

Turmaliner i Norge

Alf Olav Larsen, Fred Steinar Nordrum og Haakon Austrheim

Abstract

52 old and new analyses of Norwegian tourmalines are presented. The occurrence of the rare tourmaline liddicoatite from Sandnessjøen is verified. The other light coloured tourmalines from the Li-rich granite pegmatites in Ågskaret, Sandnessjøen and Stord are elbaite. With a few exceptions, brown and black tourmalines from metasediments are dravite, those from hydrothermal quartz veins are also dravite, while those from granites, granite pegmatites and syenite pegmatites are schörl.

Innledning

Turmalin er fellesbetegnelsen på en gruppe borosilikatmineraler som omfatter 12 ulike species med den generelle formelen $XY_3Z_6(BO_3)_3T_6O_{18}(O,OH,F)_4$, hvor $X = Ca, Na, \square$; $Y = Al, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Li, Mn, Mg$; $Z = Al, Mg, Cr, Fe^{3+}$ og $T =$ hovedsakelig Si, sjeldnere Al (Tabell 1). I tillegg kan det inngå nevneverdige mengder K, Ti, Sr, Ba, Cu, Zn, V, Ni og Pb. Kompleksiteten innen turmalin-gruppens mineraler skyldes den omfattende graden av substitusjoner som tillates i mineralenes X-, Y- og Z-posisjoner. Selv ikke de 12 hittil beskrevne turmalinmineralene er tilstrekkelig til fullstendig å beskrive rekkevidden av allerede kjente sammensetninger, og i framtida vil det derfor ganske sikkert bli beskrevet nye mineraler innen turmalin-gruppen.

De vanligste mineralene i denne gruppen er elbaitt, dravitt, schörl og uvitt. Den mangfoldige substitusjon innen mineralgruppen medfører at rene endeledd er sjeldne. Meget ofte viser turmaliner sterkt sonering med to eller flere species innen samme krystall. Slike soneringer er spesielt vanlige og lett synlige i de lysfargede turmalinene.

Soneringsene kan være både aksialt og radialt, og er et utbredt fotoobjekt for den "kulørte" mineralpressen. Turmaliner opptrer i mange ulike typer forekomster, mest vanlig er granittpegmatitter, metamorfe kalk-silikatbergarter (skarn), meta-sedimenter og hydrotermale ertsforekomster.

Den mangfoldige kjemien til turmaliner og deres ensartede krystallografi gjør at det er få diagnostiske kennetegn for enkelt-species i denne gruppen. Derfor er kjemisk analyse en nødvendighet for å kunne navngi mineralene nøyaktig. Tidligere var dette et omfattende analysearbeid, men moderne teknikker har gjort det betydelig enklere. Alikevel vil man med XRF og EMP ikke kunne analysere H og Li, og B kun med betydelig usikkerhet. Man må da anvende beregnede verdier basert på antatt støkiometri. Beregning av strukturformler for mineraler i turmalin-gruppen kan derfor være en utfordring. Utstrakt grad av substituering i de ulike atomposisjonene og usikkerhet omkring valenstrinnene for Fe er de mest akutte vanskelighetene. Derfor vil turmaliners strukturformler i de fleste tilfeller kun være tilnærmet riktig.

Til tross for at turmaliner er nokså utbredt i mange typer bergarter og mineralforekomster, er det publisert svært få analyser av norske turmaliner. Neumann (1985) refererte bare til fire eldre analyser, men oppsummerte en lang rekke lokaliteter hvor identifikasjonen sannsynligvis var foretatt ved visuell inspeksjon eller optisk undersøkelse. I mange tilfeller dreier det seg om turmalin som et aksessorisk mineral i en bergart eller forekomst. Det er i det hele tatt foretatt få undersøkelser av norske turmaliner som kan ha interesse for mineralsamlere, men det finnes noen få unntak. Oftedal (1950) beskrev flarfargede turmaliner fra Ågskaret. Dunn et al.

(1977b) publiserte fem analyser av turmaliner fra Norge, og Eldjarn (1994) beskrev flerfargede turmaliner i uvitt-dravitt-rekken fra Asker. Det har vært vanlig å anta at sorte turmaliner er schørl, og dette er også den hyppigst opptrædende turmalinen. Imidlertid viser schørl ganske stor grad av substitusjoner og opptrer i overganger til dravitt. Fra

tidligere tider og ved nyfunn de senere tiårene kjennes mange lokaliteter av fargede turmaliner, særlig brune i ulike nyanser, men også grønne, blå og rosa. Det vil derfor være av stor generell interesse å bestemme den kjemiske sammensetningen av disse turmalinene, og derved få fastlagt de rette speciesnavn.

Tabell 1. Oversikt over turmaliner som er godkjent av IMA.

