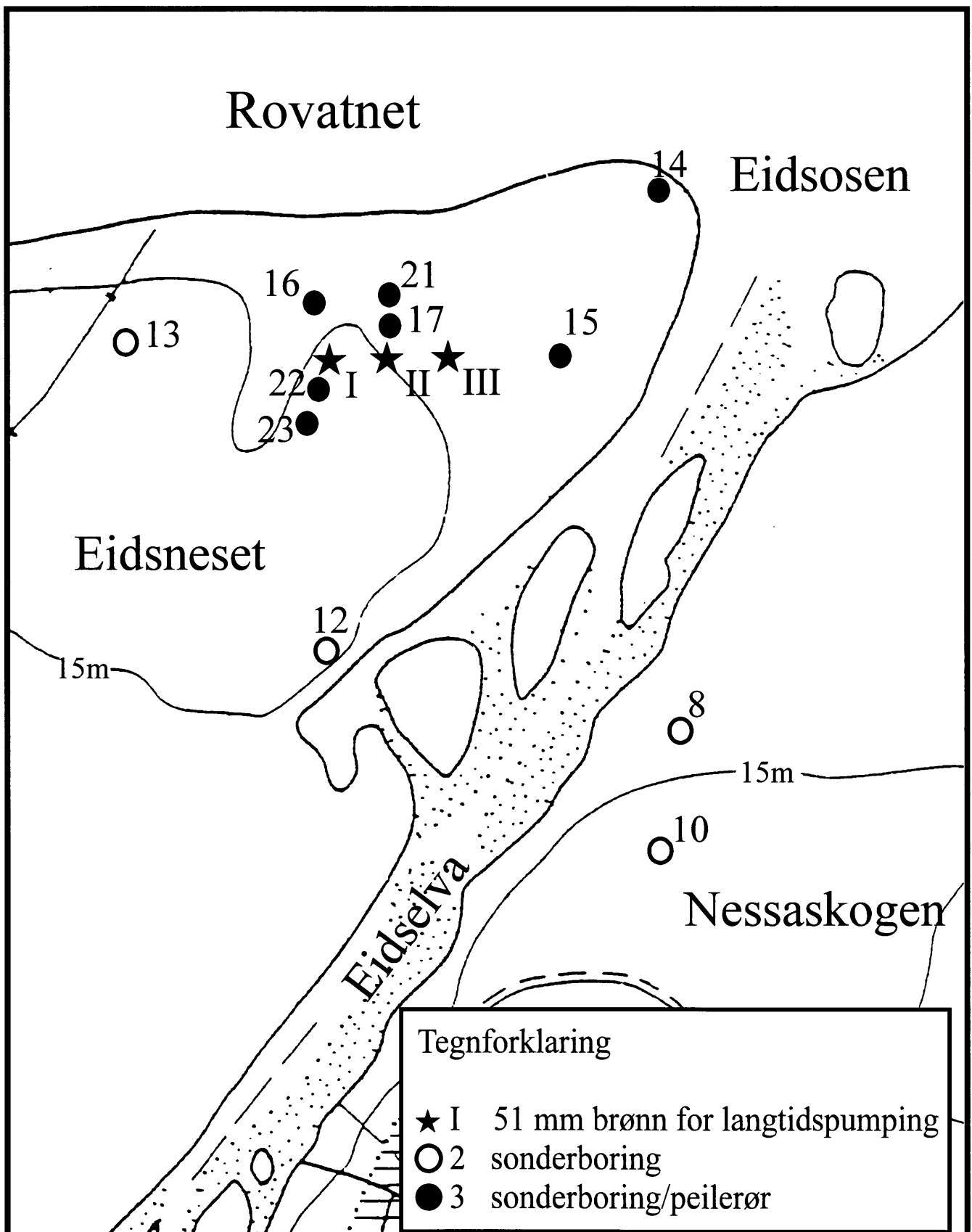
KFR

JUNI 1995

FEB 1996

KARTBILAG NR
1

KARTBLAD NR
1421-II



Oversiktskart med plassering av brønner
EIDE

HEMNE KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:1.500

MÅLT

TEGN DAS

TRAC

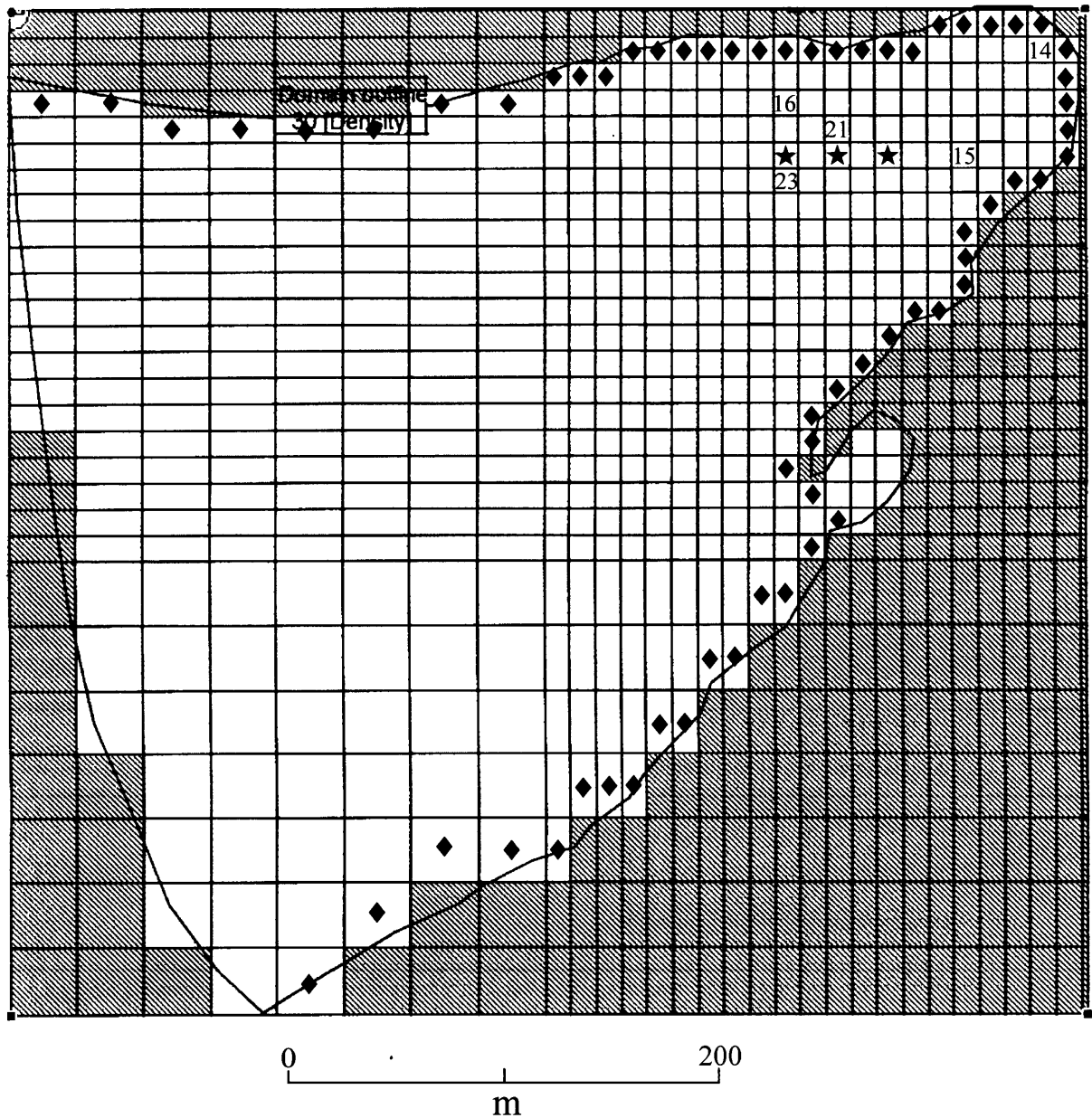
KFR

JUNI 1995

FEB 1996

KARTBILAG NR
2

KARTBLAD NR
1421-II



Tegnforklaring:

- endelig differans blokk (aktiv)
- blokk med null permeabilitet (uvirksom)
- ◆ blokk med uforanderlig grunnvannsnivå (positiv hydraulisk grense)
- ★ blokk som representerer pumpebrønn
- 14 blokk som representerer peilrør (med peilrør nr.)

