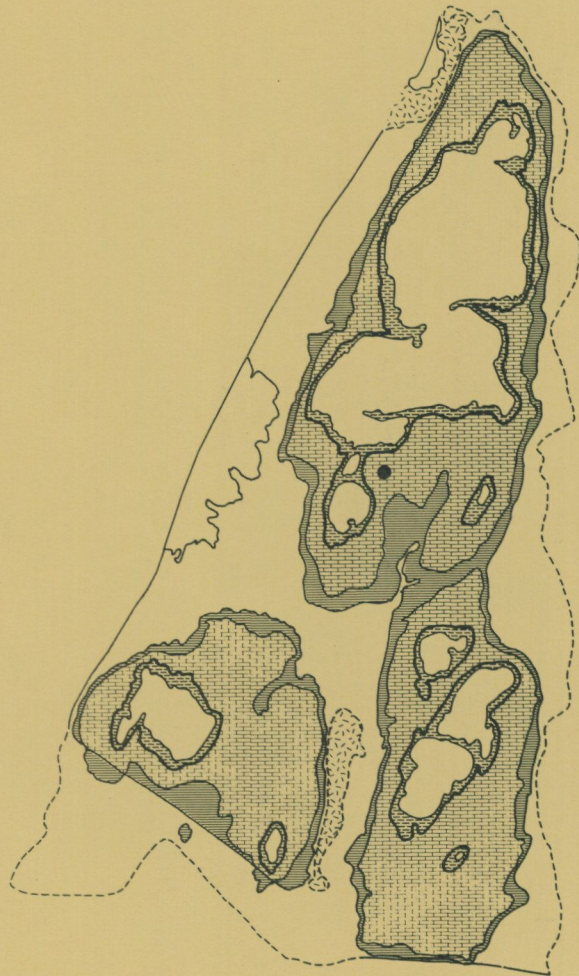




SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING



RANSTAD SKIFFERAKTIEBOLAG

Grundvattenpåverkan vid mineralutvinning
ur alunskiffer vid Ranstad

maj 1980

GRUNDVATTENPAVERKAN VID MINERALUTVINNING UR ALUNSKIFFER
VID RANSTAD

Rapport sammanställd på uppdrag av Ranstad Skifferaktiebolag

Rapporten har sammanställts vid kvartär- och hydrogeologiska
byrån av Charlie Axelsson, Leif Carlsson och Anders Carlstedt

MAJ 1980

INNEHALLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	1
1. Inledning	1
2. Utförda undersökningar	2
3. Geologiska förhållanden	3
3.1 Berggrund	3
3.2 Tektonik	3
3.3 Jordlagren	5
4. Hydrometeorologi	6
4.1 Nederbörd	6
4.2 Temperatur	8
4.3 Avdunstning	8
5. Hydrologiska förhållanden	9
6. Naturliga grundvattenförhållanden	11
6.1 Jordlagren	12
6.1.1 Vattengenomsläpplighet	12
6.1.2 Grundvattenstånd	12
6.1.3 Grundvattenbeskaffenhet	13
6.1.4 Källor i jordlagren	14
6.2 Berggrunden	14
6.2.1 Vattengenomsläpplighet	14
6.2.2 Grundvattenstånd	16
6.2.3 Grundvattenbeskaffenhet	17
6.2.4 Källor i berglagren	18
7. Grundvattenströmning och grundvattenbalans i berg- grunden	20
7.1 Beräkningsmetodik	20
7.2 Analytiska beräkningar	20
7.3 Numeriska beräkningar	22
7.4 Resultat	23
7.4.1 Sandstensakviferen	23
7.4.2 Kalkstensakviferen	26
7.4.3 Lerskifferakviferen	29
7.4.4 Bentonit- och alunskifferakvikluderna	31
7.4.5 Översiktlig grundvattenbalans	32

8. Befintlig och planerad verksamhets inverkan på grundvattenförhållandena	35
8.1 Beräkningsmetodik	35
8.2 Inverkan av nuvarande skifferbrytning	37
8.2.1 Dagbrott	37
8.2.2 Underjordsgruva och vattentäkter	39
8.3 Inverkan av nuvarande restproduktdeponering	42
8.4 Inverkan av planerade skifferbrytning	45
8.4.1 Den planerade skifferbrytningens omfattning .	45
8.4.2 Dagbrott	47
8.4.3 Underjordsgruva	49
8.5 Inverkan av planerad restprodukthantering	52
8.5.1 Den planerade restprodukthanteringens om- fattning	52
8.5.2 Lakrestdeponering i dagbrottsområdet	53
8.5.3 Slamdeponering i underjordsgruvan	55
8.5.4 Slamdeponering vid Tovatorp	58
8.5.5 Sammanfattning av restproduktdeponeringens inverkan på grundvattenförhållandena	60

SAMMANFATTNING

Den planerade verksamheten vid Ranstadsverket omfattar bl a en gruvproduktion av 2.2 miljoner ton (Mton) infraktat berg per år. Denna produktion beräknas ske dels i dagbrott dels i underjordsgruva. Restprodukter från mineralutvinningen avses bli deponerade i de utbrutna områdena och inom nuvarande lakrestområde. Den naturliga balans som råder i vattenomsättningen mellan de olika geologiska enheterna inom området kommer därvid att utsättas för störningar.

De följder som dagbrotsbrytningen av alunskiffer i huvudsak kan förutses få är dels en avsänkning av grundvattennivån i jordlager och kalksten i anslutning till dagbrottet, dels en kvalitativ påverkan. Avsänkningens utbredning mot norr och väster bedöms bli maximalt 200 m. Mot söder och sydväst torde avsänkningen av grundvattennivån i jordlagren sträcka sig ca 700 m ut från dagbrotsområdet och mot öster 300 - 400 m.

Underjordsbrytningen kommer under den första tiden att bedrivas dels mellan Myggeberget och Ranstadsverket, dels mot norr in under Sydbillingen.

Grundvattensituationen i jordlagren i anslutning till underjordsgruvan bedöms bli påverkad i begränsad omfattning genom avsänkning av grundvattennivån. Någon påverkan uppå på diabasplatån kan inte förutses. Vissa delar av sluttningszonerna kan dock komma att beröras.

Från kalkstensakviferen kommer grundvattnet att dräneras ned till gruvrum och orter. Dräneringen sker i två etapper, dels som magasininstömning i brytningens öppningsskede, dels som kontinuerligt tillströmmande grundvatten vid ett utbildat jämviktstillstånd.

Ovanför brytningsområdena kommer grundvattennivån att sänkas med upp till 80 m. På 500 och 800 m avstånd från underjordsgruvan beräknas avsänkningen bli 5 respektive 1 m.

Genom att grundvattennivån i kalkstensakviferen sänks kommer även grundvattnets nivåförhållanden i lerskifferakviferen att påverkas i form av en grundvattensänkning. Storleken av denna avsänkning beror på hur stor del av underjordsgruvan som hålls öppen och kan vid 5 km² gruva beräknas till 25 - 30 m ovanför underjordsgruvan och till ca 1 m på ett avstånd av 200 - 300 m.

Grundvattenavsänkningen i lerskiffer- och kalkstensakvifererna får till följd att den naturliga utströmningen i form av källor och diffust läckage minskar inom vissa områden. Källorna försörjs till största delen med vatten från bergens randzoner där infiltrationen av nederbörd är hög. Därför bedöms underjordsgruvan endast komma att påverka källor som ligger närmare än 800 m (källor ur kalkstensakviferen) respektive 500 m (källor ur lerskifferakviferen).

Den avsänkning av sandstens- och grundvattenytan som kan påräknas är svårbedömd och är i första hand beroende av hur stor del av underjordsgruvan som hålls öppen. Vid fullt utbruten underjordsgruva kan en avsänkning av ca 3 - 4 m påräknas. Generellt kan sägas att de grundvattenuttag som finns eller planeras ur sandstenen genom brunnar i denna, har eller kommer att få större betydelse för sandstensgrundvattnets nivå än den planerade underjordsgruvan.

Restproduktdeponeringen medför dels hydraulisk påverkan dels påverkan av grundvattnets beskaffenhet.

Från lakrestdeponeringen i dagbrottsområdet kommer kontaminerat vatten att perkolera genom alunskiffern till sandstensakviferen. Storleken av denna perkolation beräknas till 2 - 3 mm/per år eller ca 0.4 l/s från hela deponeringsområdet. Utspädningen

av lakvattnet i sandstensgrundvattnet beräknas till ca 0.02 gånger de jämviktsvärden som förekommer i vatten i jämvikt med lakresten.

Även från slamdeponeringen i underjordsgruvan kommer lakvatten att tillföras sandstensakviferen. Mängden lakvatten beräknas till ca 8 mm/år eller $0.25 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. Utspädningen av detta lakvatten, räknat vid Ranstadsverkets brunnar, beräknas till ca 0.2 gånger de jämviktsvärden som förekommer i vatten i jämvikt med filtreringsresterna.

Slamdeponeringen vid Tovatorp anläggs inom nuvarande lakrestområdet på befintlig markyta. Från deponeringen kommer lakvatten att transporteras dels vertikalt genom jord, kalksten och alunskiffer ner till sandstenen dels horisontellt i jord och kalksten.

Till sandstenen beräknas naturligt ca 6 mm/år tillföras, dvs 0.1 l/s eller $8 \text{ m}^3/\text{dygn}$ under deponeringsområdet. Den vattenmängd som tillförs jord- och kalkstenslager beräknas till 0.6 l/s eller $50 \text{ m}^3/\text{dygn}$.

Utspädningen i jord- och kalkstensgrundvattnet av de ursprungliga salthalterna i lakvatten från slammagasinet beräknas till 0.9. För det lakvatten som tillförs sandstensgrundvattnet beräknas utspädningen bli 0.006, när grundvattnet når området öster om Hornborgasjön.

Grundvattenpåverkan vid mineralutvinning ur alunskiffer vid Ranstad

1. INLEDNING

Sedan början av 1960-talet har en försöksanläggning för uranutvinning ur alunskiffer funnits vid Ranstad ca 15 km SV om Skövde. Denna anläggning dimensionerades för en brytning av knappt 1 Mton/år. Ett omfattande utredningsarbete har bedrivits av AB Atomenergi resp Projekt Ranstad -75 för att undersöka förutsättningarna att utvinna uran i en omfattning som skulle tillgodose uranbehovet för det svenska kärnkraftsprogrammet. Denna målsättning innebar en skifferbrytning på 6 Mton/år under 25 år.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) gjorde en bedömning vilken inverkan på grundvattenförhållandena en sådan skifferbrytning skulle komma att få. SGU:s synpunkter finns redovisade i rapporterna "Hydrogeologiska synpunkter på planerad brytning av uranskiffer i dagbrott och gruva vid Ranstad och av kalksten vid Rådene, Skaraborgs län" och "Hydrogeologiska synpunkter på planerad uranutvinning i Billingen vid Ranstad, Skaraborgs län" daterade juli 1974 (SGU, 1974) resp mars 1977 (SGU, 1977 a).

Från och med hösten 1976 ändrades målsättningen för utredningsarbetena vilka inriktades på en s k fullutvinning av alunskiffers värdefulla beståndsdelar. Produktionsdelen innebar en skifferbrytning av 1 Mton/år under 10 år. Denna brytning avsågs att i sin helhet ske i dagbrott.

SGU gjorde i detta sammanhang på uppdrag av LKAB Mineralprojekt en bedömning av hur denna mineralutvinning skulle kunna komma att påverka grundvattensituationen. SGU:s synpunkter redovisades i rapporten "Hydrogeologiska synpunkter på planerad mineralutvinning ur alunskiffer vid Ranstad", daterad maj 1977 (SGU, 1977 b).

Produktionsdelen i det nu aktuella projektet ska uppgå till ca 2.2 Mton alunskiffer per år under 25 år varav 1.1 Mton i dagbrott och 1.1 Mton i underjordsgruva. Restprodukter från mineralutvinningen avses bli deponerade i de utbrutna områdena såväl som inom nuvarande lakrestområde. Föreliggande rapport avser att framförallt belysa den kvantitativa inverkan på grundvattenförhållandena men också översiktligt diskutera riskerna för den kvalitativa grundvattenpåverkan som den planerade mineralutvinningen vid Ranstad kan förväntas få.

2. UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

Denna rapport bygger i allt väsentligt på det informationsunderlag som presenterats i SGU:s rapporter daterade juli -74 och mars -77 (SGU, 1974 resp SGU, 1977 a).

Vissa av de beräkningsresultat som redovisas i nämnda rapporter har justerats i föreliggande rapport. Anledningen till detta är framförallt att numerisk modellberäkningsmetodik nu tillämpats vilket gjort det möjligt med samtliga areella betraktelser av grundvattenförhållanden och grundvattenomsättning.

3. GEOLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

3.1 Berggrund

Berggrunden inom Billingen - Falbygden består av kambrosiluriska sedimentbergarter, såsom sandstenar, kalkstenar och skiffrar, fig 3. Bergarterna i lagerserien är planparallellt lagrade på varandra med en genomsnittlig stupning av 3⁰/100 mot nordnordväst och vilar på urberget. Ställvis överlagras sedimentbergarterna av diabas. Lagerserien är mycket enhetligt uppbyggd och de olika lagrens sammansättning och tjocklek varierar i liten omfattning. Den totala mäktigheten av den sedimentära lagerserien uppgår till ca 150 m. Diabasens tjocklek kan uppgå till 40 m.

Lagerseriens homogena uppbyggnad exemplifieras av att det tunna bentonitskiktet 1 - 1.5 m (jfr fig 3) har påträffats i samtliga undersökningsborrhål, som drivits från diabasplatån till större djup än den beräknade nivån för bentoniten.

3.2 Tektonik

Området har utsatts för rörelser (tektoniserats) efter det att de sedimentära bergarterna avsatts. Utförda sprickmätningar visar, att sprickigheten i samtliga bergarter i huvudsak är vertikala. I sin helhet domineras området av två tämligen riktningskonstanta huvudsprickriktningar, en i nordväst - sydost och en i nordnordost -sydsydväst till nordost - sydväst, se fig 3. Dessutom förekommer sprickzonsanvisningar i ost - västlig riktning, t ex passen mellan Brunnhemsberget och Myggeberget, mellan Myggeberget och Sydbillingen samt i höjd med Bjärsjön - Hållsdammen och Söakullsmossen.

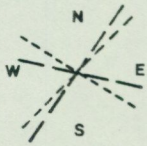
Gjorda observationer, bl a genom kärnborrningar, antyder att sprickzoner, som är tydligt utbildade i diabasen, kan ha en mer eller mindre väl markerad fortsättning genom hela lagerföljden.

GEOLOGISK KARTA ÖVER BILLINGEN— FALBYGDEN

Sammanställning av sprickmätningar

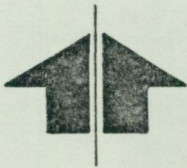
Dominerande sprickriktning i:

- — — — — Överordovicisk lerskiffer
- — — — — Underordovicisk kalksten
- - - - - Överkambrisk alunskiffer
- Underkambrisk sandsten



- Diabas
- Lerskiffer
- Bentonit
- Kalksten
- Alunskiffer
- Sandsten
- Gnejs
- Förkastning, nedsänkning i pilarnas riktning
- Dito, osäker

0 2 4 km



Godkänd ur sekretessynpunkt för spridning.
Statens lantmäteriverk 1977-09-15.

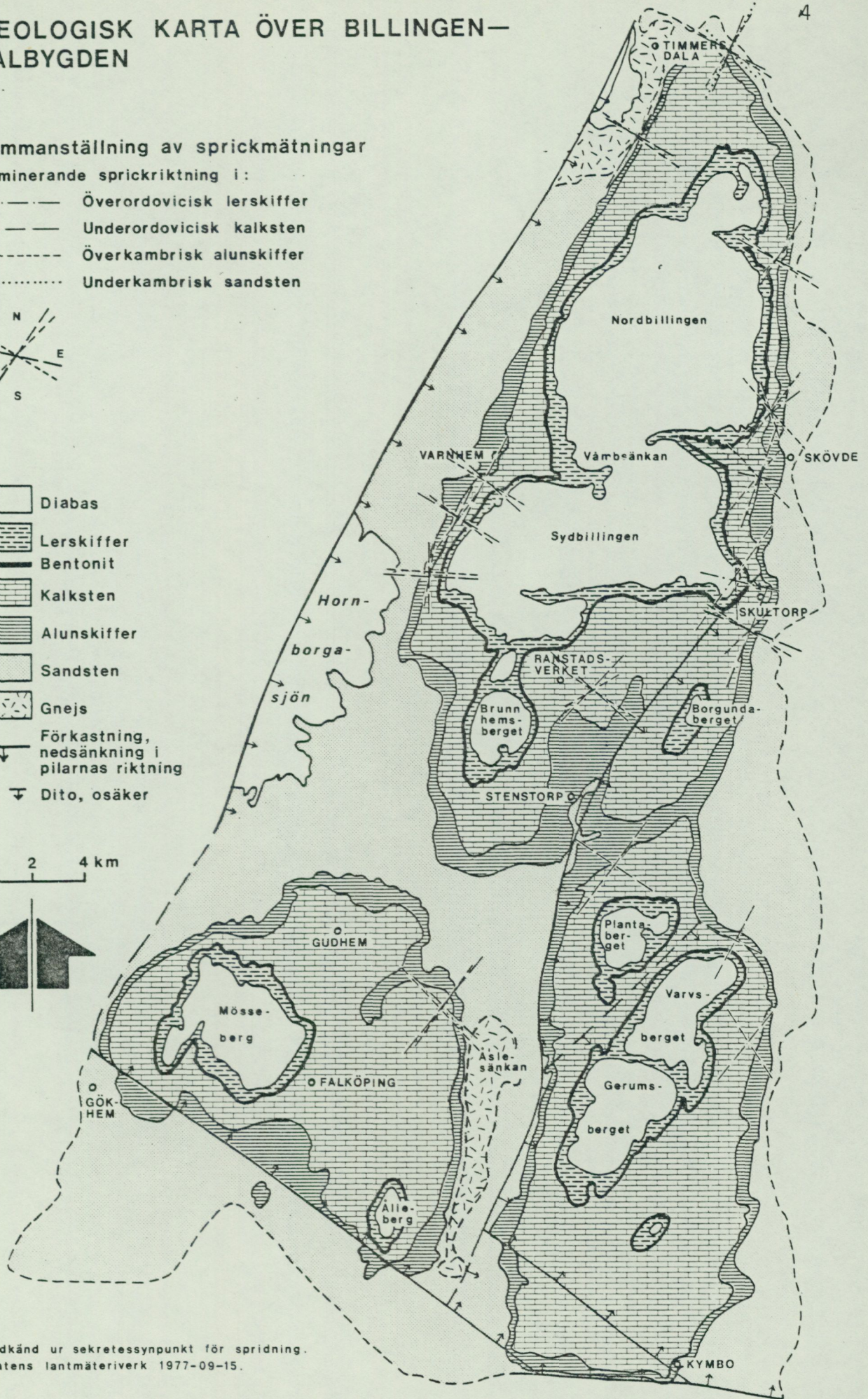


Fig. 3. Geologisk karta över Billingen - Falbygden.

De sedimentära bergarternas uppkrossning längs några av de förekommande tektoniska zonerna har undersökts med seismik och genom borrhning. Därvid har observerats en ökad sönderkrossning i diabas, lerskiffer, kalksten och sandsten. Alunskiffern däremot tycks ej ha krossats sönder i motsvarande omfattning ens vid relativt stora förkastningsrörelser, (Nolheden, 14 m). Detta förhållande kan förklaras med att alunskiffern är relativt plastisk i jämförelse med de övriga bergarterna och att den i stället är böjd (s k flexur) i anslutning till tektoniska zoner. Små tektoniska rörelser (någon eller några meter) i berggrunden torde därför knappast ha medfört att alunskiffern krossats även om så är fallet med övriga bergarter.

3.3 Jordlagren

Jordlagrens sammansättning och tjocklek är förhållandevis väl dokumenterad inom det planderade dagbrottsområdet. Dels har en ytkartering av jordarterna i skala 1:10 000 genomförts av SGU (U. Miller, 1959), dels har en granskning av 71 st borrhärnor gjorts (H. Möller, KPP-38, KPP-48), dels ock har värdefulla upplysningar om jordarterna kunnat erhållas i den stora skärningen i det nuvarande dagbrottet. Detta öppnades i norra delen av den flacka torvmark som upptar en stor del av arealen inom det blivande dagbrottsområdet. I sydväst, söder och öster är detta område kulligt med nivåskillnader upp till 10 m.

