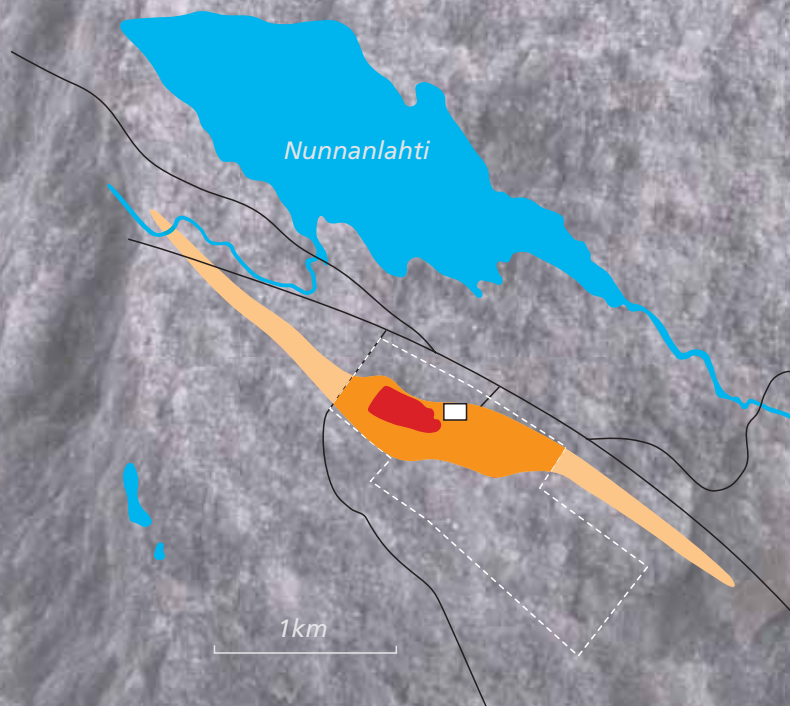


Samenvatting van de resultaten van het materiaalonderzoek uitgevoerd in 1994 - 2001 voor de MammuttiSteen-mijn van Nunnanlahden Uuni Oy

Onderzoek uitgevoerd door Kivitiето Oy, Finland
onder leiding van Aulis Kärki en Seppo Gehör



SINTEF, Noorwegen 1994
XRAL, Canada 2000
Instituut Elektronenoptica van de universiteit van Oulu,
Finland: 1994-2001

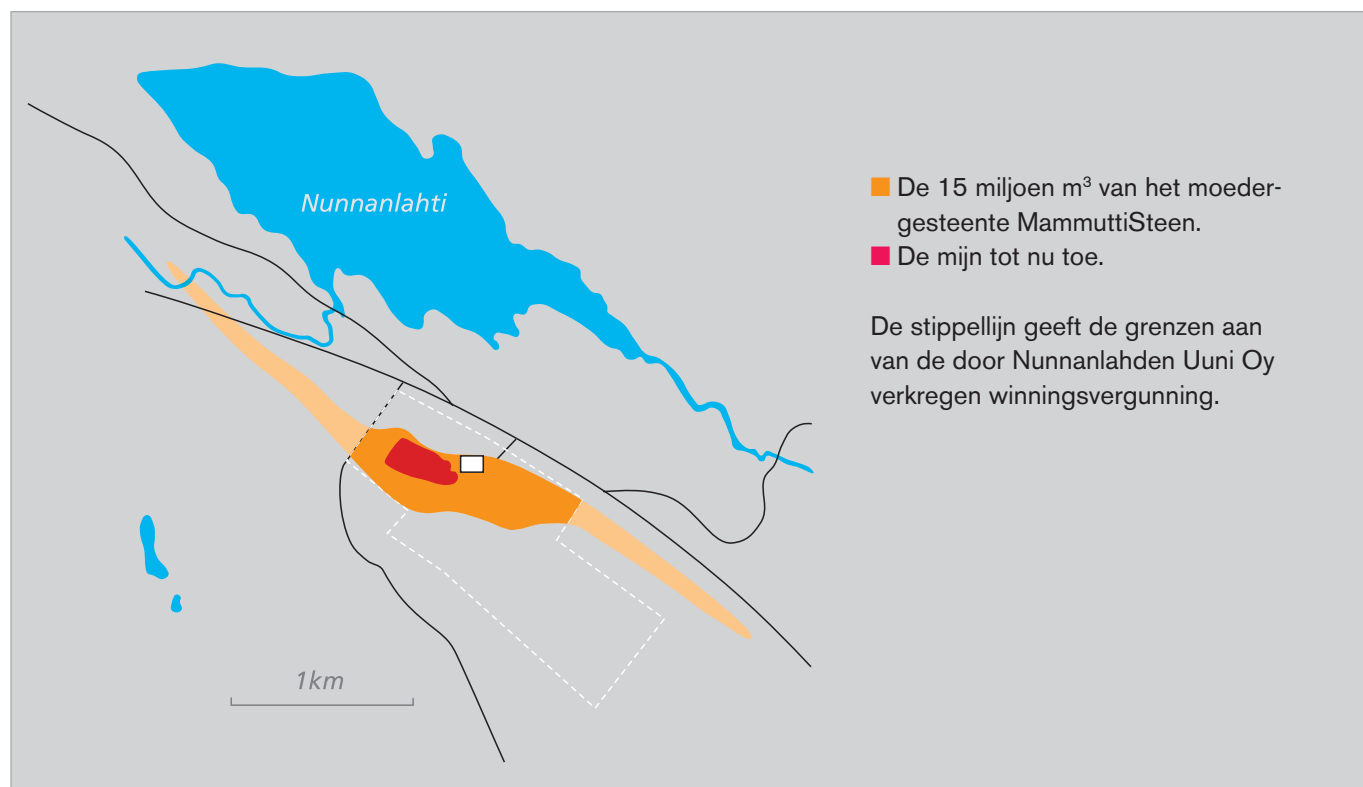
SPEKSTEEN – EEN ZELDZAME COMPONENT VAN DE AARDKORST

Speksteen is een metamorfe rots. Hij wordt gevormd door minerale reacties die zich voordoen bij zeer hoge druk en temperatuur. Over het algemeen is **speksteen** eerder zeldzaam en wordt feitelijk gevormd door vreemde formaties in de aardkorst, omdat het bronmateriaal afkomstig is van rotsmateriaal in de laag onder de aardkorst – de mantel. De mantel is ultrabasisch van aard en bestaat uit steensoorten met een aanzienlijk lager siliciumgehalte dan de hoofdbestanddelen in de typische steensoorten in de aardkorst. In plaats van silicium bevatten de ultrabasische stenen veel meer magnesium en staal. Daarom is hun soortelijk gewicht heel wat hoger dan dat van de meer gangbare steensoorten. De hogere densiteit in vergelijking tot steensoorten die normaliter in de aardkorst worden aangetroffen, ongeveer 3,0 t/m³, is eveneens kenmerkend voor ultrabasische speksteen.

De term ‘speksteen’ wordt gebruikt voor verschillende soorten stenen met verschillende mineraalsamenstellingen en andere eigenschappen. Het enige gezamenlijke kenmerk voor de verschillende speksteensoorten is dat deze dankzij het hoge talkgehalte redelijk eenvoudig kunnen worden

bewerkt. Andere kenmerken, zoals hittebestendigheid en warmteopslagcapaciteit, kunnen aanzienlijk verschillen en daarom hebben niet alle steensoorten in deze categorie de vereiste eigenschappen om te worden gebruikt in haarden.

