

Nye mineralfunn fra Heftetjern-pegmatitten i Tørdal

Roy Kristiansen

Postboks 32, 1650 Sellebakk (mykosof@online.no)

Abstract: This is an updated information on new findings in the scandium-bearing Heftetjern granitic pegmatite in Tørdal, Telemark. It turns out that several species found in the past show advanced complexity, both structurally and chemically. The species treated are the OH-analogue of gadolinite-(Y), Mn-bearing hellandite-(Y), bohseite, uedaite-(Ce), scandian schorl, REE-scandian epidote, triclinic titanite/zabińskiite, triclinic calcian hingganite-(Y), hingganite-(Ce) and color and morphology of tin-bearing thortveitites.

Innledning

Heftetjern-pegmatitten i Tørdal i Telemark har nå blitt en verdenskjent lokalitet på grunn av opptreden av 8 av verdens 13 scandiummineraler (ekskludert de fire ekstraterrestriale), nemlig bazzitt, scandiobabingtonitt, cascanditt, thortveititt, kristiansenitt, oftedalitt, heftetjernitt og "Sc-ixiolitt". Dessuten er Heftetjern typelokaliteten for oftedalitt, kristiansenitt, heftetjernitt og agakhanovitt-(Y).

I år er det 20 år siden jeg begynte med undersøkelser og registreringer av mineraler på Heftetjern, og totalt er det funnet over 60 ulike mineraler, svært mange dominert av Be, Sc, Y/REE, Ta/Nb og Ti. Foruten de ekte Sc-mineralene nevnt ovenfor er det også registrert Sc i underordnede mengder i mange av de andre mineralene (Raade & Kristiansen 2003).

Etter min artikkel med spesiell vekt på scandiummineralene (Kristiansen 2009) og listen over alle mineralene, gjøres det fortsatt nye oppdagelser. I det følgende omtales noen interessante og uvanlige mineraler, hvorav flere er svært komplekse både kjemisk og strukturelt. Flere av disse er fortsatt under arbeid.

Hydroksylanalogen til gadolinitt-(Y), $(Y,Ca)_2(Fe,\square)Be_2Si_2O_8(OH,O)_2$

Dette mineralet ble nylig beskrevet som et potensielt nytt mineral uten navn (Chukanov *et al.* 2017), men ble ikke innsendt til kommisjonen for nye mineraler (IMA-CNMNC) fordi vi ikke var i stand til å foreslå en endeledformel med en ladningsbalanse som kunne indikere utfylling i alle plasser i krystallstrukturen. Dessuten var det vanskelig å finne tilstrekkelig homogent materiale.

Gadolinit-datolitt-gruppens mineraler forekommer på Heftetjern som irregulære, eroderte, lysegrønne til flaskegrønne, halvgjennomsiktige til transparente, opptil 2 mm lange prismer. Dette vil da være gadolinit-(Y) *sensu lato*. Brune, gule eller fargeløse korn kan være hingganitt-(Y). Vi finner også matt grønne, lysegrønne og grålig grønne, kortprismatiske, opptil 2 mm lange krystaller, eller som mer irregulære masser opptil 8 x 2 mm på hulrom i feltspat og kvarts. Dette er i hovedsak Ca-rike mellomledd i gadolinit- hingganitt -rekken.



Fig. 1. Lysegrønne prismer (ca. 5 mm lange) av hydroksylanologen til gadolinit-(Y).
Foto: R. Kristiansen.

Blant disse er det funnet en hydroksylanalog av gadolinit-(Y) med formelen $(Y,Ca)_2(Fe,\square)Be_2Si_2O_8(OH,O)_2$, karakterisert ved dominans av OH^- over O^{2-} , og isostrukturell med gadolinit-(Y) (Fig. 1). Dette er den første hydroksyl- og Fe-dominerte medlem av gadolinit-subgruppen (Bačik *et al.* 2017). Det mulige endeledet kan være $YCaFe^{2+}Be_2Si_2O_9(OH)$ eller $CaFe^{2+}Be_2Si_2O_8(OH)_2$ (Miyawaki pers. medd. 2017). Denne OH-gadoliniten er også Fe^{2+} -anologen til hingganitt-(Y). Det infrarøde spektrum av OH-gadolinit synes å være en diagnostisk karakter. For ytterligere informasjon om mineralet henvises til Chukanov *et al.* (2017).

Tabell 1. Kjemisk sammensetning av gadolinit-gruppens mineraler i Heftetjern-pegmatitten.

	OH-gadolinit-(Y)	Hingganitt-(Y)	Gadolinit-(Y)
CaO	7,44	5,66	1,96
Y ₂ O ₃	34,90	37,34	41,24
La ₂ O ₃	1,61	1,35	0,85
Ce ₂ O ₃	2,75	4,90	1,76
Nd ₂ O ₃	0,30	0,55	0,32
Al ₂ O ₃	-	0,90	-
FeO	9,83	3,93	11,10
SiO ₂	28,84	28,85	26,29
BeO	12,17	ia	ia
H ₂ O	3,3	ia	ia
Total	101,14	83,48	83,52

ia = ikke analysert

" Rowlanditt-(Y)"

I 2017 prøvde jeg å få identifisert et ca. 2 cm langt individ av et grønlig brunt, plateformet mineral, som kjemisk kunne samsvare med det sjeldne mineralet rowlanditt-(Y), tidligere beskrevet fra Stetind. Det viste seg senere å være mer komplisert og den første indikasjonen var feil. Den aktuelle prøven viste seg å være en sonert blanding av gadolinitt-(Y) og hingganitt-(Y) med inneslutninger av en hydroksyl-gadolinitt (Chukanov, pers. medd. 2017).

