

Chock-fenomen i Naturen (Fysiken)

Chockfenomen i GASER

Chockfenomen i VÄTSKOR

Chockfenomen i FASTA MATERIAL

Chockfenomen i fysiken

Ordet "**chock**" är känd från medicinen som "allergisk chock" i samband med en blodförgiftning, från psykologin som psykisk chock vid t.ex ett dödsbud.

Chock är även känt inom fysiken, för beteende i fysiska system som är bortom all tidigare erfarenhet. Det gemensamma för dessa system är **rörelsen**, att det finns en **gränshastighet**, vilken normalt inte kan överskridas. Denna "normala" gränshastighet är ljudhastigheten i kroppen :

- i luft ca 330 m/s
- i vatten ca 1450 m/s
- i granit ca 7000 m/s

I experimentella anordningar, som framtvingar chock , har man i **gaser** under kort tid, kunnat åstadkomma i det så kallade "chockade området" mycket höga tryck och temperaturer, temperaturer uppåt 20000° Kelvin (tre gånger högre än solens yt-temperatur)

I **vätskor** har man hittills inte lyckats framkalla chock, pga att det är svårt att accelerera vatten till överljudshastighet.

Fast berg kan träffas av en meteorit, som oftast har en hastighet långt över ljudhastigheten i berg. Då inträffar det en "chock" i berget.

Dagens föredrag kommer att ta upp detta märkliga fysikaliska fenomen.

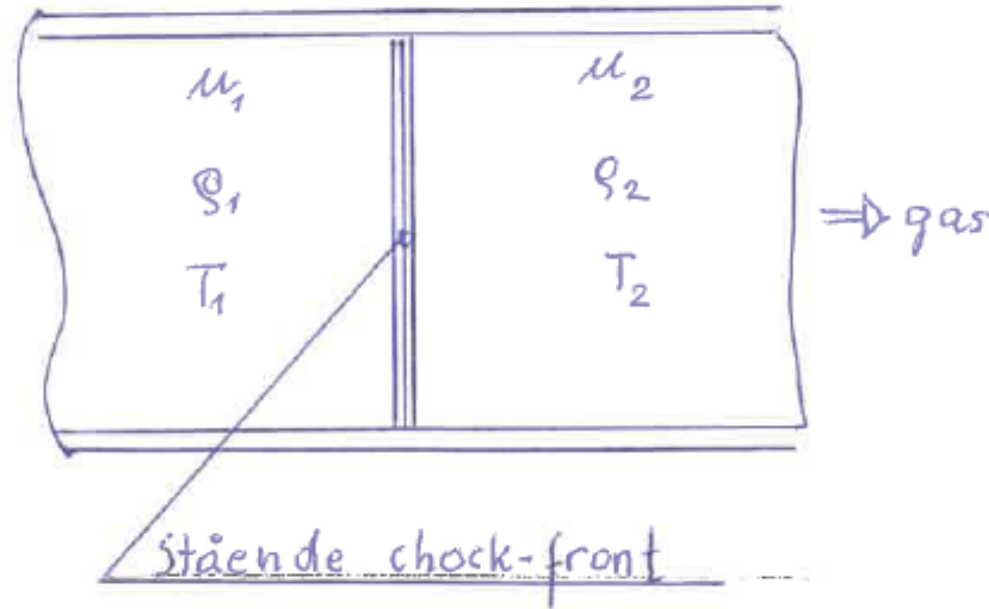
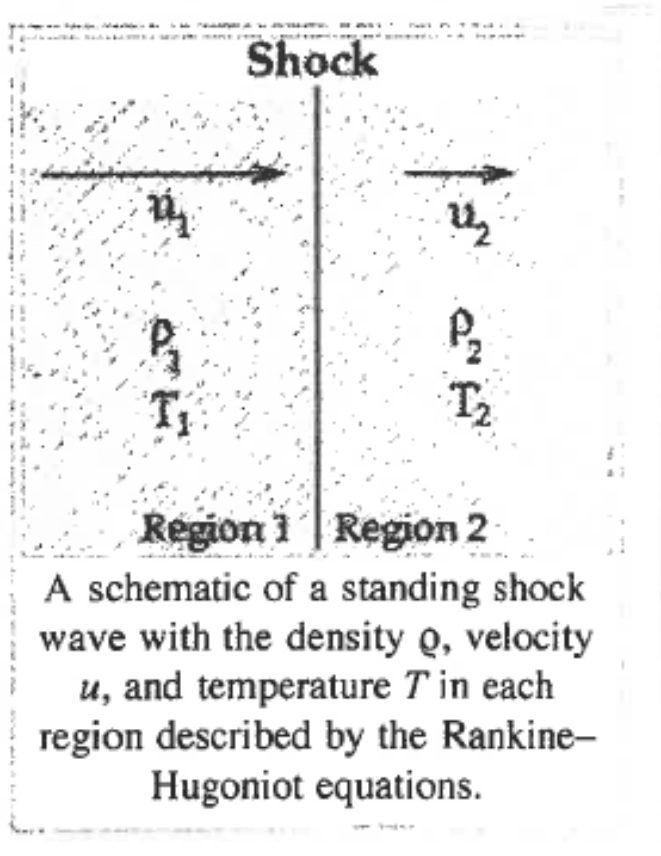
En Fysikalisk gåta

Under senare hälften av 1800-talet var brännbar **Gas** den praktiska energikällan i "bättre" hushåll. Gasen var kolmonoxid CO, eller senare "vattengas", som är en blandning av CO och H₂, som framställs genom att vattenånga förs över glödande kol => C + H₂O = CO + H₂ -28 kcal. Denna gas var självfallet lika giftig som ren CO

Då observerade man ett mycket märkligt fenomen : Rören i hushållen hade normal omgivningstemperatur, men kunde nedströms, från vilket ställe som helst bli varmare. Stängde man av gasflödet, återgick hela röret till rumstemperatur. Satte man på gasflödet igen hände ingenting eller blev röret varmare igen på ett annat ställe.

Två på sin tid berömda fysiker – William John Rankine (1820-1872) och fransmannen Pierre Henry Hugoniot (1851-1887) gav sig i kast att lösa denna gåta, oberoende av varandra.

Detta kallas en stående "chock-front"



I vårt ovanstående exempel med ett rör, vilket från ett ställe (vilket som helst), nerströms blir varmare än uppströms kan vi skriva upp invarianterna för **massa**, **impuls** och **energi**, vänster och höger om start av uppvärmningen.

Fysikens invarianter i ett slutet system

t.ex två bilar efter varandra , den bakre kör på den främre bilen

Massa $m_1 + m_2 = k_1$

Impuls $m_1 * v_1 + m_2 * v_2 = k_2$

Energi $\frac{1}{2} * m_1 * (v_1)^2 + \frac{1}{2} * m_2 * (v_2)^2 = k_3$

Dessa **tre ekvationer** innehåller flera variabler, vilka vi inte känner (inte behöva känna) och kan eliminera genom att sätta in den ena ekvationen in i den andra.

Summa summarum:

Utgående från ett stationärt strömningstillstånd i den vänstra halvan av röret kan den högra halvan anta ett annat strömningstillstånd (här chocktillståndet) med högre temperatur och högre densitet av gasen, dock lägre hastighet (samma massa gas flyter ju ständigt i bägge halvorna) !

I fysiken gäller att i ett stationärt flöde av gas eller vätska, så är massan, impulsen och energin invarianter, dvs de är konstanta.

Nu kan samma massflöde realiseras genom en högre densitet tillsammans med lägre flödes hastighet. Något liknande gäller för flödet av energin: Energin är lagrad i den kinetiska energin och i gasens (vätskans) temperatur.

Den strömmande gasens impuls (massa x hastigheten) kan hållas konstant, om massan per sekund ökas men samtidigt hastigheten minskas.

Alla ingående egenskaper (massflödets hastighet, gasens täthet och temperatur) är kopplade till varandra via tillståndsekvationen. För en ideal gas gäller den allmänna gaslagen

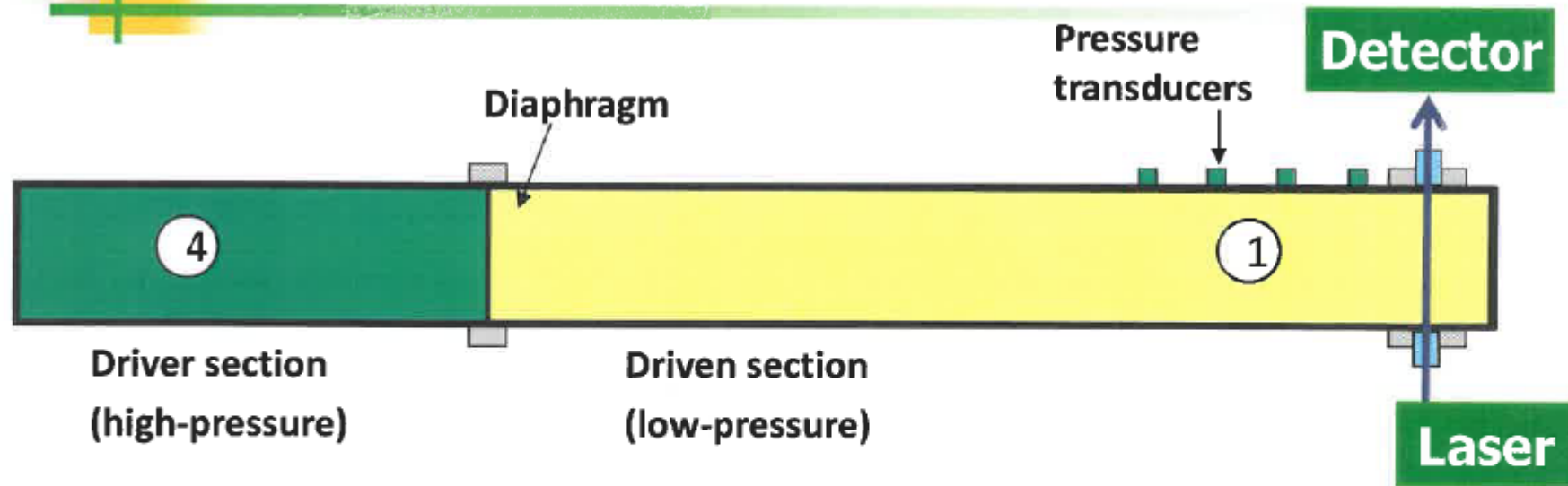
$$PV = n \cdot R \cdot T$$

Där P = trycket ; V = volymen ; T = temperaturen i K (Kelvin)