Species	X	Y ₃	Z ₆	
Schørl	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄
Dravitt	Na	Mg ₃	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄
Elbaitt	Na	Li _{1,5} Al _{1,5}	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH,F) ₄
Liddicoatitt	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH,F) ₄
Uvitt	Ca	Mg ₃	MgAl ₅	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄
Feruvitt	Ca	Fe ²⁺ ₃	MgAl ₅	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄
Olenitt	Na	Al ₃	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (O,OH) ₄
Buergeritt	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₂₁ F
Kromdravitt	Na	Mg ₃	Cr ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄
Povondraitt	Na	Fe ³⁺ ₃	Fe ³⁺ ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (O,OH) ₄
Foititt	□	Fe ²⁺ ₂ (Al, Fe ³⁺)	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄
Rossmannitt	□	LiAl ₂	Al ₆	(BO ₃) ₃ Si ₆ O ₁₈ (OH) ₄

Prøvetaking og kjemisk analyse

Turmalinprøvene er skaffet tilveie dels ved feltarbeid, dels ved donasjoner, og dels fra stuffer fra samlingene ved Norsk Bergverksmuseum og Mineralogisk-Geologisk Museum. En oversikt over analysematerialet er vist i Tabell 2.

Fra det foreliggende materialet er det plukket ut analysemateriale som er friskt og mest mulig fritt for inneslutninger, fortrinnsvis fra et begrenset område innen én krystall. Kjemisk sammensetning av de fleste turmalinene er bestemt ved hjelp av Philips PW2400 røntgenfluorescencespektrometer (XRF) og UniQuant semi-kvantitative beregningsprogram. Noen prøver er analysert ved hjelp av CAMECA elektronmikrosonde (EMP), og kvantifiseringen er basert på naturlige og syntetiske standarder. Li er bestemt i fem prøver ved hjelp av ICP-AAS etter oppslutning med Na₂CO₃-smelte. Beregning av konsentrasjonene av ikke-analyserte elementer (B, Li, H) og

beregning av strukturformler er hovedsakelig foretatt i henhold til prosedyrer gitt av Henry & Dutrow (1996). Analyseresultatene for de mørke turmalinene er vist i Tabell 3, mens analyseresultatene for de lyse turmalinene er vist i Tabell 4 og Tabell 5.

Resultatene for de brune til sorte turmalinene er presentert i det kvadrilaterale diagrammet uvitt-feruvitt-dravitt-schørl, definert av forholdene Fe/(Fe+Mg) i mineralenes Y-posisjon, og forholdet Ca/(Ca+Na) i mineralenes X-posisjon (Fig. 1). Resultatene for de Li-rike turmalinene er presentert i det kvadrilaterale diagrammet uvitt-dravitt-elbaitt-liddicoatitt, definert av forholdene Al/(Al+Mg) i mineralenes Y-posisjon, og forholdet Ca/(Ca+Na) i mineralenes X-posisjon (Fig. 2). Resultatene av XRF-analysene har en usikkerhet på anslagsvis ±5 rel.%. De viser god overenstemmelse med mikrosonde analysene.

Konklusjon

Brunne til sorte turmaliner

Med brune turmaliner menes turmaliner som eksteriørmessig er tydelige brune eller såpass mørkebrune at de synes å være sorte, men alikevel viser brunfarge i tynne splinter. Ikke uventet viser de det seg at nesten alle brune turmalinene er dravitter, men en brun turmalin (nr. 36) fra Løddesøl, Arendal er uvitt (Bugge 1945), og en fra Sandnessjøen (nr. 26) er schørl. Det er velkjent at det er en fullstendig blandbarhetsrekke mellom uvitt, dravitt og schørl. Dette kommer også klart fram av den foreliggende undersøkelsen (Fig. 1). Mange av dravittene har betydelig mol-andel av både uvitt, schørl og feruvitt.

Samtlige dravitter stammer fra forekomster i kalk-silikatbergarter og metasedimenter (område A i Fig. 1). De Mg-Ca-rike mineralene dravitt og uvitt gjenspeiler derfor sitt krystallisatorsmiljø. Tre turmaliner fra hydrotermale kvartsganger (nr. 4, 5 og 12) er også dravitter med en betydelig mol-andel av schørl.

Sorte turmaliner fra granittpegmatitter og syenittpegmatitter er hovedsakelig schørl, men mange av dem har en betydelig dravitt-uvitt-feruvitt-andel (område B i Fig. 1). Spesielt kan bemerkes at mørk rødbrun turmalin fra Havredal i Bamble (nr. 10) til tross for at den opptrer i en solsteinsførende granittpegmatitt er en ekte dravitt. Oppreten av kyanitt i denne pegmatitten tyder på en viss assimilering av omkringliggende metasedimenter, og derfor også tilstedeværelse av dravitt som et dominerende mineral i forekomsten. Sort turmalin fra nefelinsyenittpegmatitt i Treschow larvikittbrudd i Tvedalen (nr. 14), Tennvatn amazonitt-granittpegmatitt (nr. 16) og Stord Li-granittpegmatitt (nr. 19) er tilnærmet rene schørl-endeledd.