Den berörda torvmarken är till delar ett utdiket och odlat kärr. Vidare förekommer ett mindre högmosseparti. Torvslagen utgörs nästan uteslutande av kärrtorv. Torven underlagras delvis av mer eller mindre mäktiga, finkorniga sediment (finsand - silt). I övrigt utgörs torvens underlag av en morän som är finsandig - siltig. I viss utsträckning förekommer grövre sediment som sand eller grus. Högmossepartiet uppbyggs av vitmosstorv överst som vilar på lövkärrtorv och starrtorv på gyttja. Underlaget utgörs av finkorniga sediment eller morän (SGU, 1974, 1977 a).

4. HYDROMETEOROLOGI

4.1 Nederbörd

Uppgifter om nederbördsförhållandena har erhållits från SMHI (Sveriges hydrologiska och meteorologiska institut), dels rörande den meteorologiska stationen i Skövde dels den i Borgunda ca 6 km öster om Ranstad. Vidare mäts nederbördsmängden vid Randstadsverket.

Nederbördsmängderna redovisas i tabell 4.1 i form av månadsmedelvärden för några olika perioder. Som framgår av tabellen har en viss minskning av nederbördsmängderna skett. Sålunda var årsmedelnederbörden mätt i Skövde 707 mm för perioden 1931 - 1960 men 657 för perioden 1961 - 1979. För perioden 1971 - 1979 har ett årsmedelvärde av 629 mm uppmätts vid stationen i Skövde och 573 mm vid Borgundastationen. Som synes kan nederbördsmängderna växla avsevärt mellan olika platser. Generellt torde gälla att nederbördsmängderna är högre, ca 700 mm, uppe på diabasplatån än nere i Häggumsänkan, ca 650 mm.

Tabell 4.1 Månadsmedelnederbörden, mätt i mm, vid Borgunda för perioden 1971 - 1979 stationen i Skövde för perioderna 1931 - 1979, 1961 - 1979 och 1971 - 1979 samt vid Ranstad 1973 - 1979.

Borgunda

År	jan	febr	mars	april	maj	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec	s:a
1971	32	14	47	14	26	54	78	123	38	46	61	35	568
72	26	27	18	44	62	64	80	49	28	18	37	38	410
73	30	22	9	37	40	17	64	48	90	26	52	36	471
74	41	28	31	0.0	32	53	43	47	54	136	72	48	585
75	79	4	22	25	33	14	32	18	81	32	9.8	28	396
1976	30	8	24	27	46	26	49	12	75	52	44	95	488
77	98	34	71	61	55	16	110	30	76	60	127	63	801
78	39	53	101	5	18	81	58	87	132	9	74	40	697
79	54	28	32	61	60	25	100	111	35	28	99	41	674
1971- 1979	48	24	39	30	41	39	68	58	68	45	66	47	573
Skövde													
1931- 1960	50	37	34	42	51	59	88	86	78	68	63	51	707
1931- 1979	50	36	36	41	51	50	76	76	74	70	71	51	682
1961- 1979	50	34	37	40	51	40	67	69	69	71	79	50	657
1971- 1979	54	25	43	35	45	36	60	62	77	53	82	57	629
Ranstad													
1973- 1979	41	19	28	27	40	31	62	49	83	55	71	47	553

4.2 Temperatur

För perioden 1931 - 1975 (45 år) har en medeltemperatur av $+6.4^{\circ}\text{C}$ uppmätts vid meteorologiska stationen i Skövde.

Från stationen i Borgunda föreligger temperaturmätningar för perioden 1971 - 1979. Medeltemperaturen under denna period har varit $+5.9^{\circ}\text{C}$. För dessa två medeltemperaturer bedöms den förra som mest representativ.

4.3 Avdunstning

Den totala avdunstningen, evapotranspirationen, är lika med avdunstningen från mark och vatten samt växternas transpiration. Evapotranspirationen kan bestämmas som funktion av medeltemperaturen. Medeltemperaturen inom Ranstadsområdet torde kunna jämföras med den i Skövde uppmätta, se ovan 4.2.

För beräkning av avdunstningen finns två nästan identiska formler.

$$E = 221.5 + 29 T \text{ (Tamms formel)}$$

$$E = 220.9 + 30.4 T \text{ (Bergstens formel)}$$

För en medeltemperatur av $+6.4^{\circ}\text{C}$ ger Tamms formel en avdunstning av 407 mm medan avdunstningen beräknad med Bergstens formel blir 415 mm.

5. HYDROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN

Undersökningsområdet tillhör Lidans nederbördsområde och större delen avvattnas genom Slafsån och Hornborgarån till Hornborgasjön. Till Slafsån rinner ett flertal biflöden, av vilka Pösån är det största. Pösån avvattnar Ranstad- Häggumområdet jämte huvuddelen av Sydbillingen. Västra delarna av Sydbillingen, Myggeberget och Brunnhemsberget avvattnas direkt till Hornborgasjön genom flera mindre bäckar. Ytvattendelaren mellan Lidans och Tidans nederbördsområden är belägen öster om undersökningsområdet längs linjen Skultorps nabbe - Borgundaberget. Medelavrinningen kan enligt SMHI beräknas till 10 l/s km² från platåerna och 9 l/s km² från lägre belägna områden.

Med utgångspunkt från salthaltsmätningar utförda av AB Atomenergi på vatten dels från dagbrottsdiket och dels uppströms delta, har beräkningar av Pösån vattenföring gjorts för perioden 1970 - 1975 (Britsman och Petersson, 1978).

Tillrinningsområdet till Pösån vid denna mätpunkt är ca 40 km².

Resultaten från de utförda beräkningarna framgår av tabell 5.

Tabell 5. Vattenföringen i Pösån beräknad vid dagbrottsdikets utlopp för perioden 1970 - 1975. Flödet är angivet i mm/år (efter Britsman och Peterson 1978).

	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	år
1970	17	1	1	5	30	3	3	3	2	6	37	36	147
1971	10	7	5	17	7	1	1	10	6	6	21	29	121
1972	17	6	6	40	7	11	2	1	1	14	2	6	114
1973	3	6	9	6	10	3	0	1	0	3	4	7	53
1974	12	42	6	5	1	1	0	0	1	13	64	12	159
1975	48	10	12	16	4	3	0	0	2	0	2	6	104
medel													116

Medelavrinningen 116 mm motsvarar ca 3.7 l/s · km².

För perioden juni -79 t o m oktober -79 föreligger en mätserie av vattenföringen i Pösan. I fig 5 redovisas denna tillsammans med nederbörds mängderna för samma period mätta vid Ranstadsverket.

Denna mätserie är för kort för att några slutsatser om karakteristiska vattenföringar ska kunna dras. Däremot kan ett visst mönster urskiljas nämligen det att vattenföringens storlek snabbt återspeglar större fallna nederbörds mängder (10 - 30 mm). Under vegetationsperioden är fördröjningen mellan nederbördstopp och flödestopp ca 3 dygn medan under september och oktober dessa toppar nås inom ett dygn. Vidare behövs under vegetationsperioden betydligt större nederbörds mängder än under höstmånaderna för att generera höga flöden i Pösan.

Detta nederbörds/flödesmönster har även konstaterats i en annan bäck som avvattnar diabasplatån, nämligen Våmsbäcken (SGU, 1977 c).

Den i ovan nämnda rapport diskuterade mätserien från Våmsbäcken är något längre, juli -75 t o m juli -77. Även i detta fallet är mätserien för kortvarig för att några säkra slutsatser ska kunna dras. Medelavrinningen i Våmsbäcken under den angivna perioden var $1.9 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$.

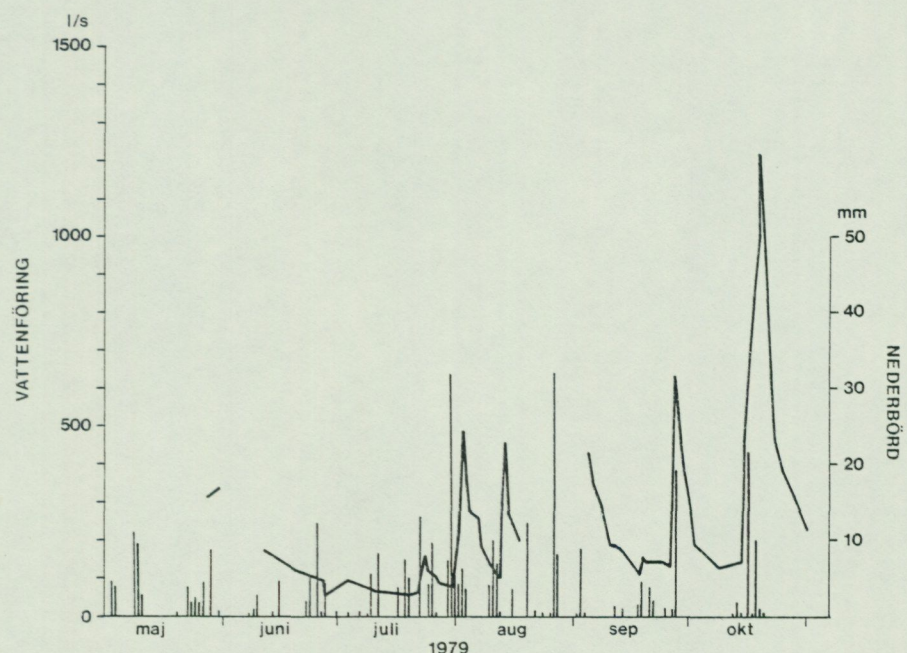


Fig. 5. Vattenföringen i Pösan vid Huljesten under perioden juni -79 t o m okt -79.

6. NATURLIGA GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDEN

Geologiska avlagringar kan klassificeras med utgångspunkt från genomsläppligheten gentemot vatten (hydraulisk konduktivitet). En avlagring med relativt god genomsläpplighet kallas akvifer, medan en avlagring med dålig genomsläpplighet kallas akviklud. De hydrogeologiska förhållandena i Billingen vilka mer ingående behandlas i den följande texten åskådliggörs på fig 6

Inom området förekommande grundvattenförande avlagringar hänför sig dels till jordlagren, dels till berggrunden.

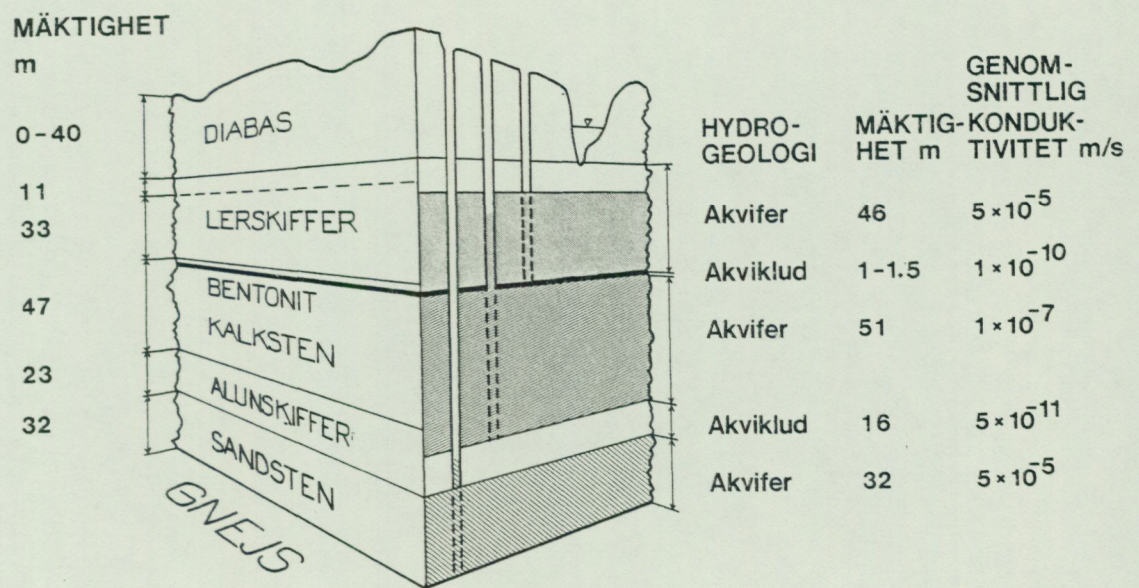


Fig. 6. Geologisk och hydrogeologisk indelning av den sedimentära lagerföljden.

6.1 Jordlagren

6.1.1 Vattengenomsläpplighet

Jordlagrens roll som grundvattenförande avlagringar är inom undersökningsområdet av underordnad betydelse. Detta beror på att den huvudsakliga jordarten utgörs av morän, vilken vanligen kan betraktas som lågkonduktiv (dåligt genomsläpplig). Konduktivitetsbestämningar av morän på Myggebergets och Brunnhemsbergets östsluttningar har givit värden av $0.4-1.9 \cdot 10^{-7}$ m/s. Inom området vid Häggums mosse är motsvarande värden $0.8-1.2 \cdot 10^{-6}$ m/s. Från vattenbalansberäkningar kring befintligt dagbrott har ett konduktivitetsvärde av $8 \cdot 10^{-5}$ m/s erhållits för jordlagren tillsammans med den uppspruckna kalkstenen. Från vattenförsörjningssynpunkt kan en brunn, grävd i moränen, tillgodose enstaka hushålls eller jordbruks vattenbehov.

Lokalt kan förhållandevis stora vattenuttag göras ur brunnar inom områden med sorterade jordarter och inom områden med sammanhängande isälvsavlagringar. Några sådana områden finns emellertid inte inom de områden, som kommer att beröras av den planerade verksamheten.

Uppe på diabasplataerna finns tämligen vidsträckta torvmarker, dels kärr i svackor med jordarter med låg permeabilitet, dels högmossar i vilka nederbörden uppbygger en grundvattenyta. Även i sistnämnda fall består torvmarkens underlag vanligen av jordarter med låg permeabilitet.

6.1.2 Grundvattenstånd

Avståndet från markytan till grundvattenytan i jordlagren är vanligtvis mindre än 5 m. Markytans topografi och jordarterna spelar därvid in så att avståndet är större på höjderna än i sänkorna.

Inom de lägre belägna delarna av området öster och sydost om Häggums kyrka, överlagras de minerogena jordarterna av organiska jordarter, huvudsakligen bestående av kärrtorv. För närvarande är dessa delar jordbruksmark. Uppodlingen av kärrmarken har möjliggjorts genom olika dikningsföretag, varigenom den naturliga grundvattenytan sänkts. En sänkning av grundvattenytan i sådana organiska jordar får till följd att torven minskar i volym, varigenom uppsprickning och sättningar uppstår. Sådan uppsprickning kommer till synes där torvjorden dräneras men ej regelbundet plöjts, t ex betesmarker.

Grundvattenytan i Ranstadsområdet har sedan början av 1960-talet registrerats kontinuerligt cirka 2 gånger per månad i befintliga vattentäkter och för ändamålet drivna observationsrör. Dessa mätningar har utförts av VBB och resultatet av dem ligger bl a till grund för bedömningarna av dagbrottets inverkan på grundvattenförhållanden vid nuvarande och planerad verksamhet. Resultat av vattenståndsmätningarna har redovisats i SGU, 1977 a.

6.1.3 Grundvattenbeskaffenhet

Beskaffenheten hos grundvattnet i jordlagren är beroende av jordarternas mineralogiska sammansättning, topografi, markanvändning och djup till grundvattenytan. Någon regional grundvattenkemisk studie för jordgrundvattnet har ej genomförts liknande den för berggrundens grundvatten. Inom de lägre delarna av Billingen - Falbygden, speciellt också i isrörelseriktningen är inslaget större av kambro-siluriska bergarter i jordlagren än uppe på diabasplatåerna. Det kan därför påräknas att grundvattnet uppe på bergen har låg bufferkapacitet, är mjuka samt på grund av förekommande torvmarker även har svag humusfärg och viss järnhalt. Inom de lägre delarna av området bör jordgrundvattnet ha högre total salthalt, en viss hårdhet men även problem med järn och mangan. De areella näringarnas påverkan har inte studerats, men det kan ej uteslutas att viss påverkan kan finnas.

6.1.4 Källor i jordlagren

Källor i jordlagren förekommer ställvis inom området. Det är vanligen svårt att avgöra om de är betingade enbart av topografiska förhållanden eller om de beror också på berggrunds-förhållandena och speciellt då utgåendet av vattengenomsläppande lager över tätande lager.

6.2 Berggrunden

6.2.1 Vattengenomsläplighet

Den sedimentära lagerföljden kan utifrån bergarternas olika vattengenomsläppande egenskaper (konduktivitet), indelas i tre akviferer åtskilda av två akvikluder, se fig. 6. De tre akvifererna är uppifrån räknat:

lerskifferakviferen	46 m omfattande lerskiffer samt översta delen av kalkstenen
kalkstensakviferen	51 m omfattande kalkstenen samt övre delen av alunskiffern
sandstensakviferen	32 m omfattande sandstenen

Akvikluderna är:

bentonitakvikluden	1-1.5 m omfattande ett eller flera mäktiga lager av bentonit
alunskifferakvikluden	16 m omfattande undre delen av alunskiffern

Inom diabasen har inte någon egentlig grundvattenförekomst kunnat iakttagas. Detta beror på att till diabasen infiltrerat nederbörsvatten transporteras vidare ner till den underliggande lerskifferakviferen. Detta förhållande möjliggörs dels av att diabasen är genomsatt av genomgående vertikala sprickor (s k pelarförklyftning), dels av diabasens topografiska läge. S k tillfälliga grundvattenförekomster kan dock uppträda. Så-dant grundvatten påträffas ställvis vid borrning genom diabasen och ger vanligtvis små mängder vatten.

Underlagrande urberg, vars övre delar är kaolinvittrade, har på grund av dess låga konduktivitet vid beräkningar betraktas som ett i det närmaste tätt underlag. Vid vissa borrningar har dock större grundvattenmängder påträffats även i det underlagrande urberget.

Grundvattnets förekomst och rörelse är i berggrunden betingad av sprickor och porer i bergarterna. Av de förekommande bergarterna är det endast sandstenen som kan sägas ha en primär porositet. Detta porsystem tillsammans med spricksystemet i sandstenen ger sandsten en högre vattengenomsläpplighet än övriga förekommande bergarter. I kalkstenen och lerskiffern är det endast spricksystemen som är av betydelse för vattengenomsläppligheten. Statistisk behandling av tillgängliga data över avsänkning av grundvattenytan i samband med testpumpning av enskilda vattentäcker ger dels en grov uppskattning av konduktiviteten i resp. akvifer dels hur homogen eller inhomogen akviferen är. Resultatet av dessa beräkningar, fig. 6.2.1., visar att sandstensakviferen har betydligt enhetligare förhållanden än kalkstenen och lerskiffern. Kalkstenen synes ha den största variationen i konduktivitet.

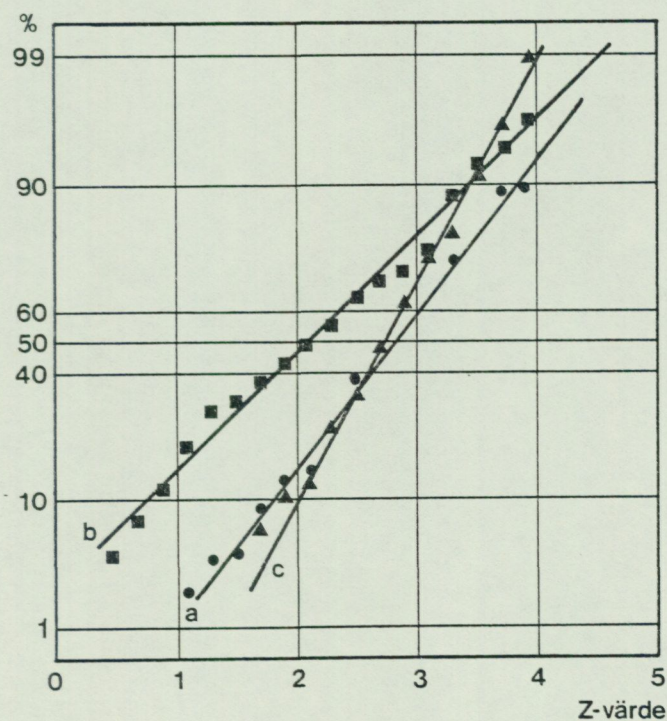


Fig. 6.2.1. Konduktivitetens variation i olika bergarter.
a = sandsten, b = kalksten, c = gnejs

En medelkonduktivitet för de olika hydrauliska enheterna baserad på provpumpningar, nämnda statistiska samband, beräkningar av inläckande vattenmängder etc framgår av fig 6.2.1, se vidare SGU, 1977 a och b.