R = allmänna gas-konstanten $8.31451 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, n = antal mol gas i volymen V

Chockfenomen i GASER

1. Introduction to Shock Tubes



Basic concept:

- High-pressure driver gas expands upon diaphragm opening, creating shock wave
- Test gas is instantaneously compressed and heated to combustion temperatures by incident and reflected shocks
- High-temperature experiments monitored near endwall

CHOCKFENOMEN I HAVET (VÄTSKOR)

Vi har hittills inte lyckats att accelerera vätskor till hastigheter överstigande ljudhastighet i dem. I vatten är den **1474 m/s**. En meteorit eller en asteroid har med säkerhet en betydande större hastighet. Detta har säkerligen hänt under världens geologiska historia, men händelsen har inte lämnat spår efter sig, så vi kan enbart matematiskt simulera den.

Detta har blivit gjort och resultatet visar, att en större meteorit (några hundra meter diameter) skulle skicka miljarder ton vatten in i atmosfären, som droppar och/eller ånga. Detta påverka klimatet som ett stort utbrott av en vulkan, vilken skickar upp aska, vilken skärmar av soljuset. De enorma regnfallen efteråt kommer att leda till att all matjord spolats bort.

Ett ytterligare fenomen kommer stora tsunamis att vara. Dessa uppstår genom att havsvatten störtar från alla sidor in i hålet, som meteoritens framfart har skapat under några sekunder. I hålet kommer en vattenpelare att resa sig och omedelbart därpå falla ihop. Detta i sin tur skapar en cirkelrund tsunamivåg, vilken sprider sig radiellt utåt.

Beakta att före den förhöjda vågen en vågdal kommer. Flera vågdal och vågtoppar kommer efter varandra, innan spektaklet är över.

Den stora meteoriten som föll på Yukatan för 60 miljoner år sedan och utrotade dinosaurierna, föll på fast mark, ej i vatten. Eftersom mänskligheten ej minns en sådan katastrof (regn i många månader och stora kustöversvämningar) tycks så katastrofala störtningar vara en sällsynthet, och förhoppningsvis inte återkommer snart.

Människors minne lagrar händelser ca 8000 år gamla, som genombrottet av Bosporen och dränkning av den före detta varande sötvattensjön där. Detta inträffade ca 5500 år före Kristi födelse.

Siljan meteoriten störtade i ett grunt hav som täckte minst mellersta Sverige. Där har en **polyp** levt i kalkrör, som hade en viss böjlighet, eftersom de bestod av ringar, med varandra hopbundna genom elastiska hinnor. Djuren tillhörde släktet **crinoider**.

Dessa har genom lokala tsunamin brutits av och hamnat i slammet, som innehåller aluminium. I dag är dessa brottstycken som hittats, omvandlade till **plagioklas**.

Dessa finns i alla Dalarnas astroblem-lämningar och två av mig upptäckta astroblem i trakten av Hjo.

CHOCKFENOMEN I FASTA MATERIAL (BERG)

Under begreppet "chock" förstår man *ett fysikaliskt tillstånd* av material som enbart förekommer under de korta sekunderna en meteorit tränger in i den fasta Jorden.

Material (berget) antar då egenskaper som aldrig förekommer på vår Jord och inte kan skapas i laboratoriet. I gaser kan chocktillstånd skapas under några sekunder av flygplan som flyger snabbare än ljudhastigheten i luft (ca 344 m/s vid 20°C).

Ljudhastighet i havsvatten vid 3,5 vikts% salt och 6°C är 1474 m/s; eftersom man i vatten inte kan åstadkomma en mekanisk rörelse med större hastighet av en torped än den nämnda ljudhastigheten i vattnet, så kan vi inte framkalla ett chock-tillstånd.

Utbredning av ljud i fasta kroppar är mera komplex än i gaser och vätskor. Ljudet (en mekanisk störning) kan i fast material sprida sig som tryckvåg (materialens partiklar vibrerar i samma riktning som **tryckvågen** sprider sig). Denna våg kallas för **p-våg** (från "*pressure*").

Det andra sättet är via **skjuv-vågor**: Här rör sig partiklarna vertikalt mot utbredningsriktningen. Den lokala hastigheten av p-vågen ökar med densiteten av berget (i sediment).
I magmatiska bergarter är den mera konstant.

Enligt Parasnis: Principles of applied geophysics (Förlag Chapman and Hill) är den i

Sand	300 - 800 m/s
Glacial morän	1500 - 2700 m/s
Kalksten eller Dolomit	3500 - 6500 m/s
Bergsalt	4000 - 5500 m/s
Granit och djupbergarter	4600 - 7000 m/s

Träffas Jordytan av en meteorit, så är dess hastighet i de flesta fall större eller betydligt större än dessa siffror.

Detta betyder att meteoriten tränger in i marken med större hastighet än en vanlig p-våg kan förmedla:

En ny fysik råder nu, "chocken" går snabbare än en jordbävning-våg.

Kosmisk hastighet

Med kosmisk hastighet menar vi hastigheten av objekt i vårt solsystem. I de flesta fallen menar vi hastigheten av objekt i relation till Jorden. Skulle något objekt flyga parallellt med oss skulle vi åsätta objektet hastigheten noll. Vår Jord har banhastighet 30 km/s kring Solen. Andra hastigheter vilka förekommer är flykthastigheten från *ett* objekt (Jorden, Månen, andra planeter och från Solen). Detta är hastigheten som behövs att komma ur objektets gravitationsfältet, är helt bestämd av objektets massa.

För Jorden är flykthastigheten 11 km/s, för Solen 42 km/s och räknas för en vertikal start. Självfallet kan objekt (meteoriter, asteroider, kometer) under sin resa avlänkas av andra massor, så de inte längre flyger vinkelrät åt startytan. Därför räknar man med att objekt i Jordens närhet kan ha alla möjliga infallsvinklar mot Jordytan och hastigheter mellan 11 km/s och 72 km/s. Den sista siffran är summan av 42 och 30 km/s:

Ett objekt från Solen kan flyga med nära samma omloppsbanan som vår, men med omvänd riktning. Då blir krock-hastigheten med Jorden 72 km/s.

Detta har förmodligen aldrig inträffat, eftersom då hade Jorden förångats totalt.

Jorden har dock i början av sin historia för 5 miljarder år tangentialt krockat med en stor asteroid, varvid bägge objekten har bytt ut massa och den mindre asteroiden blev infångad av Jorden och förvandlat till en trabant till vår Jord, nämligen vår Måne. Kanske att då Månens järnkärna har flyttat över till vår Jord.

Bergarter från **Månen**, vilka har tagits tillbaka till jorden via de amerikanska månresorna, har en sammansättning och densitet som de från vår mantel (olivin, granat).

Därför tror man att den främmande himlakroppen har grävt ner sig ända till manteln (100 km) och tagit med sig flytande bergmassa, vilken sedan formade sig runt till Månen.

Beakta att Månen ej har en järnkärna. I dag är Månen infångat av Jorden och bromsat till en egen rotation på ca 29 dygn, så att den hela tiden visar samma "ansikte". Därigenom har friktionen i den en gång flytande Månkärnan upphört.

Rörlig chockfront Se Appendix 1 från boken: Impact cratering, A Geologic Process, H.J. Melosh Oxford University Press - 1989

Något om Meteoriter

En chock är något annat än ett hammarslag mot Jorden eller en sprängning inne i berget: Dessa störningar sprider sig med ljudhastighet av p-vågen i materialet i frågan. De högsta värden av spridningshastigheten i berg i ytläge är ca 7 km/s. En fallande meteorit har i allmänhet betydligt högre hastigheter. Den tränger in i Jorden och skapar en chockfront med större hastighet neråt. I princip skulle den gå ner med samma hastighet den hade i luften; men den skapar även en chock inom sig själv, vilken löper bakåt i meteoriten. Dess hastighet är i allmänhet annorlunda än hastigheten av den nedåt gående fronten, ty meteoriten och Jorden består i allmänhet av annat material. Bägge chocker värmer sitt material genom adiabatisk kompression och även genom friktionsvärmets omedelbart till temperaturer över smältpunkten av de bägge bergarterna. Denna smälta pressas ut ur spalten mellan meteoriten och det omgivande berget som smådroppar med otrolig hastighet, når stor höjd och faller sedan långsamt ner. Även förångning av berget och meteoriten förekommer. Kornstorleken av denna blandning är från *ett* antal bergartsmolekyler till tiondels millimeter. Fallhastigheten är därför liten. I fallet Siljan har det återfallande materialet först skapat en många meter tjock sandbädd, vilken sedan under geologisk tid har förvandlats till ytterst finkornig sandsten, vilken kallas Orsasand-stenen.

