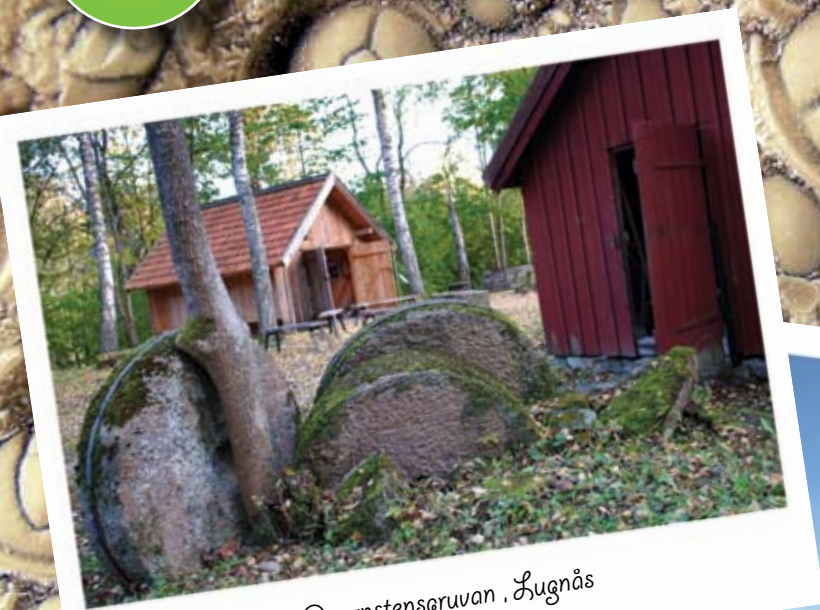
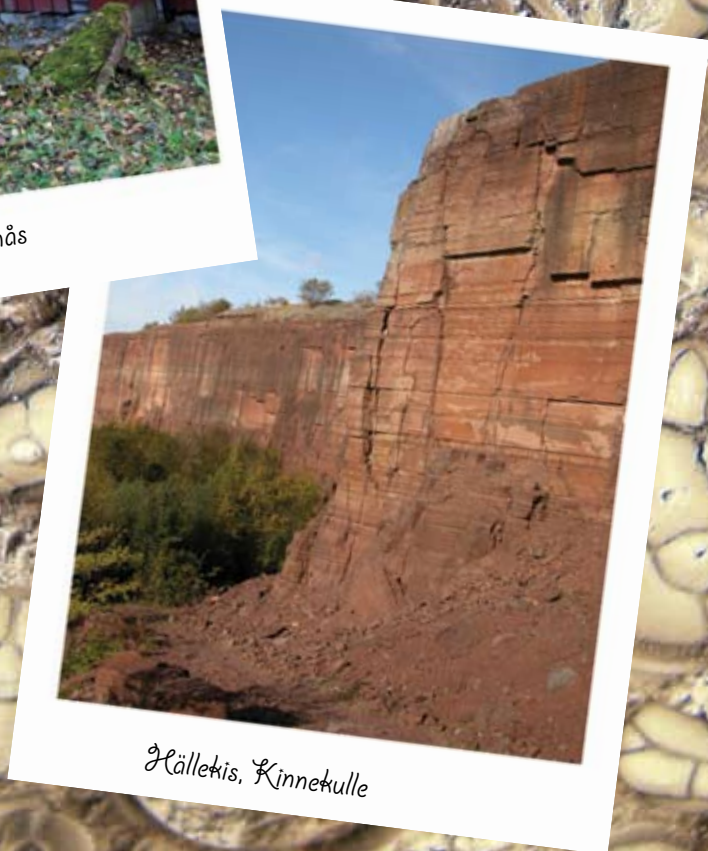


Guide till de västgötska platåbergens geologi

TEXT/FOTO
Mikael Calner
Per Ahlberg



Quarnstensgruvan, Lugnås



Hällekis, Kinnekulle

Bakgrundsfotografiet är från Kakeled, en lokal där lagerföljden är synnerligen fossilrik.

Västergötlands platåberg består av relativt mjuka sedimentära bergarter som bevarats från nedbrytande processer under en skyddande kapp av diabas, även kallad trapp. Bergens fossilrika lagerföljder utgör unika arkiv till ett grunt innanhav som en gång täckte stora delar av nuvarande Skandinavien och angränsande områden.

Denna guide tar dig med till Västergötland och på en resa genom kambrium, ordovicium och silur – tidsperioder som tillsammans omfattar mer än **hundra miljoner** år av jordens historia.

början av kambrium, för omkring 542–520 miljoner år sedan, kom världshavet att successivt stiga över den Fennoskandiska urbergsskölden och ett grundhav omfattande flera 100 000 km² uppstod: det baltoskandiska grundhavet. I slutet av kambrium och under de följande perioderna ordovicium och silur täckte havet sannolikt hela Sverige och stora delar av Baltikum, Ukraina och Vitryssland. Det kom att bestå under mer än hundra miljoner år innan den kaledoniska orogenesisens väldiga massor av vittringsmaterial slutligen omvandlade det till ett landområde i devon. Under samma tidsperiod färdades vår urbergssköld från omkring 40–60° sydlig bredd i kambrium till ett läge nära ekvatorn vid övergången mellan silur och devon. De sediment som avlagrades i det baltoskandiska havet speglar därför de förändringar i miljö och fauna som ägde rum under denna långa resa. Genom diagenetiska processer har sedimenten ombildats till fasta bergarter och dessa har alltså tidigare haft en vid utbredning i våra områden. Till följd av jordskorpans rörelser har de lyfts upp i sen tid och utsatts för nedbrytande krafter i form av vittring och erosion. Idag finns de kvar framförallt i Östersjöområdet och som fläckvisa erosionsrester i övriga Sverige, däribland i Västergötland.

Den här guiden ger en kort bakgrund till platåbergens uppbyggnad och bildning samt beskriver kortfattat de huvudsakliga formationernas uppbyggnad och fossilinnehåll. Efter en mer övergripande text om platåbergens tillkomst och värde för studier kring miljön och livsformerna i ett forntida hav följer beskrivningar av instruktiva lokaler där man kan studera såväl bergarternas sammansättning och struktur som deras fossilinnehåll.