Lyse turmaliner

Lyse turmaliner opptrer vanligst i rosa, grønne, og blå farger. De fleste er normale elbaitter, det vil si at de har et natriuminnhold som er større enn

kalsiuminnholdet (Fig. 2). Dette gjelder rosa turmalin fra Stord, rosa turmalin fra Sandnessjøen og rosa, lys blå og grønn fra Ågskaret. Rosa turmalin fra Sandnessjøen (nr. 41 - 42) og grønn turmalin fra Ågskaret (nr. 38) har imidlertid et betydelig Ca-innhold. Dette gir en liddicoatitt-andel på inntil 30-40 mol-%. Det er dessuten typisk for elbaitt at den ofte har vakanser i X-positions. Dette indikerer en viss rossmannitt-andel (Pezzotta & Guastoni 1998; Selway et al. 1998). En type olivengrønn turmalin fra Sandnessjøen er en liddicoatitt. Kalsiuminnholdet er høyere enn natriuminnholdet.

En del av de lyse turmalinene fra Sandnessjøen og Ågskaret har et ganske høyt innhold av MnO (opp til 3,2 %). Li-rike granittpegmatitter med lyse turmaliner inneholder også mørke turmaliner. Disse faller innenfor schørlområdet i diagrammene.

Liddicoatitt

Liddicoatitt er en av de mer uvanlige turmalinene, og den ble første gang beskrevet fra Madagaskar av Dunn et al. (1977a). Senere er den påvist bl.a. i Tsjekkia (Novák & Selway 1997). Den olivengrønne liddicoatitten fra Sandnessjøen er den hittil eneste som er identifisert fra Norge, og blant de få som er beskrevet i verdensammenheng.

Liddicoatitten ble i denne undersøkelsen først bestemt ved XRF av utplukket materiale (nr. 43). Dernest ble en tilsynelatende homogen krystall og en visuelt synlig sonert krystall punktanalyseret med mikrosonde. Den ensartede krystallen var kjemisk ganske homogen. Den var en liddicoatitt, men med en meget høy andel av elbaitt (nr. 44). Den sonerte krystallen hadde en tynn randsone med en betydelig liddicoatittandel (nr. 45), men den falt likevel klart innenfor elbaitt-området. Mellomsonen hadde om lag like store liddicoatitt og elbaitt andeler, men falt så vidt innenfor elbaitt-området (nr. 46 og 47). Kjernen besto av uregelmessige områder med kalifeltspat og to typer turmalin, som skilte seg klart fra hverandre på back scatter electron image. Den ene

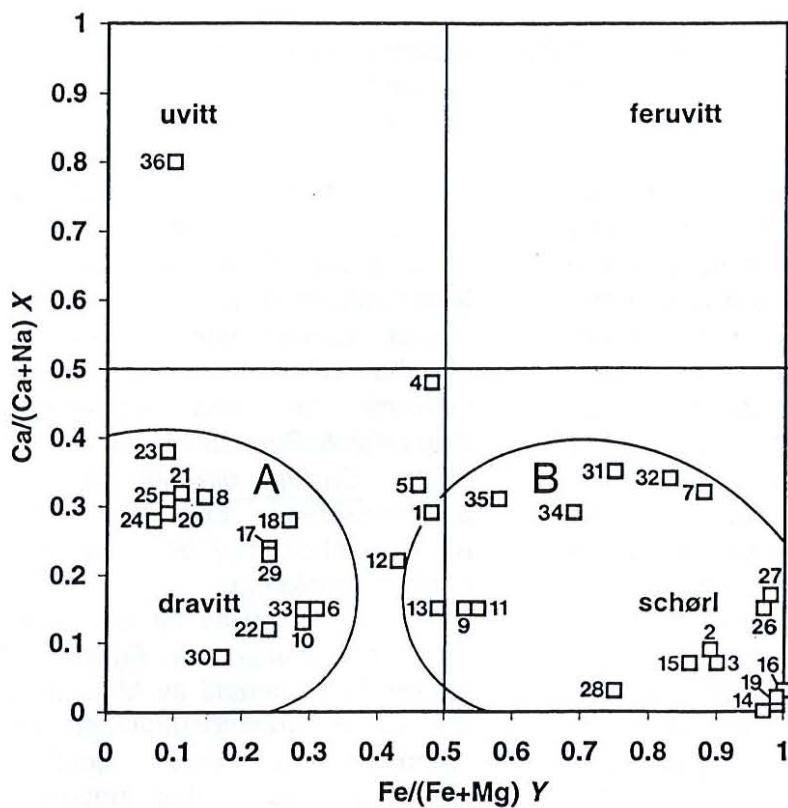


Fig. 1. Mørke turmaliner basert på $Ca/(Ca+Na)$ i X-posisjonen versus $Fe/(Fe+Mg)$ i Y-posisjonen. A angir turmaliner fra metasedimenter. B angir turmaliner fra pegmatitter. Nr. 4, 5 og 12 er turmaliner fra hydrotermale kvartsganger.