Mangan-rik hellanditt-(Y), $(\text{Ca,REE})_4\text{Y}_2\text{Al}\square_2(\text{B}_4\text{Si}_4\text{O}_{22})(\text{OH})_2$

Analysen av hellanditter fra ulike lokaliteter i verden viser lite (<1 vekt-% MnO) eller ikke noe Mn. Hellanditt-(Y) fra typelokaliteten på Lindvikskollen ved Kragerø (Oftedal 1965) viser bare 0,41 vekt-% MnO. En liten, rosagul krystall i et hulrom i feltspat fra Heftetjern-pegmatitten ble analysert og viste seg å være en særdeles mangan-rik hellanditt-(Y) med ca. 8 vekt-% MnO. Mn^{2+} synes å substituere for Ca^{2+} i strukturen, som også viste et underskudd på REE, Ca og Mn, og ender opp med en empirisk formel: $\text{Ca}_{1,34}\text{Mn}_{1,07}\text{Y}_{2,75}\text{Ce}_{0,02}\text{Nd}_{0,02}\text{Sm}_{0,01}\text{Gd}_{0,01}\text{Dy}_{0,01}\text{Er}_{0,05}\text{Yb}_{0,15}\text{Al}_{0,94}\text{Fe}_{0,08}\text{Si}_{3,99}\text{B}_4\text{O}_{21,02}(\text{OH})_{2,98}$, og vi ser at Ca er noe høyere enn Mn. Endeledet kan være $(\text{Mn,Ca})\text{REE}_4\text{Si}_4\text{B}_4\text{O}_{23}(\text{OH})$ med Ca:Mn = 1:1. Det ser imidlertid ut som om det er en substitusjonsbegrensning av Mn for Ca, siden Ca kan fylle sin posisjon 100 %, men i substitusjonen med Mn bare 50 %. Ifølge Hawthorne (2002): "Note that the occurrence of two heterovalent cations at a single site in the structure is in accord with the criteria for an end-member."

Det er gjort mange analyser. stort sett på litt uregelmessige, avlange, millimeterstore, rosabrunlige til rosagulige korn, oftest i assosiasjon med Ca-rik hingganitt-(Y) og Ce-rik epidot. Det er gjort mange analyser i etterkant, stort sett på irregulære, millimeter store, rosabrunlige til rosagulige korn. Vi trenger en krystallojemisk forklaring på denne begrensningen og håper fortsatt å finne en homogen krystall for en krystallstrukturanalyse.

Mineralet er et potensielt nytt mineral i hellanditt-gruppen, nemlig Mn-analogen til hellanditt-(Y), og arbeidet fortsetter. De foreløpige resultatene ble kort presentert Miyawaki *et al.* (2011), og en full beskrivelse ble gitt av Miyawaki *et al.* (2015).

Uedaitt-(Ce), $(\text{Mn}^{2+},\text{Ca})\text{CeAl}_2\text{Fe}^{2+}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{OH})$

Mineralet tilhører allanittgruppen og er originalbeskrevet fra Japan som knapt millimeterstore svarte krystaller. Materialet fra Heftetjern i Tørdal er langt større, og opptrer som flere cm lange, svarte, grove listeformete krystaller og krystallfragmenter (Kristiansen 2017). Det er umulig å skille det fra vanlig allanitt-(Ce) uten en kjemisk analyse. Uedaitt-(Ce) skiller seg fra allanitt ved at innholdet av Mn er større enn Ca, (atomer pr. formelenhet), og vi ender opp med en empirisk formel: $(\text{Mn}^{2+}_{0,59}\text{Ca}_{0,40}\text{Fe}^{2+}_{0,01})(\text{Ce}_{0,50}\text{La}_{0,19}\text{Nd}_{0,12}\text{Gd}_{0,03}\text{Dy}_{0,01}\text{Er}_{0,04}\text{Yb}_{0,04}\text{Ca}_{0,02})_{\Sigma=0,95}(\text{Al}_{0,78}\text{Fe}^{3+}_{0,22})\text{Al}_{0,99}\text{Fe}^{2+}_{1,00}\text{Si}_{3,02}\text{O}_{12}(\text{OH})$ (D. Nishio-Hamane, pers. medd. 2016).

Bohseitt, $\text{Ca}_4\text{Be}_4\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_4$

Det har lenge vært kjent at bavenitter viser store variasjoner i kjemisk sammensetning, særlig med hensyn på Be og Al. Lussier & Hawthorne (2011) publisert et stort arbeid om bavenitter hvor mange prøver fra ulike land ble analysert, inkludert to prøver fra Norge, se Tabell 2. I forkant av dette gjorde Henrik Friis flere undersøkelser og var klar over at en analyse av bavenitt fra Grønland, tidligere publisert av Petersen *et al.* (1995), viste betydelig høyere innholdet av Be enn Al enn bavenitter generelt. Dette materialet ble avbildet av Johnsen (2002) som bavenitt, men Friis *et al.* (2010) foreslo navnet bohseitt. Først i fjor kom originalbeskrivelsen av bohseitt (Szeleg *et al.* 2017) basert i hovedsak på funn fra Polen hvor mineralet er et omvandlingsprodukt etter beryll. Vi får en blandingsrekke mellom bavenitt $\text{Ca}_4\text{Be}_2\text{Si}_9\text{Al}_2\text{O}_{26}(\text{OH})_2$ og bohseitt $\text{Ca}_4\text{Be}_4\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_4$, hvor sistnevnte er endeledet uten Al. Grensen ligger på 3 Be apfu (atomer pr formelenhet); bavenitt under 3; bohseitt over 3.

"Bavenitt" ble funnet på Heftetjern allerede på 90-tallet i flotte hvite til gulhvite vifter på flere cm som omvandlingsprodukt etter beryll. Senere fant jeg "bavenitt" i Høydalen i Tørdal, hvor den opptrer som en sendannet fase som hvite eller brunlige vifter eller fibrøse masser i hulrom i feltspat opp til 1 cm. Begge disse er analysert i Canada og viser som følger: Høydalen: 3,54 Be apfu, Heftetjern: 3,49 Be apfu. Med andre ord, begge er bohseitter. "Bavenitt" fra Grønland (Petersen *et al.* 1995) viste 3,52 Be apfu, mens det polske viste maks. 3,77 Be apfu. Dette er hittil den høyeste konsentrasjonen og det nærmeste man kommer endeledet, d.v.s. 4 Be apfu.

Av det som tidligere er identifisert som bavenitter i Norge er bare de fire ovennevnte bekreftet, som henholdsvis bohseitt og bavenitt. Bavenitter er kjent fra flere lokaliteter i Iveland, fra Drag i Tysfjord, såvel som det første funn av bavenitt i Norge, nemlig Nordre Boksjø ved Aspedammen i Østfold (Neumann & Sverdrup 1959). Sistnevnte er en Al-rik pegmatitt, hvor vi bl.a. gjorde det første funn av pumpellyitt-Al i Norge (Kristiansen 2008). Foruten de nevnte er det flere funn av "bavenitter" fra de nefelinsyenittiske pegmatittene i Larvik plutonkompleks (LPK). Siden utbredelsen og diversiteten av berylliumminerale er mangfoldig i LPK hadde det vært svært interessant å få analysert disse. Og det holder egentlig med å bestemme Al-innholdet siden lite Al indikerer høyt Be, d.v.s. bohseitt.

