

R-01-60

Åldersbestämning av svårdaterade bergarter i sydöstra Sverige

Karl-Inge Åhäll
Karlstad Universitet

November 2001

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864
SE-102 40 Stockholm Sweden
Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00
Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-01-60

Åldersbestämning av svårdaterade bergarter i sydöstra Sverige

Karl-Inge Åhäll
Karlstad Universitet

November 2001

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

Innehåll

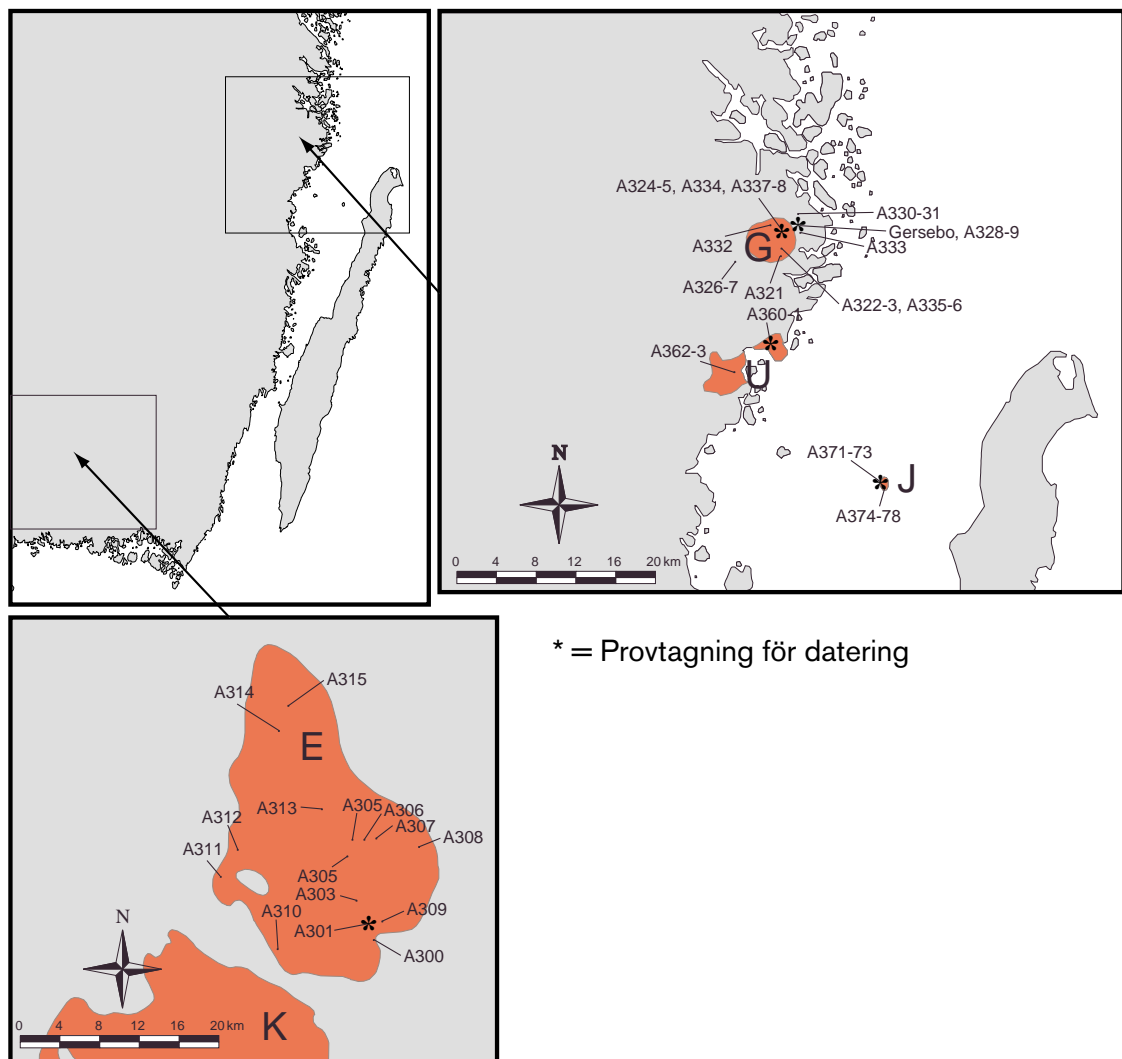
1	Analysresultat och slutsatser	4
1.1	U-Pb geokronologi	4
1.2	Geokemi	8
1.3	Götemargranitens utbredning	15
1.4	Dagens dateringsteknik	15
1.5	Tänkbara uppföljningsinsatser	16
2	Svårdaterade graniter – en jämförelse mellan olika dateringsmetoder	17
2.1	Jonsonsdatering	18
2.2	Konventionell U-Pb teknik	18
2.3	Slutsatser och priser	19
3	Referenser	20
Bilaga A	U/Pb Geochronological Results	21