De spekstenen in de MammuttiSteen-ertslaag van Nunnanlahden Uuni Oy zijn al ongeveer 2.700 miljoen jaar geleden van de aardmantel naar de korst gevoerd. In een reactie veroorzaakt door het ontstaan van bergplooien is een deel van de oceaanaflaatslaag en de hieronder liggende buitenlaag, een zogenaamd ofiolietcomplex, een vreemde omgeving binnengedrongen te midden van granietsoorten en andere steensoorten in de aardkorst. Een duidelijk aangegeven deel van het ofiolietcomplex, dit wil zeggen een specifieke ultrabasische steensoort, werd via metamorfose onder hoge druk en temperatuur omgevormd in speksteen. De toevoeging van koolstofdioxide aan de oorspronkelijke steenmassa vanuit een externe bron maakte het ontstaan van de andere hoofdcomponent van speksteen mogelijk, een koolstofmineraal met de naam magnesiet. De oorsprong van het andere hoofdbestanddeel, talk, houdt verband met deze veranderingen.



Afbeelding 1. De MammuttiSteen-ertslaag en het mijngebied.

gen, waarbij de chemische samenstelling van de oorspronkelijke steensoort onmiskenbaar veranderde – een verschijnsel dat metasomatose wordt genoemd.

Het definitieve uiterlijk van MammuttiSteen-speksteenerts-erslaag is het resultaat van een reeks vormingen van bergketens. Tijdens deze tektonische gebeurtenissen, waarbij de gehele aardkorst werd gevormd, werd het materiaal gemalen en talloze malen onder zware druk gezet tijdens het slopende proces dat tientallen miljoenen jaren duurde. De MammuttiSteen-speksteen vormt een uitgerekte, lenticulaire erts-erslaag, waarvan de geometrische vorm het resultaat is van de bovengenoemde tektonische bewegingen.

Een groot deel van deze erts-erslaag bevat een uitzonderlijke variant van bijzonder kwalitatieve speksteen, de MammuttiSteen. Deze MammuttiSteen bevat hoofdzakelijk magnesiet en gespleten talk. De locatie van de mijn en het mijngebied van de MammuttiSteen-erts-erslaag wordt in Afbeelding 1 weergegeven. De informatie over de locatie van de laag is gebaseerd op de door Nunnanlahden Uuni Oy uitgevoerde studies.

De door en door gelaagdheid of de splijtstructuur van MammuttiSteen volgt de lengteas van de erts-erslaag. Tijdens de laatste ontwikkelingsfase zijn de talksplijtvlakken van de spekstenen gaan “plooiën” onder de noord-zuid tektonische druk. Door het gecombineerde effect van al deze verschijnselen is de MammuttiSteen sterk in lagen gespleten, met andere woorden, zij hebben een onderscheiden splijtstructuur. De microstructuur van deze zeldzame speksteenvariant maakt de steen bijzonder geschikt voor gebruik in vuurhaarden.

MammuttiSteen als bouw materiaal voor vuurhaarden

MammuttiSteen bevat hoofdzakelijk magnesiet en schilferachtige, in lagen gespleten talk. Deze talk-magnesietsoorten spekstenen zijn ideaal voor het bouwen van haarden.

De steensoorten die in de MammuttiSteen-erts-erslaag worden gevonden zijn niet van een uniforme kwaliteit, noch van dezelfde soort speksteen. In plaats daarvan bestaat de laag uit meerdere verschillende varianten die voor verschillende doeleinden kunnen worden gebruikt. **Als voor elk element een juiste MammuttiSteen-variant wordt gekozen, kan MammuttiSteen worden gebruikt bij de bouw van duurzame vuurhaarden voor de meest veeleisende klanten.**

Bepaalde vuurhaardstructuren worden aan uitzonderlijke thermische stress onderworpen. MammuttiSteen is een duurzaam en goedwerkend materiaal voor deze bouwsels, op voorwaarde dat deze worden gemaakt van op de juiste manier in lagen gespleten fijnkorrelige MammuttiSteen die schilferachtige en in lagen gespleten talk bevat. De varianten die grove deeltjes magnesiet bevatten kunnen het best worden gebruikt voor rookkanalen en andere elementen van haarden die niet warmer worden dan 500 °C. Natuurlijk kan de grofkorrelige MammuttiSteen ook worden gebruikt

voor de buitenkant van de haard, omdat deze niet warmer wordt dan 200 °C.

MammuttiSteen voor warmteopslag en geleiding

De materialen gebruikt voor haarden moeten een goede warmteopslagcapaciteit hebben en de warmte effectief geleiden. Voor steensoorten met een lage poreusheid worden de warmteopslagcapaciteit en de specifieke warmtecapaciteit direct bepaald door de mineraalsamenstelling van de rots. Zowel magnesiet als talk hebben onderscheiden en wetenschappelijk vast te stellen specifieke warmtecapaciteitswaarden. De specifieke warmtecapaciteit van MammuttiSteen, half uit talk en half uit magnesiet bestaand, kan worden afgeleid van de componenten. De specifieke warmtecapaciteit van MammuttiSteen is bepaald via een test van drie representatieve stalen van het productiemateriaal. De resultaten wijzen uit dat bij 0 °C dit 790-820 J/kgK is, oplopend tot 910-930 J/kgK bij 50 °C.

Door de gelaagdheid is MammuttiSteen anisotroop, dit wil zeggen dat het warmtegeleidende vermogen in de verschillende richtingen niet hetzelfde is. Het is evenredig aan eigenschappen als de samenstelling en de gelaagdheid van de steen. Schistrotsen, zoals MammuttiSteen, met een sterke splitsing binnen een vlak in lagen, lineaire plooiën en minder lineaire gelaagdheid (*Afbeelding 2*) hebben een eigen thermische geleidbaarheid en hittebestendigheid.

Een splijtstructuur van MammuttiSteen, met vlakke spleten in lagen, heeft de hoogste thermische geleidbaarheid parallel aan het splijtvlak en de laagste in de richtingen die hier loodrecht op staan. De absolute waarde thermische geleidbaarheid is afhankelijk van de temperatuur en wordt bepaald door de mineraalsamenstelling en de gemiddelde korrelgrootte van de MammuttiSteen. De thermische geleidbaarheidswaarde voor een talk-magnesiet MammuttiSteensoort is bij 50 °C doorgaans 2-4 W/mK loodrecht op het splijtvlak en 4-5,5 W/mK in de parallelle richting. Daarom kan binnen een vlak in lagen gespleten MammuttiSteen worden gebruikt in elementen waarbij gebruik kan worden gemaakt van de verhouding tussen de thermische geleidbaarheid en de gelaagdheid. Tests hebben aangetoond dat deze in lagen gespleten, magnesiethoudende en fijnkorrelige MammuttiSteen-variant bestand is tegen uitzonderlijk hoge thermische stress.

De lineaire MammuttiSteen-varianten met kronkelige, geplooid talk hebben een goede thermische geleidbaarheid in één lineaire richting en een aanzienlijk minder goede in de richtingen die hier loodrecht op staan. De absolute waarde thermische geleidbaarheid van lineaire spekstenen is eveneens evenredig met de materiaaltemperatuur en de korrelgrootte van de steen. De tests hebben aangetoond dat de waarde thermische geleidbaarheid van lineaire MammuttiSteen van 50 °C 4-5,5 W/mK is in de lineaire richting tegen 2-3 W/mK in de loodrechte richting. **Fijnkorrelige MammuttiSteen**, die



A.
Afbeelding 2.
Lineaire MammuttiSteen. Het beste te gebruiken waar de elementen worden blootgesteld aan de hoogste thermische stress (bijv. in de vuurhaard, bij het heetste deel van de vlam).