6.2.2 Grundvattenstånd

Vid borrning från diabasen genom hela lagerföljden ned till urberget (gnejsen) kommer vattennivån i borrhålet vanligen att sänkas i tre steg (jfr fig 6). Grundvatten påträffas generellt först i lerskifferakviferen, vars grundvattennivå i allmänhet är belägen 5 - 10 m under diabasen. I några fall har lerskifferakviferens grundvattenyta observerats några meter (mindre än 5 m) upp i diabasen. Ibland kan grundvatten påträffas även i diabasen, varvid vattennivån brukar ligga 10 - 20 m under markytan.

Fortsatt borrning genom bentonitakvikluden och kalkstensakviferen till alunskifferakvikluden medför att en ny vattennivå inställer sig i borrhålet. Nivån representerar kalkstensakviferens grundvattennivå. Denna är i allmänhet belägen 5 - 10 m lägre än lerskifferakviferens, dvs 20 - 25 m ovanför bentonitakvikluden. När borrningen drivits vidare genom alunskifferakvikluden och sandstensakviferen, sjunker vattennivån ytterligare och ett nytt jämviktsläge erhålls. Detta kan vara beläget uppe i alunskifferakvikluden. Avvikelser från de ovan skisserade generella förhållandena förekommer på grund av konduktivitetsvariationer och inhomogen bergbyggnad.

Då de för kalkstens- och sandstensakvifererna beskrivna förhållandena råder - vattennivån i ett borrhål nedfört i respektive akvifer belägen på en högre nivå än själva akviferen - sägs akviferen vara sluten (artesisisk). Ett villkor för att en akvifer skall vara sluten är att den begränsas uppåt av tätande lager (alunskifferakvikluden resp bentonitakvikluden).

6.2.3 Grundvattenbeskaffenhet

Grundvattnets kemiska sammansättning i de olika akvifererna i Billingen - Falbygden har undersökts i ett examensarbete. Resultaten från denna undersökning finns redovisade i en separat rapport från institutionen för VA-teknik vid Chalmers tekniska högskola. (Grundvattnets kemiska beskaffenhet i Billingen - Falbygdens paleozoiska bergarter, Västergötland, Examensarbete 74:5). I undersökningen har framkommit att grundvattenkvaliteten är beroende bl a av läge i lagerserien, den kemiska sammansättningen av bergarterna i respektive akvifer eller akviklud och grundvattenbildningens storlek. På grund av otillräckligt antal analyser av grundvatten från alunskiffer föreligger inga relevanta kemiska data från detta grundvatten.

Grundvatten i kalksten, sandsten respektive urberg (i omedelbar anslutning till den kambrosiluriska lagerserien) företer ej några stora skillnader i kemisk sammansättning. Generellt kan dock sägas, att halterna av Ca och HCO_3 liksom den totala salthalten är lägre i grundvatten i urberget än i grundvatten i kalksten och sandsten. Detta förhållande torde orsakas av att de senare bergarterna, särskilt kalkstenen, har högre halter av Ca än vad urberget har. Grundvattnet i urberget synes dock ha högre halter av Cl, Mg och K än vad som är fallet för grundvattnet i kalksten och sandsten. Förklaringen till dessa förhållanden torde delvis sammanhänga med de olika kemiska sammansättningarna i urberget och den prekambrisk vittringszonen vid urbergets överyta i kalkstenen och i sandstenen.

Undersökningar visar, att den största skillnaden mellan grundvattnen från kalksten och från sandsten föreligger beträffande ammoniumhalterna. Detta förhållande får i första hand tillskrivas skillnader i sammansättningen av de bergarter som ingår i akvifererna, liksom skillnader i överlagrande jordarters sammansättning och mäktigheter.

Variationen i grundvattnets sammansättning i horisontell led inom sandstenen orsakas av det genom alunskiffern från överlagrande kalksten tillförda vattnets sammansättning i förhållande till det genom endast jordlagren tillförda vattnets sammansättning. Under exempelvis Billingen torde sandstenvattnet ha dels högre NH_4 -halt och dels lägre O_2 -halt än inom de områden där sandstenen ej överlagras av alunskiffer. Vidare synes SO_4 -halten och K-halten liksom Cl-halten även vara lägre under bergen än i randpartierna.

6.2.4 Källor i berglagren

Som nämnts beträffande källor i jordlagren förekommer källor som en bård runt bergen i sluttningszonerna. Det är vanligen svårt att klarlägga hur stor del av vattnet i dessa källor som kommer från jord resp berg.

Gjorda observationer visar, att grundvattenläckage huvudsakligen sker vid två horisonter. Den ena horisonten är belägen i anslutning till bentonitlagret och den andra ligger vid nivån för gränsytan mellan kalkstenen och alunskiffern. Inom områden längs sluttningszonerna där jordlagren är tunna (öst- och västsidorna av berget) är ofta utströmningspunkten väl definierad och man erhåller vad som vanligen brukar kallas en "källa". Däremot inom de delar där jordlagren är mäktiga (sydslutningarna) är utströmningspunkterna svårare att lokalisera; utströmningen sker på bred front (diffust läckage).

Vid den övre horisonten är det grundvatten från lerskifferakviferen som läcker ut medan det vid den nedre härrör från kalkstensakviferen.

Storleken av läckaget varierar dels över kortare (årstider t ex) dels över längre perioder (följd av år) och har inte kunnat mätas. Vid Skultorpsnabbe har dock från och med maj 1963 vattenföringen registrerats i de källor som är utbyggda till kommunal vattentäkt. Fig 6.2.4 visar variationen i månadsmedelvattenföring under 17 år i dessa källor.

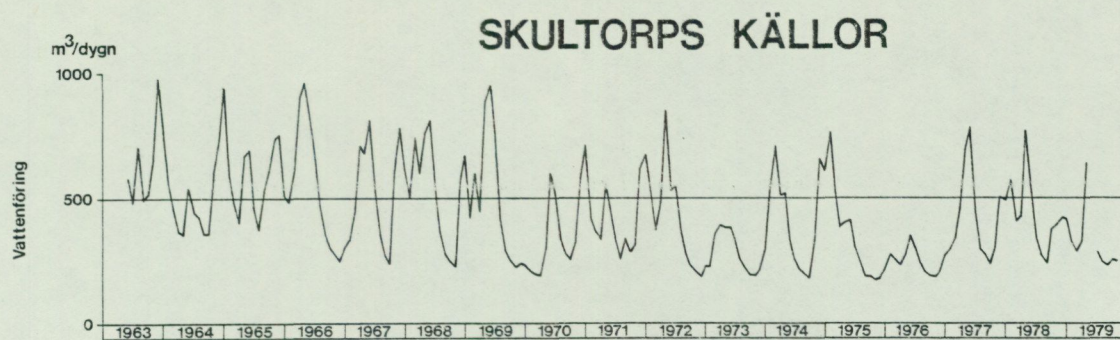


Fig. 6.2.4. Månadsmedelvattenföringen i Skultorps källor under perioden maj -63 t o m dec -79.

7. GRUNDVATTENSTRÖMNING OCH GRUNDVATTENBALANS I BERGGRUNDEN

7.1 Beräkningsmetodik

Grundvattenströmning och grundvattenbalans i den sedimentära berggrunden har beräknats såväl analytiskt som numeriskt. Båda metoderna fordrar kännedom om hydraulisk konduktivitet hos de olika bergarterna, lagringsförhållanden, grundvattennivåer samt topografiska och tektoniska förhållanden. Data om dessa parametrar och förhållanden har erhållits från utförda undersökningar och analyser.

Som ett första led har all tillgänglig information sammanställts till en beskrivande modell som visar i princip hur grundvattensystemen kan fungera i berggrunden. Denna modell, som beskrivits under avsnitt 6, har därefter kvantifierats avseende vattengenomsläpplighet och i viss mån grundvattenytor. Genom att därefter med hjälp av analytiska eller numeriska beräkningsmetoder hydrauliskt beräkna bl a rådande grundvattenbalans kan resterande parametrar såsom grundvattenbildning och grundvattenläckage mellan akvifererna bestämmas.

7.2 Analytiska beräkningar

Analytiska beräkningar har genomförts längs profiler som lagts vinkelrätt mot antagna ekvipotentiallinjer för grundvattenstrycken i de olika akvifererna. Beräkningarna har utförts med antaganden av läckande förhållanden mellan akvifererna och med olika värden på sambanden mellan vattengenomsläppligheten hos akvifererna och akvikluderna. Beräkningarna redovisas utförligt i SGU 1977 a.

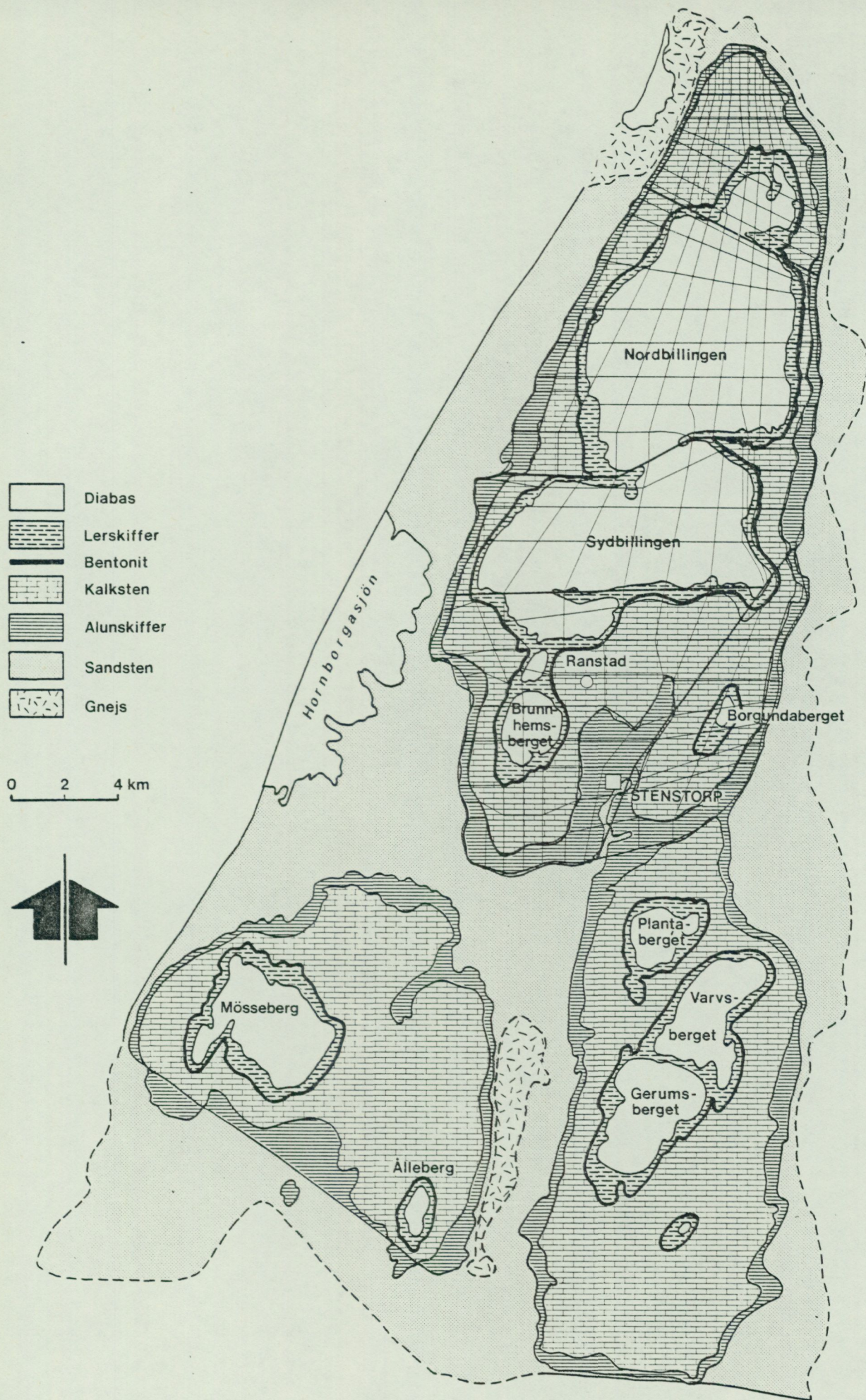


Fig. 7.3a. Elementindelning av Nord- och Sydbillingen, Brunnhemsberget och Borgundaberget vid regionala numeriska beräkningar.

7.3 Numeriska beräkningar

Numeriska beräkningar har utförts med hjälp av det finita element-programmet GEOFEM-G. Detta program arbetar med tvådimensionell grundvattenströmning i slutna och läckande akviferer. Vid strömning och balansberäkningar har de olika akvifererna beräknats separat med olika värden på läckage och hydrauliska egenskaper. Det betraktade området omfattas av Nord- och Sydbillingen, Brunnhemsberget och Borgundaberget.

Den elementindelning som använts för beräkningarna framgår av fig 7.3a. Fyra större tektoniska linjer med förhöjd konduktivitet har beaktats i modellen.

Resultaten från beräkningar av de naturliga grundvattenförhållandena härse näre använts för att bedöma inverkan av befintlig och planerad verksamhet vid Ranstad, se avsnitt 8. Vid dessa beräkningar har en något mer detaljerad modell använts. Denna modell omfattar Sydbillingen, Brunnhemsberget och Borgundaberget, se fig 7.3 b.

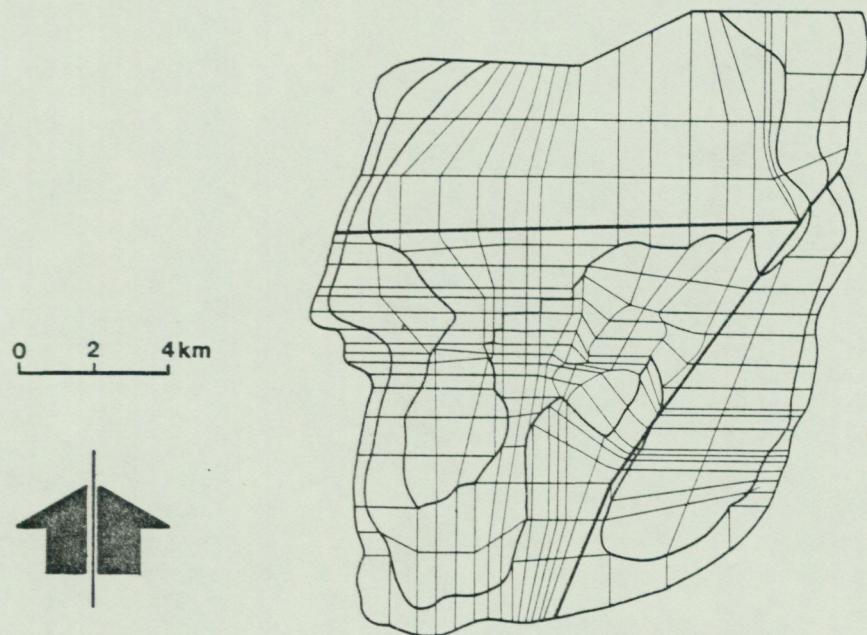


Fig. 7.3b. Elementindelning av Ranstadsområdet avseende lokala numeriska beräkningar.

7.4 Resultat

7.4.1 Sandstensakviferen

Sandstensakviferen har i beräkningarna antagits vara isotrop och homogen. Dess transmissivitet har bedömts vara lägre under bergen än utanför desamma på grund av större belastning. Fig 7.4.1a visar transmissivitetsfördelningen i sandstensakviferen.

Utförda analytiska och numeriska beräkningar visar att grundvattenbildningen till sandstensakviferen under alunskiffern är låg. Sandstensakviferens grundvattentryckta når upp i övre delen av alunskiffern och undre delen av kalkstenen under centrala delarna av Billingen.

I fig 7.4.1b redovisas sandstensakviferens grundvattentryckta beräknad med numerisk modell utan vattenuttag ur Ranstadsverkets eller Cementas vattentäkter. Sandstenens lutning mot nordnordväst är i princip bestämmande för grundvattnets flödesriktning. På grund av läckage genom alunskiffern fås dock en pålagrad radiell strömning från Billingens centrala delar ut mot randområdena. Vid de antagna transmissivitetsvärdena erhålls de i tabell 7.4.1 redovisade grundvattenbildningsvärdena till sandstensakviferen (läckage)

Tabell 7.4.1 Beräknad grundvattenbildning till sandstensakviferen vid de i fig 7.4.1a angivna transmissivitetsförhållandena.

	Grundvattenbildning	
	m/s	mm/år
Sandsten endast täckt av alunskiffer	$5.1 \cdot 10^{-11}$	1.6
Sandsten täckt av alunskiffer och kalksten	$1.7 \cdot 10^{-10}$	5.5
Sandsten under Billingen	$3.0 \cdot 10^{-10}$	7.5

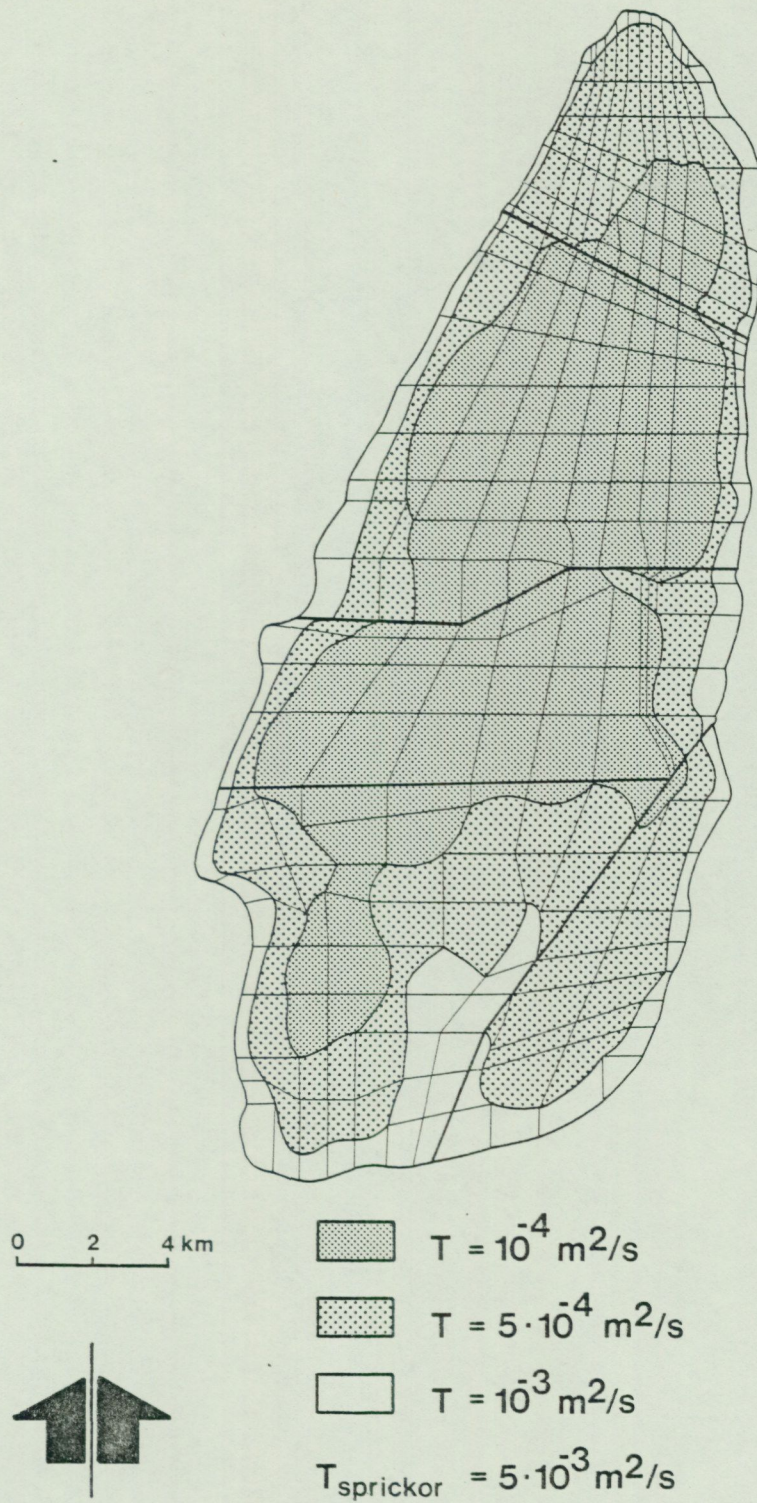


Fig. 7.4.1a. Transmissivitetsfördelning i sandstensakviferen.