Sandstenen är vit, röd eller beige. Färgen ger oss en viktig information. Den röda färgen är från hematit Fe_2O_3 . Meteoriten - en s k **chondrit** - måste ha innehållit även metalliskt järn; chondriter samlar upp allt stoft som finns på deras väg genom rymd och tid under miljarder år. Då kan även en järnmeteorit vara med. Den förångas nu under nedslaget. Järnet kondenseras på de fina sandkornen och blir oxiderat till hematit.

Detta visar att temperaturen under inträngningen måste ha varit över järnets kokpunkt, vilken är 3000°. På-ångningen skedde enbart i närheten av järn-inneslutningen; längre bort i meteoriten finns inget järn, finsanden förblir vit. Det finns en tredje färg - beige. Denna färg, vilken finns rikligt i stenbrotten vid Kallmora i norra delen av Siljanringen, härrör från den högre liggande svartskiffern från Silur. Den förstoftas på samma sätt som det underliggande berget. I den höga temperaturen under nedslaget bränns skiffern till det beige färgämnet. I denna variant av Orsa-sandstenen finns det gott om bruna brända skifferpackar.

Inträngning av meteoriten

Skulle man ha data över meteoritens massa, storlek och slutlig hastighet kunde man approximativt beräkna djupet av kratern och djupet och formen av det chockade området. Materialet från kratern och en del av den chockade volymen är nu finfördelade över nejderna. Den chockade volymen och även en del av berget bortom chocken har under de sekunderna inträngningen varade absorberat mycket elastisk spänning, vilken nu frigöres som avlastningen av fjäder. Dessutom är en del av det chockade berget smält. Denna smälta rinner nu ner i hålet och det omgivande berget fjädrar tillbaka, så att det ursprungliga kraterhålet fylls nedifrån med smälta och plastisk massa.

Denna process är snabb, har en varaktighet på några minuter: Halvsmält material pressas nerifrån och från sidan och fyller den ursprungliga kratern till bredden. Därför ser man i alla större nedslag aldrig någon krater; dessa nedslag kallas på engelska "**complex astroblemes**". (Skillnad: "Simple astroblemes" är mindre nedslag med en kraterdiameter upp till 1 km, ser ut som ett bombnedslag. Det största nedslaget i denna grupp är "**Meteorite Crater**" i Arizona.)

Under den korta tiden (ungefär tio sekunder) den krympande meteoriten fortsätter att tränga in i Jorden växer det chockade området till formen av en **lök**. ("Löken" stängel går uppåt). Dess diameter är i fallet Siljan ungefär 37 km och djupet 16 km. Vid en eventuell borrhning i centrum av Siljanringen kommer man inte hitta någon rest av meteoriten: Den har förångats helt.

Beakta att komplexa **astroblem** har en konisk krage runt om centrum. Berget i kragen har inte blivit chockat. Det har att göra med att källan till chocken (meteoriten) ständigt rör sig neråt. Ju längre man kommer radiellt utåt, ju större blir trycket nerifrån på kragen. Därför kan större delar av kragen flyga iväg som "**spalls**". De kan rotera under luftfärden och falla med den gamla yttre ytan neråt på marken.

Detta är t.ex. det rätt stora (nu tömda) kalkbrottet Solberga söder om Boda. Före starten av luftresan har denna flisa berg haft *ett* täcke på många meter av **Silurisk skiffer**, med **Ordovicisk kalk** inunder. Nu vid Solberga ligger kalken längst upp (var därför lätt att nå för brytning) och skiffern under kalken. Det intressanta är att nu ligger två identiska skifferskikt på varandra. Borrning vid sidan om nuvarande brottet borde stöta på gränsytan skiffer mot skiffer, vilket är dåtidens (för 377 miljoner år sedan) landyta.

Därmed hade man en fixpunkt för bestämning av erosionen sedan dess. Erosionen över ett så långt tidsintervall är helt okänt. På ett annat ställe i Siljansringen har flera spalls blivit samtidigt kastade mot remsan av Ordoviciska bergarter från sjön Siljan mot Östbjörka.

Dessa spalls har på bägge sidor av den långsmala spallen landat på högkant, med skiffern mot remsan och kalkplattan riktad utåt. Där finns nu vertikala kalkplattor som i Amtjärnsbrottet, i Skålberget och i Unkarsheden (Dalhalla).

Förteckning över **astroblem** i Dalarna

I Dalarna finns sedan 377 miljoner år en rad astroblem, vilka - med undantag Siljan - är okända för allmänheten.

Yrkesgeologer bryr sig inte, avvaktar mitt fränfalle. Vid den nämnda tidpunkten kom en större meteorit eller asteroid flygande in från sydväst mot nordöst mot dagens Dalarna. När den hade kommit in i atmosfären började den – som många andra meteoriter - bryta sönder i mindre bitar, vilka undan för undan störtade ner.

Ett exempel på detta beteende är störtning av **Tjeljabinskmeteoriten** 2013-02-15 över staden med samma namn. Den började bryta sönder på 30 till 50 km höjd. Utgångsmassan uppskattas till 10 000 ton med en hastighet på 18 km/s.

Den kom på morgontiden österifrån ur den stigande Solen, blev därför inte tidigare upptäckt. Den hade riktning mot Köpenhamn; hade den nått staden så hade densamma ödelagts totalt.

Ett litet brottstycke kom ända till Lomma och landade där i en villaträdgård.

Även asteroiden mot Dalarna bröt sönder i mindre bitar, vilka följde varandra och landade utefter en linje från Rågsveden i SW till sjön Balungen i NE.

Hittills kända nedslagsställen visar inga kratrar, dock ofta långsmala böjda sjöar (= randen av det chockade området).

Dessa ställen är:

- (1) Rågsveden, ingen sjö där,
- (2) SW om Vansbro vid Hummelsjön,
- (3) området väster om Mellan-Flaten, Stora Snesen och Lilla Snesen,
- (4) området öster om Långsjön,
- (5) Israelsjön,
- (6) ringen som bildas av Närsen och Flosjön vid Dala-Floda,
- (7) Siljanringen,
- (8) Leksandsringen,
- (9) Sjön Ljugaren öster om Rättvik (centrum ligger söder om Ljugaren),
- (9) Balungen, eventuell ett astroblem till NW om Balungen.
- (10) Ett nytt litet ställe är Bodberget vid fäboden Forsbodarna.

Alla dessa ställen är kännetecknade genom förekomst av smältor, av sten som har varit med om chocken (ingående kristaller är enbart limmade mot varandra) och av riklig förekomst av till **plagioklas** omvandlade rester av nässeldjuret **crinoidea**. Uppenbarligen måste nedslaget ha ägt rum in i ett grundhav.

Försök att nå chockhastigheter i labet

Vad beträffar smältpunkt och kokpunkt är Tillståndsekvationen av vissa vätskor och fasta kroppar känd. Vi vet dock mycket litet om densiteten i fasta kroppar vid höga tryck.

Därför har man konstruerat 'kanoner' som skickar en projektil mot testkroppen med hastigheter som skulle utlösa en chock i målet. I den kaliforniska staden Livermore finns ett laboratorium för dessa studier.

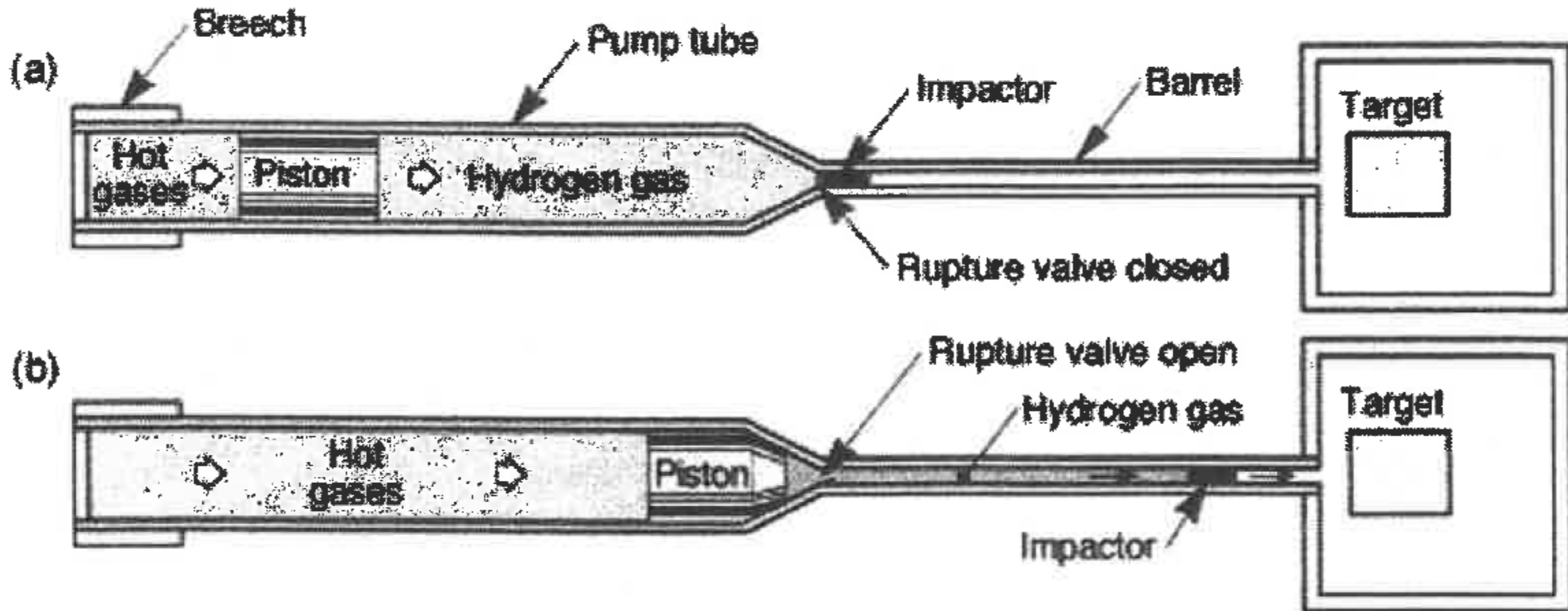
En projektil på 15 g skjuts mot målet, vilket ofta är en bit metall som har stöd bakifrån av provkammaren. Genom chock-kompressionen blir provkroppen flera tusen grader het.