B.
Fijnkorrelige of grofkorrelige gelaagde MammuttiSteen. Het beste te gebruiken voor die elementen van een haard waar de relatie tussen de richting van de gelaagdheid en de thermische geleiding efficiënt kan worden benut.



C.
Grofkorrelige MammuttiSteen in minder lagen gespleten. Te gebruiken voor de koelste elementen en de buitenkant van de haard, omwille van de goede warmteopslageigenschappen. Door de hoge thermische geleidbaarheidswaarde circuleert de warmte van de warmste naar de koelste stenen en wordt het warmteverlies op efficiënt wijze verlaagd.

in het vlak van de splijtstructuur minimaal in lagen is gespleten of geplooid, is van de **beste kwaliteit** en is het beste bestand tegen thermische stress. Daarom kunnen ze het beste worden gebruikt voor elementen die worden onderworpen aan dergelijke thermische stress. De **hoge thermische schokverhoudingen** voor de MammuttiSteen-soort beantwoorden duidelijk aan de gewenste kwaliteit.

MammuttiSteen met minder splijtlagen heeft bijna isotrope eigenschappen. Zoals eerder uiteengezet, wordt de absolute waarde thermische geleidbaarheid bepaald door

de temperatuur, de samenstelling en de gemiddelde korrelgrootte van het materiaal. Grote korreldeeltjes leiden tot een hoge thermische geleidbaarheid. Grofkorrelige Mammuttisteen is niet erg goed bestand tegen grote temperatuurverschillen, maar kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor externe bouwelementen die niet warmer worden dan 500 °C en waarvan de uitstekende thermische geleidbaarheid in de richting van de structuur kan worden gebruikt om de warmte te verdelen over alle andere elementen van de haard.

Weerstand tegen thermische stress en snelle temperatuursveranderingen

De test DIN 51068-deel 1 is een algemeen erkende methode voor het meten van de weerstand van een willekeurig materiaal tegen thermische schokken, dat wil zeggen tegen herhaaldelijke plotselinge temperatuursveranderingen. In de test DIN 51068-1 inzake thermische schokken wordt speksteen blootgesteld aan beduidend hogere thermische stress dan bij normaal gebruik van een kachel kan voorkomen. Desalniettemin geeft de test een accuraat beeld van de geschiktheid van het geteste materiaal voor thermisch veeleisende omgevingen. De test wordt uitgevoerd door een droge steencilinder gedurende 15 minuten in 950 °C te leggen en vervolgens gedurende vijf minuten onder te dompelen in stromend water van 20 °C, waarna het teststuk in de droogmachine mag drogen. De behandeling wordt net zo lang herhaald tot de testcilinder in twee of meer stukken breekt.

Op basis van de resultaten van deze test is bewezen dat de interne structuur (de textuur) van MammuttiSteen, de andere centrale factor is die een bijdrage levert aan de duurzaamheid. De andere factor is de minerale samenstelling van

speksteen. MammuttiSteen bestaande uit fijnkorrelig magnesiet en schilferachtige talk en in de richting van de plooiën in lagen gespleten, munt uit in de test en ontvangt bijna de maximumquotering voor bestendigheid tegen thermische schokken. De grofkorrelige, niet homogene speksteenvariteiten (die andere componenten bevatten, zoals veel chlooriet in plaats van talk) kunnen na een paar behandelingen in poeder uiteenvallen.

Afbeelding 3 toont een testcilinder MammuttiSteen na de test. Het staal vertoont enkele scheurtjes en is in twee delen gespleten, maar het materiaal is na bijna 30 behandelingen nog steeds erg hard. De testcilinder is na 28 behandelingen in twee stukken gespleten en dit betekent dat het een **thermische schokklasse van 28** heeft gekregen. Het dient te worden opgemerkt dat de **maximale classificatie voor alle materiaal in deze test 30** is. Volgens de in de norm DIN 51 068 vastgestelde regels wordt de test afgebroken als het geteste materiaal gedurende 30 behandelingen niet breekt.



Afbeelding 3. Testcilinder bestaande uit fijnkorrelig, in lagen gespleten en geplooid MammuttiSteen na de thermische schoktest. Het staal kreeg bijna de hoogst mogelijke thermische schokclassificatie (28 punten op 30).

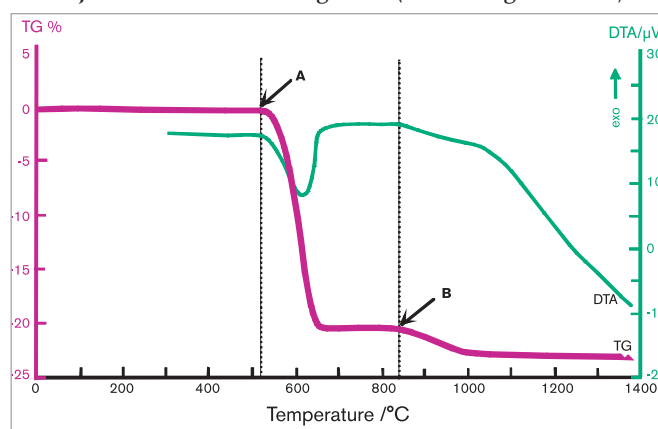
Wat gebeurt er met speksteen bij hoge temperaturen?

Wanneer een vuurhaard wordt opgestookt is de verbrandingstemperatuur van hout hoogstens 800 tot 1 200 °C. Volgens door Nunnanlahden Uuni Oy uitgevoerde studies loopt de temperatuur van de heetste stenen bij normaal gebruik slechts op tot 650 °C.