Tabell 2. Verifiserte bavenitter fra Norge (fra Lussier & Hawthorne 2009).
Analysene er angitt i vekt-%.

	Himberg, Vestfold	RV 134, Drammen
CaO	24,44	24,01
Al ₂ O ₃	7,50	9,19
SiO ₂	58,81	58,97
BeO	7,27	6,25
Na ₂ O	0,06	0,06
H ₂ O	2,62	2,31
	Ca ₄ Be _{2,667} Al _{1,351}	Ca ₄ Be _{2,301} Al _{1,66}
<i>a</i> (Å)	23,295	23,2043
<i>b</i> (Å)	4,9986	5,0005
<i>c</i> (Å)	19,4375	19442
<i>V</i> (Å ³)	2254,6	2255,98

Scandiumholdig schörl

Turmalin er bare påtruffet i to små prøver i pegmatitten. På den ene prøven opptrer turmalin som mindre enn 1 mm store, sonerte, gråblå, avlange krystaller med en tynn, brun ytterkant, og delvis erstattet av kalifeltspat. Mikrosondeanalyser ga den empirisk formel:

$(\text{Na}_{0,786}\text{Ca}_{0,015})_{0,80}(\text{Fe}^{2+}_{2,11}\text{Ti}_{0,14}\text{Mn}_{0,11}\text{Sc}_{0,09}\text{Mg}_{0,04}\text{Al}_{0,01})_{2,51}\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3(\text{OH})$ (Franz Bernhard, pers. medd. 2006). Bor og H₂O er ikke bestemt. Det mest interessante er et betydelig innhold av scandium, et element som knapt er påvist i turmaliner tidligere. Innholdet varierer fra 0,12 – 0,60 vekt-% Sc₂O₃, og er trolig den høyeste konsentrasjonen som hittil er funnet. Čopjaková *et al.* (2015) beskriver Sc-REE-rike turmaliner fra Kracovice pegmatitten i Tsjekia i en NYF+LCT pegmatitt med 16 - 364 ppm Sc i Al-rik schörl, i tillegg til REE-førende epidot med opptil 3,26 vekt-% Sc₂O₃. Sistnevnte sies å være det høyeste innhold som er påvist i noen epidot. Men vi har funnet høyere i Ce-rike epidoter fra Heftetjern, se nedenfor. Uwe Kolitsch (pers. medd. 2016) har utført enkrystalloptak av turmalinen og fant celleparameterne $a = 15.99$ (Å), $c = 7.22$ (Å).

Cerium-scandium-rike epidoter

Et av de første mineralene som ble funnet i pegmatitten var nydelige krystallgrupper av et epidot-liknende mineral på druserom og er derved et sendannet mineral. Mineralet opptrer som plateformete, sammenvokste, transparente krystaller i varierende farger fra grå, gråbrune, rødlig til brune. Enkeltkrystaller overstiger ikke mer enn et par millimeter i lengde, men kan forekomme i centimeterstore grupper. Kjemien ble sjekket på forskjellige fargevarianter og de fleste viste dominerende Ce og La, men ikke tilstrekkelig til å være allanitt-(Ce). Innledningsvis ble det analysert en rekke prøver med EDS-SEM, som også viste betydelige mengder Sc, fra 0,5 vekt-% til ca. 5 vekt-% Sc₂O₃ (Fig. 2).



Fig. 2. Cerium-scandium-rik epidot. Aggregatet er ca. 0,5 mm langt.

For et år siden fikk jeg en henvendelse fra ass. prof. ved universitetet i Yamaguchi, Mariko Nagashima, som er en av de fremste på epidotgruppens mineraler. Hun ville gjerne få prøver og analysere epidotene, og vi innledet et samarbeid, som skulle vise seg å bli fruktbart. Men ikke uten problemer. Enda større variasjoner fremkom etter at det ble laget tynnslip av enkeltkrystaller, som viste soneringer på mikrometernivå. Det var således veldig vanskelig å finne homogene enkrystaller for å gjøre strukturanalyser. Under tiden er det gjort mange mikrosondeanalyser, og det ble også påvist betydelig mengder av Sn (opptil 2,6 vekt-% SnO₂). Dette bekrefter at Sn er ganske utbredt i pegmatitten og inngår i kristiansenitt, titanitt, scandiumholdig ixiolitt, thortveititt, mikrolitt-pyroklor-gruppemineraler, heftetjernitt og ikke å forglemme kassiteritt.

Det ble virkelig interessant da det ble funnet sonerte krystaller med over 8,3 vekt-% Sc₂O₃, som betyr at vi har et nytt mineral med ca. 0,65 Sc apfu. Problemet er fortsatt at vi ikke har funnet en stor nok homogen krystall for strukturbestemmelse. Vi har undersøkt og analysert ganske mange prøver, og håper å finne en brukbar krystall. Mange har prøver av dette mineralet, men uten mikrosondeanalyser må man kalle mineralet Ce-holdig epidot.

I følge Nagashima har REE-rike epidoter/allanitter nesten ikke sjanse til å oppta Sc på grunn av balansen mellom Fe og REE. For å få dannet en epidot med høyt Sc må vi finne en REE/Fe-fattig epidot som eneste muligheten. Hennes fokus er nå rettet mot scandiums oppførsel i krystallstrukturen og dannelsesprosessen. Det konstateres at dette er de mest komplekse epidoter hun har undersøkt i verden. Videre arbeid pågår med flere av hennes studenter.

Triklin titanitt, CaTi(SiO₄)O, eller žabińskiitt(?)

Titanitt var et av de første mineralene som ble funnet i pegmatitten. Det opptrer som et sendannet mineral i velutviklede krystaller, vanligvis 1 - 2 mm store, med store fargevariasjoner, fra fargeløs til gul, blek grønn, men oftest gråblå til blå. Krystallene kan være plateformet, spydformet, kuleformet eller tilnærmet oktaedriske.



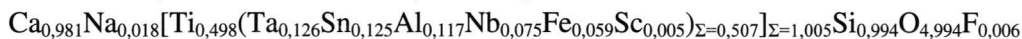
Fig. 3. Krystallaggregat (1 mm lang) av triklin titanitt. Foto: R. Kristiansen.