Det subkambriska peneplanet

De västgötska platåbergen höjer sig över en ovanligt platt urbergsyta som bildar slättområdena i delar av Västergötland. Det är faktiskt samma platta urbergsyta som bidrar till Uppsalaslättnens monotona landskap och det flacka landskapet i östra småland.

När havsnivån började stiga i kambrium var denna exceptionellt platta urbergsyta sannolikt utbildad över hela det Fennoskandiska området. Idag kallar vi denna avjämningsyta för det subkambriska peneplanet. Hur förklaras uppkomsten av en sådan yta? Här vill vi allmänt hänvisa till Karna Lidmar-Bergströms tongivande forskning inom geomorfologin och inte minst till hennes artikel i Geologiskt forum nummer 43, 2004. För att förstå hur peneplanet bildades behöver man känna till förhållandet mellan processer i jordens inre (endogena processer) och de som äger rum på jordytan (exogena processer). Den kontinentala jordskorpan kan sägas flyta ovanpå den mjukare astenosfären (den yttre delen av manteln). På grund av de ständigt pågående konvektionsströmmarna i astenosfären och de resulterande plattetektoniska processerna i litosfären så bildas hela tiden nya höjdområden. Detta ska ställas mot de nedbrytande, exogena processerna som vittring och erosion, vilka strävar efter att utjämna jordytans topografi. Rinnande vatten, vind eller glaciärer transporterar vittringsmaterial till låglänta områden där det avlagras som lösa sediment i till exempel flodbankar eller längs kuster. Genom dessa långsamma processer bildas de landformer som vi känner på jordytan: berg och dalar, t.ex. kanjondalar, sprickdalslandskap och bergkullslandskap, kustslätter och deltan. I sällsynta fall, när de endogena processerna är obetydliga, hinner vittringsprocesserna fortgå ohindrat under tiotals till kanske 100 miljoner år. Det resulterar i uppkomsten av stora, helt flacka erosionsytor, så kallade peneplan. Det subkambriska peneplanet är just en sådan vittrings- och erosionsyta som vid kambriums början sträckte sig över merparten av vår urbergssköld. I områden där peneplanet avtäcktes för länge sedan, i mesozoisk tid, har det modifierats av vittringsprocesser och är idag svårt att känna igen. Så är fallet i Bohuslän. I de områden där ytan har avtäckts i sen tid (neogen och kvartär) är det ursprungliga peneplanet däremot välbevarat och lika platt som det var vid kambriums början. Så är fallet i östra Småland, omkring Uppsala, och inte minst i stora delar av Västergötland. I dessa

Det subkambriska peneplanet

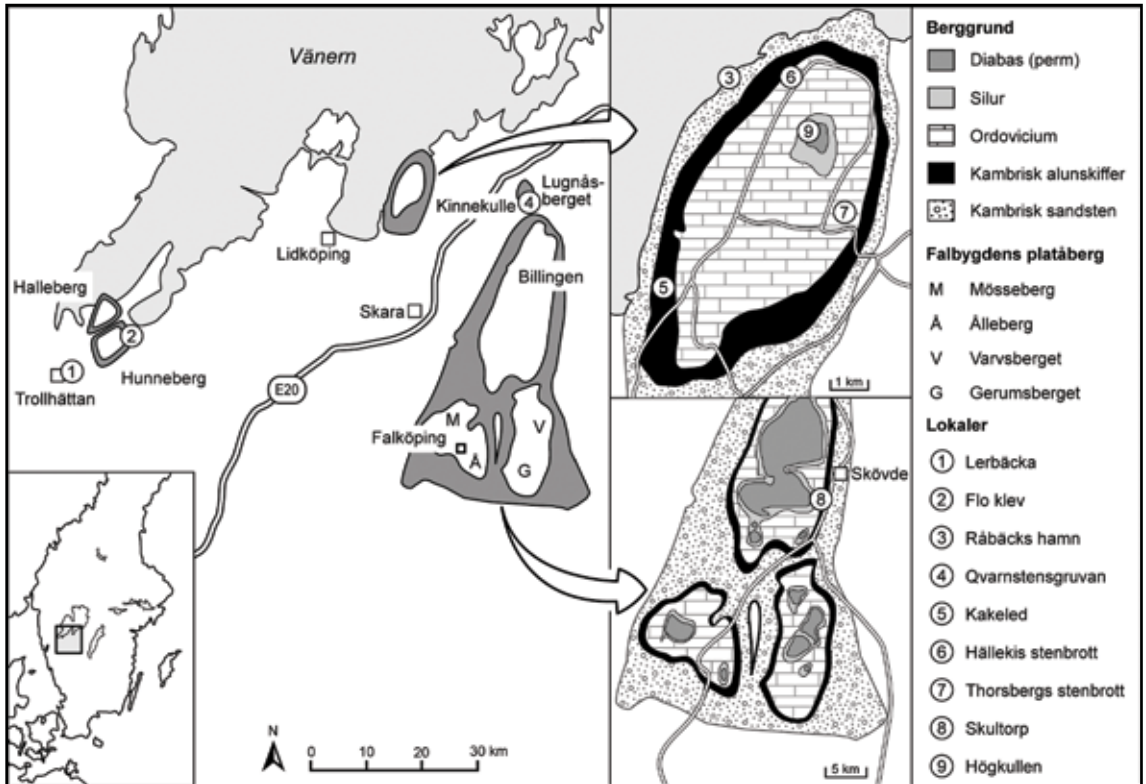


En av de bästa platserna för att studera det subkambriska peneplanet och dess utbildning finns i Trollhättan och dess närområde. Vid Lerbäcka i Trollhättans östra delar [N 58° 17.059', E 12° 20.528'] är det ovanligt bra exponerat.

Hunneberg



Vy över Hunneberg med det flacka peneplanet i förgrunden. Under det mäktiga diabastäcket finns avlagringar från kambrium och äldre ordovicium (ej synliga i bilden). Flo öster om Hunneberg.