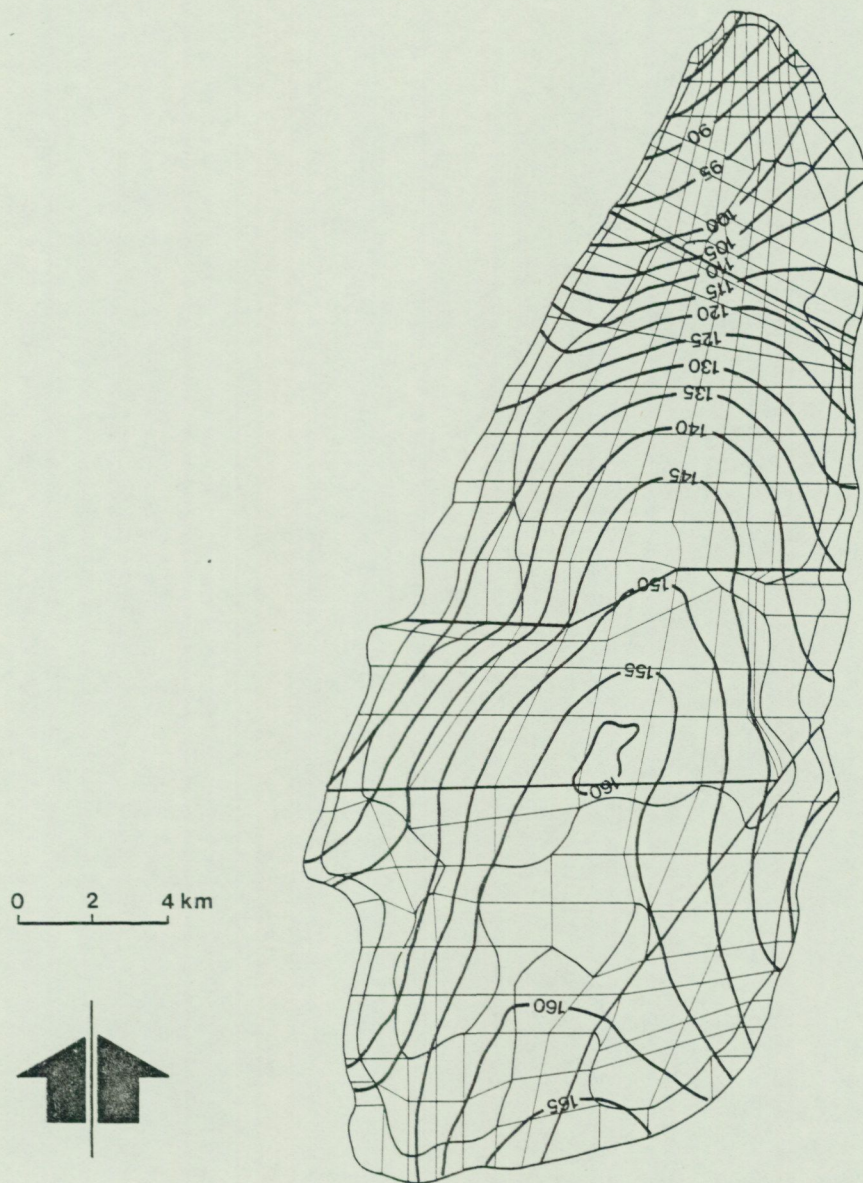


Fig. 7.4.1b. Grundvattnets tryckyta i m ö h i sandstensakviferen utan uttag vid Rånstadsverkets eller Cementas vattentäkter. Beräkningen är utförd med numerisk modell.

7.4.2 Kalkstensakviferen

Kalkstensakviferen har i beräkningarna antagits ha samma transmissivitet i alla riktningar. Fig 7.4.2a visar de transmissivitetensvärden som antagits för kalkstenen.

Grundvattnet strömmar i kalkstensakviferen inom höjdområdena radiellt ut mot bergens kanter. Som nämnts under avsnitt 6.2 förekommer grundvattenläckage från kalkstensakviferen som en bård runt bergen. I fig 7.4.2b redovisas kalkstensakviferens grundvattentryckyta beräknad med numerisk modell. Denna tryckyta är inom höjdområdena belägen i lerskiffrens övre delar.

Inom områden där kalkstenen är jordtäckt följer grundvattentrytan topografin och grundvattenströmningen är således riktad vinkelrätt höjdkurvorna. I tabell 7.4.2 redovisas grundvattenbildningen till kalkstensakviferen beräknad med numerisk modell med de i fig 7.4.2a redovisade transmissivitetsförhållandena. Det bör observeras att tabellen endast redovisar den grundvattenbildning eller läckage som behövs för hydraulisk balans utan läckage till sandstensakviferen.

Tabell 7.4.2 Beräknad grundvattenbildning till kalkstensakviferen vid de i fig 7.4.2a angivna transmissivitetsförhållandena

	Grundvattenbildning	
	m/s	mm/år
Kalksten endast täckt av jord	$3.2 \cdot 10^{-4}$	100
Kalksten täckt av mäktiga jordlager i utströmningsområden	0	0
Kalksten under Billingen	$6.3 \cdot 10^{-10}$	20

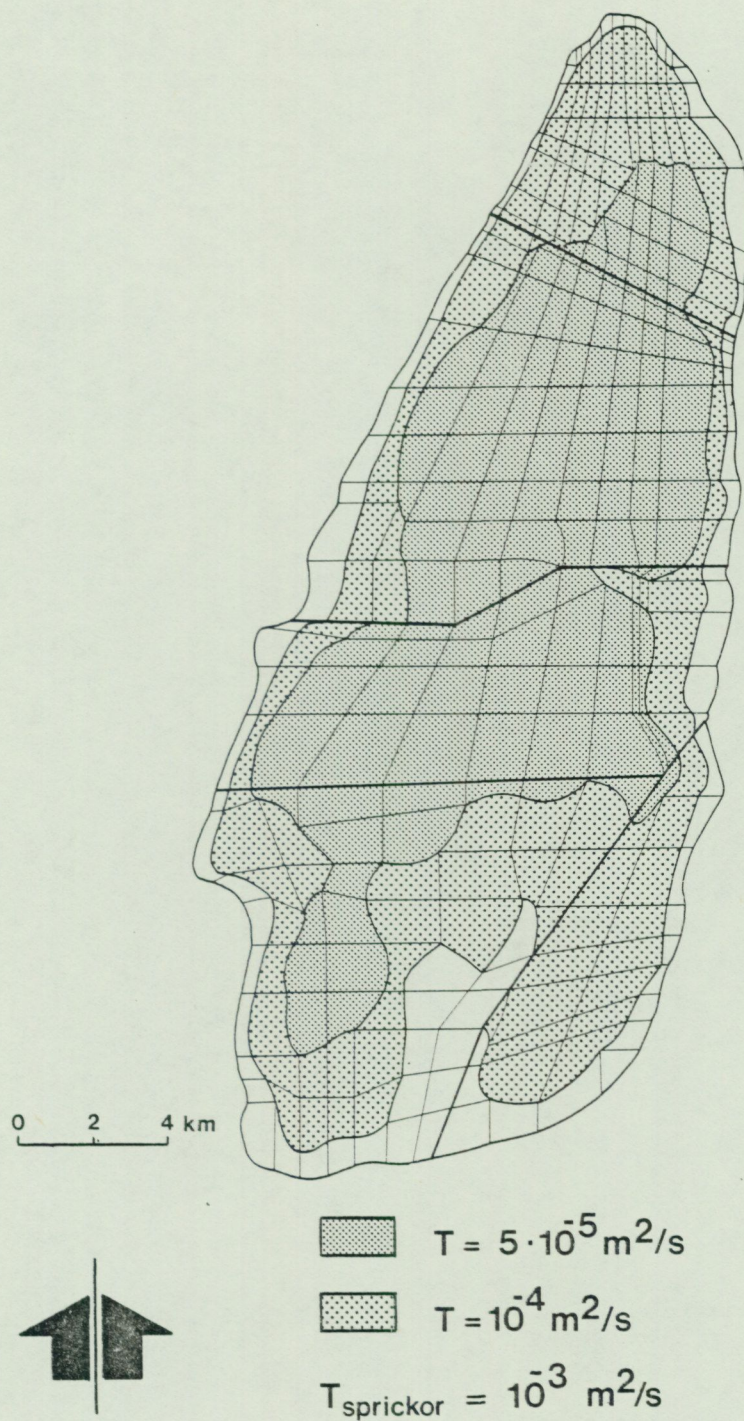


Fig. 7.4.2a. Transmissivitetsfördelning i kalkstensakviferen.

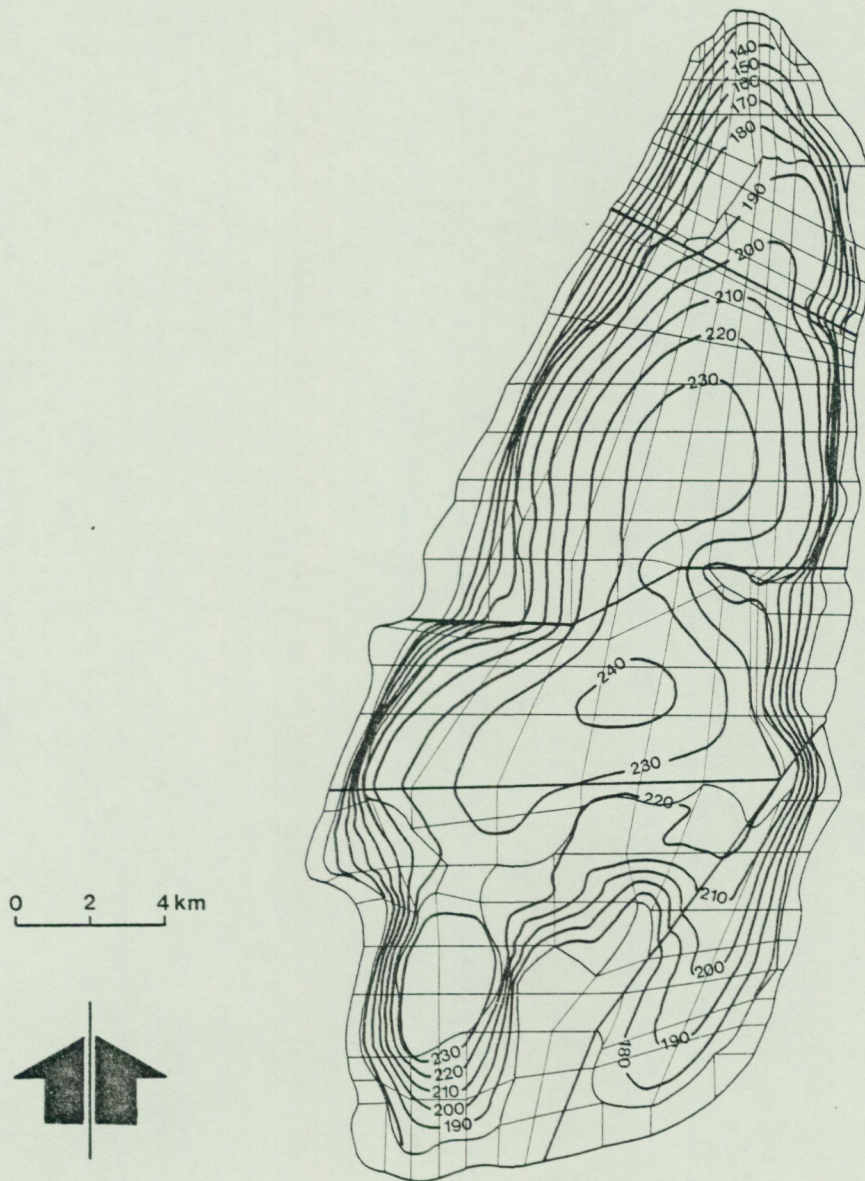


Fig. 7.4.2b. Kalkstensakviferens tryckyta beräknad med numerisk modell. Nivåerna anges i m ö h.

7.4.3 Lerskifferakviferen

Lerskifferakviferen har i beräkningarna antagits ha transmissiviteten $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ inom hela området med undantag för de tektoniska zonerna. Analytiska beräkningar, som redovisas i SGU 1977 a, visar att lerskifferns vattengenomsläpplighet beräknad från provpumpningar, speciellt stegprovpumpningar och vattenbalansberäkningar, varierar mycket.

Jämfört med de båda andra akvifererna i Billingsens sedimentära berggrund är lerskifferakviferen den ytmässigt minsta. Den har samtidigt högsta topografiska läget vilket i kombination med dess hydrauliska förhållanden gör att grundvattenytans läge blir starkt beroende av randvillkoren dvs förhållandena utefter bergens kanter. Som påpekats i SGU:s tidigare rapporter (1974, 1977 a) är Billingsens sydsluttning täckt av mäktiga jordlager som dämmer upp grundvattnet i lerskiffern. Med hänsyn till dessa och andra förhållanden utefter bergens randzoner har den i fig 7.4.3 visade grundvattennivåkartan beräknats numeriskt.

Lerskifferakviferens grundvattenyta ligger i allmänhet något under kontakten mellan lerskiffer och diabas. En intressant fråga för grundvattenbalansen i berget är det eventuella tillskott som kan härröra från Simsjön. Sedimentprovtagning i Simsjöns botten visar på förekomst av leriga jordarter med en uppskattad mäktighet av någon decimeter till några meter. Dessa sediments vertikala vattengenomsläpplighet kan uppskattas till mindre än 10^{-9} m/s . Den area av Simsjön, som når ned i lerskiffern kan uppskattas till ca 0.09 km^2 . Detta skulle peka på ett vattenläckage av uppskattningsvis ca 240 mm/år eller totalt $0.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

Liksom i kalkstensakviferen sker grundvattenströmningen radiellt ut mot bergens kanter, där det kommer fram som en bård av källor och läckage runt bergen. Grundvattenbildningen till lerskifferakviferen har beräknats till ca 40 mm/år .

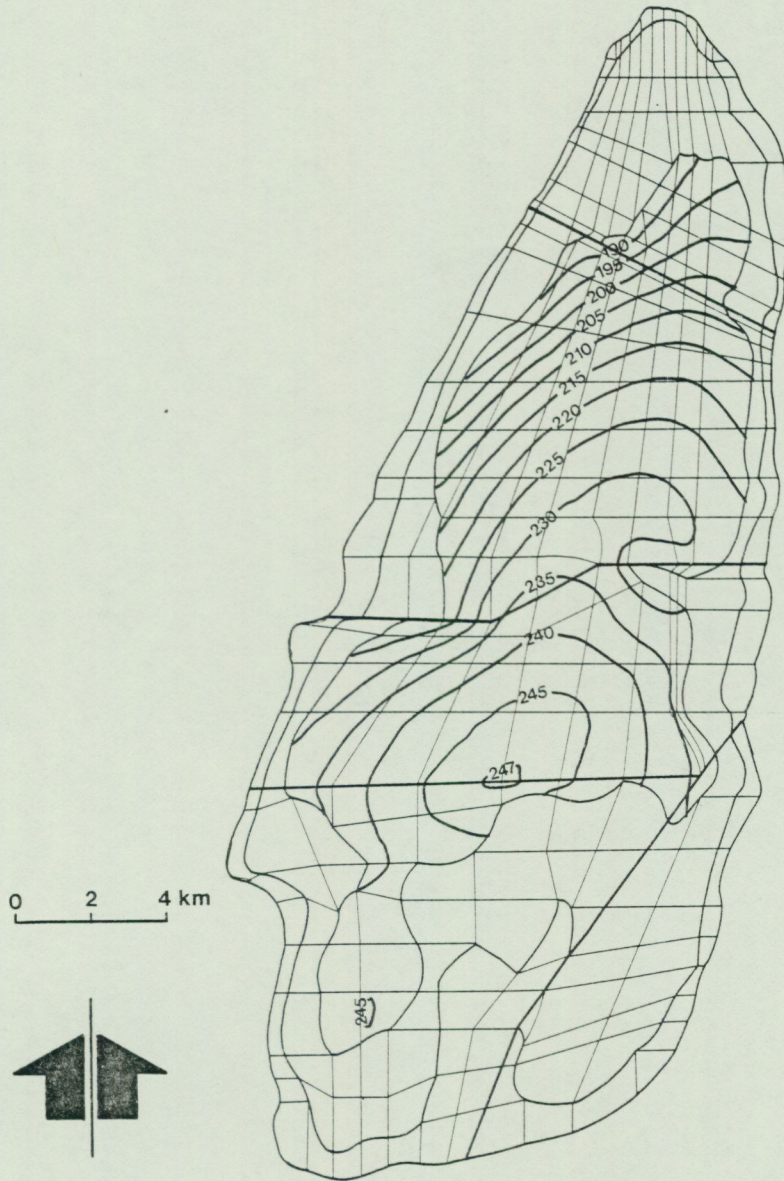


Fig. 7.4.3. Lerskifferakviferens grundvattenyta beräknad med numerisk modell. Nivåerna anges i m ö h.

7.4.4 Bentonit- och alunskifferakvikluderna

Grundvattenströmning i och läckage till och från respektive akvifer är grundläggande data för beräkning av hydrauliska egenskaper hos de båda akvikluderna, bentonit- resp alunskifferlagren. Den vattenmängd (läckage) som tillförs sandstenen beror av skillnader i grundvattentryck mellan kalkstens- och sandstensakvifererna samt alunskiffers vertikala permeabilitet. Motsvarande samband råder mellan lerskiffer- och kalkstensakvifererna, bentonitens vertikala permeabilitet samt grundvattenbildningen till kalkstensakviferen. I tabell 7.4.4 redovisas beräknade värden på alunskiffers och bentonitens vertikala konduktivitet.

Tabell 7.4.4 Alunskiffers och bentonitens vertikala konduktiviteter beräknade från modellanalysresultat av grundvattenförhållanden i olika akviferer.

	Vertikal konduktivitet m/s
Bentonitakvikluden	10^{-10}
Alunskifferakvikluden under bergen	$5 \cdot 10^{-11}$
Alunskifferakvikluden täckt endast av kalksten	$5 \cdot 10^{-11}$
Alunskifferakvikluden täckt endast av jordlager	10^{-10}

7.4.5 Översiktlig grundvattenbalans

Grundvattenbalansen inom området Billingen, Brunnhemsberget och Borgundaberget har översiktligt beräknats utifrån resultatet av numeriska och analytiska beräkningar av grundvattenförhållandena inom enskilda akvifererna.

Av årsnederbörden ca 700 mm bildar 6 % grundvatten uppe på diabasplatån medan motsvarande siffra är 15 % inom lägre belägna delar där årsnederbörden antas vara ca 650 mm. Endast 0.7 % av årsnederbörden tillförs sandstensakviferen under diabasplatån medan inom lägre belägna områden grundvattenbildningen är ännu lägre eller 0.2 - 0.3 % (gäller områden där alunskiffern överlagrar sandstenen). Således är det en mycket blygsam del av den totala nederbörden som tillförs sandstensakviferen. Större delen av infiltrerad vattenmängd avbördas i stället från de båda överlagrande akvifererna vid utströmningshorisonterna vid bentonit- och alunskifferakvikluderna.

Den mängd vatten som perkolerar genom diabasen är cirka 40 mm/år, för beräknat område av cirka 67 km² cirka 2.7 Mm³ vatten per år. Detta motsvarar en total grundvattenbildning av 1.3 l/s km² uppe på diabasplatåerna.

Genom bentoniten beräknas en vattenmängd motsvarande 20 mm/år perkolera till kalkstensakviferen. Detta innebär att läckaget i form av källor och utströmning på bred front runt Billingen från lerskifferakviferen kan bedömas vara 1.35 Mm³/år dvs 43 l/s (20 mm/år).