Titanitt har vanligvis en enkel formel, $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$, uansett farge og morfologi, men titan kan erstattes av andre kationer. Vi fikk tidlig indikasjoner på substituerende elementer som Ta, Nb, Sn, Al, og Sc, som går inn for Ti. Ca kan substitueres med litt Na. Det var Černý *et al.* (1995) som antydte et mulig nytt mineral hvor Ti kunne substitueres med Al, Ta, Nb, Fe, slik at Ti vil bli $< 0,5$ apfu. Mange titanitter er analysert rundt om i verden gjennom årene, og analysene viser ulike substitusjoner, men uansett er $\text{Ti} > 0,5$ og mineralene er monokline.

I 2008-2009 påtok professor Lee Groat ved University of British Columbia (UBC) å analysere en rekke norske titanitter jeg plukket ut. Det ble ganske mange analyser og de fleste hadde normal sammensetning, bortsett fra prøver fra Heftejern. Omtrent samtidig ble en tilfeldig prøve fra Heftejern gjenstand for strukturanalyse (University of Manitoba). Prøven hadde allerede gitt indikasjoner på betydelig substitusjoner. Den viste seg å være triklin, mens vanlig titanitt er monoklin. Men fortsatt var $\text{Ti} > 0,5$ apfu, tross betydelige mengder Ta, Nb, Sn, Sc. og Al. Det ble ikke et nytt mineral, men et nytt interessant strukturelt objekt, og resultatene ble publisert av Lussier *et al.* (2009) med følgende empiriske formel: $\text{Ca}[(\text{Ti}+\text{Sn})_{0,70}(\text{Al}+\text{Fe}^{3+})_{0,18}(\text{Ta}+\text{Nb})_{0,12}]_{\Sigma=1,00}(\text{SiO}_4)(\text{O},\text{OH})$ eller $\text{Ca}[\text{Ti}_{0,62}\text{Ta}_{0,11}\text{Nb}_{0,02}\text{Al}_{0,14}\text{Fe}^{3+}_{0,05}\text{Sn}_{0,08}]_{\Sigma=1,012}(\text{SiO}_4)\text{O}$.

Pieczka *et al.* (2017) beskrev et nytt mineral som ble funnet i en pegmatitt fra Pilawa Górna i Polen: žabińskiitt. Minerallet er isostrukturelt med vår triklone titanitt, men her er de substituerende elementene $> \text{Ti}$, og vi får et mineral med en ideell formel $\text{Ca}(\text{Al}_{0,5}\text{Ta}_{0,5})(\text{SiO}_4)\text{O}$, mens den titanholdige žabińskiitten har formelen $\text{Ca}(\text{Ti}_{0,46}\text{Al}_{0,27}\text{Ta}_{0,15}\text{Nb}_{0,09}\text{Fe}^{3+}_{0,02})_{\Sigma=0,99}\text{SiO}_4(\text{O}_{0,95}\text{F}_{0,05})$. Minerallet forekommer som inhomogene aggregater som sprekkefyllinger i zirkon sammenvokst med euxenitt-(Y) og polykras-(Y) og blir å betrakte nærmest som en eksolvert fase. Žabińskiitt-titanitt aggregatene er ca. 0,1 mm store, mens individuelle korn bare er 25 μm lange. I motsetning til dette opptrer alltid titanittene på Heftejern som krystaller, men vi vet ikke så mye hvor homogene de er eller om de er sonerte, slik andre sendannede mineraler er i forekomsten.

I etterkant av beskrivelsen av žabińskiitt har jeg gått igjennom de gamle analysene på nytt, og funnet en prøve som er beskrevet som dyp grå og massiv sammen med kristiansenitt, merket H04/01 (analysert ved UBC), som gir en empirisk formel:



Allerede i 2001 ble den samme prøven analysert (F. Bernhard, pers. medd. 2001), og som uavhengig av UBC ga en empirisk formel: $\text{Ca}_{0,82}\text{Na}_{0,04}[\text{Ti}_{0,46}(\text{Ta}_{0,15}\text{Sn}_{0,12}\text{Al}_{0,10}\text{Nb}_{0,09}\text{Fe}_{0,0}\text{Sc}_{0,01})]_{\Sigma=0,98}\text{Si}_{0,1,06}\text{O}_5$.

Så det kan faktisk se ut til at vi også har žabińskiitt på Heftejern. Analyser for ulike titanitter fra Heftejern er vist i Tabell 3.

Lussier *et al.* (2009) har allerede diskutert hvorfor vår titanitt ble triklin og at det ikke bare er den kjemiske sammensetningen alene som er opphavet, men at både temperatur og andre fysikalske faktorer kan spille en betydelig rolle. På Heftejern er den et sendannet mineral og sannsynligvis ved lav temperatur. London (2008) har diskutert feltspatens ekvilibriumtemperatur i granittpegmatitter og det synes å indikere temperaturer i området 350° - 460° C, som kanskje er maksimum krystallisasjonstemperatur for triklin titanitt i pegmatitten.

Pieczka *et al.* (2017) og Lussier *et al.* (2009) mente at overgangen fra monoklin til triklin i de Al-Ta-Nb-rike titanittene og žabińskiitt i trolig er temperaturrelatert og at de i disse pegmatittene har krystallisert ved relativt lav temperatur. Derfor er žabińskiitt et naturlig bevis på at lavtemperatur krystalliseringen fremkaller triklone mineraler med Ta og Nb ordnet, og at bare substitusjonen $(\text{Al},\text{Fe})^{3+} + (\text{Ta},\text{Nb})^{5+} > 2\text{Ti}^{4+}$ gir opphav til triklin titanitt under rette betingelser.

Tabell 3. Analyser (angitt i vekt-%) av triklina titanitter fra Heftetjern.