Man kan enbart mäta strålningen och därav beräkna den verkliga temperaturen.

Den i sin tur säger något om tillståndsekvationen av provkroppen.

Vid de höga temperaturerna absorberar glaset i fönstret till provkammaren vissa frekvenser och förfalskar så temperaturmätningen. Man har lärt sig att komma runt detta hinder. Hittills har man nått ca 7 km/s projektilhastighet.

Erich Spicar



Appendix om tillståndsekvationer

Om beräkningar av förväntad chock i fasta material skall göras behöver man ha kunskap om materialets tillståndsekvation. **Tillståndsekvationer** (ofta är det framräknade diagram) beskriver materialets tillstånd (fast, flytande eller gas) vid olika tryck och temperatur, visar linjer, där två faser står i jämvikt med varandra eller trippelpunkten, där tre faser (gas, vätska, is) kan samexistera.

Detta är en parallell till smältdiagram för t.ex. två metaller, där lägsta smältpunkten för en speciell blandning visas. En matematiskt enkel tillståndsekvation har utarbetats av

Murnaghan: Här bortser man från uppvärmningen av materialet.

Ekvationen ger sambandet mellan tryck **P** (GPa) och densiteten ρ (kg/m³)

$$P = \left(\frac{K_0}{n}\right) \cdot \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^n - 1\right] \quad \text{Murnaghan ekvation}$$

K_0 är elasticitetsmodulen och (n) är en konstant ur den följande tabellen.

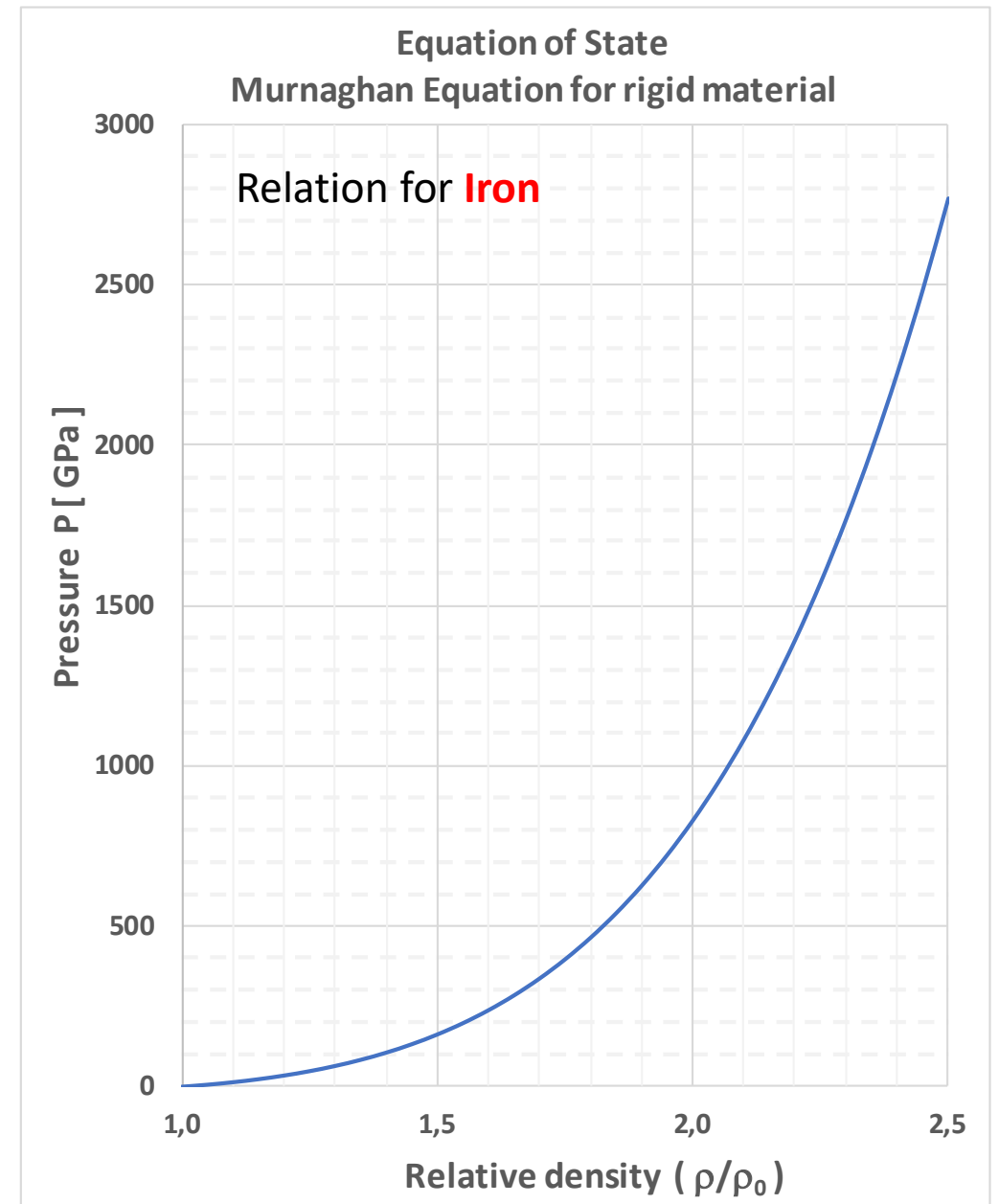
Murnaghan har räknat fram densiteten för järn för antagna värden av förhållandet (ρ/ρ_0) .

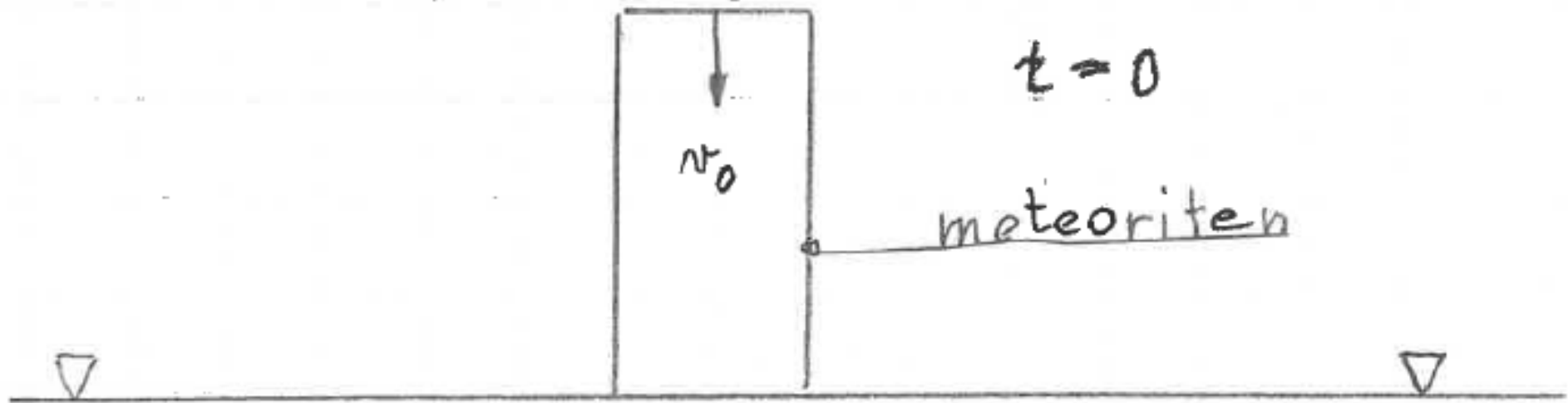
Beakta: Kurvan nedan för järn, gäller vid rumstemperatur !