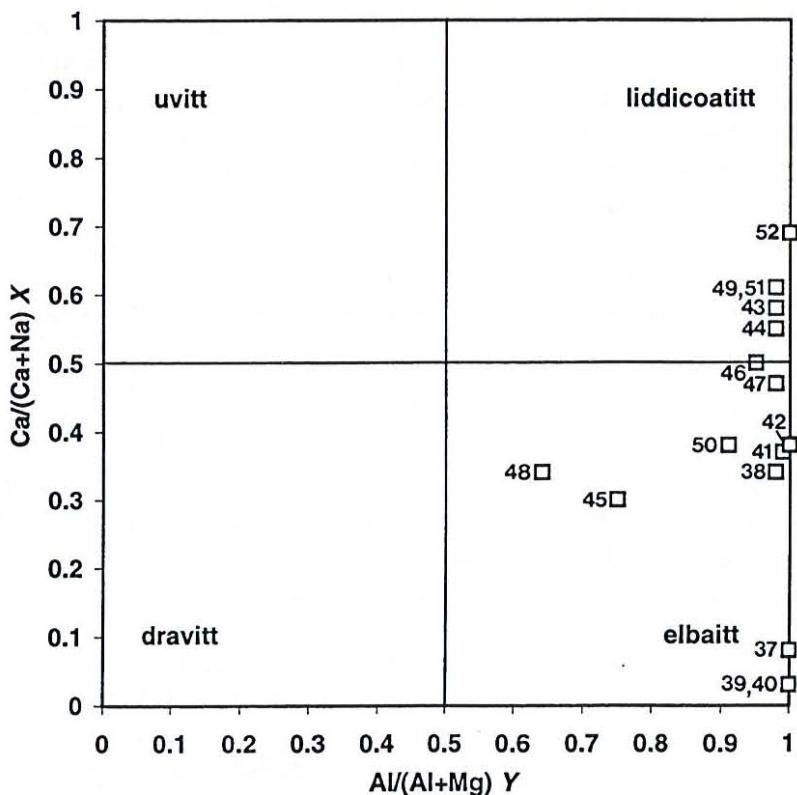


Fig. 2. Lyse turmaliner basert på $Ca/(Ca+Na)$ i X-posisjonen versus $Al/(Al+Mg)$ i Y-posisjonen.

var en elbaitt med en betydelig liddicoatittandel (nr. 48 og 50), den andre var en liddicoatitt med en betydelig men varierende elbaittandel (nr. 49, 51 og 52). Den analysen som gav høyest liddicoatittandel, hadde ca. 70 mol% liddicoatitt og 30 mol% elbaitt (nr. 52). Elbaitt fra randsonen og kjernen i den sonerte krystallen hadde markerte andeler av dravitt, mens elbaitt og liddicoatitt forøvrig hadde svært lave andeler av dravitt og uvitt.

En kort beskrivelse av den Li-rike granittpegmatitten i Sandnessjøen er gitt av Nordrum, Vestvik & Larsen (1999).

Takk

Gunnar Raade (Mineralogisk-Geologisk Museum, Oslo) har stilt til rådighet stuffer fra museets samlinger og gitt oss tillatelse til å benytte hans egne, tidligere upubliserte analyseresultater. Mange personer har bidratt med stuffer til denne undersøkelsen: Lisbeth Storhaug (Nikkel & Olivin AS), Rune Larsen (NGU), Terje Bjerksgård (NGU), Mogens Marker (NGU), Hans-Jørgen Berg (Oslo), Niels Abildgaard (Oslo), Birger Bastiansen (Dalen), Svein Stensrud (Drammen), Jon Vestvik (Sandnessjøen), Arne Karlsen (Sandnessjøen), Magne Greger (Sandnessjøen), Ståle Raunholm (Bergen), Ingulv Burvald (Stathelle) og William Hultgren (Skien). Rolf Johannessen (Norsk Hydros Forskningscenter, Porsgrunn) har utført Li-bestemmelsene av de lyse turmalinene. Frode Andersen og Rainer Bode har fotografert turmaliner for oss.

Vi skylder alle sammen en stor takk.

Referanser

Bugge, J. A. W. 1945: Løddesøl skarnforekomst. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 25, 35-47.

Dunn, P. J., Appleman, D., Nelen, J. A. 1977a: Liddicoatite, a new calcium end-member of the tourmaline group. *American Mineralogist*, 62, 1121-1124.

Dunn, P. J., Appleman, D., Nelen, J. A. & Norberg, J. 1977b: Uvite, a new (old) common member of the tourmaline group and its implications for collectors. *Mineralogical Record*, 8, 100-108.

Eldjarn, K. 1994: Uvitt-dravitt fra Borgenåsen, Asker. *Stein*, 21, 148-151.

Henry, D. J. & Dutrow, B. L. 1996: Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. I Grew, E. S. & Anovitz, L. M. (eds.): *Boron: Mineralogy, petrology and geochemistry*. Reviews in mineralogy, Vol. 33, 503-557. Mineralogical Society of America, Washington D. C.

Neumann, H. 1985: Norges mineraler. *Norges Geologiske Undersøkelse, Skrifter*, 68, 278 s.

Nordrum, F. S., Vestvik, J. & Larsen, A. O. 1999: Li-granittpegmatitten i Sandnessjøen. *Norsk Bergverksmuseum, Skrift* 15, 31-33.