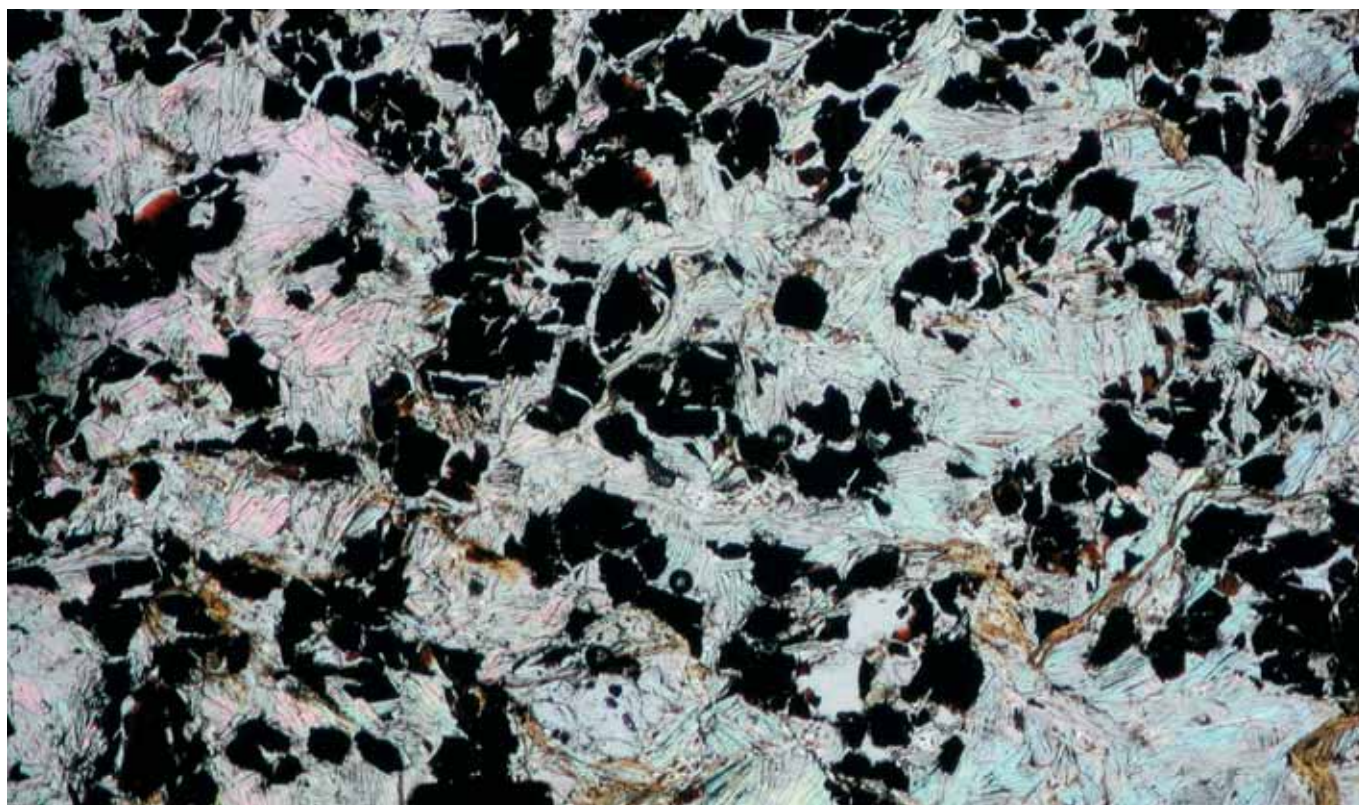
Ieder mineraal heeft een bekende en thermodynamisch bepaalde stabiliteitsklasse bij een gegeven drukwaarde en temperatuur. In de praktijk is bij haarden de enige significante factor de temperatuur en met name de maximale temperatuur die iedere steen, gebruikt voor de bouw van een haard, kan bereiken. Het gedrag van het materiaal en de reacties die hier plaatsvinden kunnen worden onderzocht via de Thermische Gravimetrische Analyse (TGA) en Differentiële Thermische Analyse (DTA). De TGA-test wordt toegepast voor het meten van massaveranderingen tijdens en nadat minerale reacties hebben plaatsgevonden bij verschillende temperaturen, terwijl de DTA-test informatie verschaft over hoe deze minerale reacties reactiewarmte produceren of verbruiken. De resultaten van de TGA/DTA-tests geven een nauwkeurige beschrijving van het gedrag van speksteen bij hoge temperaturen.

Afbeelding 4 geeft het TGA/DTA-testresultaat van een typische MammuttiSteen die ongeveer half uit talk en half uit magnesiet bestaat. In deze afbeelding geeft de paarse (TGA) curve de massaveranderingen weer en de groene (DTA) curve, zonder referentiecorrecties, geeft de bij de overgangen naar de verschillende fases tijdens de test geproduceerde of verbruikte reactiewarmte weer. De afbeelding geeft duidelijk aan dat er geen belangrijke wijzigingen plaatsvinden voordat de MammuttiSteen tot 520-540 °C wordt verwarmd. Deze temperatuur markeert het begin van een endotherme reactie (een reactie waarbij warmte-energie van buitenaf wordt vereist) waardoor magnesiet wordt omgezet in magnesiumoxide, of periklaas, en in koolstofdioxide, dat als gas vrijkomt. Omdat koolstofdioxidegas vrijkomt, neemt de steenmassa af met ongeveer 20 %. Hierbij dient te worden opgemerkt dat in deze test de gehele MammuttiSteen-massa wordt verhit tot meer dan 520 °C. Bij normaal gebruik van een haard vindt de massaverandering alleen bij dat deel van de steen plaats dat de temperatuur bereikt die nodig is om de periklaasreactie te laten plaatsvinden. Doorgaans betekent dit een 5 tot 10 millimeter diepe laag onder de warmste oppervlaktes. De aldus gevormde periklaas is stabiel bij zeer hoge temperaturen, zelfs bij 1 600 °C. In de praktijk is het niet eens mogelijk om in een haard temperaturen te bereiken die hoog genoeg zijn om periklaas te laten omzetten in of vervangen door een andere mineraalsoort.

Een andere kenmerkende reactie voor MammuttiSteen begint bij 840 °C. Deze reactie bindt energie en verlaagt tegelijkertijd de MammuttiSteen-massa met ongeveer twee procent. In de praktijk omvat de reactie het vrijkomen van hydroxylgroepen die met de talk een verbinding vormen. Uit de massa wordt alleen water onttrokken en wat achterblijft is het vaste steenmateriaal met een duurzame basissamenstelling. Deze test toont ondubbelzinnig aan dat zelfs bij deze hoge temperaturen talk nog steeds het bindende materiaal blijft dat tevens warmte geleidt (afbeeldingen 3 en 5).



Afbeelding 4. De TGA/DTA-resultaten voor MammuttiSteen bestaande uit talk en magnesiet. De eerste thermische reactie vindt plaats bij 520 °C, waarbij magnesiet wordt omgezet in periklaas (punt A). De tweede reactie (punt B) is de dehydroxylatie van talk (dit is een reactie waarbij de OH-groepen de talk verlaten) bij ongeveer 840 °C.

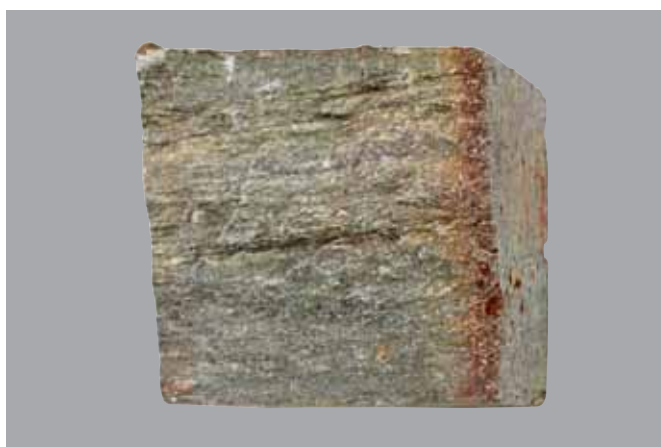


Afbeelding 5. Polarisatiemicroscopische afbeelding van fijnkorrelige MammuttiSteen, geherkristalliseerd bij 850 °C. Het zwarte mineraal in de afbeelding is periklaas. De afbeelding toont aan dat zelfs na het onttrekken van hydroxylgroepen, talk, witachtig of roodachtig in de afbeelding, als de bindende uniforme massa overblijft.

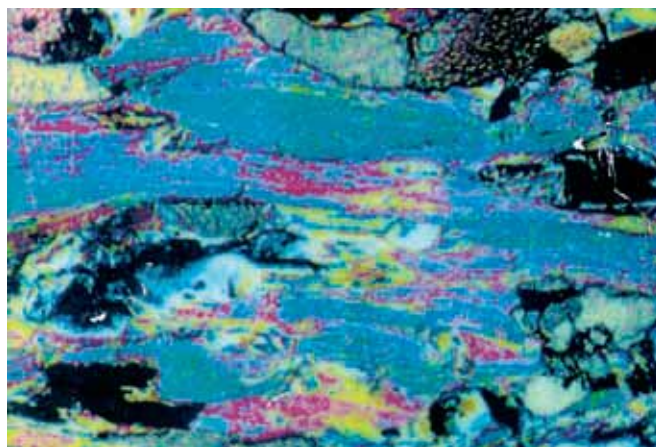
De maximale temperaturen die materialen in een haard bereiken kunnen eenvoudig achteraf worden berekend, omdat de gebieden waarin de carbonaatmineralen die in periklaas zijn omgezet onmiskenbaar kunnen worden geïdentificeerd via een gewoon microscopisch onderzoek. In de structurele elementen van een haard, die lang werd gebruikt, is de laag die periklaas bevat hooguit ongeveer 30 millimeter dik – gemeten nadat de temperatuur van de kachel voor onderzoekdoeleinden op meer dan 400 °C was gebracht. Een dergelijke hoge temperatuur is natuurlijk aanzienlijk hoger

dan deze die kan worden bereikt wanneer de normale stookinstructies worden gevolgd.