Endelig differans grid

EIDE

HEMNE KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLT JUNI 1995

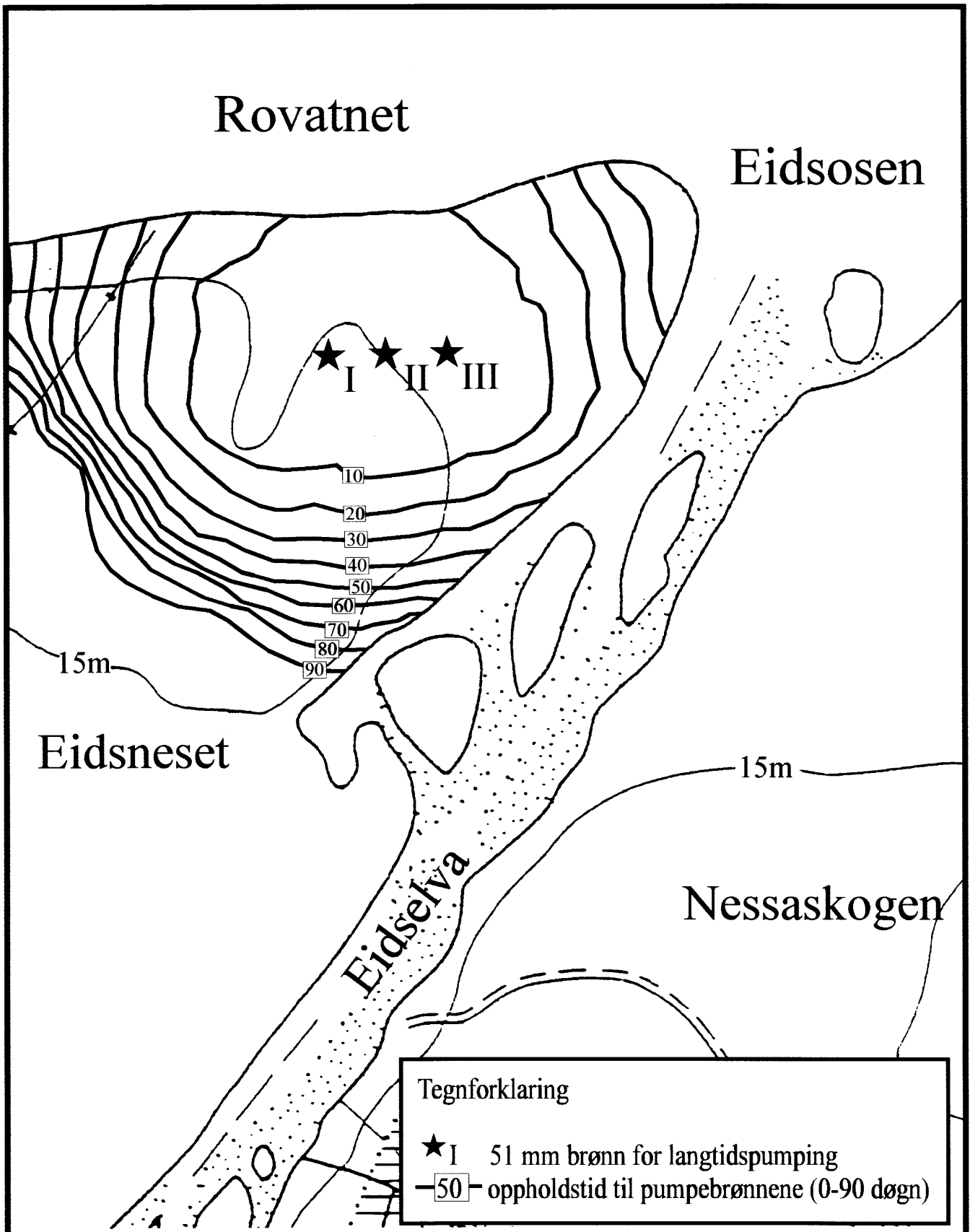
TEGN DAS FEB 1996

TRAC

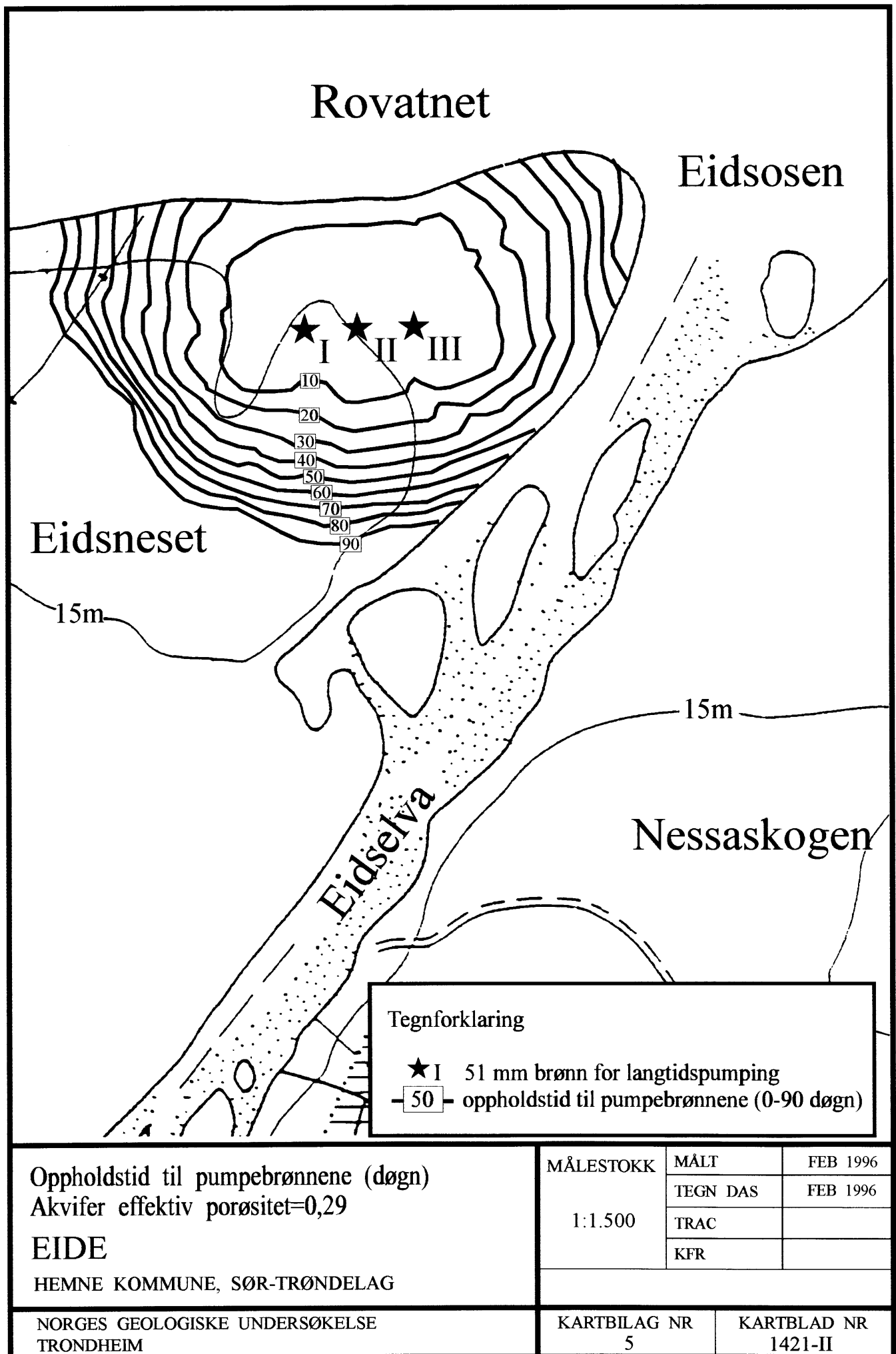
KFR

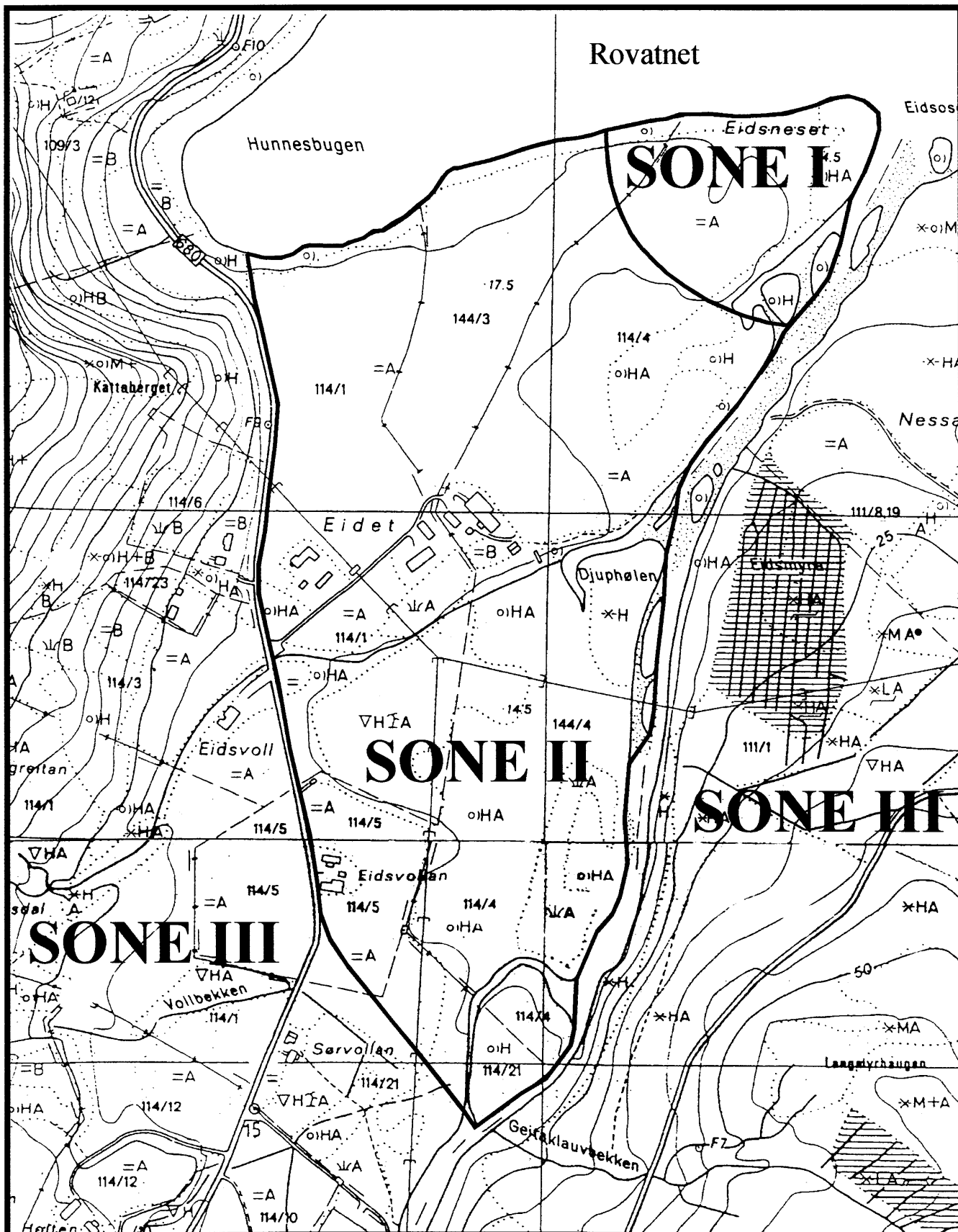
KARTBILAG NR
3

KARTBLAD NR
1421-II



Oppholdstid til pumpebrønnene (døgn) Akvifer effektiv porøsitet=0,20 EIDE HEMNE KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG	MÅLESTOKK	MÅLT	FEB 1996	
	1:1.500	TEGN	DAS	FEB 1996
		TRAC		
		KFR		
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 4	KARTBLAD NR 1421-II		





Forslag til soneinndeling ved beskyttelse av
 akviferen. Sone III defineres i teksten.
EIDE
 HEMNE KOMMUNE, SØR-TRØNDELAG

MÅLESTOKK 1:5000	MÅLT	FEB 1996
	TEGN DAS	FEB 1996
	TRAC	
	KFR	

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

KARTBILAG NR 6	KARTBLAD NR 1421-II
-------------------	------------------------