Karta över Västergötland med platåbergens utbredning. I den vänstra figuren visas platåbergen endast schematiskt, med grå färg för kambriska avlagringar och vit färg för övriga avlagringar, inklusive de permiska diabaserna. Till höger visas en mer detaljerad stratigrafi för Kinnekulle (överst) och Billingen-Falbygden (underst).

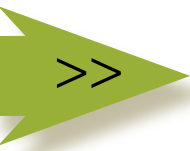
områden är lutningen på peneplanet endast ett fåtal decimetrar per kilometer. Vid utsiktspunkten Flo Klev [N 58°20'873 E12°31'099] på Hunnebergs östra sida kan man blicka ut över det denna flacka yta. Här och var kan man se en liten bit av urberget titta upp ur de glaciala (ställvis varviga) lerorna. Ofta ligger de större gårdarna i anslutning till dessa små urbergsknoppar. I horisonten, strax över Vänerns vattenspegel ser man vid klart väder Kinnekulle vars toppiga form länge tolkades som en sloknad vulkan.

Det subkambriska peneplanet är alltså resultatet av långvarig vittring och erosion under den senaste delen av prekambrium. Här och var där berggrunden har varit ovanligt motståndskraftig sticker det upp en liten urbergsknopp, ett så kallat restberg. Ön Jungfrun i Kalmarsund är ett sådant restberg ("monadnock") i peneplanet och är alltså mycket gammalt. Runt foten av Jungfrun, under havsytan, ligger kambrisk sandsten fortfarande kvar och Jungfrun var alltså en ö redan i det kambriska havet. Fynd av kambrisk sandsten i smala sprickor i urberget i Dalsland, Västergötland och Småland visar att peneplanet var genomsatt av sprickor när havet steg i början av kambrium.

Platåbergens förekomst och uppbyggnad

De västgötska platåbergen förekommer inom fyra huvudområden: Halle- och Hunneberg, Kinnekulle, Billingen-Falbygden och Lugnäsberget (se karta). Bland dessa intar Kinnekulle en särställning tack vare sin kombination av fina geologiska lokaler, naturvärden och intressanta historia. Under diabasmössan på Kinnekulle ligger de sedimentära bergarterna fint staplade på varandra och lagerföljden kan liknas vid en gigantisk historiebok. Uppbyggnaden av lagerföljden beskrevs i mitten av 1700-talet av Carl von Linné och hans elev Pehr Kalm. Men redan långt tidigare, under förkristen tid, användes sandsten från kambrium och kalksten från ordovicium som byggnadsmaterial. Under 1000–1200-talet var det en intensiv stenbrytning på Kinnekulle i samband med uppförandet av en lång rad fina stenkyrkor.

Det huvudsakliga skälet till att de västgötska platåbergen är bevarade in i vår tid är att de mjuka sedimentära bergarterna täcks av diabas, en svart, magmatisk bergart som huvudsakligen består av mineralen plagioklas (labradorit) och pyroxen (augit) och som är långt mer vittringsbeständig än underliggande



Det subkambriska peneplanet är alltså resultatet av långvarig vittring och erosion under den senaste delen av prekambrium.

sandstenar, skiffrar och kalkstenar. Magman har sitt ursprung i manteln och trängde upp genom urberget och vidare in i den lagrade berggrunden. Det skedde i anslutning till att jordskorpan drogs isär och täjndes ut (riftade) under karbon och perm. Radiometriska dateringar (K-Ar) av diabasen visar på en ålder av 282 ± 5 miljoner år (epoken cisuralian i perm). Magman trängde upp genom vertikala spricksystem som sannolikt hade en omfattande utbredning. På vissa nivåer i lagerföljden, som kanske var mindre motståndskraftiga, trängde magman utåt, åt sidorna, och bredde ut sig i sidled, inne i själva lagerföljden. Där svalnade och stelnade den till bergarten diabas. Efter årmiljoner av vittring och erosion har de ovanliggande sedimentbergarterna, sannolikt både från devon och karbon, successivt försvunnit och diabasen ligger idag kvar som ett skyddande lock för den underliggande lagerföljden. Diabasens mäktighet varierar mellan de olika platåbergen och uppgår till cirka 30 m på Kinnekulle, cirka 45 m på Billingen och hela 90 m inom Halle-Hunneberg.

Lagerföljderna i de olika platåbergen är i sina huvuddrag väldigt snarlika. Men eftersom diabasen ursprungligen bildades på lite olika nivåer i lagerföljden, är stratigrafin inte lika omfattande överallt. Underkambrium kännetecknas av ett basalt konglomerat som överlagras av två sandstensformationer som nästan uteslutande består av mineralet kvarts (kvartsareniter). Sandstensformationerna går under namnen Mickwitziasandsten (10 m) och Lingulidsandsten (24-29 m) och bildar tillsammans Filehaidarformationen. Båda namnen syftar på sällsynta, fosfatskaliga armfotingar (brachiopoder) som återfunnits i respektive formation. Sandkornen är väl sorterade och välrundade och har i viss utsträckning sannolikt transporterats av vinden från närliggande landområden till havet där de omlagrats av strömmar och vågor. Mellankambrium (9-12 m), yngre delen av kambrium (furongetagen; 7-12 m) och äldsta ordovicium (ca 2-3 m) kännetecknas av alunskiffer – en mörk, nästan svart lerskiffer exceptionellt rik på organiskt material och med en ensartad men mycket intressant bottenlevande fauna. Från mellanordovicisk tid är avlagringarna långt mer varierade och domineras av grå lerstenar och kalkstenar. En kalkstentyp som intar en särställning är orthoceratitkalkstenen som är en av våra vanligaste byggnadsstenar. Precis som de kambriska sandstenarna och alunskifferarna så uppvisar orthoceratitkalkstenen en påfallande likartad utbildning långt utanför Västergötlands gränser. Överordovicium kännetecknas

av lerstenar och leriga kalkstenar. I denna del av lagerföljden återfinns även Kinnekullebentoniten, ett cirka 1,8 m mäktigt leromvandlat asklager med stor utbredning i det baltoskandiska området. Lagerföljden avslutas med mörka siluriska lerskiffrar, uppåt avskurna av den intrusiva diabasen. Lagerserien uppgår på Kinnekulle, som har den mest kompletta lagerföljden, till 215 m, av vilket kambrium utgör cirka 55 m, ordovicium cirka 104 m och silur cirka 56 m. Nedan beskriver vi lokaler där du kan studera de olika formationer som överlagras det subkambriska peneplanet i Västergötland.