In de normale bouwelementen voor vuurhaarden en schouwen (*Afbeelding 6*) is de dikte van de periklaaslaag buiten de warmste oppervlakten slechts een paar millimeter, hetgeen duidelijk aangeeft dat slechts een klein gedeelte van de totale massa van de haard de temperatuur heeft bereikt die nodig is om de reactie te initiëren waarbij magnesiet in periklaas wordt omgezet.



Afbeelding 6. MammuttiSteen afkomstig uit de vuurhaard van een normaal gestookte haard.



Afbeelding 7. Polarisatiemicroscopische afbeelding van een zeer sterk in lagen gespleten MammuttiSteen waarin magnesietkorrels kunnen worden onderscheiden door hun grijze of donkere kleur. De korreldiameter bedraagt ongeveer 0,5 millimeter. De in lagen gespleten talkschilfers zijn blauwgroen in de afbeelding.

De kwaliteiten van speksteen zijn – net zoals voor alle andere steensoorten – afhankelijk van de basiscomponenten, de mineralen. Sommige mineralen zijn hard en andere zijn zacht, sommige zijn bestand tegen uitzonderlijk hoge temperaturen, terwijl andere maar stabiel blijven tot 100 °C.

De verschillende soorten speksteen kunnen bestaan uit allerhande mineralen van zeer verschillende kwaliteit en daarom kunnen de verschillende speksteen kwaliteiten aanzienlijk van elkaar verschillen. **Om de kwaliteiten van de verschillende speksteenvariëteiten te begrijpen**, moet men de kwaliteiten van de basiscomponenten, de mineralen, kennen en begrijpen.

Een mineraal is een vast kristallijn materiaal dat in de oorspronkelijke omgeving evenwichtig en stabiel is. Het heeft een bepaalde chemische samenstelling en kristalstructuur die mineralogisch kunnen worden bepaald, hetgeen betekent dat in ieder mineraal – binnen haar kristalrooster – ieder chemisch element een duidelijk gespecificeerde positie heeft. Alleen sommige specifieke en beperkte wijzigingen in de samenstelling zijn mogelijk.

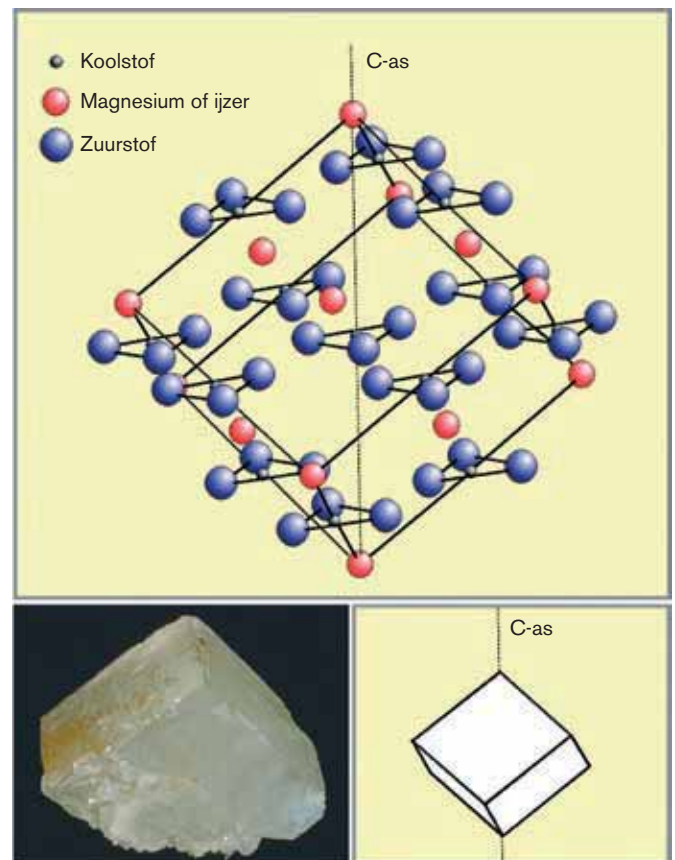
De steen in de MammuttiSteen-erstlaag met de beste hittebestendigheid bestaat hoofdzakelijk uit slechts twee soorten mineralen: magnesiet en talk. De verhitting van MammuttiSteen tot op een temperatuur van meer dan 520 °C kan leiden tot de vorming van een nieuwe mineraal soort: de periklaas. Hieronder een kort overzicht van de verschillende kwaliteiten van deze mineralen.

Magnesiet

Magnesiet, $MgCO_3$; of magnesiumcarbonaat, is wit, grijsachtig, gelig of bruin van kleur en de hardheid is iets groter dan die van de menselijke nagel. In de hardheidsschaal van Mohs varieert de hardheid van 3,5 tot 4,5, terwijl de hardheid van bijvoorbeeld vensterglas in dezelfde schaal 7 is. Het soortelijk gewicht van magnesiet varieert van 2,96 tot 3,1, hetgeen betekent dat het drie keer zwaarder is als water. De chemische samenstelling van een ideale magnesiet bestaat uit 47,8 procent MgO en 52,2 procent CO_2 . Het is bekend dat ijzer op de plaats van magnesiet in het kristalrooster wordt gebonden en in feite wordt de meerderheid van al het ijzer in de MammuttiSteen in het magnesietcarbonaatmineraal gebonden en heeft dit ongeveer 10 % van de magnesiumkationen in de kristalstructuur vervangen.

Afbeelding 8 geeft een model weer van de kristalstructuur van carbonaat met magnesiet. Als gevolg van de kristalstructuur van magnesiet zijn de eigenschappen ervan tot op bepaalde hoogte afhankelijk van de richting van de structuur. Bijvoorbeeld, de warmte-uitzetting is iets groter in de richting parallel aan de c-as dan in de loodrecht hierop staande richtingen. De warmte-uitzettingscoëfficiënt parallel aan de c-as is $22,9 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$ en in de loodrecht hierop staande richtingen $6,75 \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$. Ook de mate waarin ijzer het magnesium in de mineraalstructuur heeft vervangen, heeft invloed

op de eigenschappen. Het soortelijk gewicht, bijvoorbeeld, neemt lineair toe met de toename aan ijzer. De verhouding tussen ijzer en magnesium in magnesiet, die wordt aangetroffen in MammuttiSteen is ongeveer 1:9, hetgeen resulteert in een soortelijk gewicht van 3,05. Dat is iets hoger dan het soortelijk gewicht van ideaal magnesiet. In het mineraalrooster worden alle structurele componenten als massapunten op drie niveaus geplaatst die elkaar in een scheve hoek kruisen. Dezelfde basisstructuur wordt ook herhaald met grovere mineraalkorrels (*Afbeelding 8*) en de goede splinging van carbonaat in drie dimensies – bepaald door het kristalvlak in de automorfe korrel – volgt nauwkeurig de vlakrichtingen van de bovengenoemde basisstructuur.



Afbeelding 8. Kristal-chemische structuur van magnesiet (bovenste afbeelding), automorfe magnesietkorrel (afbeelding linksonder) en de geometrische positie van de C-kristalas in de magnesietkorrel.