Novák, M. & Selway, J. B. (eds.) 1997: *Symposium Tourmaline 1997, Field Trip Guidebook*. Moravian Museum Brno, 117 s.

Oftedal, I. 1950: En litiumførende granitt-pegmatitt i Nordland. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 28, 234-237.

Pezzotta, F. & Guastoni, A. 1998: Ein neues Mineral der Turmalin-Gruppe: Rossmanit aus Rozná (CR) und Elba (I). *Lapis*, 23, 38-40.

Selway, J. B., Novák, M., Hawthorne, F. C., Černý, P., Ottolini, L. & Kyser, T. K. 1998: Rossmanite, $\square(\text{LiAl}_2)\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$, a new alkali-deficient tourmaline: Description and crystal structure. *American Mineralogist*, 83, 896-900.

Tabell 2. Oversikt over turmalinene som er presentert i den foreliggende artikkelen.

Nr.	Lokalitet	Farge	Forekomsttype	Analyse
1	Snarum, Buskerud	Sort	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
2	Solberg, Drammen, Buskerud	Sort	Miarolittisk druse i granitt	EMP (GR)
3	Solberg, Drammen, Buskerud	Sort	Miarolittisk druse i granitt	XRF (AOL)
4	Kittilslandsås, Numedal, Buskerud	Sort	Hydrotermal kvartsgang	XRF (AOL)
5	Noretippen, Rødberg, Buskerud	Sort	Hydrotermal kvartsgang	XRF (AOL)
6	Bjordam, Bamble, Telemark	Sort	Cordieritt-turmalin-gneis	XRF (AOL)
7	Lindvikskollen, Kragerø, Telemark	Sort	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
8	Kammerfoss, Kragerø, Telemark	mørk brun	Metasediment	XRF (AOL)
9	Gofjell, Kragerø, Telemark	Sort	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
10	Havredal, Bamble, Telemark	dyp rødbrun	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
11	Soppekilen, Kragerø, Telemark	Sort	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
12	Eidsborg, Tokke, Telemark	mørk brun	Hydrotermal kvartsgang	XRF (AOL)
13	Rakkestad, Østfold	Sort	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
14	"Treschow", Tvedalen, Vestfold	Sort	Syenittpegmatitt	XRF (AOL)
15	Klåstad, Tjølling, Vestfold	Sort	Syenittpegmatitt	XRF (AOL)
16	Stord, Hordaland	Sort	Granittpegmatitt m/ cleavelanditt	XRF (AOL)
17	Arnesfjellet, Råna, Nordland	Sort	Granittpegmatitt m/ amazonitt	XRF (AOL)
18	Beiarn, Nordland	Sort	Kalksilikatbergart, metasediment	XRF (AOL)
19	Tennvatn, Nordland	Sort	Granittpegmatitt m/ amazonitt	XRF (AOL)
20	Bleikvassli, Nordland	Brun	Metasediment	XRF (AOL)
21	Bleikvassli, Nordland	Brun	Metasediment	XRF (AOL)
22	Grasvatn, Bleikvassli, Nordland	mørk brun	Metasediment	XRF (AOL)
23	Storakersvatn, Nordland	mørk brun	Metasediment	XRF (AOL)
24	Dønna, Nordland	Grønn	Metasediment	EMP (GR)
25	Dønna, Nordland	Brun	Metasediment	XRF (AOL)
26	Sandnessjøen, Nordland	Brun	Granittpegmatitt m/ cleavelanditt	EMP (GR)
27	Rånkjeipen, Nordland	Sort	Granittpegmatitt m/ amazonitt	XRF (AOL)
28	Grønnøy, Nordland	Sort	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
29	Vestpolltind, Nordland	Sort	Metasediment	EMP (GR)
30	Sørøya, Finnmark	mørk brun	Metasediment	XRF (AOL)
31	Snarum, Buskerud	Sort	Granittpegmatitt	Dunn et al. 1977
32	Snarum, Buskerud	Sort	Granittpegmatitt	Dunn et al. 1977
33	Bjordam, Bamble, Telemark	Sort	Cordieritt-turmalin-gneis	Dunn et al. 1977
34	"Fredriksvern"	Sort	?	Dunn et al. 1977
35	Kjenli, Arendal, Aust-Agder	Sort	Granittpegmatitt	Dunn et al. 1977
36	Løddesøl, Arendal, Aust-Agder	Brun	Skarnforekomst	Bugge 1945
37	Stord, Hordaland	Rosa	Granittpegmatitt m/ cleavelanditt	XRF (AOL)
38	Ågskaret, Holandsfjord, Nordland	Grønn	Granittpegmatitt m/ cleavelanditt	XRF (AOL)
39	Ågskaret, Holandsfjord, Nordland	lys blå	Granittpegmatitt m/ cleavelanditt	XRF (AOL)
40	Ågskaret, Holandsfjord, Nordland	Rosa	Granittpegmatitt m/ cleavelanditt	XRF (AOL)
41	Sandnessjøen, Nordland	Rosa	Granittpegmatitt	EMP (GR)
42	Sandnessjøen, Nordland	Rosa	Granittpegmatitt	EMP (GR)
43	Sandnessjøen, Nordland	Olivengrønn	Granittpegmatitt	XRF (AOL)
44	Sandnessjøen, Nordland	Olivengrønn	Granittpegmatitt	EMP(HA)
45-52	Sandnessjøen, Nordland (sonert krystall)	Olivengrønn i nyanser	Granittpegmatitt	EMP(HA)

* Overveiende sannsynlig feil stedsangivelse, antagelig fra en granittpegmatitt.