Råbäcks hamn

På Kinnekulles västsida, nere vid Vänerens strand, ligger Råbäcks hamn. En bit norr om hamnen och på sjösidan av klapperstensfälten finns en liten udde [\[N 58°36'558 E13°21'097\]](#) där man vid normalt eller lågt vattenstånd kan studera kontakten mellan gnejsen och de äldsta kambriska bergarterna i området, nämligen det subkambriska bottenkonglomeratet och mickwitziasandstenen. Bottenkonglomeratet varierar i Västergötland mellan någon och maximalt ett par meter, till följd av urbergস্যans topografi, men är normalt omkring en meter mäktigt.

Den flacka utbildning som peneplanet uppvisar längre västerut, i området kring Trollhättan och Halle- och Hunneberg, gäller alltså inte för området vid Kinnekulle. Här var ytan mer kuperad. Själva udden består av gnejs och glacialslipats och blivit mjukt rundad av den senaste inlandsisen. På andra ställen är gnejsytan mer oregelbunden och genomsett av sprickor med skarpa kanter. Här och var på gnejsen ligger små fläckar av konglomerat och sandsten (notera att brottstycken av konglomeratet även finns i den närmsta omgivningens klapperstensfält). Om man undersöker förekomsterna av konglomerat så inser man att de ofta ligger i små sänkor eller fyller ut sprickor i gnejsen. Det innebär att såväl sprickorna som topografin i gnejsytan fanns redan när konglomeratet avlagrades i äldre kambrium. Konglomeratets sammansättning ger viktig information om vittringsprocesser och sedimentens ursprung och förtjänar därför en mer detaljerad beskrivning: Man kan notera att bollarna i konglomeratet varierar i storlek och att de har olika ursprung. De är som regel någon till ett fåtal centimeter i diameter och relativt välrundade. Vissa bollar består av gnejs och kommer uppenbarligen från den underliggande gnejsberggrunden. Andra bollar är mjölkvita till nästan genomskinliga. Dessa består av



A. Kontakten mellan silurisk skiffer och den hårda och motståndskraftiga diabasen som skyddar platåbergens lagerföljder från vittring och erosion. Skanskas diabasbrott i Billingsryd, Skövde. **B.** Gamla kvarnstenar vid Qvarnstensgruvan på Lugnånsberget. Brytningen var som mest omfattande under 1800-talet och upphörde 1919. Kvarnstenarna såldes över hela Norden och ner i Europa, ända till Turkiet och Nordafrika.

kvartsstycken från någon av de gamla pegmatitgångar som har slagit igenom gnejsen. På kvartsbollarna kan man här och var se något mycket intressant, nämligen små facettytor på stenen, ventifakter. Den här typen av ytor är vanliga i många av dagens stenöknar och uppkommer till följd av den blåstrande effekt som mycket små (silt) kvartskorn har när de transporteras av starka vindar. Kvartsstyckena vid Råbäck har alltså legat exponerade för starka vindar i en karg, stenig kontinental miljö, innan de omlagrades då havet steg över området. Konglomeratbollarna ligger inte i kontakt med varandra utan är sammankittade av en finkornig mellanmassa som dominerar konglomeratet volymmässigt och bäst kan beskrivas som en något fältspatförande kvartsarenit, alltså en kvartsrik sandsten med inslag av fältspat. Den akademiska termen för denna typ av konglomerat är "polymikt parakonglomerat". Tillsammans med konglomeratet förekommer en något renare och bättre sorterad sandsten. I sandstenen kan man se böljeslagsmärken och strömmärken vars morfologi visar att vattendjupet var mycket litet när sedimenten avsattes; troligtvis endast någon meter. Ett fåtal grävspår visar att, sannolikt, maskliknande djur grävde i havsbotten. Vissa spår når ned till gnejsytan, varifrån de vänder upp igen.

Strax sydost om udden, i skogen, bildar Mickwitziasandstenen en tydlig terrass [\[N 58°36'445 E13°21'155\]](#). På denna lokal är de övre delarna av formationen

lätt tillgängliga. Lagren är relativt tjocka, ibland linsformade med trågformer och innehåller i vissa nivåer rikligt med spårfossil. Sedimentstrukturer som korsskiktning visar att mycket av sedimenten avsatts av relativt starka strömmar i en grundmarin miljö. En speciell typ av lågvinklig korsskiktning som på engelska benämns *hummocky cross stratification* (svensk översättning saknas) visar att stormar var viktiga för omlagring av de ursprungliga sedimenten. Sandkornens mineralogi, storlek och sortering avslöjas lätt med en lupp. De består uteslutande av kvarts av ungefär samma inbördes storlek och är relativt väl avrundade. Det är ett väl genomvittrat och av strömmar sorterat sediment, typiskt för stränder och kustnära områden. Det är alltså raka motsatsen till det dåligt sorterade bottenkonglomeratet som på denna plats ligger endast ett par meter ned. Sandstenen är rik på grönaktiga lerklaster som bildats när starka strömmar avsatte sanden på en lerig havsbotten. Många av dessa klaster har vittrat bort och lämnat hålrum i sandstenen.

Qvarnstensgruvan (Lugnånsberget)

Vid foten av Lugnånsberget ligger Qvarnstensgruvan. Den anlades sannolikt vid mitten av 1100-talet av cisterciensermunkar för att bryta gnejsen som låg skyddad av mickwitziasandstenen. För svensk geologi är gruvan helt unik; den är ett viktigt industriminne och det är den enda platsen i landet där man faktiskt



C. Rester av bottenkonglomeratet på gnejsytan. De ljusa brottstyckena består av kvarts från pegmatitgångar i området. Råbäck's hamn.