Periklaas

De vorming van periklaas of magnesiumoxide (MgO) gebeurt volgens onderstaande formule bij het verwarmen van magnesiet:



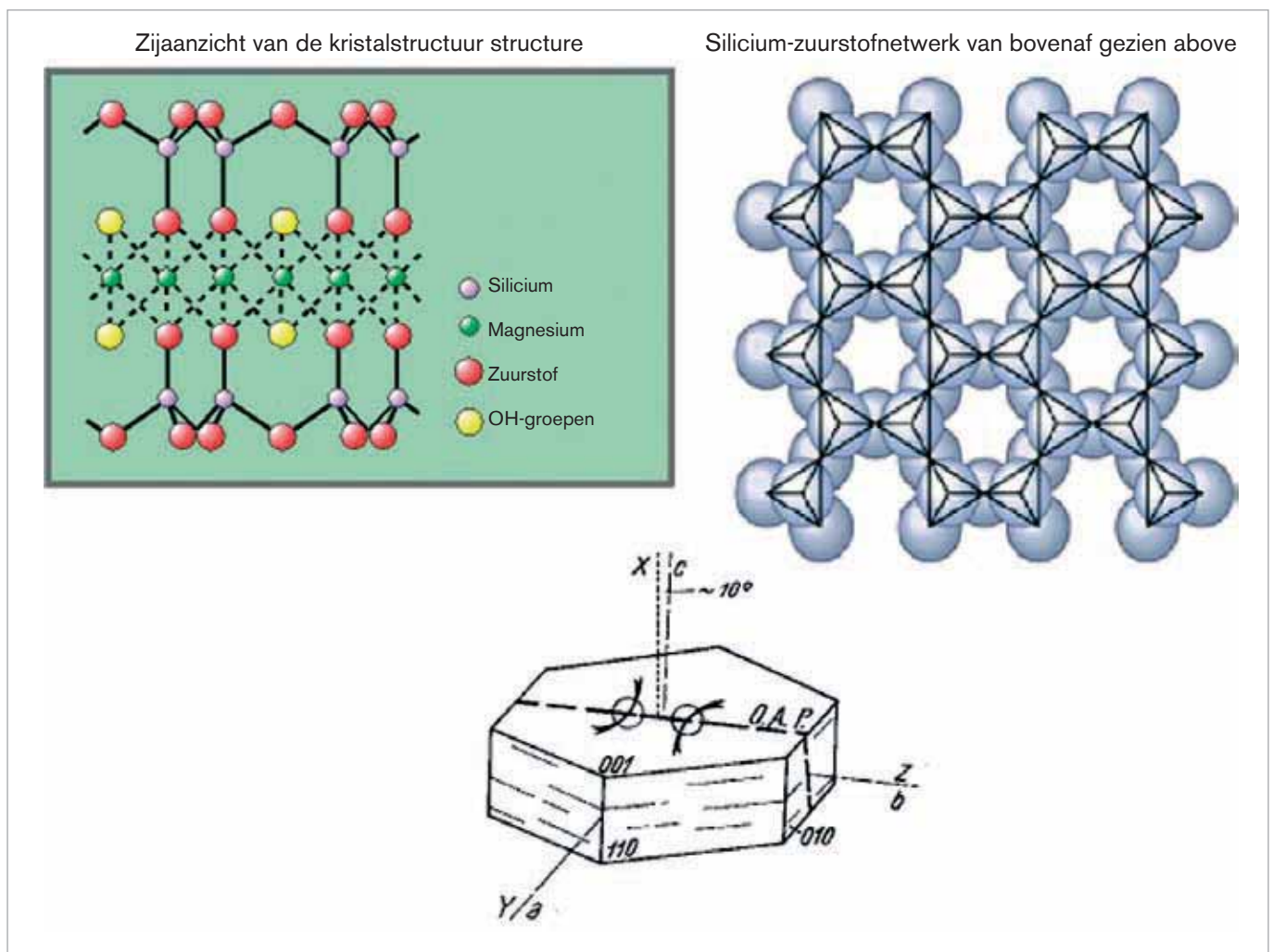
Vast periklaas is bijzonder hard, heeft een **hardheidsgraad van 6 op de schaal van Mohs**, en het soortelijk gewicht varieert van 3,58 tot 3,90. De periklaaskorrels die worden gevormd uit magnesiet zijn echter bijzonder klein en onzichtbaar voor het blote oog. Het resultaat van de omzetting kan zichtbaar worden waargenomen aan de hand van de bruinachtige of zwarte microkristallijne massa (*Afbeelding 5*).

Talk

Talk wordt mineralogisch geïnclassificeerd in de familie van phyllosilicaten en de eigenschappen zijn het eenvoudigst te begrijpen door een onderzoek van de basiskristallijne structuur. De ideale chemische formule van talk is: $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Silicium en zuurstof produceren een bladachtige structuur (*Afbeelding 9*) waarin de componenten

worden gekoppeld door de meest veerkrachtige chemische bindingen die er bestaan, namelijk ionische en covalente bindingen. Dit maakt het silicium-zuurstofraamwerk zeer duurzaam en de microscopisch kleine schilferachtige talkkorrels vormen een veerkrachtig netwerk. Desalniettemin is de hardheid van talk volgens de schaal van Mohs slechts 1, waardoor het één van de zachtste mineralen is die we kennen. De zachtheid wordt veroorzaakt door het feit dat de magnesiumkationen tussen de silicium-zuurstofnetwerken met hen slechts verbonden zijn door zwakke chemische bindingen.

De hydroxylgroepen (OH) zijn ook zwak verbonden aan het rooster. Daarom laten de microscopisch kleine, afzonderlijke talkschilfers gemakkelijk los en glijden ze goed als ze over elkaar worden geweven. Het hierdoor ontstane vettige en gladde oppervlak van het mineraal is één van de belangrijkste van de kenmerkende eigenschappen van talk. Het soortelijk gewicht van talk varieert van 2,7 tot 2,8, dat wil zeggen dat de dichtheid iets kleiner is dan de overeenkomstige figuur van magnesiet, maar toch groter dan de gemiddelde dichtheid van alle steensoorten in de aardkorst.



Afbeelding 9. Kristalchemische structuur van talk, een bovenaanzicht van het silicium-zuurstofnetwerk en de geometrische positie van kristalassen (X, Y en Z) en optische assen (a, b en c) in een chlorietschilfer.