$$P = \left(\frac{K_0}{n} \right) \cdot [(\rho/\rho_0)^n - 1]$$

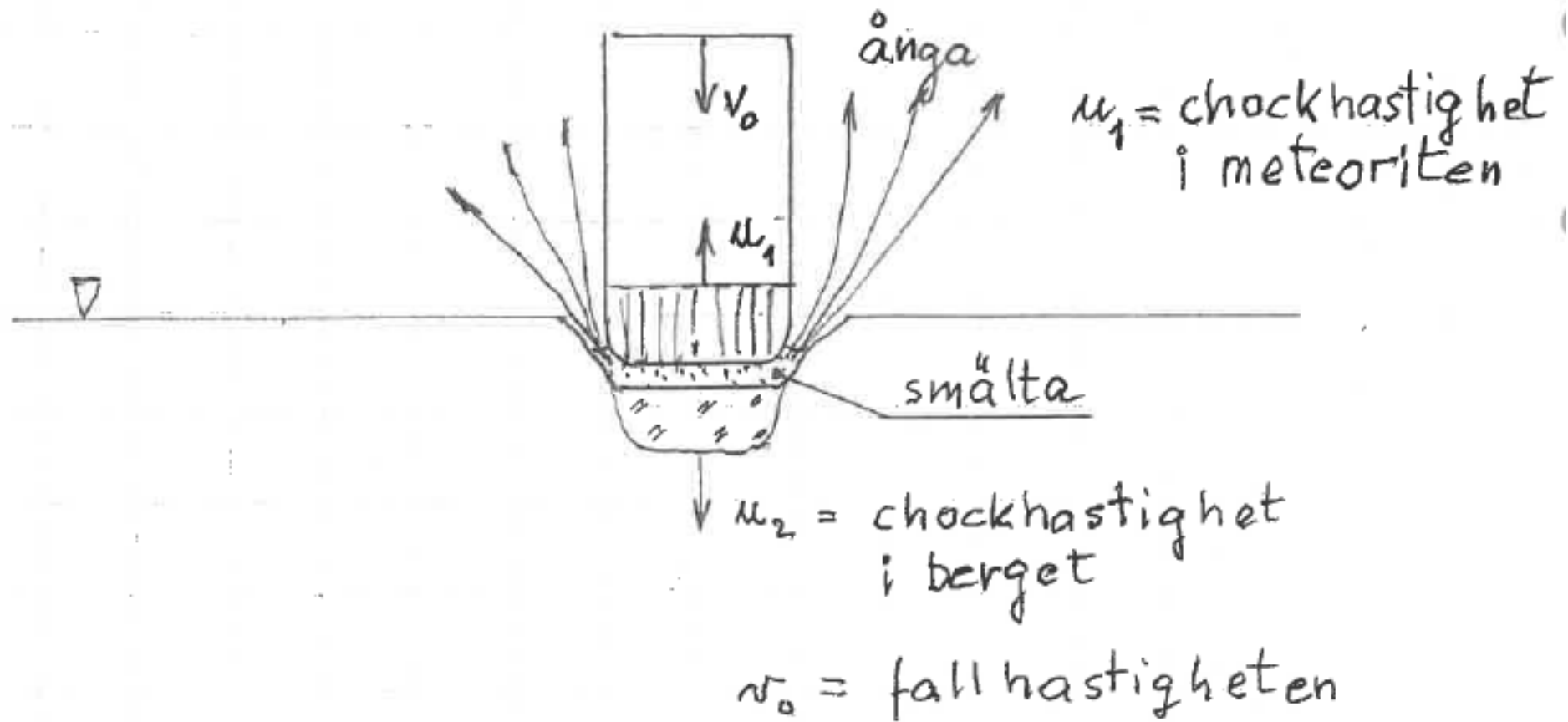
TABLE 1 *Murnaghan* equation of state parameters

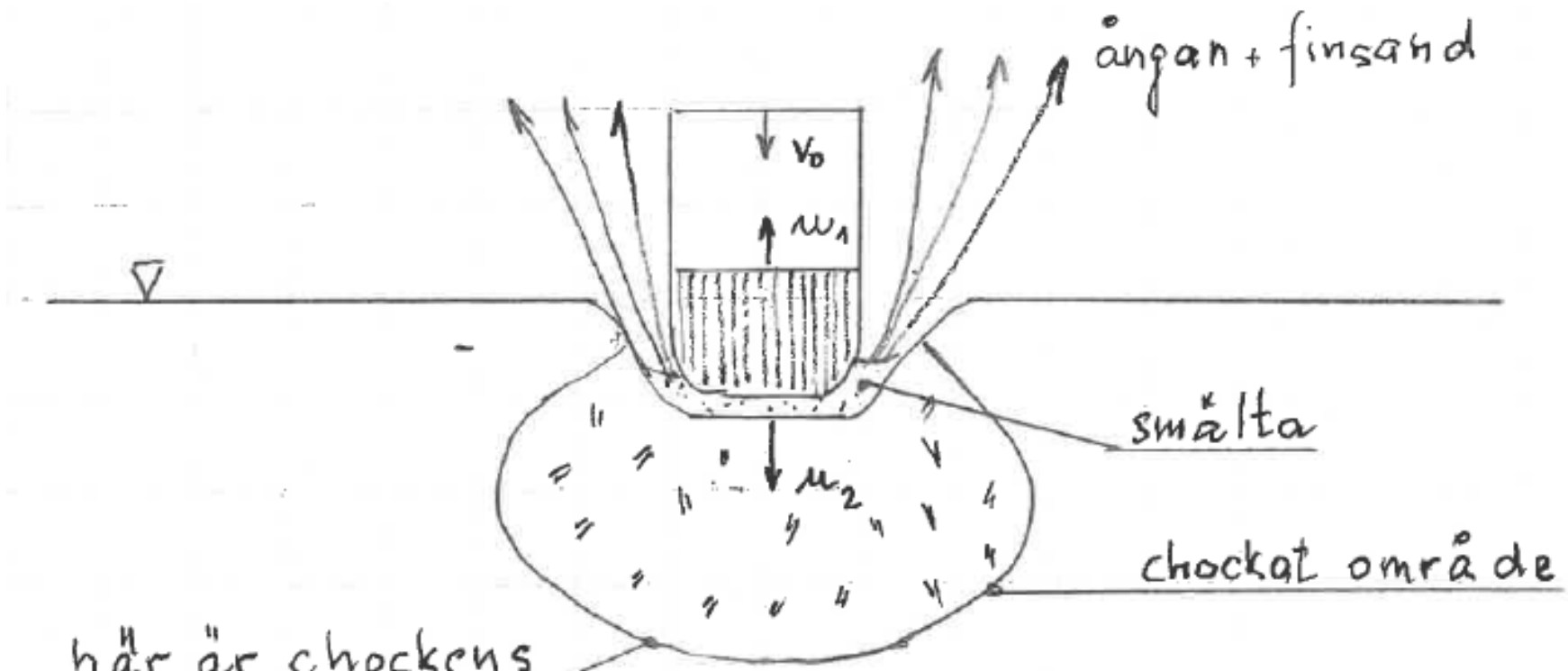
Material	ρ_0 (kg/m ³)	K_0 (GPa)	n
Iron	7680	113,5	5,32
Aluminum	2750	77,2	4,48
Diabase	3000	60,2	3,76
Basalt	2860	19,3	5,50
Serpentinite	2800	20,9	6,00
Granite	2630	35,7	3,94
Calcite ("carbonate")	2670	38,5	4,68
Permafrost (water saturated)	1960	12,3	4,15
Coconino Sandstone	2000	4,50	4,72
Dry Sand	1600	4,60	4,24
Ice (00C)	910	1,50	5,23
Water	1000	2,20	5,40