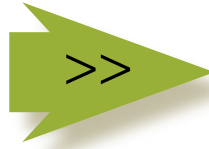
D. Ortoceratiter i Holenkalksten. Hälleleis stenbrott.



kan stå inne i berget och se kontakten mellan urberget och de äldsta kambriska avlagringarna. Vid Lugnäs är den översta metern av gnejsen något omvandlad till följd av kaolinvittring. Det gör att bergarten här är lite mjukare och väl lämpad för kvarnstensframställning. Kaolinit är ett lermineral och viktigt industrimineral som bildas genom kemisk vittring (hydrolysis) av fältspater, vilka faller sönder och bleks till en vitaktig eller ljusrosa lera. Det är normalt en typ av vittring man förknippar med varma fuktiga klimat, liknande det i tropikerna. Den kaolinvittring som ägt rum vid Lugnäs måste ha skett mellan det att peneplanet fick sin flacka utbildning och då det subkambriska bottenkonglomeratet avlagrades, alltså under sen prekambrisk tid eller möjligen i tidigaste kambrium. Vid denna tidpunkt låg den Fennoskandiska urbergsskölden i närheten av sydpolen, långt ifrån de klimatzoner som man förknippar kaolinvittring med. En möjlig förklaring till kaolinvittringen vid Lugnäs är därför den långa tidsperioden. Även i de kallaste klimat kan kemiska vittringsprocesser verka, men de behöver lång tid på sig för att bryta ned berget. Ovan gnejsen vilar det subkambriska bottenkonglomeratet som här når en mäktighet av omkring en meter. Ovan bottenkonglomeratet följer ett par meter av Mickwitziasandstenen. Dessa lager utgör alltså formationens understa delar som här består av tunna lager av finkornig sandsten som växellagrar med lersten, ibland utbildad som så kallade hetroliter.

Enskilda sandstenslager kan som regel endast följas ett par meter i sidled innan de tunnar ut och försvinner, något som tyder på ett mycket grunt avlagringsdjup med deposition av små lober sediment. Inne i själva gruvan kan man studera tiotals kvadratmeter av lagrens undre skikttytor och det medger en helt unik inblick i den kambriska havsbottens liv och processer. Erosionsstrukturer och spårfossil är mycket vanliga. De förra bildades av att större fragment skrapade och repade den kohesiva bottenleran när sedimentet avsattes. Spårfossilerna reflekterar beteenden och rörelser efter olika djur som grävt, krupit eller gått på det mjuka underlaget. När sand avsattes på lersedimentet fyllde den ut spåren och bevarade dem. Bland spår-fossilerna kan nämnas *Cruziana* och *Rusophycys*, vilka tolkas som spår efter trilobiter. Vid Lugnäs innehåller Mickwitziasandstenen även så kallade rynkstrukturer (eng. *wrinkle structures*). Detta är millimetersmå men ofta distinkta strukturer som är bildade i anslutning till bakteriemattor (fotosyntiserande cyanobakterier) som bredde ut sig på den kambriska havsbotten.

► **Tips** Mickwitziasandstenen kan även studeras i kustsektionerna vid Hälleleis hamn. Den därpå följande Lingulidsandstenen kan studeras i ett övergivet stenbrott vid Stora Stolan på Billingsens nordspets.



TRILOBITER:

Axheimer, N. 2004. *I trilobiternas rike*.

Geologiskt forum 43, 22-31.

Lidmar-Bergström, K. 2004. *Sveriges största plana yta*. Geologiskt forum 43, 18-21.

Schmitz, B. 1998. *Fossila meteoriter berättar om urtidens himmel*.

Forskning & Framsteg nr 5, 52-56.



Fossil från alunskifferbrottet vid Kakeled och kalkstensbrottet vid Hällekis. **A.** *Agnostus pisiformis*, nästan helt exemplar bevarat i skiffer, Kakeled, '8,6. **B.** *Peltura minor*, cranium, Kakeled, '7,0. **C.** *Olenus gibbosus*, cranium, Kakeled, '6,7. **D.** *Peltura scarabaeoides*, nästan helt exemplar, Kakeled, '4,5. **E.** *Asaphus* sp., pygidium från Lannakalkstenen i Hällekis, '1,1. **F.** *Sphaeronites pomum* (kristalläpplen) från Hällekis, '0,8. **G.** *Pseudomegalaspis* sp., nästan helt exemplar från Gullhögenformationen i Hällekis, '0,8. **H.** *Nileus* sp., nästan helt exemplar från Gullhögenformationen i Hällekis, '2,2.

Kakeled

Kakeled är ett nedlagt stenbrott på sydvästra sluttningen av Kinnekulle [N 58°33'510

E13°20'041]. Bergarterna här kan sägas vara raka motsatsen till de underliggande ljusa sandstenarna. De utgörs av mörka, nästan helt svarta

skiffrar och en mörk variant av huvudsakligen sekundär kalksten. Skiffern tillhör de övre delarna av alunskifferformationen som i Västergötland är omkring 20–25 meter mäktig. Skiffern består till stor del av lermineral som sedimenterat långsamt i grundhavets djupare delar där vattencirkulationen var dålig.

Organiskt material har sedimenterat tillsammans med lermineralen och lagrats in i bottenlammet. Normalt sett bryts det organiska materialet ned av bakterier men i just detta fall var tillförseln av organiskt material omfattande och lersedimentationen långsam. Det resulterade i att den bakteriella nedbrytningen konsumerade tillgängligt syre, vilket i sin tur resulterade i bevaring av organiskt material. Under diagenesen, när sedimentet har överlagrats och utsatts för ökat tryck och temperatur, har det organiska materialet dehydrerats och övergått till kerogen, som är ursprungsmaterialet för olika typer av kolväten (främst olja och naturgas). Den genomsnittliga sedimentationshastigheten har uppskattats till omkring 5–10 mm/tusen år. Skiffern innehåller ställvis upp till 20–25 procent organiskt material och relativt höga halter av tungmetaller, till exempel vanadin, molybden och nickel. Den har en uranhalt som ligger kring 300 ppm, vilket med dagens internationella prissättning är en hög halt. Uranet har sannolikt sitt ursprung i de granitiska urbergsområden som omgav det baltoskandiska havsområdet. När graniterna vittrade transporterades uranet i vattendrag mot havet i jonform. De fälldes senare ut på nytt och förekommer nu som en uranoxid (U_3O_8) i skiffern.