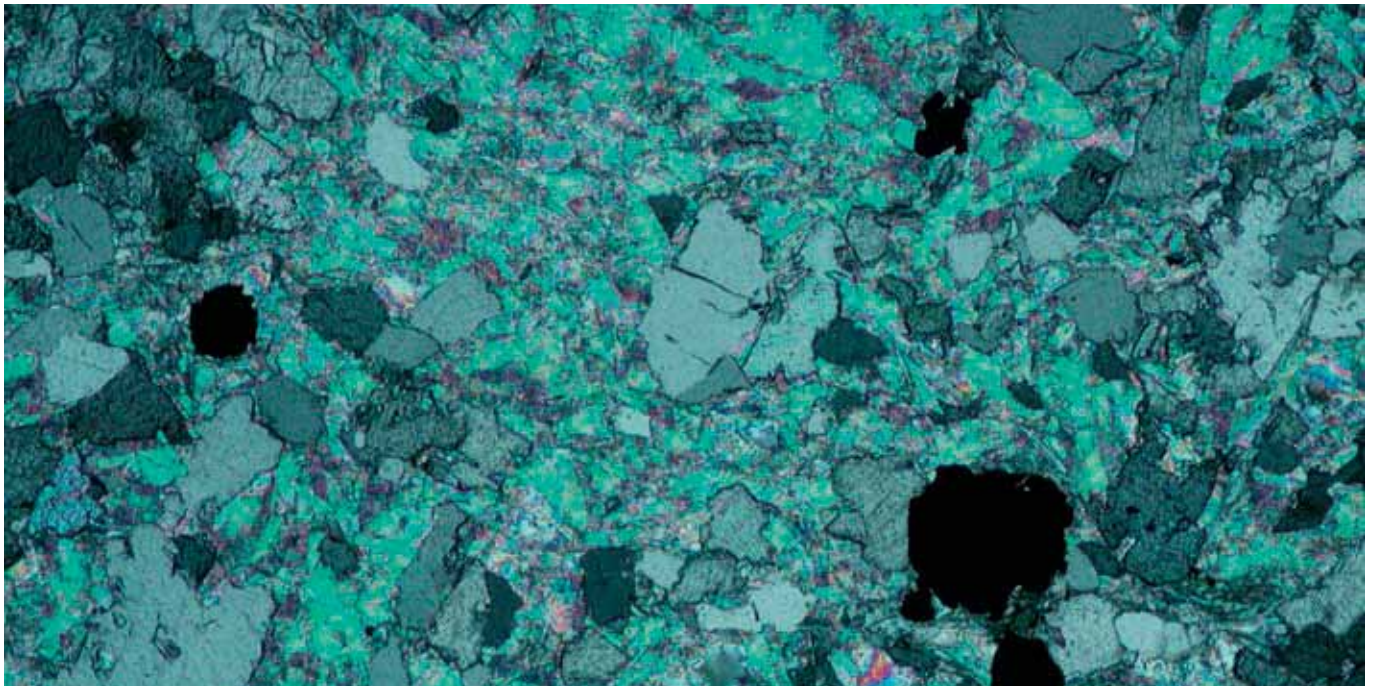
Vorm, grootte en slijping variëren in functie van het soort MammuttiSteen. De talk in MammuttiSteen bestaat uit kleine schilfertjes en vormt een gelijkmatige en in lagen gespleten netwerk rondom de magnesietkorrels. Magnesiet, daarentegen, kan in de vorm van verlengde korreltjes of ronde deeltjes in een in lagen gespleten talkmassa voorkomen. De diameter van magnesietkorrels kan variëren van minder dan 0,5 mm tot 10 tot 15 mm. Sommige korrels kunnen zelfs groter zijn. Op basis van de interne structuur kunnen de verschillende variëteiten van MammuttiSteen worden onderverdeeld in drie hoofdcategorieën, die elk eigen kwaliteiten bezitten.

Alle soorten MammuttiSteen-korrels met sterke schitseuse of slijpstructuur zijn duidelijk in een bepaald vlak in lagen gespleten. Vooral schilferachtige mineralen zijn systematisch in de richting van een bepaald vlak in lagen gespleten. Deze soorten MammuttiSteen slijpen het gemakkelijkst in één richting en hun thermische geleidbaarheid is bijvoorbeeld duidelijk beter in de richting parallel aan het slijpvlak dan in de richtingen die hier loodrecht op staan. Indien juist geplaatst, is deze soort fijnkorrelige MammuttiSteen bestand tegen extreem hoge thermische stress.

De lineair symmetrische structuur van sterk gelijnde en geplooid MammuttiSteen wordt veroorzaakt door de

manier waarop de verlengde magnesietkorrels systematisch in een bepaalde lineaire richting worden geplaatst en door de tot plooiën gevormde stapels talkschilfers. Deze soorten MammuttiSteen hebben een bijna identieke, mechanische kracht in alle richtingen, maar de thermische geleidbaarheid is beter in de richting parallel aan de plooirand dan in een andere richting. Deze soorten fijnkorrelige, geplooid MammuttiSteen zijn het best geschikt om thermische stress te doorstaan, zoals herhaaldelijk intensief verwarmen en afkoelen. De talk vormt een netwerk rondom de magnesietdeeltjes of een mineraal massa die de deeltjes insluit (*Afbeelding 10*) en verhoogt de bestendigheid van MammuttiSteen tegen intensieve thermische stress en hoge temperaturen. Van de verschillende MammuttiSteen-soorten heeft deze speksteenvariant de beste kwaliteiten.

In de meer compacte en weinig in lagen gespleten MammuttiSteen is de talk willekeurig in lagen gespleten, maar de afmetingen van de magnesietkorrels kunnen in alle richtingen hetzelfde zijn. De thermische geleidbaarheid van compacte MammuttiSteen-varianten is bijna hetzelfde in alle richtingen en, naast temperatuur, evenredig met de gemiddelde korrelgrootte van de steen.



Afbeelding 10. Polarisatiemicroscopieafbeelding van fijnkorrelige MammuttiSteen-soort talk-magnesiet. De talk die bestaat uit kleine schilfers wordt in de afbeelding groen weergegeven. De talkmassa omgeeft de magnesietkorrels, die een diameter hebben van ongeveer 0,5 millimeter en in de afbeelding grijs worden weergegeven. De foto is genomen vanuit de lineaire richting, dus de langste afmetingen van de talk- en grijze magnesietkorrels liggen in richting waarin de afbeelding werd genomen.

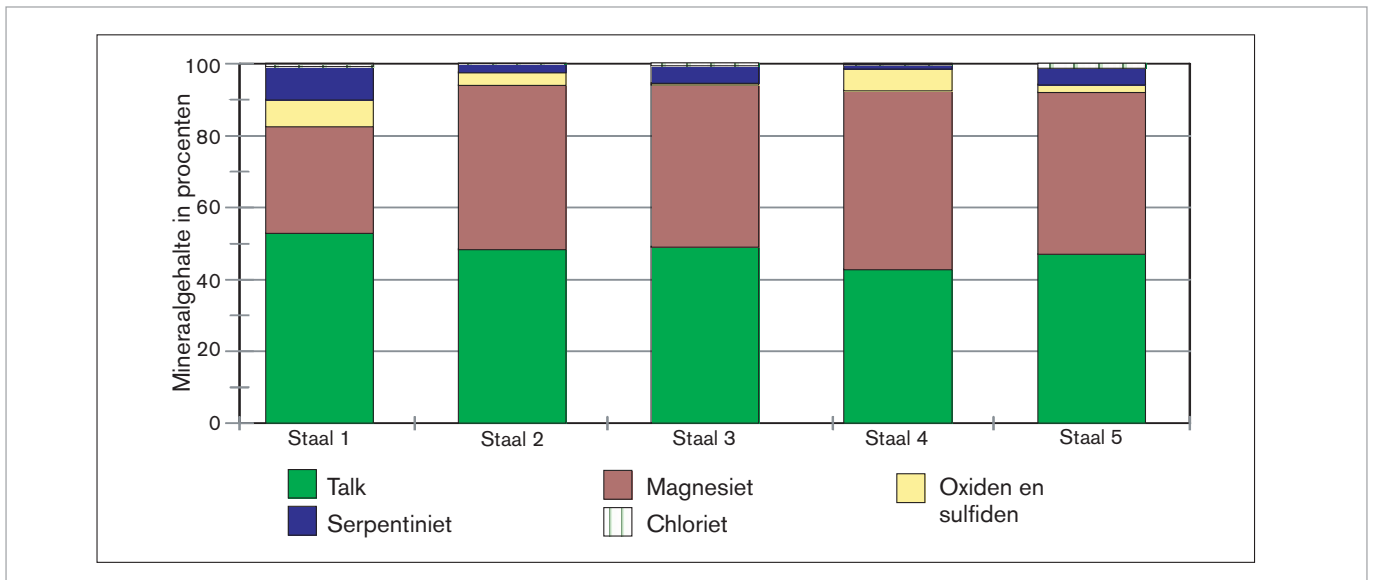
Soorten MammuttiSteen ontdekt in de ertslaag

De steen afkomstig uit de MammuttiSteen-ertslaag is een sterk gelaagde splijtsteen die in het beste geval hoofdzakelijk bestaat uit slechts twee mineralen: talk en magnesiet. De extra componenten zijn kleine hoeveelheden andere silicaatmineralen (serpentiniet en chloriet) alsook ijzerhoudende oxideminerale. In de kwalitatieve MammuttiSteen-ertslaag zijn deze bijkomende mineralen goed voor maximum een paar procent van het volume. Op basis van de minerale samenstelling behoort de MammuttiSteen zonder twijfel tot de categorie talk-magnesiet.