Till kalkstensakviferen kommer grundvatten dels via läckage från lerskifferakviferen dels genom direkt perkolation inom de områden där kalkstenen direkt överlagras av jordlager. De vattenmängder som på nämnda sätt tillförs kalkstensakviferen utgör 1.4 resp 6.5 Mm³/år.

Grundvattenbildningen till sandstenen varierar beroende av bl a överlagrande antal bergartsled samt grundvattentryckförhållanden. Generellt kan sägas att grundvattenbildningen genom läckage från kalkstenen motsvarar cirka 7.5 mm/år och genom perkolation från jordlagren cirka 100 mm/år. I tabell 7.4.5 redovisas grundvattenbildningen till de olika akvifererna beräknade med numerisk modell.

Skillnaden mellan de vattenmängder, som tillförs kalkstenen och de vattenmängder, som genom perkolation till sandstenen bortförs från kalkstensakviferen, läcker ut från kalkstensakviferen i form av källor och i form av strömning ut i moränen.

Grundvattenbildning har beräknats för Pösans avrinningsområde norr om dagbrottet. Till grund för denna beräkning ligger nederbördsdata från Skövde, avdunstningsvärden beräknade enligt Bergsten samt avrinning framtagna enligt den tidigare beskrivna metoden för Pösan. Med beaktande av osäkerheten hos alla ingående komponenter i den hydrologiska balansekvationen samt den trend i grundvattenståndet som uppmätts i av dagbrottet opåverkade observationsrör har grundvattenbildningen inom Pösans avrinningsområde beräknats vara ca 50 mm per år under 1970-talets första 6 år. Beräkningar grundade på inläckande vattenmängder till dagbrottet och påverkat område visar att grundvattenbildningen inom området söder om dagbrottet bör vara ca 100 mm per år.

Tabell 7.4.5 Grundvattenbildning till de olika akvifererna inom Billingen från numeriska beräkningar

	Grundvattenbildning mm/år
Lerskifferakviferen	20
Kalkstensakviferen under Billingen	20
Kalkstensakviferen endast täckt av jord	100
Sandstensakviferen under Billingen	7.5
Sandstensakviferen täckt av alunskiffer och kalksten	5.5
Sandstensakviferen täckt av alunskiffer	2.5

8. BEFINTLIG OCH PLANERAD VERKSAMHETS INVERKAN PÅ GRUNDVATTENFÖRHÅLLANDENA

8.1 Beräkningsmetodik

Inverkan på grundvattenförhållandena av befintlig och planerad verksamhet har beräknats såväl analytiskt som numeriskt på motsvarande sätt som beräkningar av de naturliga grundvattenförhållandena. De modeller som använts vid de senare beräkningarna har också utnyttjats för att bedöma inverkan av den befintliga och planerade verksamheten vid Ranstad. Dessutom har i tillämpliga fall nya numeriska modeller tagits fram för att speciellt studera inverkan på grundvattenförhållandena.

Vid bedömning av inverkan på grundvattnets beskaffenhet har vissa överslagsmässiga analytiska beräkningar genomförts baserade på naturliga flöden och grundvattenbildning i planerade brytnings- och deponeringsområden.

Den planerade verksamhet som beaktas avseende inverkan på grundvattenförhållandena är

- skifferbrytning dagbrott
underjordsgruva
- grundvattenuttag ur sandstenen
- restprodukthantering lakrest i dagbrott
lakrest i underjordsgruva
slammagasin vid Tovatorp

Vid såväl analytiska som numeriska beräkningarna har antagits att respektive formation kan betraktas som homogen dvs som en ekvivalent porös akvifer. Rats och Chernyashov (1967) har i diagramform översiktligt angivit samband mellan ingrepp i en formation och formationens heterogenitet dvs dess sprickfrekvens, för att homogena eller heterogena förhållanden skall kunna förutsättas, se fig 8.1.

De strukturella inhomogenitetsförhållandena i kalkstenen och lerskiffern kan uttryckas som sprickor, mer eller mindre regelbundet återkommande, med inbördes avstånd av 1 - 5 m. Ingreppen är däremot av storleksordningen hundratal meter eller kilometer. Diagrammet i fig 8.1 visar att vid nämnda förhållanden bör förekommande akviferer kunna betraktas som homogena ekvivalenta porösa medier. Detta gäller givetvis för den s_k normalt förekommande sprickigheten. Större förkastningar etc kan dock ge avvikelser. Med hjälp av numeriska modeller kan dessa avvikelser och svårigheter till stor del bemästras under förutsättning att nämnda större förkastningar etc är kända till utsträckning, geometri och hydrauliska egenskaper.

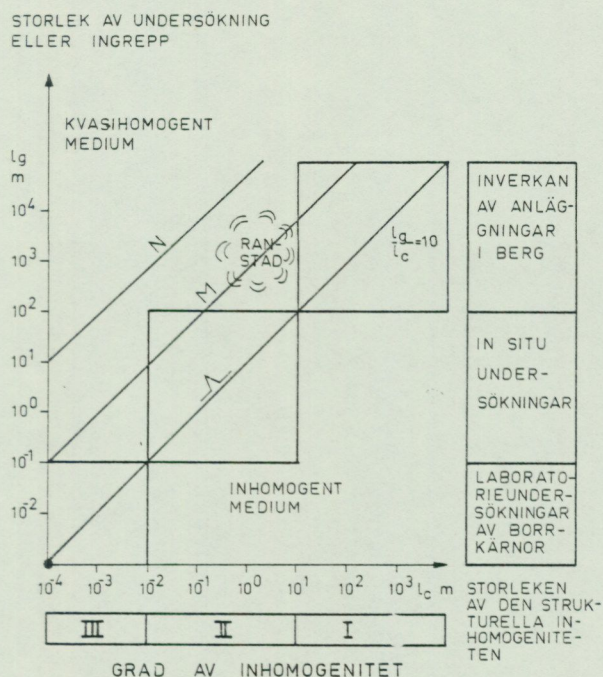


Fig. 8.1. Förutsättningar för att få betrakta berggrunden som ett homogent medium vid hydrauliska beräkningar. Efter Rats och Chernyashov, 1967.

8.2 Inverkan av nuvarande skifferbrytning

8.2.1 Dagbrott

Från Ranstadsverkets nuvarande dagbrott har under perioden 1961 - 1972 i genomsnitt pumpats en vattenmängd av 1.33 Mm^3 per år, vilket motsvarar ca $3\,650 \text{ m}^3/\text{dygn}$ eller 42 l/s . Under åren 1973 - 1975 och 1976 - 1977 är motsvarande vattenmängder $0.9 \text{ Mm}^3/\text{år} = 29 \text{ l/s}$ eller $2\,450 \text{ m}^3/\text{dygn}$ resp $1.4 \text{ Mm}^3/\text{år} = 45 \text{ l/s}$ eller $3\,920 \text{ m}^3/\text{dygn}$.

Ett under sommaren 1976 genomfört examensarbete vid CTH (Brisman och Peterson, 1978), visar att en omfattande rundpumpning vid dagbrottet sker, och att den till dagbrottet inläckande grundvattenmängden är mindre än den ovan angivna. En stor del av det uppumpade vattnet utgörs istället av rundpumpat vatten som från avledningsdiket via läckage återförs till dagbrottet. Under juli 1976 mättes den utpumpade vattenmängden till i medeltal 18.7 l/s ($589\,000 \text{ m}^3/\text{år}$). De under mätperioden rådande meteorologiska förhållandena (extrem torka) gör det rimligt att anta att den uppmätta vattenmängden representerar grundvattentillrinning under förhållanden med lågt grundvattenstånd. I fig 8.2.1 redovisas ett flödesschema för vattenförhållandena i dagbrottet sommaren 1976.

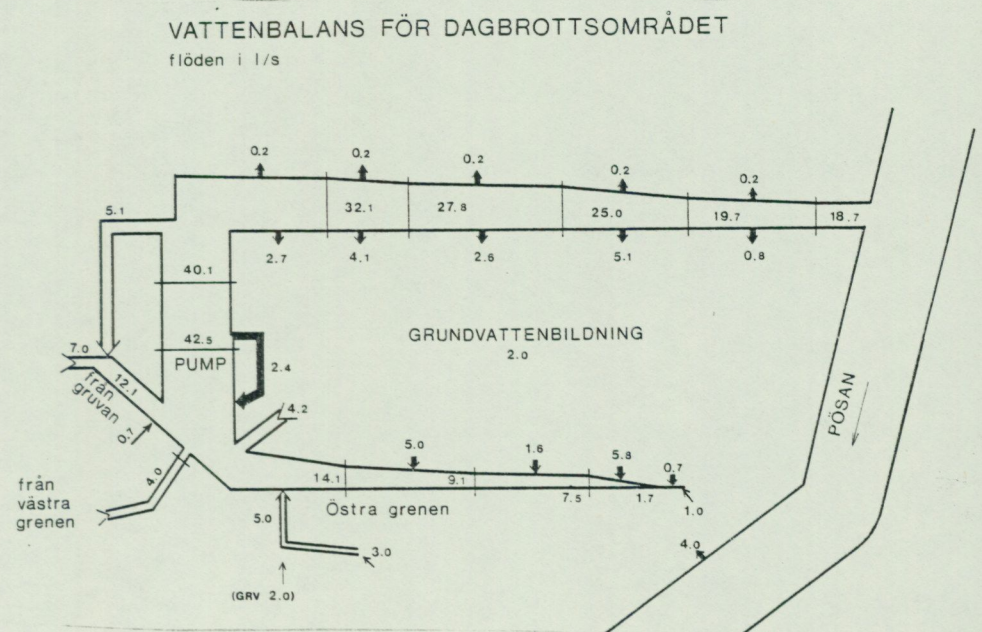


Fig. 8.2.1. Flödesschema för vattenförhållandena i dagbrottet sommaren 1976.

Ett tillskott av nederbördsvatten direkt på dagbrottet har av VBB uppskattats till 2 - 3 l/s vid en dagbrotsareal av 0.2 km².

Dräneringen på grund av det befintliga dagbrottet har medfört en avsänkning av grundvattennivån i anslutning till dagbrottet från ca 180 m ö h till ca +170 m ö h, dvs 10 m. Denna avsänkning avser såväl grundvattnet i kalkstenen som jordlagren, vilka inom det befintliga dagbrotsområdet i huvudsak kan behandlas som ett samverkande grundvattenmagasin.

I SGU 1977 a redovisas avsänkingsförloppet för grundvattenytan i några brunnar inom dagbrotsområdet under perioden 1961 - 1975. I tabell 8.2.1 visas det avstånd från nuvarande dagbrott inom vilket grundvattenavsänkningen är större än 1 m.

Tabell 8.2.1 Grundvattenavsänkningens utbredning kring nuvarande dagbrott (Jfr SGU 1977 a).

200 m norr om dagbrottet
200 m öster om dagbrottet
1 200 m söder om dagbrottet
150 m väster om dagbrottet

Den relativt stora utbredningen av avsänkningstratten mot söder har sin orsak i dels att det nuvarande dagbrottet skär av grundvattentillrinningen från norr, dels att en stor del av området söder om dagbrottet, kärrmarken och torvmossen, underlagras av sediment. Förekomsten av jordarter med relativt hög permeabilitet underlättar dräneringen av grundvatten till dagbrottet.

Storleken av påverkat område norr om dagbrottet är osäker då grundvattenståndsobservationer saknas inom området. Grundvattennivån i jordlagren samt kalkstenen påverkas också av infiltration av uppumpat vatten längs avloppsdiket till Pösan, samt av transporttunneln mellan dagbrottet och grovkrossen. I samband med dagbrottets tillkomst rapporterades en mycket kraftig grundvatteninläckning. Denna inläckning kan ha åstadkommit en viss magasininstömning av grundvatten inom området norr om dagbrottet. Genom tillkomsten av avloppsdiket har denna magasininstömning i viss mån återställts men ej till ursprunglig nivå.

Vattenbalans för dagbrottet, redovisad i SGU 1977 a visar att inläckningen av grundvatten i dagbrottets västra gren är cirka 4 l/s och kilometer dagbrottsvägg. Härvid har observerats att i stort sett hela inläckningen kommer från den sydöstra dagbrottsväggen och där ur kalksten och jord. Det påverkade området söder om dagbrottet sträcker sig ca 1 km från brottet.

8.2.2 Underjordsgruva och vattentäcker

Befintliga undermarksanläggningar vid Ranstad utgörs av en grovkrossanläggning med en transporttunnel mellan denna och dagbrottet samt en tillfartstunnel från markplanet. Dessutom finns en ca 100 m lång provort från grovkrossanläggningen. Transporttunneln är utsprängd i alunskifferns övre delar och har kalkstenen som tak. Krossanläggningen är utsprängd i alunskiffern med även några meter upp i kalkstenen samt några meter ner i sandstenen. Provorten har drivits enbart i uranskifferhorisonten. Kalkstenens mäktighet ovanför grovkrossen är ca 42 m och gränsen mellan kalkstenen och alunskiffern är belägen på nivån +162.9 m ö h.

Läckande vattenmängd från transporttunnelns första 200 m går till dagbrottets pumpgrop. Denna vattenmängd har uppmätts till 12 l/s, varav ca 7 l/s beräknats utgöra direkt från avloppsdiket återinfiltrerat vatten. Resterande 5 l/s antas vara grundvatteninläckning från området norr och nordöst om transporttunneln. Med antagande av en grundvattenbildning av 130 mm/år innebär detta att ett ca 1.2 km² stort område dräneras till den del av transporttunneln som dräneras till dagbrottet. Den största delen av detta vatten kommer i borrhål som slår igenom tunnelns tak.

Grovkrossens nedre delar är belägna i sandstenen på lägre nivå än sandstensakviferens ursprungliga naturliga tryckyta (ca +150 m ö h år 1959). För att förhindra att grovkrossen sätts under vatten sker en kontinuerlig pumpning i två brunnar, (Vp 6) nedförda från grovkrossens botten till några meter ned i urberget. Dessa brunnar utgör en del av Ranstadsverkets vattenförsörjningsanläggning.

Från grovkrossanläggningarna pumpas också ut en del vatten som kommer från kalkstensakviferen. Mängden av detta uppumpade vatten har under perioden mars -76 -- okt -76 varit 180 - 200 m³/dygn motsvarande ca 2 l/s.

Pumpningen av grundvatten vid bl a Vp 6 har medfört en avsänkning av sandstensakviferens tryckyta. Vid Vp 6 uppgår denna avsänkning till ca 20 m. Uppmätning av vattenstånd i Ranstadsverkets brunnar utförs med manometer varvid endast en noggrannhet av 0.1 m kan erhållas. Uppmätningarna utförs dessutom vid enstaka tillfällen under varje månad, oavsett hur lång tid vatten pumpats ur brunnen före mätning. Grundvattenytan i Vp 6 pendlar mellan +126 och +132 m ö h beroende av uttagskapacitet och mät-tillfälle. Under tiden 1965 - 75 har noterats en minskning i kapacitet från ca 1 500 m³/dygn samtidigt som vattenytan i Vp 6 ej nämnvärt förändrats. Den totala utpumpade vattenmängden ur samtliga vattentäkter mellan åren 1965 - 1979 (15 år) uppgår till ca 8.7 Mm³ dvs 583 000 m³ per år (18.5 l/s), varav Vp 6 svarar för drygt 50 %. Fig 8.2.2a visar uppumpade vattenmängder ur Ranstadsverkets brunnar under åren 1965 - 79.

UPPUMPADE VATTENMÄNGDER UR RANSTADSVERKETS BRUNNAR 1965-79

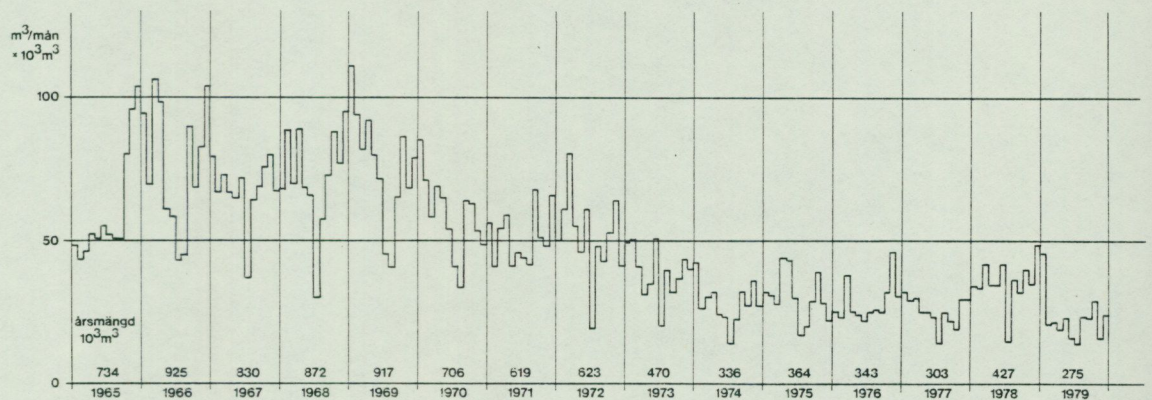


Fig. 8.2.2a. Uppumpade vattenmängder ur Ranstadverkets brunnar under perioden 1965 - 1979.

Ett kontinuerligt uttag av 15 l/s från Ranstads vattentäkter påverkar grundvattennivån inom ett förhållandevis stort område. Detta område har numeriskt beräknats med hjälp av den modell som beskrivits under avsnitt 7.3. Resultatet visar att grundvattnets tryckyta i sandstenen avsånkts inom ett cirka 90 km² stort område. Den härvid uppkomna grundvattensituationen (vid stationärt tillstånd) framgår av fig 8.2.2b.

En eventuell inverkan av befintlig underjordsgruva eller dagbrott på grundvattentrycket i sandsten på grund av minskad grundvattenbildning kan ej spåras i uppmätta eller beräknade grundvattennivåer. Detta beror på att grundvattenuttagen direkt ur sandsten inverkar avsevärt mycket mer på grundvattennivån än nuvarande dagbrott och underjordsgruva.

Beskaffenheten hos inläckande grundvatten till underjordsgruvan finns redovisad i tabell 8.2.1.

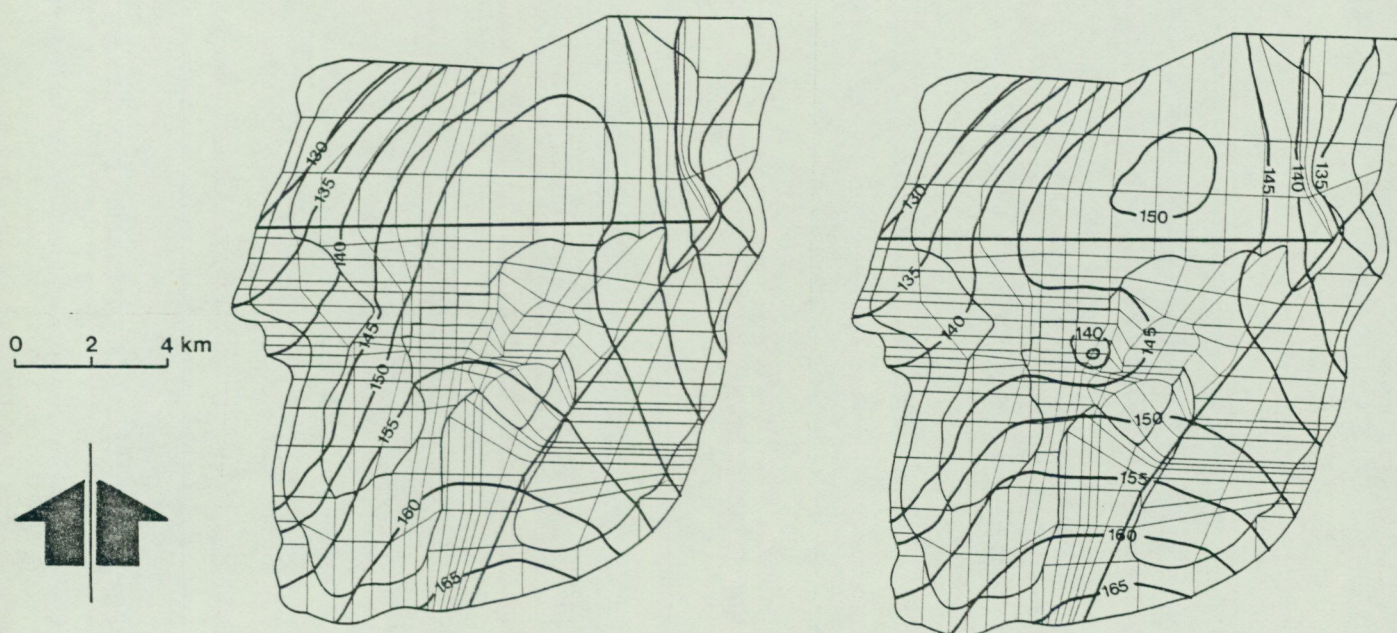


Fig. 8.2.2b. Grundvattnets tryckyta i sandstensakviferen vid ett grundvattenuttag av 15 l/s ur Ranstadsverkets brunnar, högra fig., i jämförelse med naturliga förhållanden, vänstra fig. Nivåerna är angivna i m ö h. Beräkningarna har utförts med numerisk modell.