1 Analysresultat och slutsatser

Studien omfattar åldersbestämning och geokemisk karakterisering av 4 yngre granitiska intrusioner i östra Småland (Götemar-, Uthammar-, Jungfrun- och Eringsbodagraniten) samt en liknande granit (Gersebograniten) invid Götemarintrusionen (figur 1-1).

1.1 U-Pb geokronologi

Graniternas åldrar (dvs primära kristallisation) har fastställts genom U-Pb datering av zirkon vid dr Jim Connellys lab i Austin (University of Texas). Resultat, primärdata och concordia-diagram återges nedan (tabell 1-1 och figur 1-2) medan fullständiga U-Pb data samt utvärdering finns i bilaga A som är Connellys dateringsrapport.



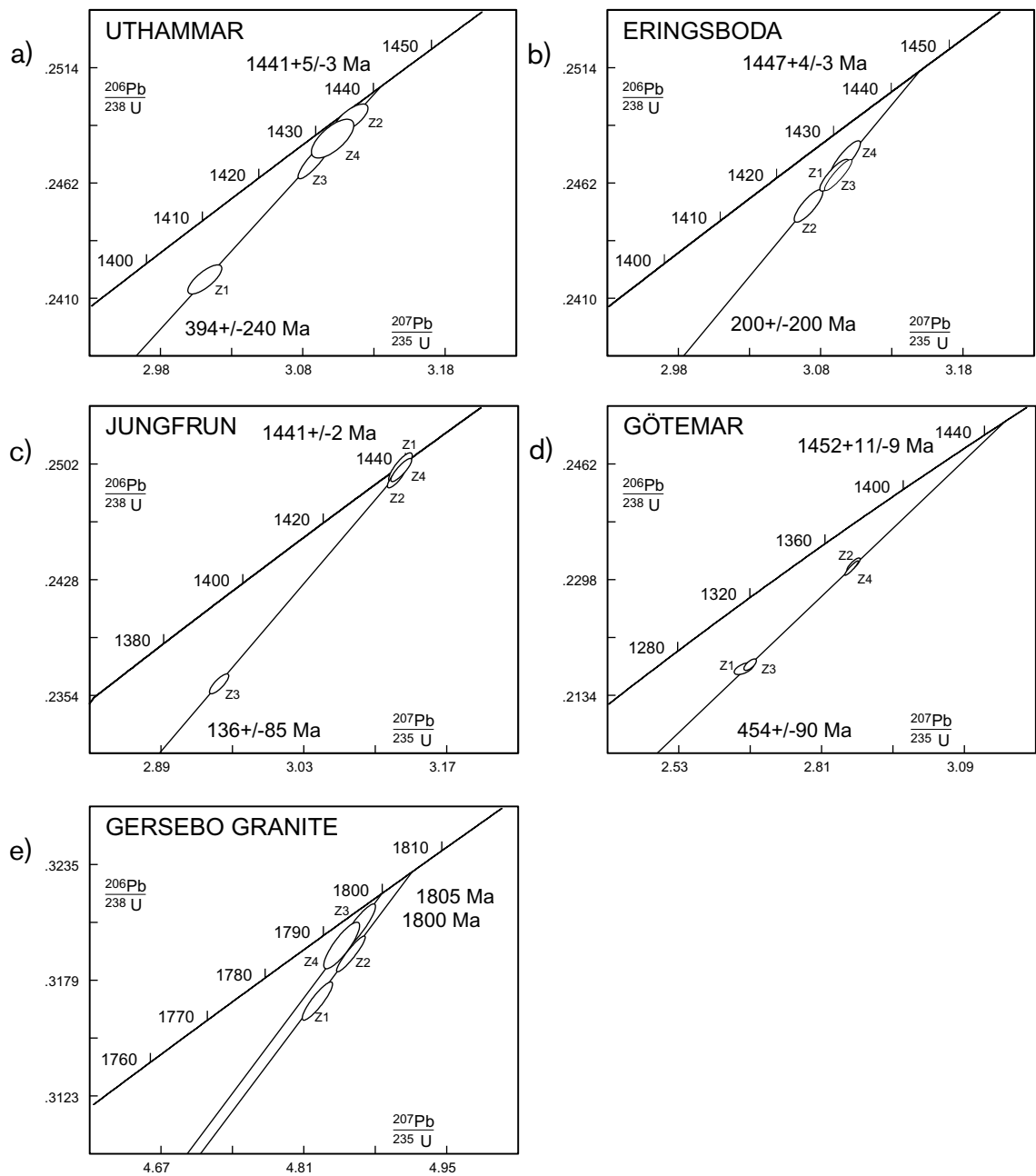
Figur 1-1. Yngre graniter i Oskarshamnsområdet (G=Götemar, U=Uthammar, J=Jungfrun) och nordöstra Blekinge (E=Eringsboda, K=Karlshamn) där dateringsprov markerats med *. Siffror anger geokemiprover inom respektive granit, se tabell 1-3.