	Lussier <i>et al.</i> (2009)	UBC	Techn. Univ. Graz
CaO	26,10	24,12	19,23
Na ₂ O	0,17	0,24	0,49
TiO ₂	23,33	17,31	15,41
Al ₂ O ₃	3,27	2,61	2,18
Fe ₂ O ₃	1,74	2,07	1,52
Ta ₂ O ₅	10,88	12,22	14,17
Nb ₂ O ₅	1,15	4,34	5,00
SnO ₂	5,87	8,26	7,32
Sc ₂ O ₃	0,17	0,15	0,30
SiO ₂	28,12	26,23	26,62
H ₂ O	0,25	-	-
F	-	0,05	-

Triklin Ca-B-rik hingganitt-(Y), (REE,Ca)₂(□,Fe)(Be,B)₂Si₂O₈[(OH)O]₂

Hingganitt-(Y) er en av de aller første REE-mineralene som ble funnet i pegmatitten. Mineraliet er svært variabelt i kjemisk sammensetning, morfologi og farge. Spesielt en type er relativt vanlig i enkelte parageneser, men har vært problematisk å undersøke. Den aktuelle hingganitten forekommer i hulrom i feltspat og er tydeligvis dannet etter omvandling og utluting av et primært mineral som kan være gadolinitt-(Y). Disse hulrommene er svært mineralrike med bl.a. Mn-rik hellanditt-(Y), REE-scandium-rike epidoter, kristiansenitt, titanitt, 2. generasjon kvartskrystaller, flusspat, sen-dannet granat og fargeløse til svak gule, plateformete krystaller i aggregater eller nydelige grupper (Fig. 4 og 5). De sistnevnte ble først bestemt som hingganitt-(Y), men har et betydelig Ca-innhold, som varierer fra ca. 8 vekt-% til 16 vekt-% CaO. Teoretisk skal hingganitt-(Y) ikke inneholde Ca. Innledningsvis kan man tenke seg et mineral relatert til minasgeraisitt-(Y).

I 2017 ble det etablert et samarbeid mellom University of Manitoba i Canada og National Science Museum i Tokyo, Japan. Prøver har tidligere blitt sendt til begge og de har jobbet uavhengige av hverandre; i Japan vesentlig med kjemiske analyser (EMPA) og i Canada hovedsakelig med strukturanalyse. Underveis har man løst strukturen til minasgeraisite-(Y) fra Brasil (Cooper & Hawthorne, under trykking), som viste seg å være triklin, og ikke monoklin som tidligere beskrevet (Foord *et al.* 1986). I Canada fant man at hingganitten fra Heftetjern også viste seg å være triklin og vi trodde en stund at det norske mineraliet var minasgeraisitt-(Y). Parallelle undersøkelser i Japan på samme type materiale var litt motstridende, idet de mente at deres analyser viste at krystallene var monokline, men de bekreftet samtidig store variasjoner i Ca-innholdet i tillegg til at B substituerer for Be i større eller mindre grad. Dette har innvirkning på symmetrien og romgruppen og derved vanskelig å skille mellom monoklin og triklin.

Den Ca-B-Fe-rike hingganitten ligger kjemisk mellom hingganitt og datolitt, og viser en interessant korrelasjon mellom Ca og B. Substitusjonen $REE^{3+} + Be^{2+} \rightleftharpoons Ca^{2+} + B^{3+}$ kan forårsake noen avvik i bindingsavstandene i strukturen. Ved å eksperimentere og forbedre strukturen i romgruppene $P2_1/c$ og $P2_1$ og $P1$ indikerte dette at den korrekte romgruppen er triklin $P1$, men ikke for alle.

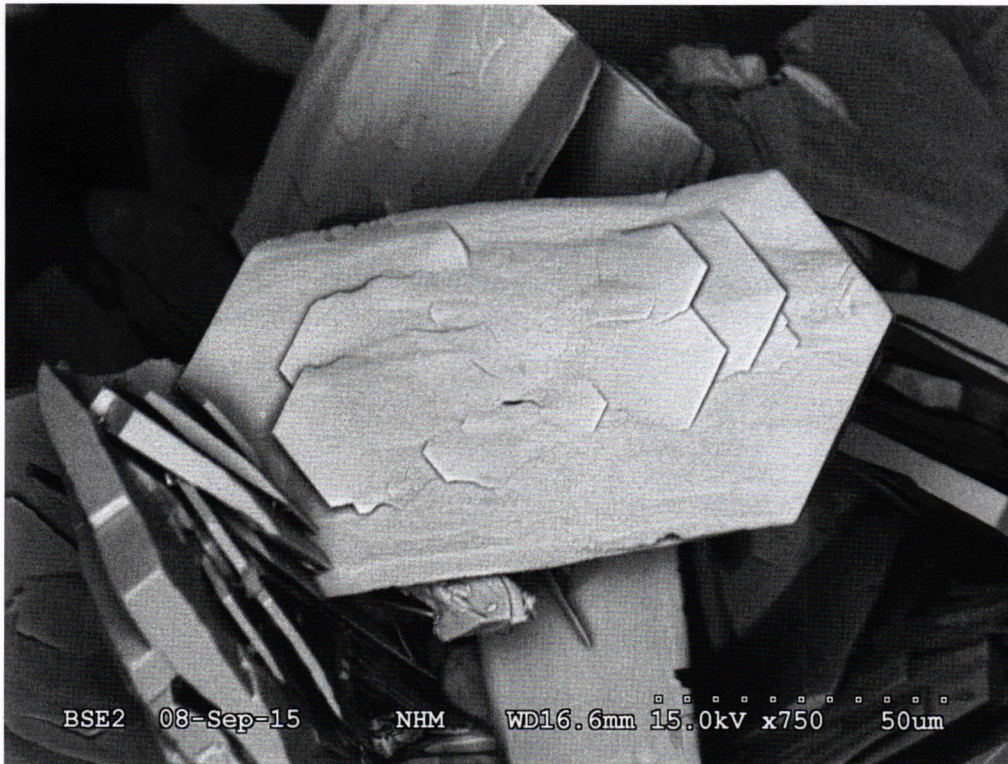


Fig. 4. Ca-B-rik hingganitt-(Y). Krystallen er ca. 0,1 mm lang.