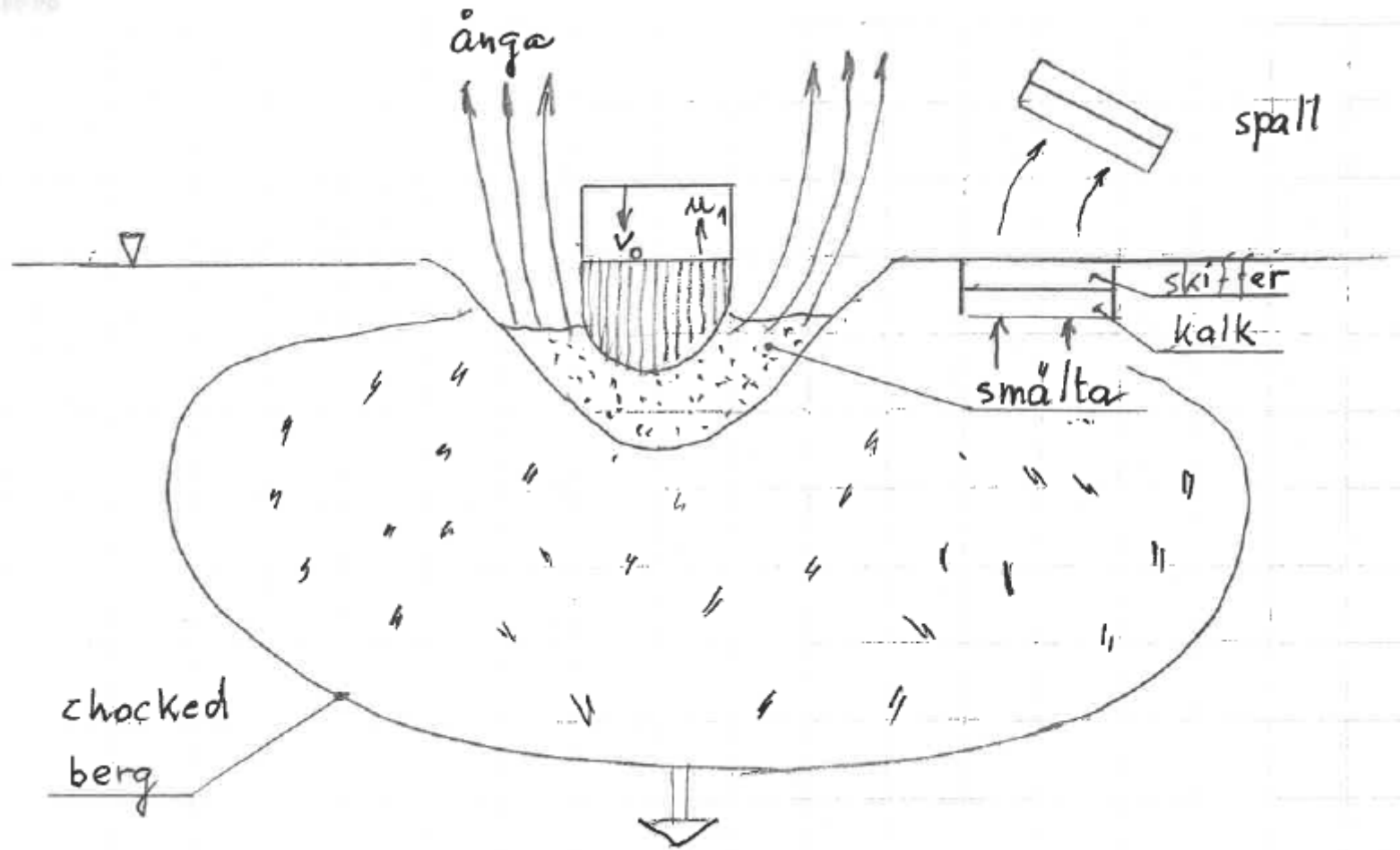
$v_0 =$ fall hastigheten

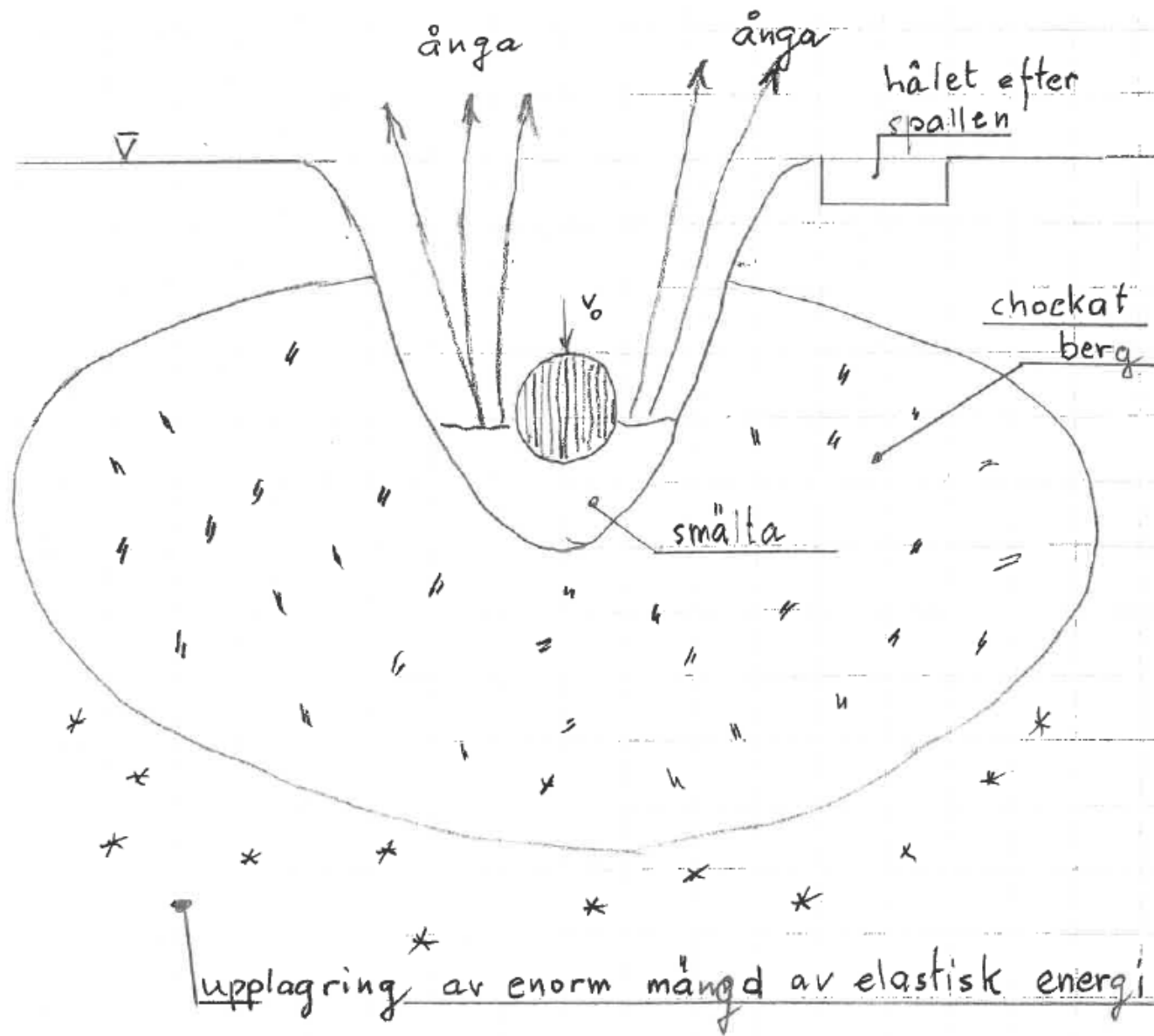


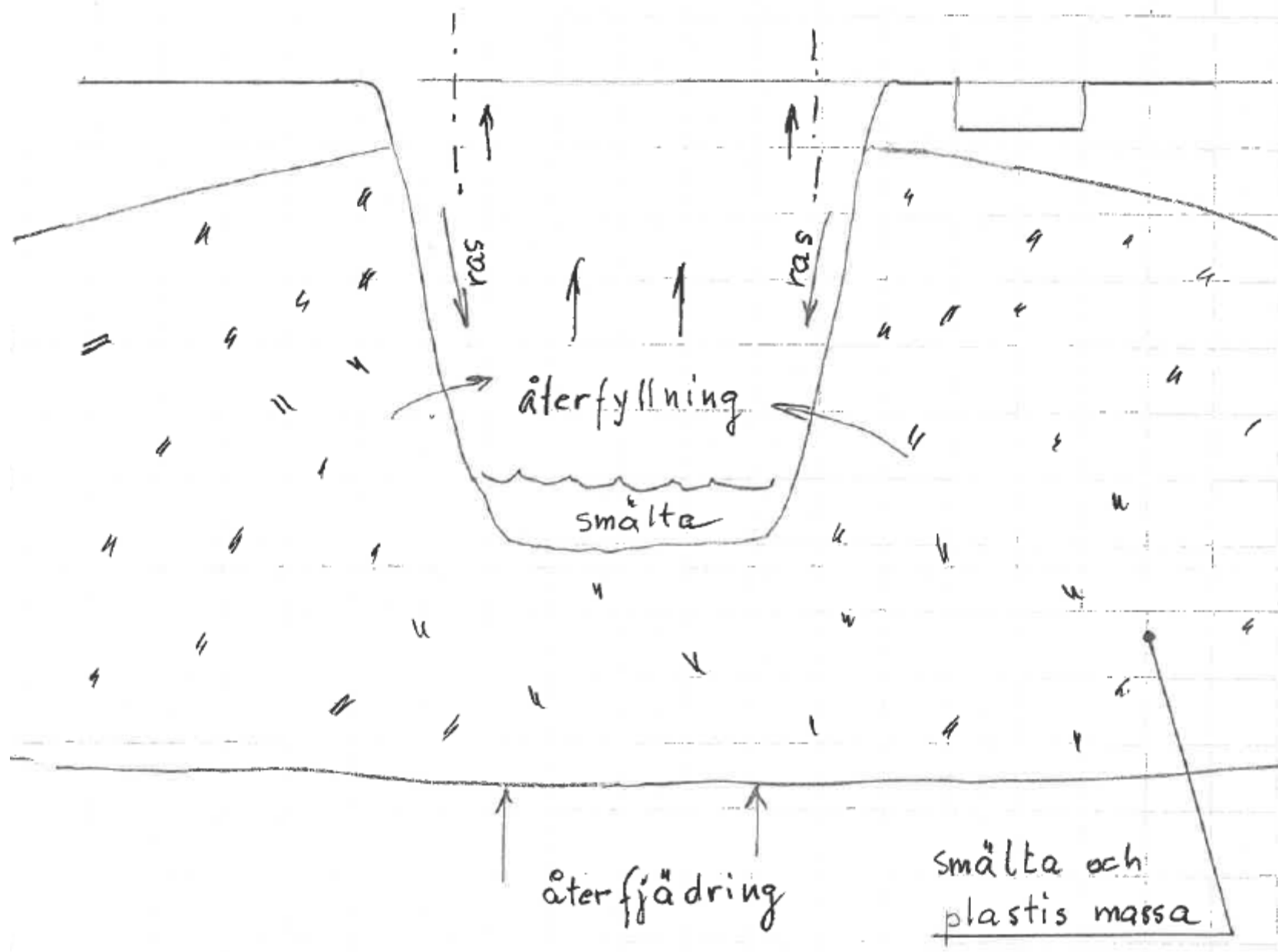


här är chockens
utbredningshastighet
lika med ljudhastighet
i berget

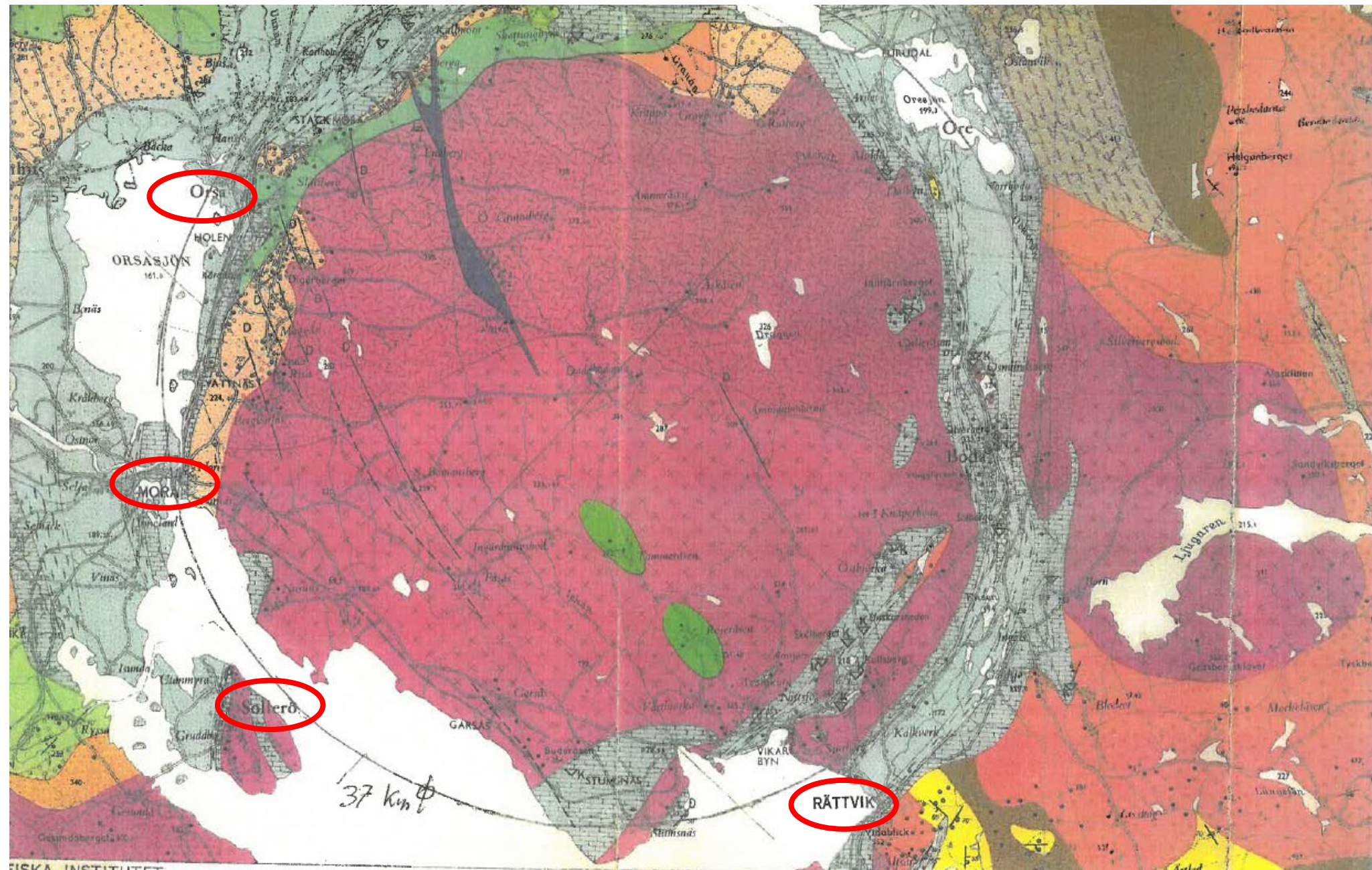
1.4.2019

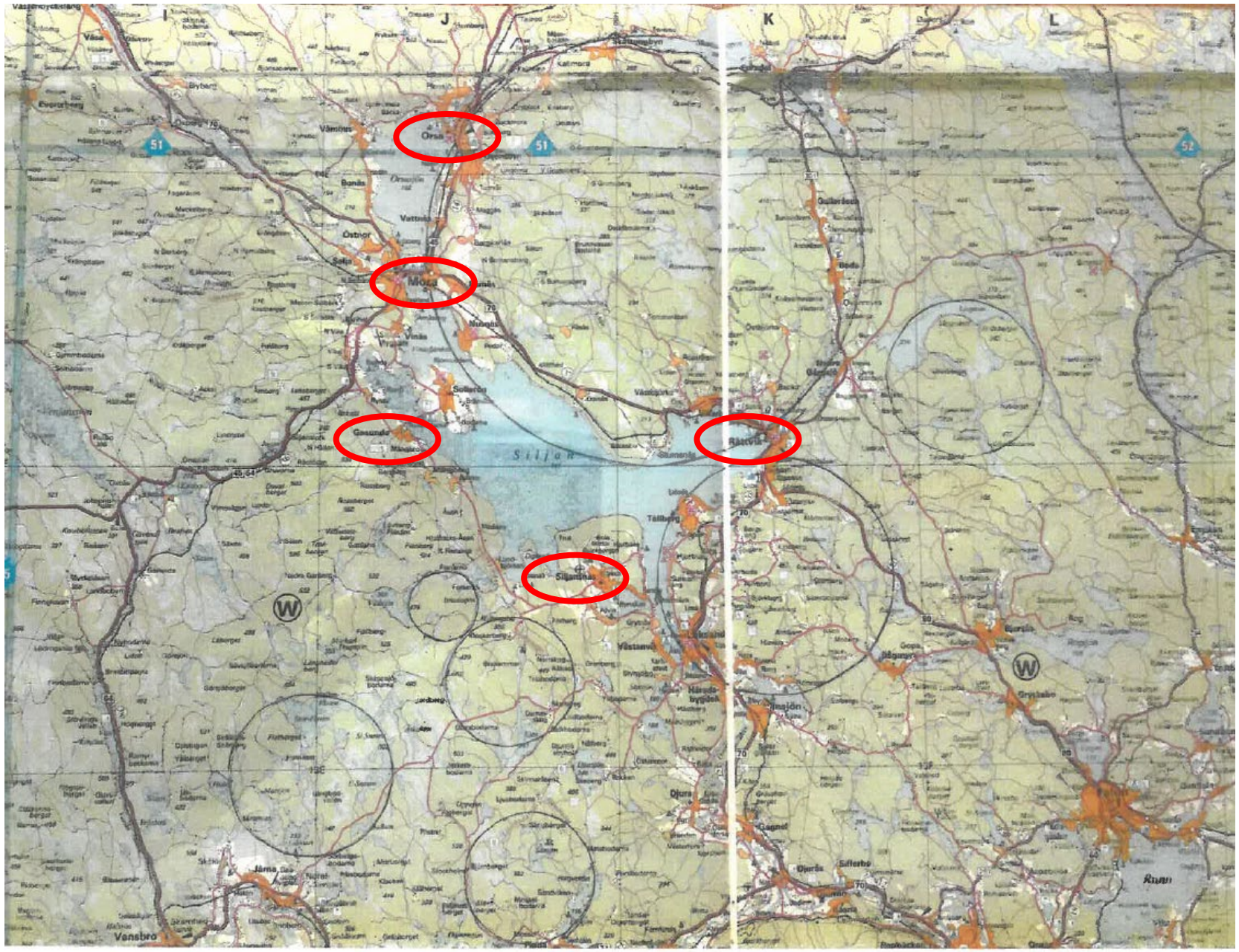


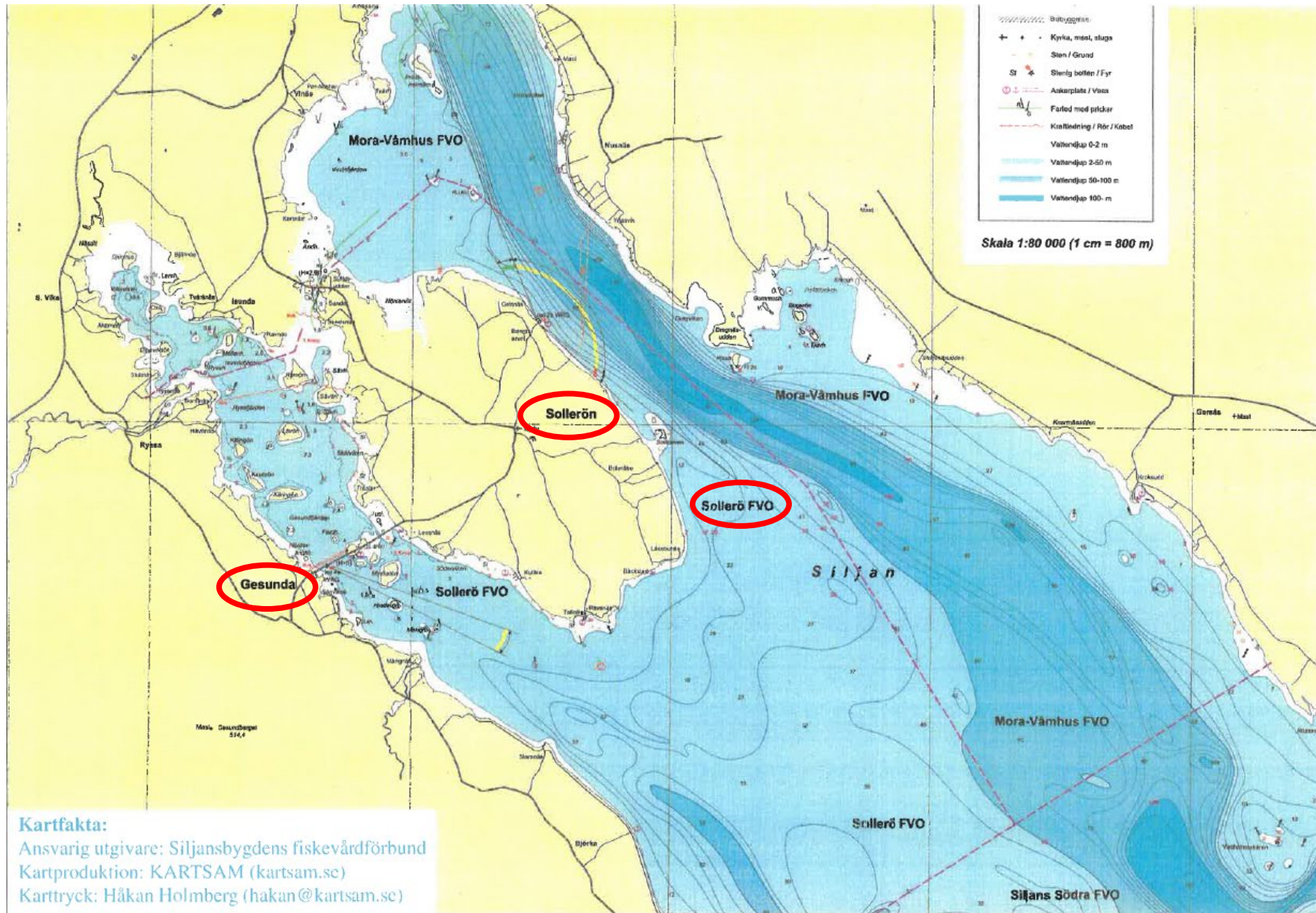


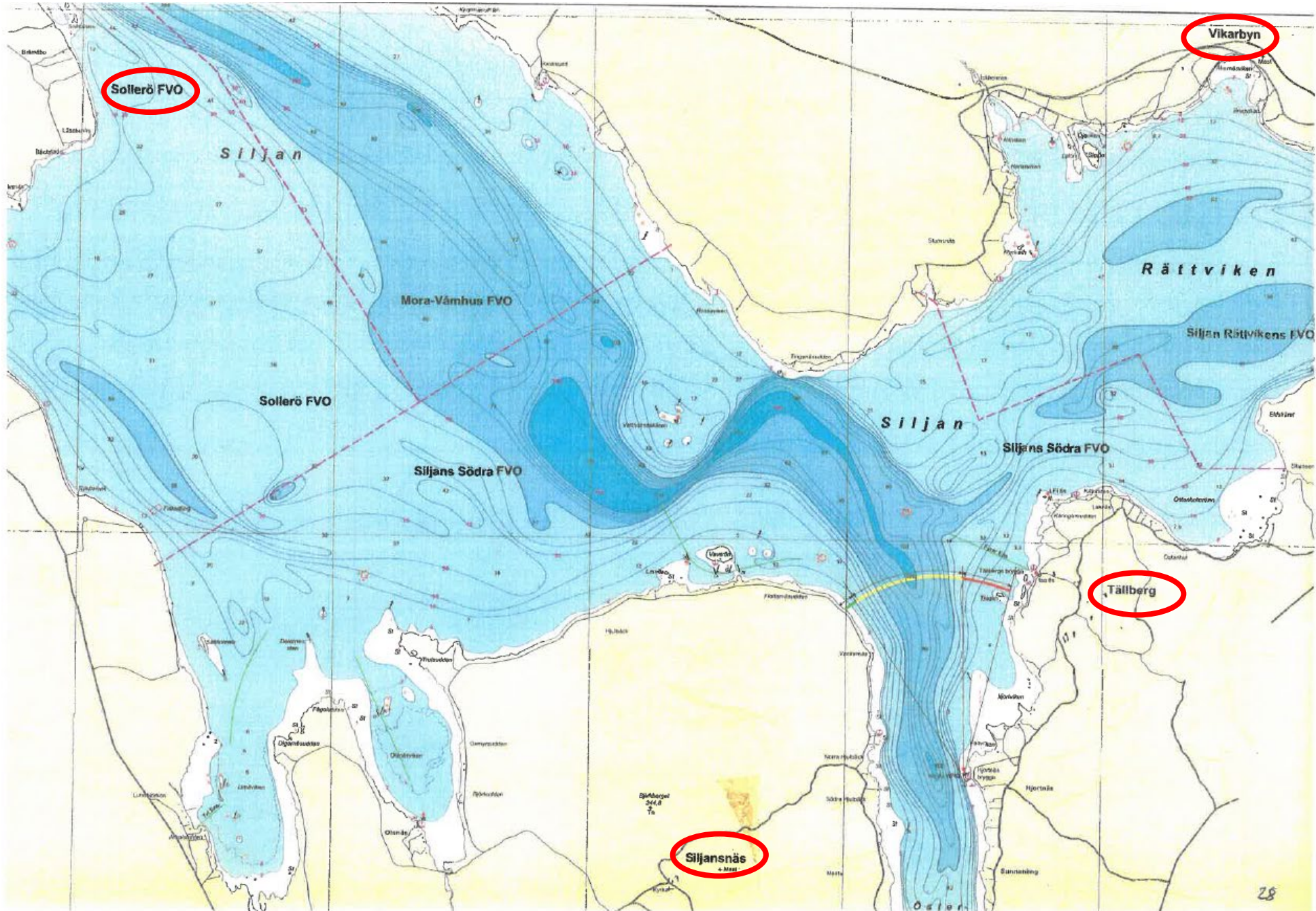


Återfyllningen går fort, tar kanske en halv timme
En liten kulle kan uppstå i somliga fall, t. ex.
Bodberget i Forsbodarna







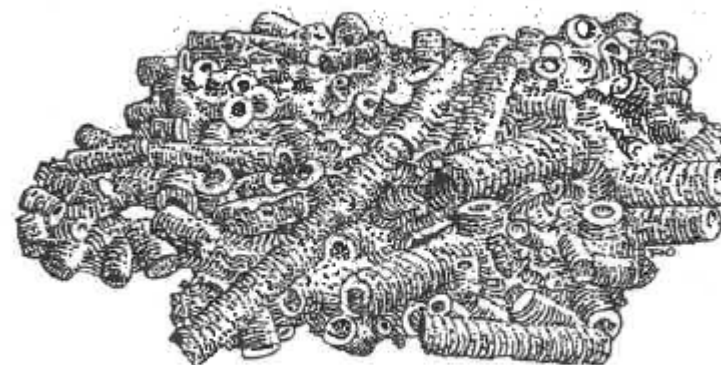