Tabell 8.2.1 Beskaffenheten hos inläckande grundvatten till underjordsgruvan (efter AB Atomenergi tekniskt PM 1978-02-07).

K	Na	Ca	Mg	Al	Fe	Mn	SO ₄	Ba	Sr	Zn
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3.85	15.2	156	8.82	<0.02	0.06	0.12	172	<0.2	0.8	0.25
As	Cd	Co	Cn	Cr	Mo	Ni	U	V	pH	
µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l		
<5	0.10	<2.0	7.4	1.7	30	42	20	<25	8.17	

8.3 Inverkan av nuvarande restproduktdeponering

Restprodukter i form av lakrest och slam har från tidigare verksamhet deponerats vid Tovatorp väster om verksamrådet. Slammet har härvid deponerats i mindre dammar omgivna av lakrest och jord. Undersökningar har utförts för att bl a studera lämpligt täckningsmaterial och täckningsförfarande av lakresten varvid vissa av lakresthögarna täcks med varierande material och samtidigt instrumenterats. Resultat av dessa undersökningar har redovisats i olika rapporter inom och utanför Ranstadsverket.

Jordarter och jordmättigheter inom deponeringsområdet framgår av geologiska kartor (SGU ser C 121) samt av borrhningar inom området utförda av VBB (Rapport 1973-05-08). Nämda undersökningar visar på 4 - 10 m mäktigt lager av sandig och moig morän på kalksten. I moränen förekommer skikt av mo och sand med inslag av lera och mjäla. Moränen har av VBB bedömts ha en hydraulisk konduktivitet av 10^{-8} - 10^{-7} m/s. Kalkstenens ytlager är uppsprucket. I upptagna provgropar runt deponeringen och upp efter sluttningen mot Myggeberget var grundvattenytan (sommaren 1972) enligt VBB belägen 2 - 3 m under markytan.

Från restproduktdeponeringen leds överskottsvatten och nederbördsvatten till en uppsamlingssjö och därifrån till industri-

avloppsreningsverk. Efter behandling leds vattnet till magasineringssjö varifrån det avbördas via rörledning till Slafsan vid Fjällåkra.

Det område som nu upptas av uppsamlings- och magasineringssjöarna utgörs av torvmarker. Enligt torvmarksregistret vid Sveriges geologiska undersökning är lagerföljden följande:

överst ca 1 m kärrtorv, därunder

ca 1/2 m rismosstorv och därunder

ca 1/2 m gungflytorv. Underst finns

ca 2 m gyttja.

Underlaget till torvmarken utgörs av morän och lera.

Den nuvarande deponeringen omfattar ett förhållandevis litet område och en hydraulisk inverkan på grundvattenförhållandena i form av förhöjda grundvattennivåer kan teoretiskt endast förväntas ha blygsamma belopp.

Den deponerade lakresten har enligt VBB (1979-11-21) en konduktivitet av cirka 10^{-6} m/s. Under dec 1968 - mars 1969 genomfördes en spårämnesundersökning av läckaget från slamdammarna inom deponeringsområdet samt från uppsamlings- och magasineringssjöarna (AB Atomenergi tekniskt PM 1969-05-22). Resultatet visade att under 4 månader hade cirka 40 % (38 - 48 %) av tillsatt spårämne (tritium) läckt ut från undersökt damm till lakrest och underlagrande jord. Från uppsamlings- och magasineringssjöarna blev motsvarande värde cirka 1 % (0 - 3 %) från varje sjö. I tabell 8.3 visas läckagen omräknade till m^3/s resp mm/år, varvid antagits att medeldjupen i såväl slamdamm som magasinerings- och uppsamlingsjöarna är cirka 2 m.

Tabell 8.3 Från spår försök 1968 - 69 beräknade värden på vattenläckage från slamdamm i lakrest samt från uppsamlings- och magasineringssjöarna. Medelvattendjupen antas vara 2 m.

	Läckande vattenmängd	
	m^3/s	mm/år
Slamdamm (27 500 m^3)	$1 \cdot 10^{-3}$	2 300
Uppsamlingsjön (40 000 m^3)	$3 \cdot 10^{-5}$	40
Magasineringssjön (90 000 m^3)	$3 \cdot 10^{-5}$	20

I rapporten över utfört spårämnesförsök saknas vissa uppgifter och de i tabell 8.3 redovisade läckvattenmängderna måste behandlas därefter. På grund av lakrestens högre permeabilitet jämfört med moränen och torven samt också på grund av skillnader i topografiskt läge mellan dammen och sjöarna bör den inbördes relationen av läckagen vara jämförbara. Vid det nämnda spår försöket kunde spårämne registreras i två brunnar inom lakrestområdet och en brunn 50 m väster om uppsamlingsjön. Samtliga brunnar går ned i moränen, inom lakrestområdet även ned ett par meter i kalkstenen. Det är oklart ur vilken formation som spårämnet kommit.

I magasineringssjöns botten har prov av sediment och jordarter tagits för analys av bl a metallhalterna. Analyserna och rapportarbetet har utförts av Studsvik Energiteknik AB. Analysresultaten som redovisas i figur 8.3.

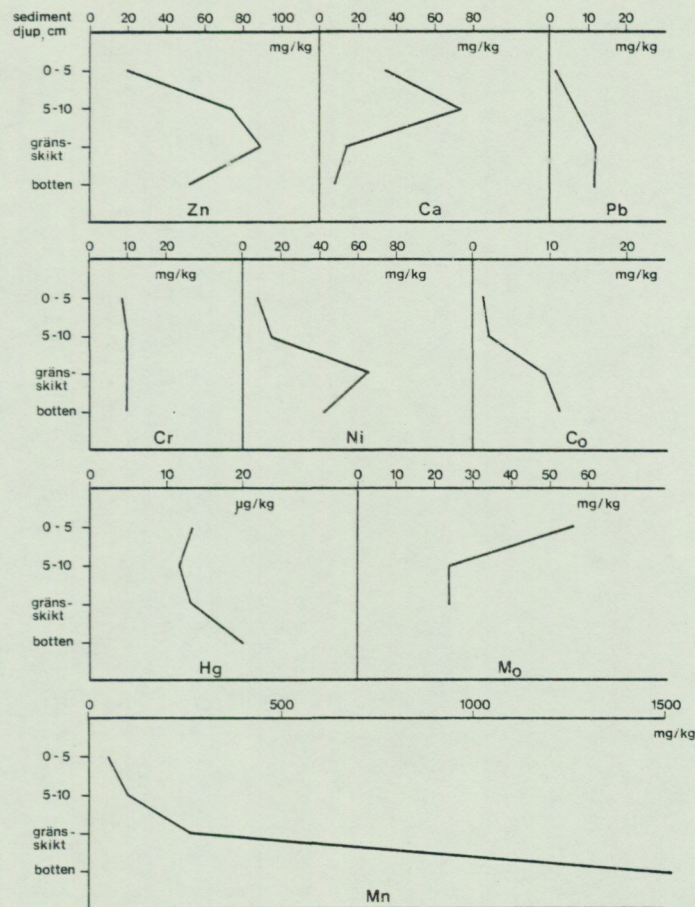


Fig. 8.3. Innehållet av vissa metalljoner i bottensediment från magasineringssjön. Provtagning och analyser utförda av Studsvik Energiteknik AB.

8.4 Inverkan av planerade skifferbrytning

8.4.1 Den planerade skifferbrytningens omfattning

Den planerade produktions- och forskningsanläggningen vid Ranstad skall dimensioneras för en brytning av 2.2 Mton skiffer per år under 25 år. Brytningen av skiffer avses ske i dagbrott med 1.1 Mton/år och i underjordsgruva med 1.1 Mton/år. Utbredning av planerad brytningsverksamhet har presenterats i rapport av VBB (1979-11-21).

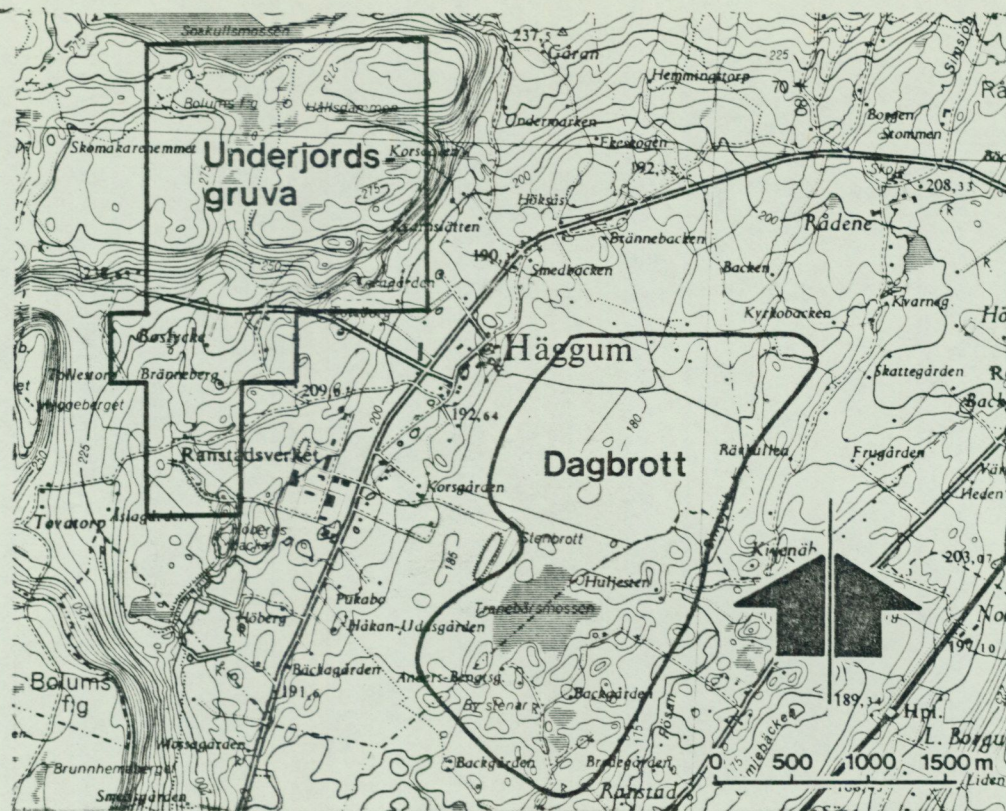


Fig. 8.4.1. Utbredning av underjordsgruva och dagbrott.

I dagbrottet kommer sammanlagt en yta av 3.85 km^2 att brytas. Brytningen, i form av "strip-mining", startar söder om i det befintliga dagbrottets västra gren och fortsätter mot nordöst-norr (södra dagbrottet) för att år 13 fortsätta norr om nuvarande dagbrotts östra gren (norra dagbrottet). Fig 8.4.1 visar utsträckningen av planerade brytningsområde i dagbrott och underjordsgruva.

Efter hand som brytningen fortgår återfylls dagbrottet med restprodukter och avrymningsmassor. Markytan inom de återfyllda och återställda områdena kommer att ligga högre än den ursprungliga markytan på grund av att massorna intar större volym än de ursprungliga jord- och berglagren. Utformningen av deponeeringen i dagbrottet redovisas i avsnitt 8.5.2.

I underjordsgruvan får gruvrummen en höjd av 3.6 m motsvarande uranskiffers mäktighet. Uranskiffern överlagras av 2.5 - 3 m mäktig toppskiffer som utgör taket i underjordsgruvan. Toppskiffern överlagras av kalksten. Brytningen avses ske på ett analogt sätt med förslaget i projekt Rånstad -75. Ventilationsorter för frånluft kommer att drivas i kalkstenen.

8.4.2 Dagbrott

Dagbrottet kommer att påverka grundvattenförhållandena i jord och berg avseende följande:

- avsänkning av grundvattenytan i jord och kalksten inom ett område runt dagbrottet
- minskad grundvattenbildning till sandsten med åtföljande möjlighet till avsänkning av grundvattenstrycket i sandstenen

Storleken av det område som påverkas av grundvattenavsänkning i jord och kalksten har beräknats analytiskt och numeriskt. Fig 8.4.2a visar samband mellan konduktivitet och påverkat område samt inläckande vattenmängder vid olika djup på dagbrottet. Det påverkade området varierar med brytningstid. I fig 8.4.2b visas hela det område som under någon tid av brytningen blir påverkat av grundvattensänkning.

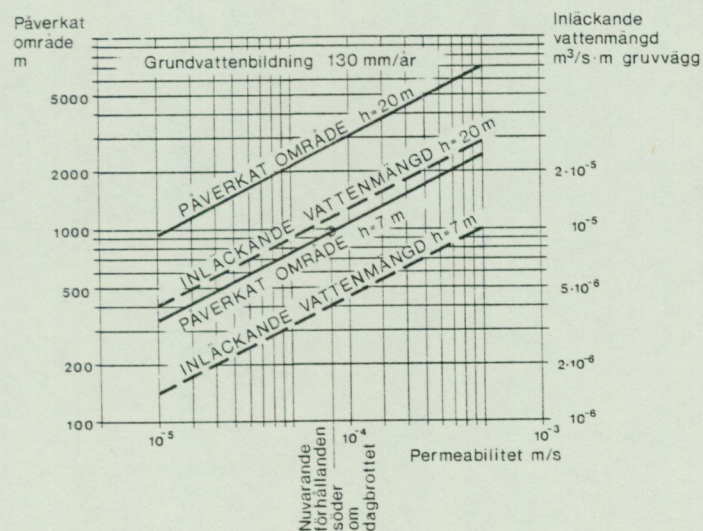


Fig. 8.4.2a. Sambandet mellan konduktivitet och påverkat område samt inläckande vattenmängder vid olika djup på dagbrottet.

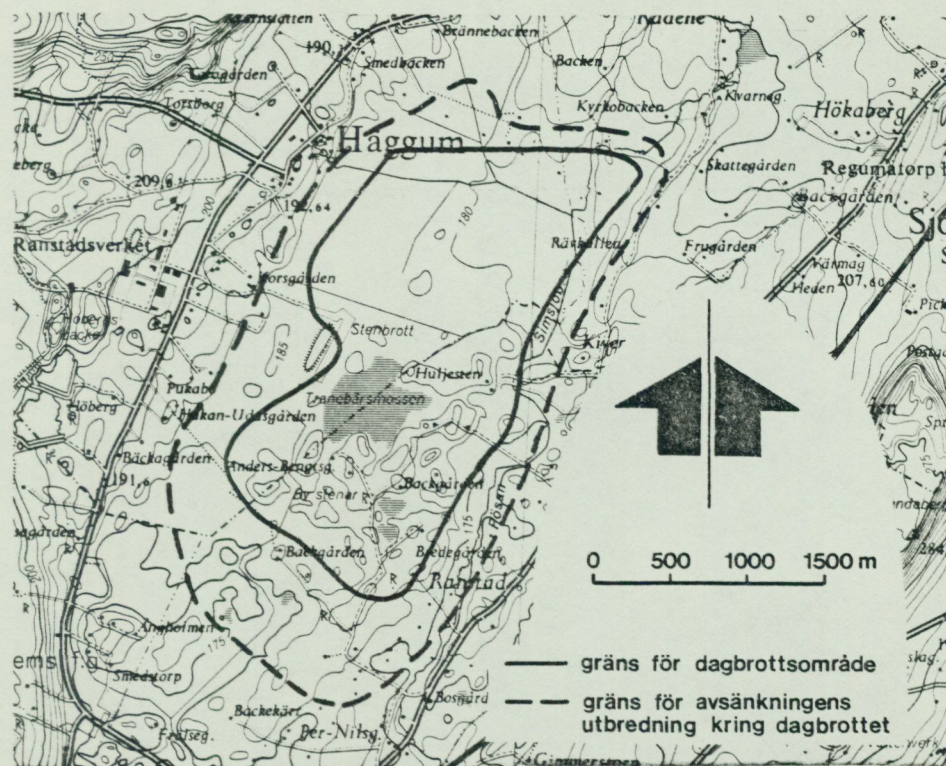


Fig. 8.4.2b. Utbredningen av det område som någon gång under dagbrottsbrytningen kommer att bli påverkat av grundvatten-sänkning.

Dagbrottet kommer successivt att återfyllas med toppskiffer och lakrester som beskrivits i rapport av VBB (1979-11-21). Permeabiliteten hos lakresten bedöms som 10^{-6} m/s i normalpackat tillstånd. Vissa hårdpackade delar av lakrest skall tjänstgöra som tätskärmar i deponeringen. I dessa bedöms lakresten kunna få en permeabilitet av 10^{-7} m/s (VBB 1979-11-21). Grundvattenytan i den deponerade lakresten skall hållas på nivån +182 m ö h. Deponerat material avses att snarast bli täckt med 1 m morän, kalksten samt ytterligare 2.5 m jord vars översta 0.5 m utgörs av matjord. Det kan förväntas att grundvattenbildningen i det deponerade lagren blir av samma storleksordning som i nu rådande. I SGU rapport mars 1977 (SGU 1977 a) bedöms ett vattenläckage av maximalt 2 l/s km dagbrott från deponerat material i anslutning till öppet dagbrott kunna påräknas.

Som påpekats i SGU:s rapport mars 1977 kommer en tömning av grundvattenmagasin i kalksten och jord att ske i samband med avrymning av täckmassorna. Denna mängd är ej inberäknad i det i fig 8.4.2a redovisade diagrammet.

Endast en mindre del av planerat dagbrottsområde kommer att vara öppet samtidigt. Påverkan på grundvattenbildning till sandsten torde bli av samma storleksordning som av nuvarande dagbrott. Som tidigare nämnts kan denna inverkan försummas speciellt i jämförelse med påverkan av Ranstadsverkets vattenuttag ur sandstenen.

8.4.3 Underjordsgruva

Underjordsgruvan kommer att påverka grundvattenförhållandena enligt följande:

- Avsänkning av grundvattenytan i kalkstenen över gruvområdet och inom ett område runt gruvan
- Avsänkning av grundvattenytan i lerskiffern över gruvområdet till följd av ändrad grundvattenbalans
- Minskad grundvattenbildning till sandstenen med åtföljande möjlighet till avsänkning av grundvattentrycket i sandstenen.

Grundvattennivån i kalkstenen har bedömts bli avsänkt till gruvans nivå i områden ovanför gruvan. I kalkstensakviferen runt gruvan kommer avsänkningens omfattning att variera beroende på avståndet från underjordsgruvan. Analytiska beräkningar av tillståndet vid olika antagna värden på hydrauliska parametrar hos kalksten och bentonit redovisas utförligt i SGU:s rapport daterad mars 1977 (SGU 1977a).

Antas hela planerade brytningsområdet under jord vara utbrutet samtidigt och dränerat har det i fig 8.4.3a visade området genom analytiska beräkningar bedömts bli påverkat av en grundvattenavsänkning i kalkstensakviferen. En följd av avsänkningen blir att grundvattenutströmningen minskar i källor och på bred front i vissa delar av öst och sydsluttningarna av Sydbillingen liksom i sluttningarna utefter Myggeberget. Fig 8.4.3a ger en uppfattning av vilka sluttningzoner som kan drabbas.