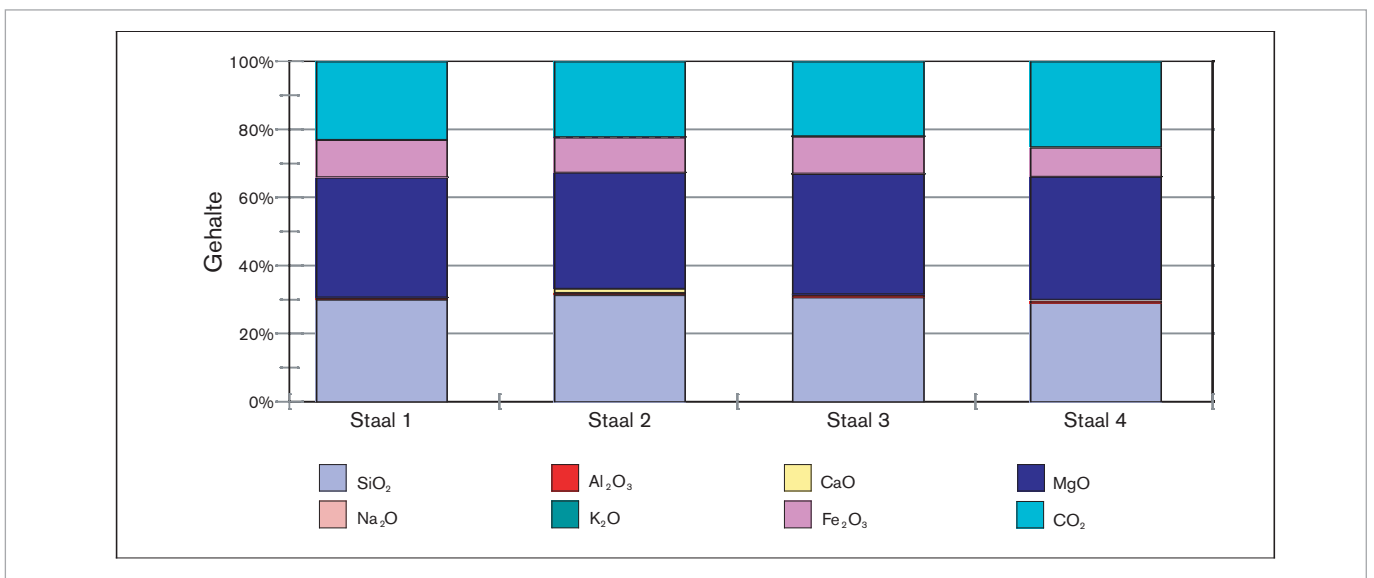
Microscopische tests hebben aangetoond dat de minerale samenstelling van de MammuttiSteen-ertslaag enigszins constant is. Een typische MammuttiSteen bestaat uit 45-55%

talk, 30-50% magnesiet en hier en daar wat ertsmineralen chloriet, serpentiniet en oxide (*Afbeelding 11*). De geanalyseerde stalen bevatten minder dan 10 % serpentiniet en het chlorietgehalte is **niet hoger dan twee procent**.

De beschrijving van de chemische samenstelling van de MammuttiSteen-ertslaag werd uitbesteed aan een Canadees analyselaboratorium, XRAL. De chemische samenstelling van de verschillende soorten MammuttiSteen bleek erg gelijkwaardig (*Afbeelding 12*): de steen uit de ertslaag bevatte ongeveer 30 % silicium SiO_2 , 35 % magnesium MgO , 10 % ijzer (FeO) en iets meer dan 20 % stikstofdioxide als structureel element van carbonaat.



Afbeelding 11. Modale mineraalsamenstellingen in de MammuttiSteen-ertslaag.



Afbeelding 12. Chemische samenstelling van verschillende steensoorten in de MammuttiSteen-ertslaag.

In MammuttiSteen wordt koolstofdioxide aan de carbonaatmineralen gebonden en het koolstofdioxidegehalte geeft het magnesiumgehalte van de steen aan. De MammuttiSteen bevat slechts zeer kleine hoeveelheden van andere chemische elementen. Bijvoorbeeld, het gemiddelde aluminiumgehalte is slechts 0,6 % Al_2O_3 en concentraties van andere elementen zijn zelfs nog kleiner. Het aluminiumgehalte is significant in de chemische samenstelling van MammuttiSteen omdat aluminium dikwijls een chemisch sleutelement is in chloriet en mica's. Een te grote hoeveelheid van een van beide is echter nadelig voor spekstenen die in vuurhaarden worden gebruikt. Daartegenover staat dat als het rotsmateriaal geen aluminium bevat, de bovengenoemde mineralen die rijk zijn aan aluminium niet kunnen worden gevormd waardoor het lage aluminiumgehalte een kwalitatieve eigenschap is voor MammuttiSteen.

Volgens de speksteendefinitie moeten alle spekstenen een aanzienlijke hoeveelheid talk bevatten, maar kunnen de

verhoudingen en soorten van andere mineralen aanzienlijk variëren. Naast talk zijn de belangrijkste mineraalcomponenten van de meest kenmerkende speksteensoorten mica, chloriet, amfibool, pyroxeen en serpentieniet. Op basis van het mineralengehalte kunnen spekstenen worden ingedeeld in spekstenen met micagehalte, spekstenen met chlorietgehalte, enz. Varianten met magnesiet zijn eerder zeldzaam als spekstenen, nochtans speelt magnesiet een belangrijke rol in het verhogen van de warmteopslagcapaciteit van de steen.

Volgens onze eigen rapporten bestaat de MammuttiSteen-ertslaag uit spekstenen van het type talk-magnesiet met een zeer homogene chemische en minerale samenstelling. Op basis van de interne structuur of de textuur van de MammuttiSteen kunnen in de MammuttiSteen-ertslaag verschillende soorten steenvarianten worden onderscheiden en door maximaal gebruik te maken van de onderscheiden kwaliteiten van iedere steensoort kan de waarde van MammuttiSteen als bouw materiaal voor haarden aanzienlijk worden verhoogd.

28 mei 2001, Oulu, Finland

Kivitieto Oy



Seppo Gehör
PhD, geoloog



Aulis Kärki
PhD, geoloog

Deze nieuwe versie introduceert MammuttiSteen, een handelsmerk geregistreerd door Nunnanlahden Uuni Oy dat verwijst naar alle speksteenvarianten van het mijn district van Nunnanlahden Uuni Oy.

Behalve deze nieuwe benamingsconventie is de inhoud van dit document dezelfde als die van het oorspronkelijke onderzoeksrapport gepubliceerd in 2001.

31 januari 2005, Oulu, Finland

Kivitieto Oy



Seppo Gehör
PhD, geoloog



Aulis Kärki
PhD, geoloog