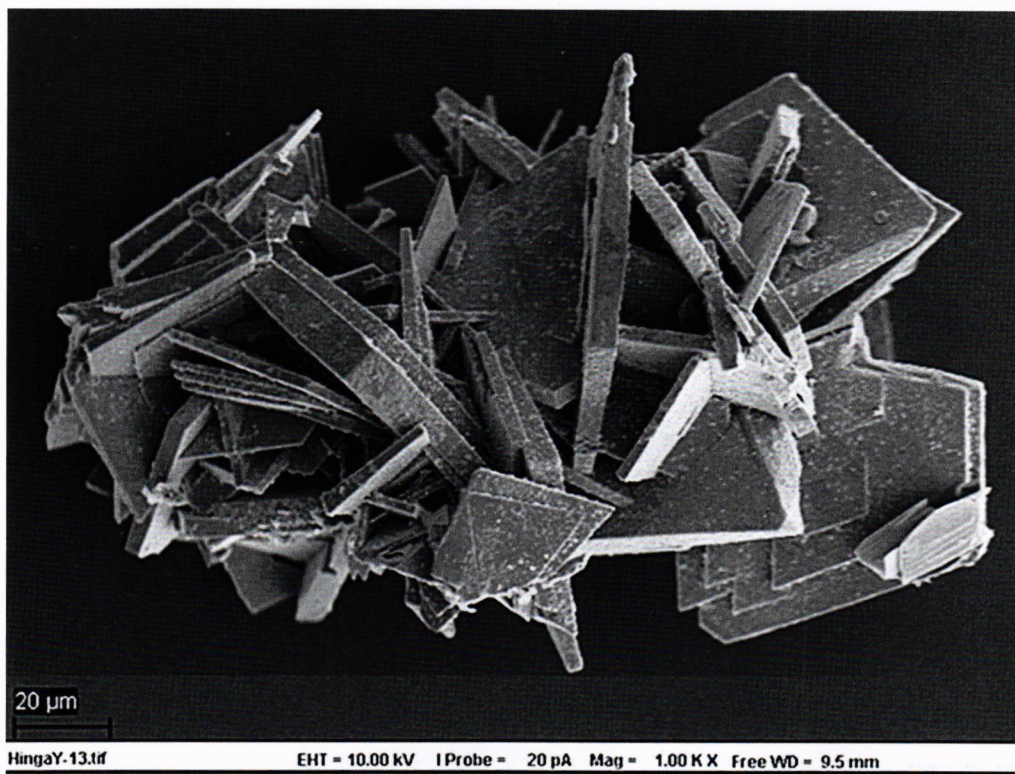


Fig. 5. Ca-B-rik hingganitt-(Y). Krystallaggregatet er ca. 0,2 mm langt.

Og to analyserte krystaller viser empiriske formler med følgende sammensetninger $Y_{1,08}Ln_{0,09}Ca_{0,70}Fe_{0,32}Be_{1,49}B_{0,51}Si_2O_{9,44}(OH)_{0,56}$ og $Y_{1,48}Ln_{0,40}Ca_{0,11}Fe_{0,32}Be_{1,94}B_{0,06}Si_2O_{9,44}(OH)_{1,31}$.

Samarbeidet i de to institusjonene er nå tilnærmet ferdig og de første resultatene ble nylig presentert av Miyawaki *et al.* (2018). En lengere artikkel er under forberedelse (Cooper *et al.*). Det synes som den Ca-rike hingganitt fra Heftetjern og minasgeraisitt-(Y) tilhører en ny subgruppe karakterisert med triklin symmetri med varierende dominerende kationer, som derfor vil kreve en ny klassifisering og trolig et eget unik species for den Ca-B-rike hingganitt. Med bakgrunn i disse observasjonene anbefales det at man re-undersøker kationorden i Ca-holdige hingganitter og gadolinitter, tidligere beskrevet som monokline $P2_1/c$ (Miyawaki *et al.* (2018)).

Hingganitt-(Ce), $(Ce,REE)_2(\square,Fe^{2+})Be_2[SiO_4]_2(OH)_2$

Hingganitt-(Ce) er et mineral som kun er funnet ved to anledninger i Norge, i motsetning til den kalsium-rike hingganitt-(Y), som er ganske utbredt på Heftetjern. Hingganitt-(Ce) er tidligere beskrevet fra Arent-bruddet i Tvedalen (Larsen 2010).

I et lite hulrom i feltspat ble det observert hvite, vifteformete eller massive aggregater under 1 mm store. Disse viser seg i SEM som fibrige eller bladige krystallmasser (Fig. 6). Minerallet er analysert og viser seg å være en Ca-holdig hingganitt-(Ce) sammenvokst med noe apatitt (N. Chukanov, pers. medd.). Den partielle analysen viser ≈ 25 vekt-% Ce_2O_3 , ≈ 6 vekt-% La_2O_3 , ≈ 5 vekt-% Nd_2O_3 .

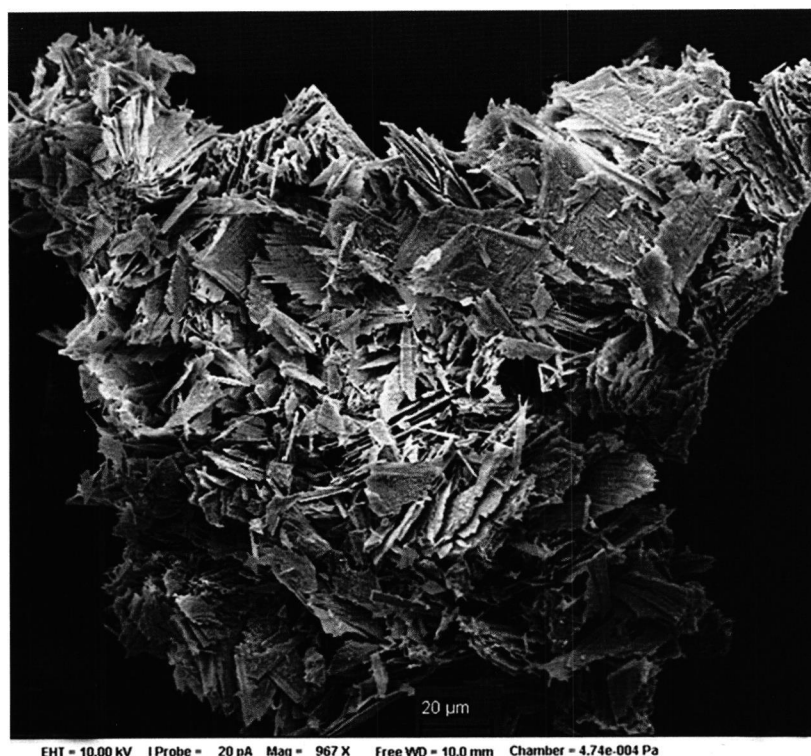


Fig. 6. Bladige krystaller av hingganitt-(Ce). Bildebredde ca. 0,2 mm.