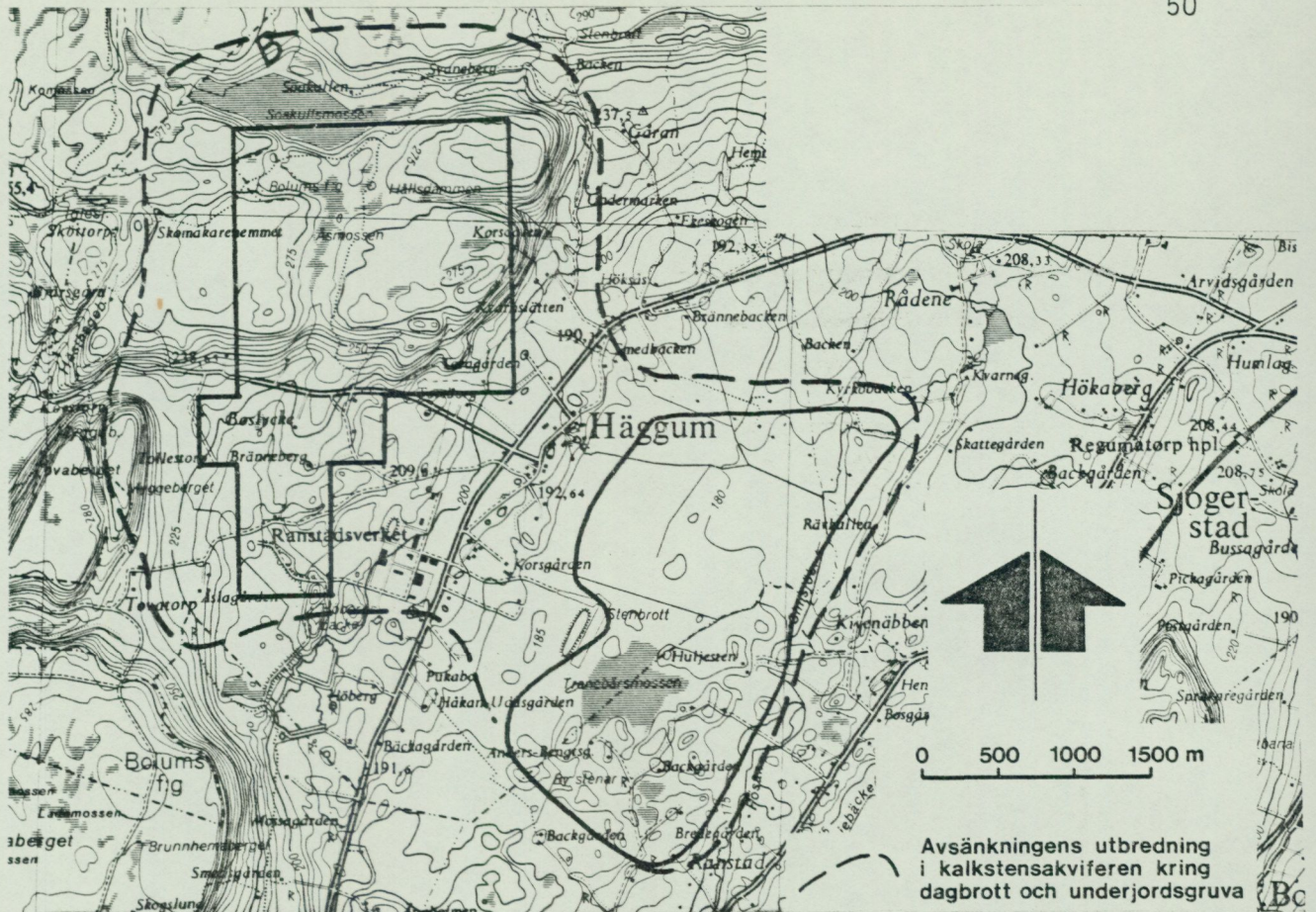


Fig. 8.4.3a. Område kring underjordsgruvan vilket beräknas bli utsatt för grundvattensänkning i kalkstensakviferen.

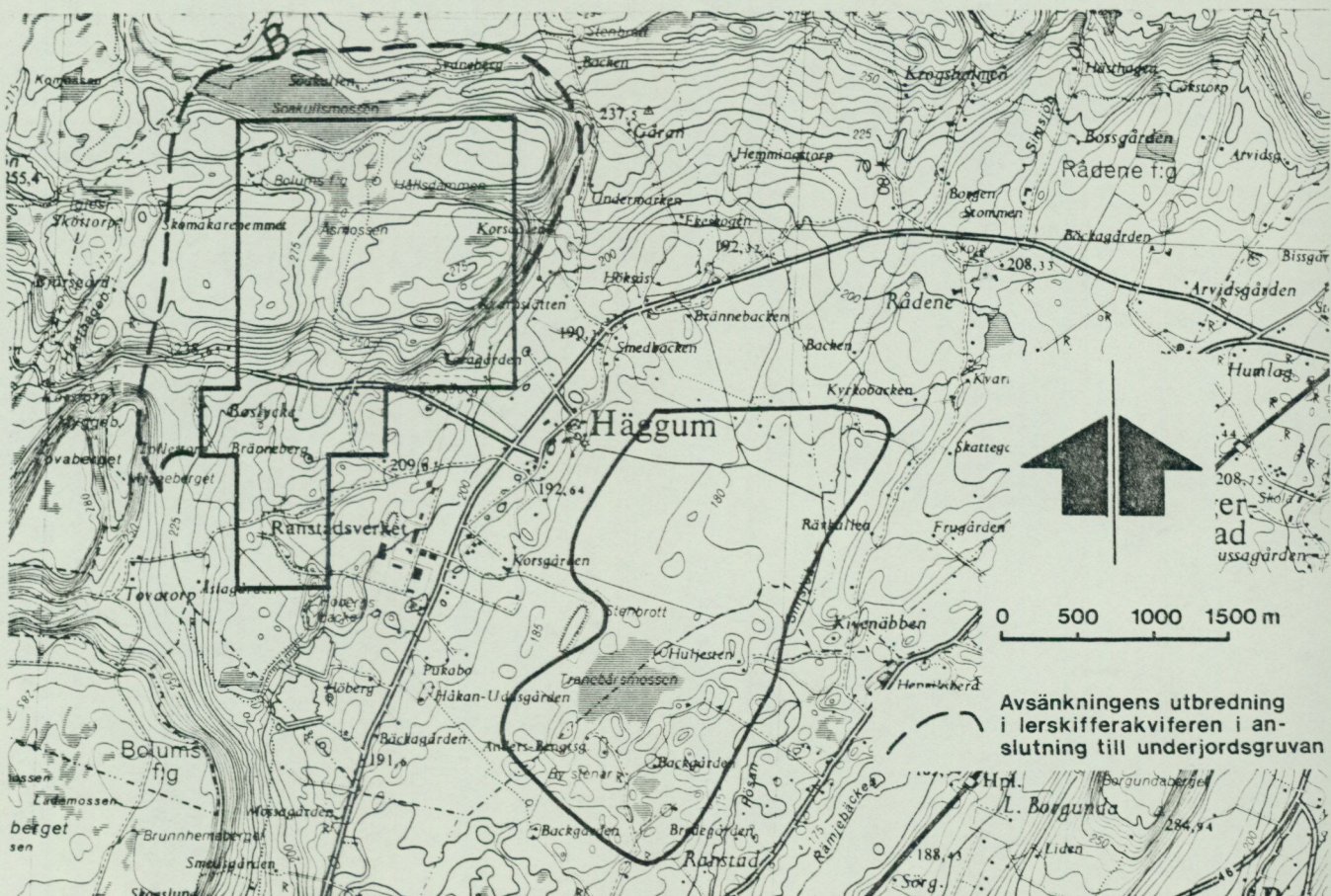


Fig. 8.4.3b. Område i anslutning till underjordsgruvan inom vilket grundvattennivån i lerskifferakviferen beräknas bli påverkad genom avsänkning.

Genom att grundvattnet i kalkstensakviferen avsänkts ökar vattentrycksskillnaden över bentonitakvikluden. Tryckökningen medför en ökning av vattengenomströmningen genom bentonitakvikluden vilket i sig medför en viss påverkan av grundvattenytan i lerskifferakviferen. Storleken av denna avsänkning och påverkat område har analytiskt beräknats och redovisats i SGU:s rapport mars 1977 (SGU 1977a). I fig. 8.4.3b redovisas det område, inom vilket lerskifferns grundvattenyta beräknas avsänkas mer än 1 m vid total utbrytning av underjordsgruvan.

Under naturliga ostörda förhållanden har grundvattenbildningen till sandstenen inom planerade gruvområden med hjälp av numeriska beräkningar bedömts vara cirka 8 mm/år ($1.2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$). Genom underjordsgruvans tillkomst kommer denna grundvattenbildning att försvinna. Detta innebär att grundvattentrycket i sandstenen under underjordsgruvan teoretiskt kommer att minska. Storleken av denna avsänkning av sandstenens grundvattentryck har beräknats numeriskt med modell som beskrivits i avsnitt 7. Resultatet som redovisas i tabell 8.4.3 visar på att ett begränsat avsänkingsbelopp men stort påverkat område kan påräknas. I förhållande till den påverkan som förorsakas av Ranstadsverkets nuvarande vattentäkter i sandsten måste dock påverkan betraktas som begränsad.

Tabell 8.4.3 Den av underjordsgruvan förorsakade påverkan av grundvattennivån i sandstensakviferen beräknad med numerisk modell

	Maximal avsänkning m	Område inom vilket grundvattenytan avsänkt mer än 5 m km ²
Hela gruvområdet (år 25) utbrutet och dränerat	3 - 4	-
Nuvarande vattenuttag ur Ranstadsverkets sandstens- brunnar	~ 20	38

8.5 Inverkan av planerad restprodukthantering

8.5.1 Den planerade restprodukthanteringens omfattning.

Följande restprodukter erhålls i samband med utvinningen av uran i Ranstads-området (data från VBB rapport 1979-11-21).

- a) Lakrest, som utgörs av den fasta produkten efter lakningsprocessen. Lakresten är svagt sur och neutraliseras genom homogen inblandning av 5-7 viktsprocent finmald kalksten. Efter denna inblandning uppgår mängden lakrest till 2.09 Mton/år torrsvikt, motsvarande $1.9 \text{ Mm}^3/\text{år}$ före komprimering och $1.35 \text{ Mm}^3/\text{år}$ efter komprimering.
- b) Filtreringsrester, som erhålls som filterkakor vid neutralisation av laklösningen från uranlakningen. Mängden beräknas uppgå till ca 0.2 Mton/år (fast material). Efter blandning med slammet enligt d) och uppslamning i vatten för pumpning beräknas mängden bli 0.45 Mton/år.
- c) Orsten från sovringsverkets sjunk- och flytanläggning, som utgör en oren, delvis kristallin kalksten. Mängden orsten beräknas uppgå till ca 9 % av den utbrutna skiffern, dvs 0.20 Mton/år eller $0.16 \text{ Mm}^3/\text{år}$. Av orstenen förutsätts en del komma att användas för kalkinblandning i lakresten (0.07 Mton/år) och återstoden utnyttjas för utförande av temporära vägar m m eller deponeras i dagbrottet.
- d) Slam från sovringsverkets förtjockare. Slammängden uppgår till $0.09 \text{ Mm}^3/\text{år}$ med en torrsbstanshalt av 30 - 50 %. Detta slam förutsätts återgå till processen. Om slammet vid någon tidpunkt ej kan återgå till processen deponeras det tillsammans med filtreringsresterna.

Deponeringen av de olika restprodukterna kommer att ske enligt följande:

- i dagbrottet: lakrester och avrymningsmassor
- i underjordsgruvan: filtreringsrester och slam efter 3 års drift
- i en slamsjö vid Tovatorp, mellan Tovaberget - Brunnhemsberget och Ranstadsverket: filtreringsrester och slam. Tovatorpsområdet utnyttjas för deponering under de 2 - 3 första driftsåren innan utrymmen i underjordsgruvan finns tillgängliga.

8.5.2 Lakrestdeponering i dagbrottsområdet

Lakresten innehåller vittringsbenägen svavelkis. Vittring förutsätter tillgång på syre och vatten och för att motverka effekterna av vittringen skall lakrestdeponeringen ligga under en kontrollerad grundvattennivå. Denna grundvattennivå skall så långt det är möjligt hållas fri från infiltration av nederbördsvatten genom att lakresten täcks av lågpermeabelt täckningsmaterial med mellanlagrande dräneringsskikt. Vidare skall grundvattenströmningen genom deponeringen minimeras. Detta kommer att ske dels genom att hårdpackad lakrest läggs som en vall runt dagbrottets väggar samtidigt som dagbrottets botten utgörs av lågpermeabel alunskiffer, dels genom att grundvattentytan inom hela deponeringen hålls på konstant nivå +182 m ö h där dräneringslager av kalksten läggs ut under- och överlagrat av 1 m resp 2.5 m morän. Läckage av vatten genom den nämnda vällen, som blir 5 km lång har av VBB (rapport 1979-11-21) beräknas bli totalt 3 l/s (94 500 m³/år).

Som nämnts i avsnitt 8.4.2 läggs den utbrutna toppskiffern som ett dränerande lager mellan dagbrottets botten och lakresten. För att möjliggöra en successiv höjning av grundvattennivån i den återfyllda deponeringen kommer detta att uppdelas i mindre enheter genom täta tvärvallar. Dessa erhålls genom packade lakreststrängar, som utläggs på dagbrottets botten.

Från lakrestens överyta byggs också vissa tvärvallar upp till nivå +182 m ö h. Vallarna som byggs upp av packad lakrest skall göra det möjligt att successivt vattenmätta täckande jord och kalkstenslager under nivån +182 m ö h. (VBB rapport 1979-11-21).

I deponerade lakrester kommer grundvattenytan att hållas vid nivån +182 m ö h, vilket innebär en förhöjning av någon eller några meter jämfört med de nu rådande grundvattenstånden inom det södra dagbrottsområdet. I det norra dagbrottet blir det på motsvarande sätt en avsänkning av någon eller några meter. Detta betyder att efter deponeringen av lakresterna nybildningen av grundvatten till sandstenen kommer att bli av samma storleksordning som den nuvarande. Kvantitativt betyder detta att maximalt ca 2 - 3 mm per år beräknas tillföras sandstenen, se tabell 7.4.1, vilket totalt innebär mindre än 0.4 l/s från hela deponeringsområdet ($0.012 \text{ Mm}^3/\text{år}$).

Lakresten innehåller vid deponeringen cirka 15 viktsprocent vatten. Före packning beräknas denna vattenhalt minska till 14 %. Detta innebär att cirka $200 \text{ m}^3/\text{dygn}$ ($65\,000 \text{ m}^3/\text{år}$) avgår som vattenmängd från lakresten till dagbrottsvattnet under deponeringstiden (VBB rapport 1979-11-21). För att vattenfylla dräneringslagret av kalksten över lakresten och undre tätjordsskiktet beräknas cirka 300 m^3 vatten per dygn åtgå. Den successiva vattenmättningen av lakresten och toppskiffern kommer på grund av lakrestens låga vattengenomsläpplighet att ta en viss tid. Denna vattenmättning kommer att ske med nederbördsvatten över rekultiverat område och påverkar inte dagbrottets vattenschema under brytningstiden.

Deponering av lakrester i dagbrottsområdet innebär att en spridning av utlakade ämnen från lakresten är möjlig, dels horisontellt genom omgivande vall av hårdpackad lakrest och berg-jordlager ut i jord-kalksten och övre delen av alunskiffern, dels vertikalt som perkolation genom alunskiffern ned till sandstenen. Det vatten som prids ut horisontellt kommer efter avslutad verksamhet att tillföras grundvattnet i jordlagren med en kapacitet motsvarande läckaget genom omgivande dammar. Enligt

systemet från AB Svensk Alunskifferutveckling beräknas dock endast försumbara vattenmängder komma att läcka ut horisontellt från lakrestdeponeringen.

Den hydrauliska utspädningen av lakvattnet i sandstensakviferen beräknas bli ca 0.04 gånger de jämviktsvärden som förekommer i vatten i jämvikt med lakresten. Naturligt förekommande halter av vissa ämnen i grundvattnet har redovisats i examensarbete 74:5 vid institutionen för VA-teknik vid CTH.

En jämförelse mellan förväntade halter i sandstens grundvatten och resultat från samtliga kemiska vattenanalyser utförda inom Billingen - Falbygden-området visar, att trots tillskottet av ämnen från lakrestdeponeringen finns det ett stort antal vattentäkter (brunnar) i vilka grundvattnets halt av respektive ämnen naturligt är högre. Denna jämförelse är dock begränsad då uppgifter om naturligt förekommande halter av exempelvis tungmetaller saknas.

8.5.3 Slamdeponering i underjordsgruvan

Efter 2 - 3 års brytningsverksamhet beräknas slammagasinet vid Tovatorp vara fyllt och deponering av slam påbörjas i utbrutna rum under jord. För deponering förutsätts således att efter nämnda tid deponeringsutrymmen om sammanlagt cirka 10 Mm^3 finns tillgängliga. Med en brytningshöjd av 3.6 m hos underjordsgruvan motsvarar detta cirka 3 km^2 underjordsgruva.

Deponeringen av filtreringsrester i underjordsgruvan innebär att spridningen av utlakade ämnen kommer att ske dels horisontellt ut i toppskiffer- och uranskifferhorisonterna runt gruvan, dels vertikalt via perkolations genom alunskiffern ned till sandstenen. Hydrauliskt motverkas den horisontella utspridningen då de utbrutna gruvutrymmena verkar som "avsänkande brunnar", mot vilka grundvattnet i kalkstensakviferen strömmar. Däremot kan en vertikal transport genom alunskiffern till sandstenen påräknas om ett vattentryck över filtreringsresterna utbildas.

Den vattenmängd som naturligt och under opåverkade förhållanden perkolerar ner till sandstensakviferen inom planerat område för underjordsgruva har med hjälp av numeriska beräkningar bedömts vara maximalt ca 8 mm/år, dvs ca $0.25 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ inom gruvområdet. Då filtreringsresterna kommer att deponeras i utbrutna gruvrum som i flertalet fall kommer att vara omgivna av transport- och ventilationsorter kan samma vattentryck som före gruvbrytningen svårligen utbildas. Därför är det sannolikt att perkolationen till sandstenen blir betydligt lägre. För beräkningen av inverkan av utlösta ämnen från filterresterna på sandstens grundvattenkvalitet efter avslutad verksamhet har dock värdet $0.25 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ utnyttjats. Under brytningsskedet har antagits att ett grundvattentryck motsvarande hälften av det ursprungligt naturliga kan utbildas. En beräkning av den utspädning som hydrauliskt kan förväntas, räknat på hela sandstens vattenförande sektion, visar att lakvatten från filterresterna när detta når området kring Ranstadsverkets brunnar kommer att utspädas till cirka 0.13 gånger de jämviktsvärden som förekommer i vatten i jämvikt med filterresterna. Härvid har antagits att sandstenen har samma transmissivitet som beräknats vid Ranstadsverkets brunnar samt att gradienten i sandstenen är riktad in mot Ranstadsverkets brunnar från området under underjordsgruvan.

Tabell 8.5.3a Halter av olika ämnen i sandstensgrundvattnet i Billingen - Falbygden samt dess beroende av antal överlagrande bergartsled (efter examensarbete 74:5 VA-teknik CTH).

Ämne	Beteckning	Beräknade medianhalter i mg/l då sandstenen täcks av alunskiffer och kalksten	Tendens i medianhalt vid minskade antal överlagrande bergartsled
Aluminium	Al	0.07	ökande
Kalcium	Ca	72	ökande
Kalium	K	2.5	ökande
Magnesium	Mg	1.8	oförändrad
Järn	Fe	0.13	ökande
Mangan	Mn	0.02	ökande
Natrium	Na	20.0	minskande
Fosfor	P	0.01	oförändrad
Sulfat	SO ₄	15.0	ökande
Klorid	Cl	10.6	ökande
Fluor	F	0.34	oförändrad
Ammonium	NH ₄	0.22	minskande
Vätekarbonat	HCO ₃	368	ökande

Kvaliteten hos grundvattnet i sandstensakviferen under Sydbillingen är dåligt känd. Från den genomförda grundvattenkemiska inventeringen (examensarbete 74:5 VA-teknik CTH) kan dock vissa generella slutsatser dras beträffande medelhalter av vissa ämnen inom områden där sandstenen är täckt av olika bergartsled. Dessa slutsatser framgår av tabell 8.5.3a.

Under naturliga förhållanden är grundvattnets perkolationstid genom alunskiffern ca 8 år. Denna är beräknad under förutsättning av en vertikal permeabilitet av ca $3 \cdot 10^{-11}$ m/s och med en total porositet av 1 %. I och med att vattentrycket på deponerade filtreringsrester blir lägre än under naturliga förhållanden ökar också tiden för perkolationen. Detta gäller under brytningstiden. Efter avslutad brytning och deponering avser man emellertid att försegla underjordsgruvan och att låta de ursprungliga naturliga grundvattenytorna inställa sig.