I de lägre delarna av den östra väggen syns den stora orstensbanken (Kaleledsledet) som en massiv och relativt homogen kalksten med mycket skalrester. Orsten är en diagenetisk bildning och har alltså bildats sekundärt en bit under havsbotten innan det svarta slammet hårdnade till skiffer. Ursprunget för kalken är osäkert men kan ha sitt ursprung i upplöst skalfauna. Även orstenen är rik på organiskt material och slår man på den med hammare så avger den en tydlig doft av kolväten; därav det engelska namnet *stinkstone*.



Alunskiffer med orsten vid Kakeled på sydvästra Kinnekulle. Den Stora orstensbanken utgör den undre delen av sektionen. *Agnostus pisiformis* förekommer endast i den undre delen av sektionen, både i orsten och alunskiffern. I de övriga delarna av sektionen är fossilerna, särskilt olenida trilobiter och agnostider, begränsade till orstenar.

Toppen av orstensbanken är oregelbunden och konglomeratisk. I övre delen av sektionen alternerar kalkiga band med svart alunskiffer.

I och omkring stenbrottet vid Kakeled kan man se slagg- högar med tegelröd skiffer.

Detta är så kallade rödfyrs- högar. Från slutet av 1700-talet och en bra bit in på 1900-talet har man använt alunskiffer som bränsle vid kalkbränning. En sådan kalkugn kan fortfarande ses i stenbrottet.

Lagerföljden i Kakeled omfattar drygt sex meter och är synnerligen fossilrik. Den fossila faunan är emellertid inte särskilt mångformig beroende på den extrema avsättningsmiljön, som var starkt präglad av syrebrist. Bland fossilerna märks i synnerhet trilobiter och agnostider. Den senare gruppen räknades tidigare till trilobiterna, men nya undersökningar har visat att dessa små leddjur snarast kan betraktas som en grupp blinda kräftdjur med en framkropp, en mellankropp med två segment och en bakkropp. I den undre delen av lagerföljden är *Agnostus pisiformis* mycket vanlig och ibland kan skitytorna vara översållade med skalrester efter denna agnostid (se fotot på sidan 17). I den mellersta och övre delen, i furongetagen, dominerar den fossila faunan av olenider, en grupp små till medelstora trilobiter som var anpassade till syrefattiga förhållanden. Har man tur kan man också hitta en liten kalkskalig brachiopod, *Orusia lenticularis*, och skal efter fosfatocopider, en grupp kräftdjur som omfattar små former, vilka nästan helt omslöts av två skalhalvor.

I orstenar från Västergötland har man funnit några av de mest välbevarade leddjur som man känner till. Det rör sig i huvudsak om mikroskopiskt små kräftdjur, som sekundärt har fosfatiserats och därför kunnat lösas ut ur bergarten i svag ättiksyra. Bland dessa utsökt bevarade leddjur märks bland annat fosfatocopider och *Agnostus pisiformis* med ben, antenner och andra fina strukturer bevarade.

Hällekis stenbrott

Hällekis är ett storlaget stenbrott där man kan studera kalksten från ett mer än tio miljoner år långt tidsavsnitt som omfattar nästan hela mellanordovicium, dock med väsentliga tidsluckor i lagerföljden. Vid den här tidpunkten hade den Fennoskandiska urbergsskölden rört sig norrut till något varmare klimat zoner om-

Stenbrottet vid Hällekis



Hällekis stenbrott. Övre delen av Holenkalkstenen (röd) och i bakgrunden Gullhögenformationen och Rydkalkstenen (över vita linjen). Infällt syns en detalj av Gullhögenformationens skiffriga lerstenar och finkorniga kalkstenar. I dessa lager finner man rikligt med spår-fossil samt trilobitsläktena Pseudomegalaspis och Nileus.