Thortveititt, $\text{Sc}_2\text{Si}_2\text{O}_7$

Mineralet er funnet ved flere anledninger og opptrer i ulike former og farger såvel som i ulike parageneser. Thortveititt fra Heftejern ble først analysert og identifisert av Franz Bernhard (pers. medd. 2000) ved Technische Universität Graz, Østerrike. Flere analyser ble gjort på to polerte prøver, som viste seg å være en intim sammenvoksning av fire forskjellige scandiummineraler (Raade *et al.* 2004), en ganske unik og interessant konstellasjon med thortveititt, bazzitt, oftedalitt og kristiansenitt. Analyse av denne thortveititten er vist i Tabell 4, analyse 1. På den samme prøven forekommer også thortveititt som transparente, nåleformete, lysgrønne, 2 mm lange krystaller (Tabell 4, analyse 4). En annen prøve viser thortveititt som transparente, svak grønlige, 1-2 mm lange krystaller sammenvokst med kristiansenitt og bazzitt (Tabell 4, analyse 2).

I 2015 fant jeg en liten, vakker rødgul, transparent, 2 mm lang, prismatisk krystall i et hulrom i feltspat sammen med flotte krystaller av scandiobabingtonitt. Dette viste seg å være thortveititt, men hvor scandium er betydelig substituert med Y, Yb og Gd, noe som heller ikke er helt uvanlig (Tabell 4, analyse 3).

På tre feltspatstuffer som opprinnelig hadde hørt sammen, befant det seg flere kvadratcentimeter store partier med gyldenbrun stilpnomelan hvor grågule, 2-4 mm avlange, grumsete krystaller av thortveititt var innleiret på kryss og tvers (Fig. 7). De ga et komplekst og noe forvirrende enkrystalldiffraktometeropptak som skyldes tvillingdannelse; ikke helt uvanlig i følge Uwe Kolitsch (pers. medd. 2008). Denne er ikke kjemisk analysert.



Fig. 7. Grågule krystaller av thortveititt i stilpnomelan. Bildebredde ca. 2 cm.

Knut Edvard Larsen fant for noen år siden en mikropørve med en liten gruppe hvite krystaller i et hulrom. Dette viste seg som spydformete krystaller, nærmest som et "pinnsvin", og ble identifisert som thortveititt av Alf Olav Larsen (Fig. 8). Mineraliet inneholdt også Sn. Raade *et al.* (2004) fant betydelige mengder Sn i thortveititt, hvilket også de andre prøvene oppviser. Det balanserer bra med Mn i følge substitusjonen $2\text{Sn}^{3+} \rightleftharpoons \text{Sn}^{4+} + \text{Mn}^{2+}$. Dette ble vist allerede av Oftedal (1969) og Raade *et al.* (2004). Sn-rik thortveititt er også beskrevet fra Baveno i Italia, hvor mineraliet inneholder opptil 3,2 vekt-% Sc_2O_3 (Guastoni *et al.* 2012).

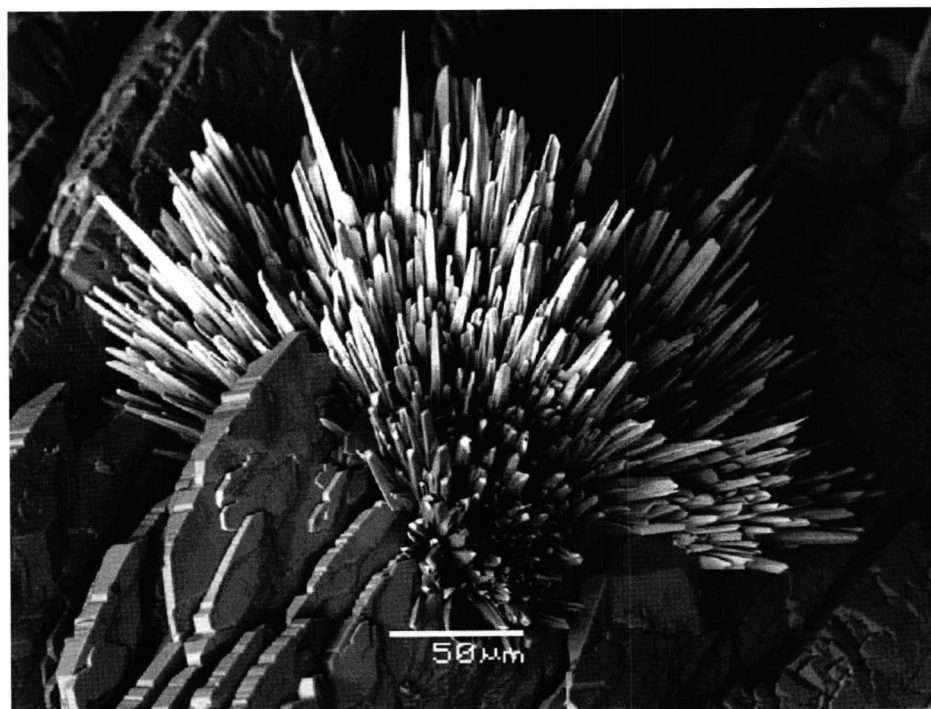


Fig. 8. Nålfornede krystaller av thortveititt. Bildebredde ca. 0,4 mm.

Tabell 4. Analyser (angitt i vekt-%) av ulike thortveititter fra Hefstetjern-pegmatitten.

	1	2	3	4
Sc_2O_3	46,76	46,46	34,37	50,85
Y_2O_3	1,78	1,85	4,58	0,79
Yb_2O_3	-	-	6,73	-
Gd_2O_3	-	-	2,73	-
SnO_2	3,64	4,47	2,94	1,36
MnO	1,74	2,1	1,74	0,90
Al_2O_3	0,04	-	-	<0,21
SiO_2	44,36	45,01	44,50	45,06
$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$	0,99	-	0,61	0,40

Takk

En stor takk til ulike samarbeidspartnere i Canada, Japan, Østerrike og Norge.