8.5.4 Slamdeponering vid Tovatorp

Vid Tovatorp kommer en slamsjö att anläggas för att ta emot i vatten uppslammade restprodukter, vilka ej kan deponeras på annat sätt. Sålunda kommer t ex filtreringsrester och skifferslam att pumpas till slamsjön innan deponeringsutrymmen finns tillgängliga i underjordsgruvan.

De restprodukter som kommer att deponeras vid Tovatorp kommer i sig att ha låg hydraulisk konduktivitet. Markytans allmänna lutning mot öster och nordöst inom området medför att jorddammar med en maximal höjd av ca 16 m måste anläggas. Jorddammarna liksom slamsjön kommer att anläggas på befintlig markyta. Jordmäktigheten inom området torde vara 9 - 10 m och jordlagrens hydrauliska konduktivitet inom området 10^{-8} - 10^{-7} m/s enligt bestämningar utförda av VBB (16 april 1971) på jordprover tagna på Myggebergets och Brunnhemsbergets östsluttningar. Vatten genomsläppligheten (hydrauliska konduktiviteten) hos de deponerade restprodukterna vid Tovatorp torde vara cirka 10^{-7} m/s enligt uppgift från Ranstad Skifferaktiebolag.

Jorrdammarna runt slammagasinet byggs av lakrest och förses med moräntäckning på utsidan. Dammkrönet beräknas i slutligt skede bli uppbyggt till nivån +218 m ö h. Slammagasinet dämningensgräns blir +215 m ö h och omfattar då en yta av cirka 50 ha. Detta innebär att magasinet beräknas kunna rymma totalt cirka 3.5 Mm^3 slam och vatten. Slammagasinet avses kunna ta emot restprodukter under de 3 första verksamhetsåren. När slammagasinet inte längre erfordras kommer det att överfyllas med cirka 1 m mäktigt jordlager. Den hydrauliska konduktiviteten hos den packade lakresten i jorrdammarna torde också bli cirka 10^{-7} m/s .

Inom det blivande deponeringsområdet vid Tovatorp kan det naturliga grundvattenflödet i jord och kalksten uppskattas till ca $4 - 6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ per breddmeter. Det naturliga vertikala flödet från kalkstenen ned i sandstenen har beräknats vara cirka 6 mm/år dvs totalt cirka 0.1 l/s eller $8 \text{ m}^3/\text{dygn}$ under deponeringsområdet, se tabell 7.4.1. Slammagasinet utformning och läge innebär att grundvattenbildningen till magasinet efter avslutad verksamhet blir liten.

Inom vissa delar närmast Brunnhems- och Myggeberget torde grundvattenytan bli belägen nära markytan vilket hydrauliskt kan motverka möjligheterna till någon större grundvattenbildning. Den vattenmängd som teoretiskt kan tillföras jord- och kalkstenslager under slammagasinet har beräknats till cirka $50 \text{ m}^3/\text{dygn}$ (0.6 l/s). Teoretiskt innebär detta att en utspädning till ca 0.9 av de ursprungliga salthalterna i deponeringsmaterialets vatten kan förväntas i grundvattnet i jordlagren och kalkstenen nedströms slamsjön. Dessa bedömningar tar ej hänsyn till den adsorptiva och dispersiva inverkan som jordlagren och kalkstenen har gentemot de utlakade ämnena. Vattnet i jordlagren och kalkstenen bedöms enligt modellstudier och beräkningar ha en högre transporthastighet horisontellt i kalkstenen än vertikalt genom alunskiffern ned till sandstenen. Det utläckande vattnet i jordlagren nedströms slammagasinet föreslås omhändertaget i avskärande dräneringsdiken.

Slammagasinet torde medföra en förhöjning av den naturliga grundvattenytan inom magasineringsområdet. Också utanför kan en viss inverkan påräknas, som dock på grund av avskärande uppsamlingsdiken ej torde beröra området utanför dessa.

Den teoretiskt tänkbara påverkan på grundvattnets beskaffenhet i sandstenen orsakad av lakvatten från restproduktdeponeringen är svår att kvantifiera. Ett ogynnsamt fall är tillförsel av lakrester proportionellt mot vattenmängderna som tillförs sandstenen direkt under deponeringen (8/50). Detta innebär att en hydraulisk utspädning till cirka 0.006 av de ursprungliga salthalterna i deponeringsmaterialiets vatten kan teoretiskt förväntas i sandstenens grundvatten när detta når området öster om Hornborgasjön.

8.5.5 Sammanfattning av restproduktdeponeringens inverkan på grundvattenförhållandena.

Restproduktdeponeringen medför dels hydraulisk påverkan dels påverkan av grundvattnets beskaffenhet. Den hydrauliska påverkan innebär förändrad grundvattenbildning och förändrade grundvattennivåer. I vissa fall innebär detta lokala förändringar av grundvattnets strömbild. Tabell 8.5.5a sammanfattar de olika restproduktdeponeringarnas hydrauliska inverkan på grundvattenförhållandena i olika akviferer.

Lakrestdeponering i dagbrottsområdet innebär risk för förhöjda halter av vissa ämnen i sandstensgrundvattnet på grund av perkolation av vatten från lakresten genom alunskiffern. De halter som teoretiskt kan förväntas är dock lägre än motsvarande halter i grundvattnet uppmätta i vissa brunnsvatten inom Billingen-, Falbygden-området. Teoretiskt beräknas utspädningen av lakvattnet när detta transporteras med sandstensgrundvattnet till 0.04 gånger jämviktshalterna i lakresten. En brunn nedförd i sandstenen inom och i anslutning till deponeringsområdet kommer inte endast att ta vatten som påverkats av deponeringen utan även grundvatten opåverkat av deponeringen. Detta innebär att halterna från lakrestdeponeringen kommer att vara utspädda mer än ovan angivet värde.

Deponering av filtreringsrester (slam) i underjordsgruvan kan teoretiskt medföra förhöjda halter av vissa ämnen i sandstensgrundvattnet under gruvområdet. Vid en perkolation av 4 mm/år genom alunskiffern till sandstenen kan teoretiskt en utspädning av lakvattnet till cirka 0.13 gånger jämviktshalterna i filtreringsresterna förväntas. Grundvatten ur en brunn i jord eller kalksten inom eller i anslutning till deponeringsområdet kommer ej att vara kemiskt påverkat av vatten från deponeringen. Grundvatten ur en brunn i sandstenen får motsvarande utspädningsförhållanden som angivits för en brunn i anslutning till deponeringen av lakrest.

Deponering av slam i slammagasin vid Tovatorp medför en förhöjning av halterna av vissa ämnen i grundvattnet i jordlagren. Det kontaminerade grundvattnet kommer att transporteras mot öster och största delen kommer att övergå till ytvatten och uppsamlas i de avskärande uppsamlingsdikena nedströms slammagasinet. Teoretiskt kan grundvattnet i kalkstenen komma få förhöjda halter av vissa ämnen. Områdets karaktär av utströmningsområde för kalkstensgrundvatten gör att denna eventuella kontaminering svårigen kan spridas med grundvattnet. I stället kommer den att med grundvattnet övergå till ytvatten i bäckar och uppsamlingsdike öster om slammagasinet. Teoretiskt är det också tänkbart att lakvatten kan nå sandstenen. Detta lakvatten beräknas då hydrauliskt bli utspädd till cirka 0.006 gånger de ursprungliga salthalterna i deponeringsmaterialets vatten.

Under verksamhetsperioden kommer läckande vatten från deponeringarna i dagbrott och underjordsgruva till sandstenen att styras mot Ranstadsverkets vattentäkter i sandstenen. Nuvarande vattenuttag medför att grundvattenströmningen i sandstenen inom blivande brytnings- och deponeringsområden är riktad mot vattentäkterna. Efter avslutad verksamhet och då inga vattenuttag ur sandstenen förekommer vid Ranstad medför en förändrad strömbild i jämförelse med nuvarande. Denna torde närmast kunna

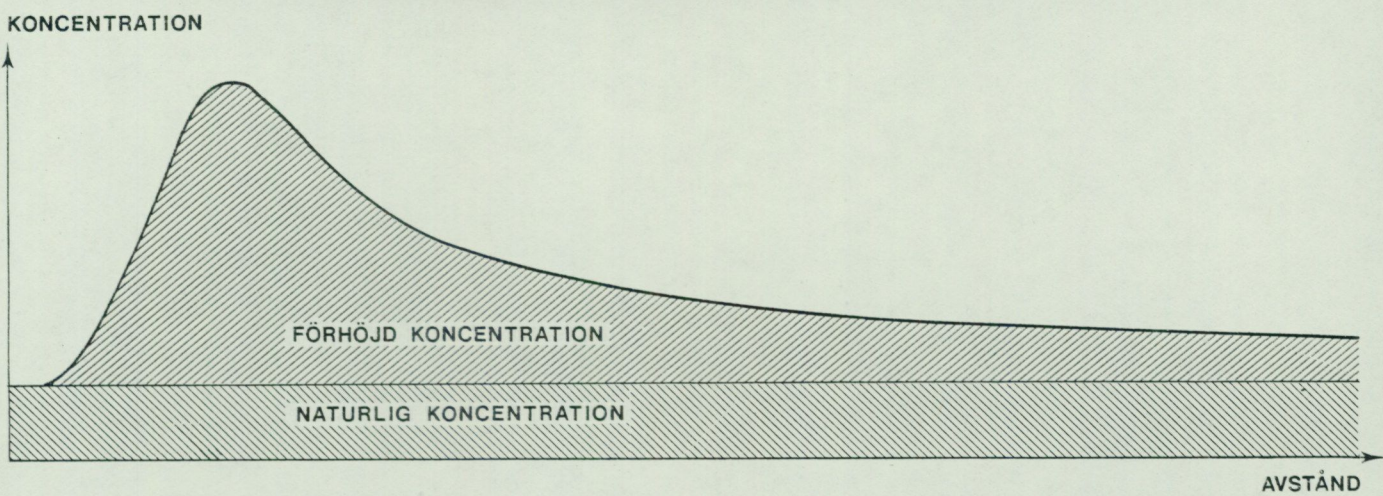
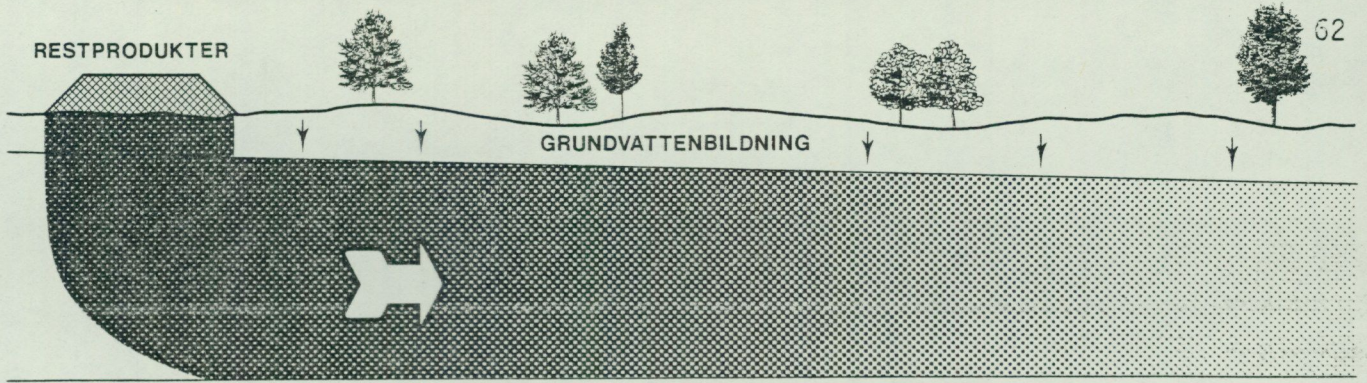


Fig. 8.5.5a. Principbild över masstransport i grundvatten vid fullständig omblandning.

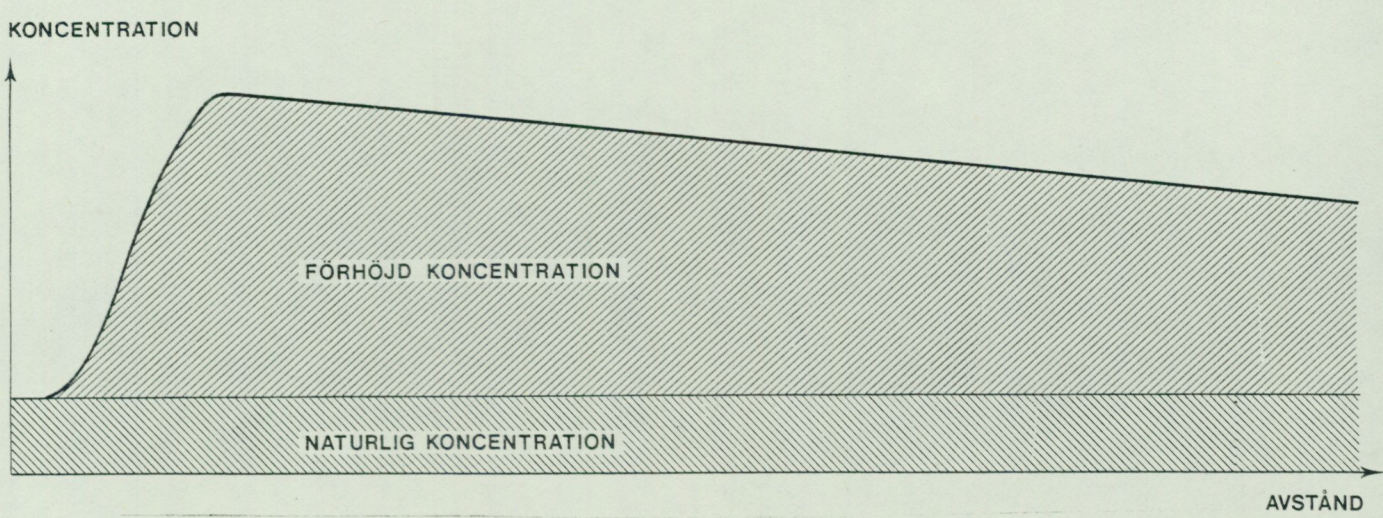
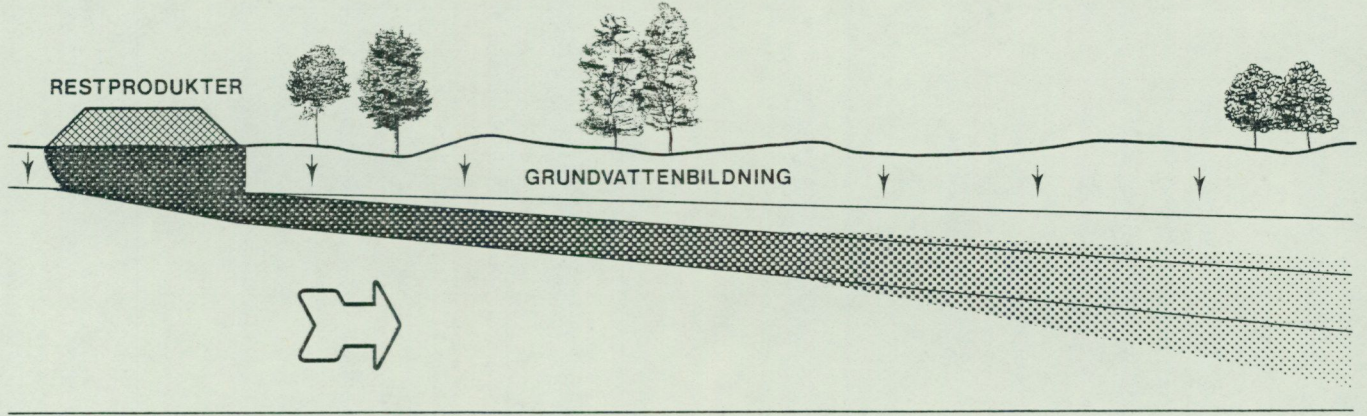


Fig. 8.5.5b. Principbild över masstransport i grundvatten vid ofullständig omblandning men med dispersion.

jämföras med den naturligt rådande i sandstenen före tillkomsten av Ranstadsverkets vattentäkter (och grovkross), och innebär att sandstenens grundvatten från området under lakrestdeponeringen i dagbrottet transporteras mot öster fram till den kross- och förkastningszon som löper i nordöstlig riktning fram mot området vid Skultorp (Nolheden-förkastningen). Tryckförhållanden och hydrauliska konduktivitetsförhållanden inom området öster och nordöst om lakrestdeponeringen i dagbrottet medför att nämnda vatten torde komma att lämna sandstenen inom området mellan Skultorp och Borgunda. De ämnen som skulle ha möjlighet att transporteras från deponeringen till nämnda område torde teoretiskt ha utspäts till cirka 0.01 gånger jämviktskoncentrationen i vatten från lakrestdeponeringen.

Sandstenens grundvatten från området under slamdeponeringen i underjordsgruvan kommer på motsvarande sätt att transporteras mot väster och så småningom nå Hornborgarsjön. Transporttiden i sandstenen uppgår teoretiskt till cirka 16 år och de ämnen som skulle ha möjlighet att transporteras från deponeringen till Hornborgarsjön torde teoretiskt ha utspäts till cirka 0.03 gånger jämviktskoncentrationen i vatten från slamdeponeringen. Efter vidare transport genom Hornborgarsjön blir utspädningen vid sjöns utlopp cirka 0.0002.

De utspädningsförhållanden som redovisas och sammanfattas i tabell 8.5.5b bygger på antaganden om fullständig omblandning av lakvatten från deponeringarna i sandstensakviferen. Fig 8.5.5a är en principbild av ett sådant förhållande. Vanligen är grundvattnets strömning i jord och berg så långsam att en fullständig uppblandning ej sker. Istället transporteras lakvattnet samlat i en "bana" som successivt genom så kallade dispersion-effekter omblandas med grundvattnet enligt den principbild som visas i fig 8.5.5b. Halten av olika tillförda ämnen till grundvattnet kan även minska till följd av att dessa ämnen övergår i fast form (fällning) eller binds vid mineralkorn och sprickytor (sorption). Dessa processer medverkar till att koncentrationen av lösta tillförda ämnen minskar samt till att spridningen går långsammare än vad som kan förväntas med kännedom om grundvattnets strömningshastighet.

Tabell 8.5.5a. Sammanfattning av den bedömda hydrauliska påverkan av restproduktdeponering.

Deponeringsområde	Förändrad grundvattenbildning	Förändrad grundvattennivå
Lakrestdeponering i dagbrottet	Efter brytning torde den ursprungliga naturliga grundvattenbildningen till sandstenen återställas	Lokal förhöjning av grundvattentytan i jordlagren i södra delen och avsänkning i norra delen av dagbrottet
Slamdeponering i underjordsgruva	Efter brytning torde den ursprungliga naturliga grundvattenbildningen till sandstenen delvis återställas	Efter brytning torde grundvattennivåerna i kalkstens- och lerskifferakvifererna delvis återställas
Slamdeponering i slammagasin vid Tovatorp	Ökad grundvattenbildning till jordlagren under slammagasinet. Viss ökning även till kalksten varvid utströmningsområde kan komma att övergå till inströmningsområde	Under slammagasinet förhöjd grundvattennivå i jordlagren till slamdeponeringsnivå. Viss förhöjning även av kalkstensens grundvattennivå. I anslutning till slammagasinet lokal begränsad vattenståndshöjning fram till avskärande uppsamlingsdiken.

Tabell 8.5.5b Sammanställning av flödesmängder i och läckage till sandstensakviferen från olika deponeringar samt beräknad hydraulisk utspädning

Under brytning

	Deponering i			
	dagbrott	gruva		
Naturligt flöde i sandstenen	$8.8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	$2.5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$		
Läckage från deponering	$3.7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	$3.8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$		
Hydraulisk utspädning vid Ranstadsverket	0.04	0.13		
Efter brytning				
	dagbrott	Deponering i gruva	Tovatorp	
Naturligt flöde vid utträde från sandstensakviferen	$2.6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$	$2.4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$	$2.7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$	
Läckage från deponering	$3.7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	$7.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$	$1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$	
Hydraulisk utspädning vid naturligt utflöde	0.01	0.03	0.006	