Tabell 3. Kjemisk sammensetning (partiell analyse) av mørke turmaliner. Atomproposjoner basert på $15 \Sigma (T+Z+Y)$. Prøvenummer som i Tabell 2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	36,5	35,5	35,2	36,0	35,9	37,4	34,5	37,4	36,3	37,3
TiO ₂	1,2	0,8	0,5	1,0	0,5	0,6	1,6	1,0	0,6	0,5
Al ₂ O ₃	28,5	26,9	26,2	27,5	29,1	29,6	23,9	32,1	29,9	30,4
FeO	9,2	18,5	18,3	9,1	9,4	6,3	16,7	3,0	10,6	6,0
MgO	6,8	4,4	4,0	7,4	7,0	9,0	5,5	9,3	5,7	8,8
MnO	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,2	<0,1
ZnO	<0,1	i.a.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
CaO	1,6	0,5	0,4	3,2	2,0	0,8	1,8	1,6	0,7	0,7
Na ₂ O	2,2	2,9	2,7	1,9	2,2	2,5	2,1	2,0	2,3	2,5
K ₂ O	0,4	i.a.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	0,1	<0,1
Total	86,4	89,5	87,3	86,1	86,1	86,2	86,4	86,4	86,4	86,2
 T - Si	6,16	5,93	6,03	6,15	6,06	6,14	6,00	6,07	6,08	6,11
Al	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-
Z - Al	5,67	5,22	5,27	5,54	5,79	5,72	4,90	6,00	5,90	5,86
Mg	0,33	0,78	0,73	0,46	0,21	0,27	1,10	-	0,10	0,14
Y - Ti	0,15	0,10	0,06	0,13	0,06	0,07	0,21	0,12	0,08	0,06
Al	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	-
Fe	1,30	2,58	2,61	1,30	1,33	0,86	2,43	0,41	1,49	0,82
Mg	1,38	0,32	0,29	1,42	1,55	1,93	0,33	2,25	1,32	2,01
Mn	-	-	-	-	-	-	0,03	-	0,03	-
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X - Ca	0,29	0,09	0,07	0,59	0,36	0,14	0,34	0,28	0,13	0,12
Na	0,72	0,94	0,90	0,63	0,72	0,80	0,71	0,63	0,75	0,79
K	0,09	-	-	-	-	-	0,02	-	0,02	-
 11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
SiO ₂	35,9	37,2	37,0	33,8	33,1	37,5	37,7	36,7	33,3	38,5
TiO ₂	0,6	0,5	0,8	0,5	1,6	<0,1	0,4	0,7	0,7	0,5
Al ₂ O ₃	30,4	29,4	32,3	29,0	29,9	34,6	31,8	30,6	28,2	32,3
FeO	11,1	8,6	8,9	19,0	15,7	10,8	4,7	5,6	20,2	1,8
MgO	5,2	7,3	5,2	0,6	1,8	<0,1	8,1	8,4	0,1	9,6
MnO	0,1	<0,1	0,1	0,3	0,8	1,5	<0,1	<0,1	0,4	<0,1
ZnO	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1	0,6	<0,1	<0,1	0,2	<0,1
CaO	0,7	1,1	0,7	<0,1	0,4	0,1	1,3	1,7	0,1	1,5
Na ₂ O	2,3	2,2	2,2	3,1	2,8	2,0	2,3	2,4	2,6	2,0
K ₂ O	0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	0,1
Total	86,4	86,2	87,4	86,4	86,2	87,1	86,3	86,1	85,9	86,3
 T - Si	6,03	6,18	6,10	5,93	5,77	6,32	6,18	6,08	5,90	6,23
Al	-	-	-	0,07	0,23	-	-	-	0,10	-
Z - Al	6,00	5,76	6,00	5,93	5,91	6,00	6,00	5,98	5,89	6,00
Mg	-	0,24	-	0,07	0,09	-	-	0,02	0,11*	-
Y - Ti	0,08	0,06	0,10	0,07	0,21	-	0,05	0,09	0,09	0,06
Al	0,02	-	0,28	-	-	0,87	0,15	-	-	0,16
Fe	1,56	1,19	1,23	2,79	2,29	1,52	0,64	0,78	2,89	0,24
Mg	1,30	1,57	1,28	0,09	0,38	-	1,98	2,06	0,03	2,31
Mn	0,01	-	0,01	0,04	0,12	0,21	-	-	0,06	-
Zn	-	-	-	0,01	0,01	0,07	-	-	0,03	-
X - Ca	0,13	0,20	0,12	-	0,07	0,02	0,23	0,30	0,02	0,26
Na	0,75	0,71	0,70	1,05	0,95	0,65	0,73	0,77	0,89	0,63
K	0,02	-	0,04	-	-	-	-	-	0,02	0,02

*Fe₂O₃

Tabell 3 (forts.). Kjemisk sammensetning (partiell analyse) av mørke turmaliner.
Atomproposjoner basert på $15 \Sigma(T+Z+Y)$. Prøvenummer som i Tabell 2.