Tabell 1-1. U-Pb data.

Fraction	Weight [mg]	Concentration		Measured Common Pb ^f [pg]	*Corrected Atomic Ratios						Ages [Ma]				
		U [ppm]	Pb ^R		$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$			
UTHAMMER GRANITE															
Z1 2 med euh prsms abr	0.004	43	11.7	4	770	0.2240	0.24185	54	3.0111	98	0.09030	20	1396	1410	1432
Z2 1 med prsm abr	0.005	62	18.4	7	762	0.2883	0.24912	52	3.1139	98	0.09066	20	1434	1436	1439
Z3 single lrg crks abr	0.008	47	13.7	2	3056	0.2715	0.24721	66	3.0879	92	0.09059	12	1424	1430	1438
Z4 3 sml clr euh clrsls	0.004	48	14.0	4	766	0.2759	0.24820	72	3.1010	122	0.09062	26	1429	1433	1439
ERINGSBODA GRANITE															
Z1 4 sml euh prsm abr	0.005	107	27.9	4	2180	0.1365	0.24655	58	3.0897	84	0.09089	14	1421	1430	1444
Z2 3 lrg euh tips abr	0.004	147	38.4	4	2016	0.1520	0.24517	60	3.0715	82	0.09086	14	1414	1426	1444
Z3 2 grains abr	0.005	181	47.1	3	3912	0.1382	0.24656	58	3.0924	78	0.09096	10	1421	1431	1446
Z4 2 grains abr	0.004	113	29.0	1	5415	0.1126	0.24730	66	3.0974	86	0.09084	12	1425	1432	1443
JUNGFRUN GRANITE															
Z1 single med clr euh	0.003	104	28.7	2	3056	0.1930	0.24998	76	3.1247	94	0.09065	16	1438	1439	1439
Z2 single med clr euh	0.003	163	43.1	2	5558	0.1416	0.24935	56	3.1208	72	0.09077	12	1435	1438	1442
Z3 2 med clr clrsls euh	0.003	224	57.4	8	1214	0.1715	0.23614	52	2.9469	78	0.09051	14	1367	1394	1436
Z4 2 sml clr euh abr	0.002	109	29.3	3	1626	0.1630	0.24981	60	3.1255	84	0.09074	12	1438	1439	1441
GOTEMAR GRANITE															
Z1 single lrg clr 2:1	0.002	35	10.4	2	444	0.4938	0.21720	70	2.6577	156	0.08874	42	1267	1317	1399
Z2 2 sml clr euh abr	0.002	103	29.0	1	2535	0.3182	0.23193	78	2.8728	106	0.08983	18	1345	1375	1422
Z3 2 sml clr euh clrsls	0.002	63	15.7	1	1389	0.2500	0.21775	66	2.6699	100	0.08893	24	1270	1320	1403
Z4 10 vsm clr clrsls ab	0.005	71	20.4	2	2287	0.3435	0.23144	84	2.8689	110	0.08990	12	1342	1374	1423
GERSEBO GRANITE															
Z1 2 med euh prsms abr	0.004	222	76.3	8	2386	0.1490	0.31689	76	4.8233	122	0.11039	12	1775	1789	1806
Z2 3 sml euh prsms abr	0.003	169	58.2	2	6411	0.1423	0.31917	70	4.8562	114	0.11035	10	1786	1795	1805
Z3 single med clr clr	0.002	178	61.3	1	4153	0.1356	0.32046	92	4.8628	142	0.11006	14	1792	1796	1800
Z4 2 sml clr clrsls abr	0.002	106	37.5	2	2799	0.1797	0.31958	92	4.8471	144	0.11000	18	1788	1793	1799