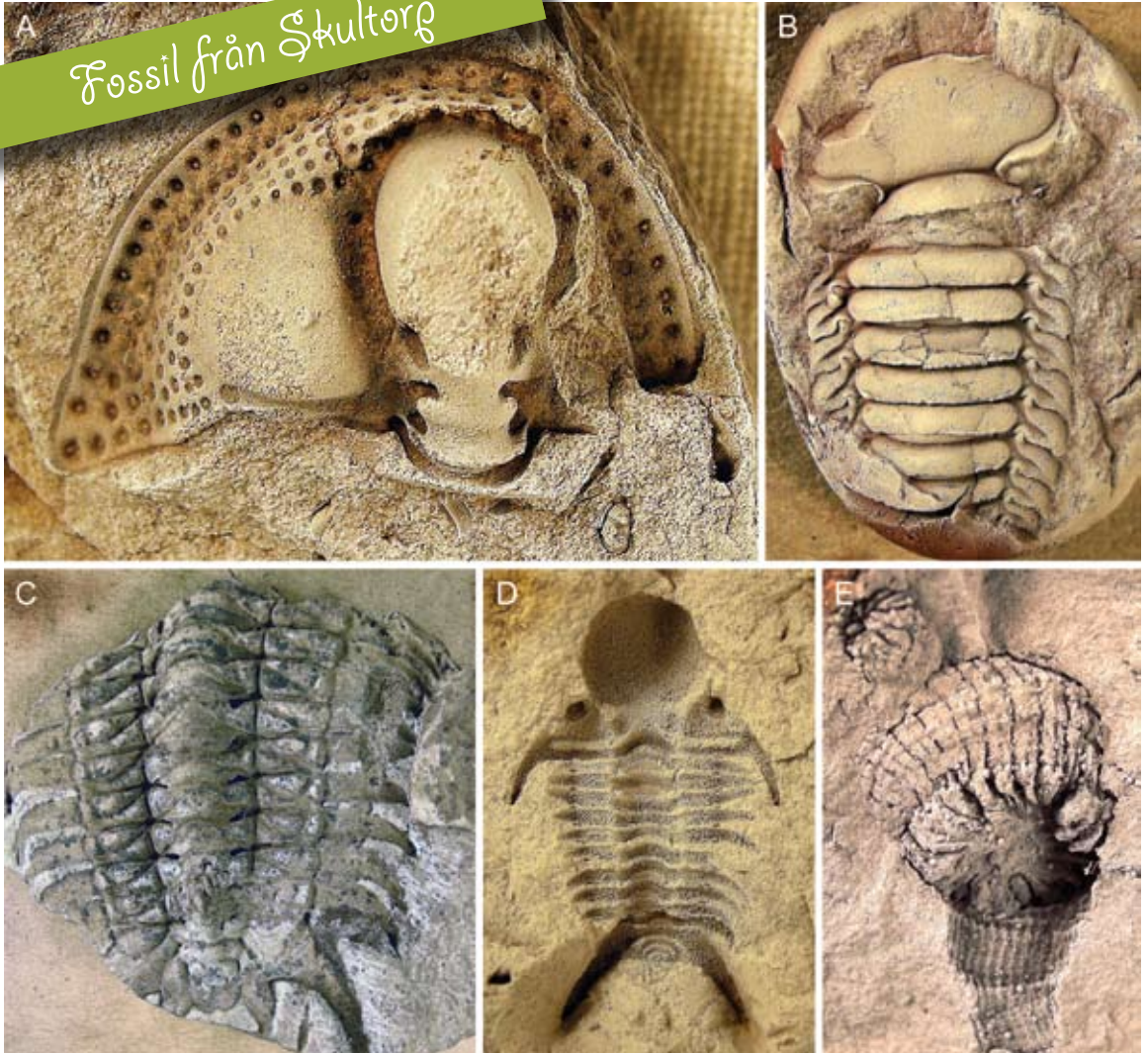
kring 30–40°S. Depositionen av vittringsmaterial hade upphört och istället avlagrades kalksediment i det Baltoskandiska havet. Kalkstenen från denna tid skiljer sig dock avsevärt från den typ av kalksten som senare kom att bildas på Gotland och som är rik på fossil av koraller och andra revbyggande organismer. I den ordoviciska kalkstenen vid Hällekis syns inte ett spår av rev och lagringen är horisontell och utan stor variation. Det beror på att vår kontinent befann sig utanför de varma latituderna, i den varmtempererade zonen, då kalken avsattes. Detta klimat är inte optimalt för bildandet av karbonatsediment.

Den bästa överblicken av lagerserien i Hällekis får man i stenbrottets sydöstra del där man kan promenera uppåt genom stenbrottet längs en av de gamla transportvägarna. Strax under golvet i stenbrottet finns den graptolitförande Tøyenskiffern som först efter lite grävande kan studeras i något av dikena. Därpå upptar den varmt orangeröda Lannakalkstenen (cirka 17 m) merparten av den blottade lagerserien och högväggarna. Den röda färgen återspeglar hematit (järnoxid) som bildats redan vid sedimentens avsättning. Det är i huvudsak Lannakalkstenen man har brutit för cementtillverkning i Hällekis, en industri som varade fram till 1979, och den löper som ett tjockt rött band runt hela Kinnekulle ("undre röd" i lokal terminologi), inte sällan med tecken på mindre täktverksamhet. Typiskt

för Lannakalkstenen är irreguljära diskontinuitetsytor som återkommer med några centimeters mellanrum. De har bildats genom upplösningsprocesser efter att kalken genom cementering, redan innan den övertäcktes, kittats ihop något och bildat en hårdbotten (eng. *hardground*). Sådana ytor var ur ekologisk synpunkt viktiga för den ordoviciska bottenfaunan. Vissa hårdbottnar är till följd av mineraliseringar mycket särpräglade över stora områden. Så är fallet med "blommiga bladet", en tät serie fossila hårdbottnar som återfinns vid basen av Lannakalkstenen och som är likartat utbildad även på Öland, i västligaste Ryssland (där motsvarande komplex av hårdbottnar kallas "steklo") och i Polen.

Ovanpå Lanna, nära toppen av stenbrottet kan man notera ett cirka 1,5 m tjockt och distinkt grått band som löper genom hela stenbrottet. Detta är ett särpräglat skikt som informellt kallas för "täljstenen" och som mer formellt utgör den basala delen av Holenkalkstenen ("övre röd"). Bortsett från skillnaden i färg skiljer sig täljstenen från under- och ovanliggande kalksten även på att kornstorleken är något större och att den innehåller en rikare bottenfauna samt rikligt med cystoidéer, en grupp utdöda tagghudingar som omfattar bottenlevande former med en klot- eller päronformad kropp omgiven av ett kalkskelett. Dessa "kristall äpplen", som för det otränade ögat ser högst likartade

Fossil från Skultorp



Fossil från överordovicium vid Skultorp. **A.** *Tretaspis latilimba*, cephalon, '5,2. **B.** *Remopleurides* sp., avgjutning av cranidium och thorax, Ulundaformationen, '2,6. **C.** *Hadromeros subulatus*, thorax med pygidium, Ulundaformationen, '1,1. **D.** *Sphaerocoryphe dentata*, avtryck av ett nästan komplett exemplar, Ulundaformationen '3,1. **E.** Solitär korall, Lokaformationen, '3,2.

ut, förs av vissa författare till två arter, *Sphaeronites minor*, som förekommer i de undre delarna av täljstenen, och *S. pomum* som förekommer i de övre delarna. De dominerande skalfragmenten i täljstenen kommer från sjöiljor, trilobiter, armfotingar och musselkräftor. Den övre röda delen av Holenkalkstenen påminner mycket om Lannakalkstenen.

Bland de iögonfallande fossilen i Lanna- och Holenkalkstenen märks, förutom cystoidéerna, orthoceratiter och trilobiter. Orthoceratiterna var släktingar till dagens bläckfiskar och hade långsmala, koniska och oftast raka skal som lätt bevarades som fossil. De var rovlevande och kunde bli mer än meter-långa. Trilobitfaunan domineras av olika släkten av asaphider, till exempel *Asaphus* och *Megistaspis*. Det är inte ovanligt att man finner en svart, lite klabbig massa

inuti cystoidéerna, eller orthoceratiterna för den delen. Det är olja som härstammar från den underliggande alunskiffern.