Naturreservat
Rättviks kommun

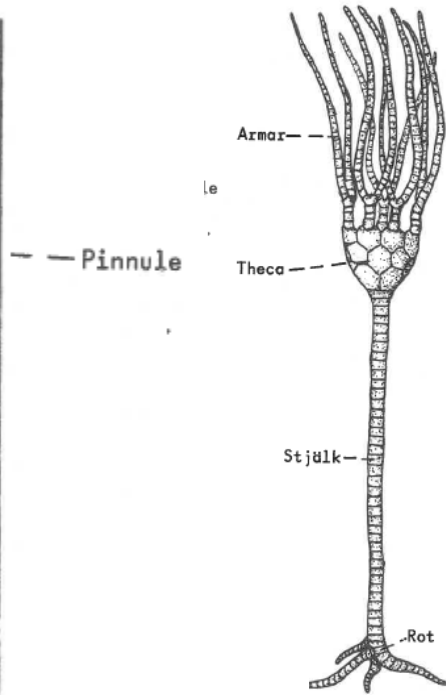
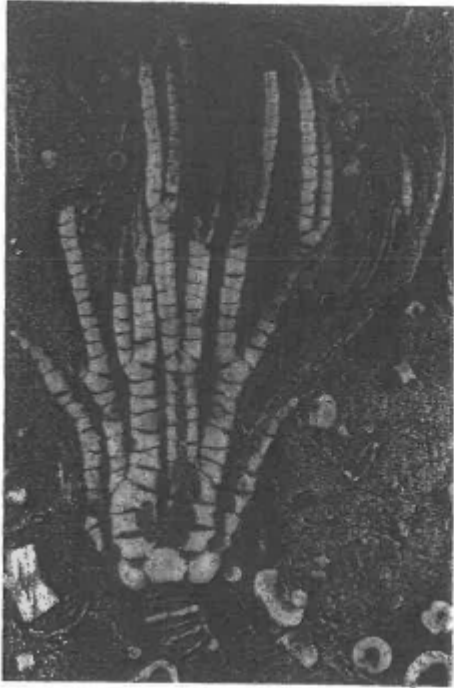
Amtjärnsbrottet

Amtjärnsbrottet är ett nedlagt kalkstensbrott där kalkstensskivorna är ställda på kant och stenbrottsväggen utgör delar av den 500-400 miljoner år gamla havsbotten. Här finns en unik rikedom av fossil från ordovicium- och silurtiden.



Fossil av crinoidstjälkar.

Crinoidé



Beskrivning: Crinoidéerna består av en mer eller mindre sfärisk theca, som är uppbyggd av flera rader kalcitplåtar. Centralt på ovansidan sitter munnen. Från thecan utgår fem grenade eller ogrenade armar, som bl.a. är födoinsamlare. Majoriteten av crinoidéerna är fastsittande. Oftast sitter de fast med en lång stjälk, som kan vara avsevärt mycket längre än theca plus armar. Nedtill är stjärken fäst vid botten med en fästplatta, eller oftare, med rotlika utskott. Stjärkar påträffas ofta sönderdelade i korta bitar, "crinoidéstjärkleder".

Ekologi: Fossila crinoidéer levde i grundhav, ofta i närheten av revstrukturer.

Utbredning: Kambrium till nutid.

Phylum: Echinodermata
Subphylum: Crinozoa
Klass: Crinoidea (sjölimja)