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SiO ₂	37,1	37,5	37,1	37,6	38,5	36,6	37,4	36,0	35,1	38,6
TiO ₂	0,5	0,9	1,2	i.a.	0,3	0,4	0,3	0,2	i.a.	0,5
Al ₂ O ₃	33,4	32,9	32,1	32,1	32,4	37,4	29,9	32,9	31,6	34,0
FeO	2,0	4,6	1,7	1,5	1,7	6,5	15,4	13,4	4,4	3,0
MgO	9,1	7,8	9,4	10,4	9,8	0,1	0,2	2,4	8,0	8,3
MnO	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,0	0,3	0,2	0,2	<0,1
ZnO	0,2	0,1	<0,1	i.a.	<0,1	i.a.	1,3	0,1	i.a.	<0,1
CaO	1,6	0,6	2,1	1,2	1,5	0,9	0,7	0,1	0,9	0,4
Na ₂ O	1,9	2,3	1,9	1,7	1,9	2,8	1,9	2,4	1,7	2,5
K ₂ O	<0,1	<0,1	0,2	i.a.	<0,1	<0,1	0,1	0,1	i.a.	<0,1
Total	85,8	86,7	85,7	84,5	86,1	86,7	87,5	87,8	81,9	87,3

<i>T</i> - Si	6,03	6,08	6,10	6,12	6,21	6,24	6,43	6,00	5,97	6,16
Al	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-
<i>Z</i> - Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Mg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Y</i> - Ti	0,06	0,11	0,15	-	0,04	0,05	0,04	0,04	-	0,06
Al	0,40	0,29	0,22	0,16	0,16	1,47	0,06	0,46	0,31	0,40
Fe	0,27	0,62	0,23	0,20	0,23	0,93	2,21	1,87	0,63	0,40
Mg	2,21	1,89	2,30	2,52	2,36	0,03	0,05	0,60	2,03	1,98
Mn	-	-	-	-	-	0,29	0,04	0,03	0,03	-
Zn	0,02	0,01	-	-	-	-	0,17	0,01	-	-
<i>X</i> - Ca	0,28	0,10	0,37	0,21	0,26	0,16	0,13	0,02	0,17	0,07
Na	0,60	0,72	0,61	0,54	0,59	0,93	0,63	0,78	0,56	0,77
K	-	-	0,02	-	-	-	0,02	0,02	-	-

	31	32	33	34	35	36
SiO ₂	34,74	34,85	35,57	35,92	35,20	36,35
TiO ₂	1,29	1,36	0,51	1,18	0,63	1,45
Al ₂ O ₃	21,71	21,14	28,66	23,58	26,08	30,54
FeO	13,43	13,05	5,89	13,03	11,25	1,98
MgO	7,95	8,01	9,42	8,10	7,26	11,62
MnO	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	spor
ZnO	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
CaO	1,98	1,90	0,81	1,61	1,73	4,04
Na ₂ O	2,05	2,04	2,57	2,21	2,13	0,55
K ₂ O	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	0,12
Total	83,15	82,35	83,43	85,63	84,28	86,65

<i>T</i> - Si	6,18	6,25	6,02	6,15	6,09	5,90
Al	-	-	-	-	-	0,10
<i>Z</i> - Al	4,55	4,25	5,71	4,76	5,32	5,74
Mg	1,45	1,75	0,29	1,24	0,69	0,26
<i>Y</i> - Ti	0,17	0,18	0,06	0,15	0,08	0,18
Al	-	-	-	-	-	-
Fe	2,00	1,96	0,83	1,87	1,63	0,27
Mg	0,66	0,39	2,08	0,83	1,18	2,55
Mn	-	-	-	-	-	-
Zn	-	-	-	-	-	-
<i>X</i> - Ca	0,38	0,37	0,15	0,30	0,32	0,70
Na	0,71	0,71	0,84	0,73	0,71	0,17
K	-	-	-	-	-	0,02

Tabell 4. Kjemisk sammensetning av lyse turmaliner (38-42 kun partiell analyse). Atomproposjoner basert på $15 \Sigma(T+Z+Y)$. Prøvenummer som i Tabell 2.