Referanser

- Černý, P., Novák, M. & Chapman, R. (1995): The Al(Nb,Ti)₂ substitution in titanite, the emergence of a new species? *Mineralogy and Petrology* **52**, 61-73.
- Bačík, P., Miyawaki, R., Atencio, D., Camara, F. & Fridrichová, J. (2017): Nomenclature of the gadolinite supergroup. *European Journal of Mineralogy* **28**, 1067-1082.
- Chukanov, N.V., Aksenov, S.A., Rastsvetaeva, R.K., Kristiansen, R., Pekov, I.V., Belakovskiy, D.I., Van, K.V., Bychkova, Y.V. & Britvin, S.N. (2017): Crystal structure of the OH-dominant gadolinite-(Y) analogue (Y,Ca)₂(Fe,□)Be₂Si₂O₈(OH,O)₂ from Heftetjern pegmatite, Norway. *Acta Crystallographica* **B73**, 899-906.
- Čopjakova, R., Škoda, R., Galikova, M.G., Novák, M. & Cempírek, J. (2015): Sc-and REE-rich tourmaline replaced by Sc-rich REE-bearing epidote-group mineral from the mixed (NYF+LCT) Kracovice pegmatite (Moladanubian Zone, Czech Republic). *American Mineralogist* **100**, 1434-1451.
- Foord, E.E., Gaines, R.V., Crock, J.G., Simmons jr., W.B. & Barbosa, C.P. (1986): Minasgeraisite, a new member of the gadolinite group from Minas Gerais, Brazil. *American Mineralogist* **71**, 603-607.
- Friis, H., Makovicky, E., Weller, M.-T. & Lemée-Cailleau, M.-H. (2010): Bohseite, IMA 2010-026, CNMNC Newsletter, 2010. *Mineralogical Magazine* **74**, 800.
- Guastoni, A., Nestola, F., Ferraris, C. & Parodi, G. (2012): Xenotime-(Y) and Sn-rich thortveitite in miarolitic pegmatites from Baveno, Southern Alps, Italy. *Mineralogical Magazine* **76**, 761-767.
- Hawthorne, F. (2002): The use of end-member charge-arrangements in defining new mineral species and heterovalent substitutions in complex minerals. *The Canadian Mineralogist* **40**, 699-710.
- Johnsen, O. (2002): *Photographic guide to minerals of the world*. Oxford University Press. 439 sider.
- Larsen, A.O. (ed.) (2010): *The Langesundsfjord. History, Geology, Pegmatites, Minerals*. Bode Verlag GmbH, Salzhemmendorf, Germany. 239 sider.
- Kristiansen, R. (2008): Nye mineralfunn i Norge. *Stein* **35**, 17-21.
- Kristiansen, R. (2009): A unique assemblage of scandium-bearing minerals from the Heftetjern-pegmatite, Tørdal, south Norway. *Norsk Bergverksmuseum Skrift* **41**, 75-104.
- Kristiansen, R. (2010): Heftetjernitt og triklin titanitt fra Heftetjern i Tørdal. *Stein* **37**, 20-22.
- Kristiansen, R. (2017). Fire nye mineraler for Norge. *Stein* **44**, 24-27.
- London, D. (2008): *Pegmatites*. The Canadian Mineralogist. Special publication 10. 347 sider.
- Lussier, A. J. & Hawthorne, F.C. (2011): Short-range constraints on chemical and structural variations in bavenite. *Mineralogical Magazine* **75**, 213-239.

- Lussier, A.J., Cooper, M.A., Hawthorne, F.C. & Kristiansen, R. (2009): Triclinic titanite from the Heftetjern granitic pegmatite, Tørdal, southern Norway. *Mineralogical Magazine* **73**, 709-722.
- Miyawaki, R., Momma, K., Cooper, M.A., Hawthorne, F.C. & Kristiansen, R. (2018): Refinements of crystal structure of hingganite-(Y): cation ordering and lowering symmetry. *Annual Meeting of Rare Earth Society of Japan* (japansk med engelsk sammendrag).
- Miyawaki, R., Momma, K., Yokoyama, K., Shigeoka, M., Matsubara, S., Ito, M., Nakai, I. & Kristiansen, R. (2011): Mn-bearing hellandite-(Y) from Telemark, Norway. *Abstracts of Annual Meeting of Japanese Association of Mineralogical Sciences 2011*, R1-P20, 1 s.
- Miyawaki, R., Momma, K., Yokoyama, K., Shigeoka, M., Matsubara, S., Ito, M., Nakai, I. & Kristiansen, R. (2015): Mn-bearing hellandite-(Y) from the Heftetjern pegmatite, Tørdal, Norway. *The Canadian Mineralogist* **53**, 345-356.
- Neumann, H. & Sverdrup, T.L. (1959): Contributions to the mineralogy of Norway. No.3. Bavenite from Boksjøen mineral mine, near Aspedammen in the county of Østfold. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **39**, 339-342.
- Oftedal, I. (1965): Über den Hellandit. *Tschermaks Mineralogische und Petrologische Mitteilungen* **10**, 125-129.
- Oftedal, I. (1969): On minor elements in thortveitite. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **49**, 77-79.
- Petersen, O.V., Micheelsen, H.I. & Leonardsen, E.S. (1995): Bavenite, $\text{Ca}_4\text{Be}_3\text{Al}[\text{Si}_9\text{O}_{25}(\text{OH})_3]$, from the Ilimaussaq alkaline complex, South Greenland. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte* **7**, 321-335
- Pieczka, A., Hawthorne, F.C., Ma, C., Rossman, G.R., Szełęg, E., Szuszkiewicz, A., Turniak, K., Nejbort, K., Ilnicki, S.S., Buffat, P. & Rutkowski, B. (2017): Żabińskiite, ideally $\text{Ca}(\text{Al}_{0.5}\text{Ta}_{0.5})(\text{SiO}_4)\text{O}$, a new mineral of the titanite group from the Piława Górna pegmatite, the Góry Sowie Block, southwestern Poland. *Mineralogical Magazine* **81**, 591-610.
- Raade, G. & Kristiansen, R. (2003): Scandium as a trace element in the Heftetjern pegmatite minerals. *International Symposium on the Mineralogy and Geochemistry of Scandium, University of Oslo, Abstracts and Proceedings* **2**, 36-37.
- Raade, G., Bernhard, F. & Ottolini, L. (2004): Replacement textures involving four scandium silicate minerals in the Heftetjern granitic pegmatite, Norway. *European Journal of Mineralogy* **16**, 945-950.
- Raade, G., Ferraris, G., Gula, A., Ivaldi, G. & Bernhard, F. (2002): Kristiansenite, a new calcium-scandium-tin-sorosilicate from granite pegmatite in Tørdal, Telemark, Norway. *Mineralogy and Petrology* **75**, 89-99.
- Szełęg, E., Zuzens, B., Hawthorne, F.C., Pieczka, A., Szuszkiewicz, A., Turniak, K., Nejbort, K., Ilnicki, S.S., Friis, H., Makovicky, E., Weller, M.T. & Lemée-Cailleau, M.-H. (2017): Bohseite, ideally $\text{Ca}_4\text{Be}_4\text{Si}_9\text{O}_{24}(\text{OH})_4$, from the Piława Górna quarry, the Góry Sowie Block, SW Poland. *Mineralogical Magazine* **81**, 35-46.