I den översta delen av stenbrottet överlagras Holenkalkstenen av Gullhögenformationen. Denna skiljer sig avsevärt från underliggande lager och markerar en viktig miljöförändring i det baltoskandiska havet. Det är en mycket finkorning kalksten som kan kallas slamsten. Ett par centimeter tjocka lager av slamsten med mussliga brottytor mellanlagras av en något kalkig lerskiffer och formationen påminner om likåldriga lager i Oslofältet. Gullhögenformationen innehåller en divers trilobitfauna som inkluderar släktena *Ogygiocaris*, *Pseudomegalaspis*, *Nileus* och *Botrioides*. De översta fåtalet metrarna vid Hälleklis utgörs av den relativt fossilfattiga Rydkalkstenen.



Stenbrottet vid Skultorp. Merparten av sektionen utgörs av Ulundaformationens ler- och siltstenar. I den övre delen, just under lövverket och ovan den vita linjen, ses undre delen av Lokaformationen som ett mörkare brunt band. Denna enhet bildades i sen ordovicisk tid (hirmantetagen) i anslutning till den stora nedisningen och massutdöendet. Här finns ooider och koraller, vilket är typiskt för varma grunda subtropiska hav.

Österplana (Thorsbergs) stenbrott

[N 58°34'718 E13°25'776]

I detta fortfarande aktiva stenbrott har man möjlighet att studera Holenkalkstenen, inklusive dess undre del "täljstenen", i exceptionell detalj. Här sågar man nämligen ut stora skivor direkt ur berget; ett material som sedan säljs som byggnadssten till i huvudsak golv, trappor och köksskivor. Inne på området ligger mängder med sågade block i olika storlekar och normalt sett går det bra att studera dessa om man först frågar i kontorsbyggnaden. På de sågade ytorna ser man tydligt de mörka fosfatanrikade hårdbottnarna och orthoceratiter i tvärsnitt; inte sällan med olja i kamrarna. Vid och omkring infarten till stenbrottet finns ett flertal nedlagda stenbrott där Lannakalkstenen har brutits.

Lanna- och holenkalkstenen har på senare år blivit internationellt uppmärksammat tack vare rika fynd av fossila meteoriter. De anses härstamma från upp-brytandet av en flera tiotals kilometer stor asteroid i vårt solsystem för omkring 470 miljoner år sedan. Meteoriterna är normalt några centimeter i diameter och benämns L-kondriter. Hittills har ett knappt hundratal meteoriter systematiskt samlats in vid Thorsbergs stenbrott.

Skultorp (Billingen)

Väster om järnvägen, uppe i den sydöstra slutningen av Billingen finns ett övergivet stenbrott. I väggarna kan man se stora delar av yngsta ordovicium och äldsta silur. Merparten av sektionen utgörs av en mörkgrå

lersten och tillhör Ulundaformationen. Formationen är relativt fattig på fossil, men strax ovanför mitten av sektionen finns en siltsten med en tjocklek av några decimeter som är känd för sin mångformiga trilobit-fauna med bland annat släktena *Tretaspis*, *Hadromeros*, *Remopleurides* och *Sphaerocoryphe*.

Mot toppen av sektionen kan man se ett gulbrunt kalkstenslager som är omkring en och en halv meter mäktigt och som avviker från övriga bergarter. Liknande kalksten finns på motsvarande nivå i Östergötland, i stora delar av Baltikum, i Mellanvästern i USA och i Guizhouprovinsen i södra Kina. Den signalerar alltså något extraordinärt. Kalksten är uttrycket för de stora miljöförändringar som ägde rum i haven i anslutning till den stora nedisningen och det associerade massutdöendet i ordoviciums slutskede (hirmantetagen). Kalkstenen har en sammansättning som är ovanlig för denna tidsperiod på vår kontinent och den skiljer sig avsevärt från den äldre ordoviciska kalkstenen i Västergötland. En av bergartens mer framträdande komponenter är ooider, ett slags millimeterstora sfäriska korn med koncentrisk laminering. De bildas inte på biologisk väg utan genom kemisk utfällning av kalciumkarbonat direkt ur havsvattnet. I dag bildas ooider på ett par meters djup i det varma havet kring Bahamas och de är även i ordovicisk tid en mycket god indikator för subtropiska till tropiska klimat. När ooiderna är så talrika att de dominerar bergarterna kallar man den ooliten. Ooliten i Västergötland är en del av Lokaformationen, som även innehåller fragment av koraller, vilket understryker bildandet i ett subtropiskt grundhav. Det kan tyckas motsägelsefullt då slutet av ordovicium karakteriseras av en global nedisning och relativt kallt klimat. Förklaringen ligger i att den baltoskandiska kontinenten vid denna tid förflyttat sig in i det subtropiska bältet och att ooliten högst sannolikt bildades i en något varmare interglacial mellan två kallare perioder.

Högkullen och S.A. Andrées utgrävning

Diabaskappan på Kinnekulle är knappt trettio meter mäktig och har under lång tid skyddat underliggande sedimentbergarter från nedbrytande krafter. Nu finns det endast en relativt liten diabaskappa kvar och det har gjort att Kinnekulle på avstånd antar en konisk, nästan vulkanliknande form. Det var ingen mindre än Salomon August Andrée som var med och avgjorde frågan huruvida Kinnekulle var en vulkan eller inte genom att gräva en inschaktning på bergets västra sida, där man än idag kan studera kontakten mellan den siluriska skiffern och diabasen **[N 58°36'983 E 13°24'2797]**. Andrées vetenskapliga expedition till Kinnekulle är emellertid inte alls lika uppmärksammat som hans försök att nå Nordpolen med luftballong.

Mikael Calner, professor i berggrundsgeologi och redaktör för *Geologiska Föreningens vetenskapliga tidskrift GFF*, Lunds universitet, mikael.calner@geol.lu.se.

Per Ahlberg, professor i berggrundsgeologi, Lunds universitet, per.ahlberg@geol.lu.se.