	37	38	39	40	41	42
SiO ₂	39,0	37,0	37,2	37,6	38,0	37,7
TiO ₂	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
B ₂ O ₃	10,9*	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
Al ₂ O ₃	40,5	38,1	39,3	40,3	40,6	39,5
FeO	<0,1	2,9	0,8	0,3	0,2	<0,1
MgO	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
MnO	1,2	1,0	3,2	2,5	2,8	2,9
ZnO	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	i.a.	i.a.
Li ₂ O	1,6	1,7	1,7	1,8	1,6**	1,6**
CaO	0,3	1,8	0,1	0,1	2,0	1,9
Na ₂ O	1,8	1,9	2,4	2,3	1,9	1,7
K ₂ O	0,3	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
F	0,8	0,8	0,9	0,8	i.a.	i.a.
H ₂ O	3,4*	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.
-O=F	0,3	-	-	-	-	-
Total	99,2	85,7	85,6	85,7	87,2	85,3
<hr/>						
T - Si	6,21	6,01	5,95	5,96	6,01	6,08
Z - Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	-	-	-	-	-
Y - Ti	-	0,04	-	-	-	-
Al	1,60	1,29	1,41	1,52	1,57	1,51
Fe	-	0,39	0,11	0,04	0,03	-
Mg	-	0,02	-	-	0,02	-
Mn	0,16	0,14	0,43	0,34	0,38	0,40
Li	1,02	1,11	1,09	1,15	1,00	1,00
X - Ca	0,05	0,31	0,02	0,02	0,34	0,33
Na	0,56	0,60	0,74	0,71	0,58	0,53
K	0,06	0,02	-	-	-	-
F	0,40	-	-	-	-	-
OH	3,60	-	-	-	-	-

* Kalkulerte verdier basert på 3 atomprop. B og 4 atomprop. (OH+F)

** Kalkulerte verdier basert 1 atomprop. Li.

Tabell 5. Kjemisk sammensetning av turmalin fra Sandnessjøen (44-52 kun partiell analyse). Atomproposjoner basert på $15 \Sigma(T+Z+Y)$. Prøvenummer som i Tabell 2.

	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
SiO ₂	38,0	39,1	38,0	38,7	38,8	38,0	38,6	38,0	38,7	38,9
TiO ₂	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	<0,1	0,3	<0,1	0,1
B ₂ O ₃	10,7*	i.a.								
Al ₂ O ₃	37,0	39,1	36,8	37,7	38,6	36,2	39,2	37,3	39,0	39,5
FeO	0,9	0,8	2,0	1,9	1,1	2,7	0,6	2,3	0,5	0,1
MgO	0,1	0,1	1,2	0,2	0,1	1,8	0,1	0,4	0,1	<0,1
MnO	1,4	1,0	3,0	1,2	1,5	2,0	0,8	2,4	0,9	0,4
ZnO	<0,1	i.a.								
Li ₂ O	2,1	2,7**	1,8**	2,6**	2,6**	1,8**	2,6**	2,2**	2,6**	2,8**
CaO	3,5	2,9	1,6	2,7	2,6	1,9	3,1	2,1	3,4	3,7
Na ₂ O	1,4	1,3	2,1	1,5	1,6	2,0	1,1	1,9	1,2	0,9
K ₂ O	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
F	1,2	i.a.								
H ₂ O	3,1*	i.a.								
-O=F	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	99,4	87,1	86,7	86,7	87,0	86,7	86,1	86,9	86,4	86,4
T - Si	6,18	6,00	6,02	6,01	5,99	6,01	5,99	5,96	6,02	6,00
Z - Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y - Ti	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,04	-	0,04	-	0,01
Al	1,09	1,07	0,87	0,90	1,02	0,75	1,18	0,90	1,15	1,18
Fe	0,12	0,10	0,26	0,25	0,14	0,36	0,08	0,30	0,07	0,01
Mg	0,02	0,02	0,28	0,05	0,02	0,42	0,02	0,09	0,02	-
Mn	0,19	0,13	0,40	0,16	0,20	0,27	0,11	0,32	0,12	0,05
Zn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Li	1,37	1,67	1,15	1,62	1,61	1,15	1,62	1,39	1,63	1,74
X - Ca	0,61	0,48	0,27	0,45	0,43	0,32	0,52	0,35	0,57	0,61
Na	0,44	0,39	0,64	0,45	0,48	0,61	0,33	0,58	0,36	0,27
K	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	0,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OH	3,37	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Kalkulerte verdier basert på 3 atomprop. B og 4 atomprop. (OH+F)

** Kalkulerte verdier basert på Li (atomprop.) = 3 - (Ti+Al[Y]+Fe+Mg+Mn)

43. Homogen, olivengrønn liddicoatitt-krystall (XRF-analyse).

44. Homogen, olivengrønn, edel liddicoatitt-krystall (EMP-analyse, gjennomsnitt av 4 analysepunkter).

45-52. Krystall med tydelige soner ytterst, men en "grumsete" kjerne bestående av mørke og lyse partier, dels også flekker av K-feltspat. De ytre sonene og indre mørke og lyse partier er analysert v.h.a. EMP:

45. Tynn randsonne.

46. Innenfor randsonnen.

47. Videre mot kjernen.

48. Kjerne, lys del.

49. Kjerne, mørk del.

50. Kjerne lys del.

51. Kjerne, mørk del.

52. Kjerne, mørk del.