Abbreviations are: abr-abraded; clr-clear; clrsls-colourless; crks-cracks; euh-euhedral; lrg-large (125–150 um); med-medium (75–125 um); prsm-prsms; sml-small (50–75 um); vsm-very small (20–50 um).

*Ratios corrected for fractionation, 1 pg and .25 pg laboratory Pb and U blanks respectively and initial common Pb calculated using Pb isotopic compositions of Stacey and Kramers (1975). All fractions extensively abraded. Two-sigma uncertainties on isotopic ratios are reported after the ratios and refer to the final digits.



Figur 1-2. U-Pb concordia diagram för daterade bergarter a) Uthammargranit, b) Eringsbodagranit, c) Blå Jungfrugranit, d) Göttemargranit och e) Gersebogranit.

Uthammargraniten	1 441 + 5/-3 Ma
Jungfrungraniten	1 441 ± 2 Ma
Göttemargraniten	1 452 + 11/-9 Ma
Eringsbodagraniten	1 447 + 4/-3 Ma
Gersebograniten	1 803 ± 7 Ma

Dateringarna visar att Oskarshamnsområdets 3 yngre graniter (Göttemar-, Uthammarm- och Jungfrun-graniterna; figur 1-1) är likåldriga när hänsyn tas till resultatens felmarginaler. Vidare framgår att Eringsbodagraniten, vid Blekingegränsen, är något äldre än Uthammarm- och Jungfrungraniterna vilka givit ovanligt välbestämda åldrar. Däremot medges inte några säkra slutsatser huruvida det föreligger en reell ålderszonering mellan graniterna i norr och söder; dels beroende på den större osäkerheten för Göttemargranitens ålder och dels att tidigare dateringar av Karlhamnsgranit givit resultat inom ett relativt stort åldersintervall (1 445±10, 1 452±8, ~1 465 Ma; /Kornfält, 1996, Kornfält och Vaasjoki, 1999/).

Tidigare åldersdata för ”yngre graniter” i sydöstra Sverige omöjliggjorde säkra korreleringar då resultaten visade en spridning över mer än 100 miljoner år (1 480–1 358 Ma). I detta avseende är dateringarna i denna studie helt klargörande då det nu framgår att endast ett av tidigare publicerade U-Pb resultat (1 468±53 Ma) kan spegla den daterade bergartens ålder. Att övriga åldersbestämningar blivit missledande kan förklaras av två faktorer som tidigare varit svåra att bemästra vid datering av vissa graniter;

1. *assimilation av äldre zirkoner* – vilket ofta ger förhöjda s k ”blandåldrar”,
2. *post-magmatiska störningar* – vilket regelmässigt ger för unga ”åldrar”.

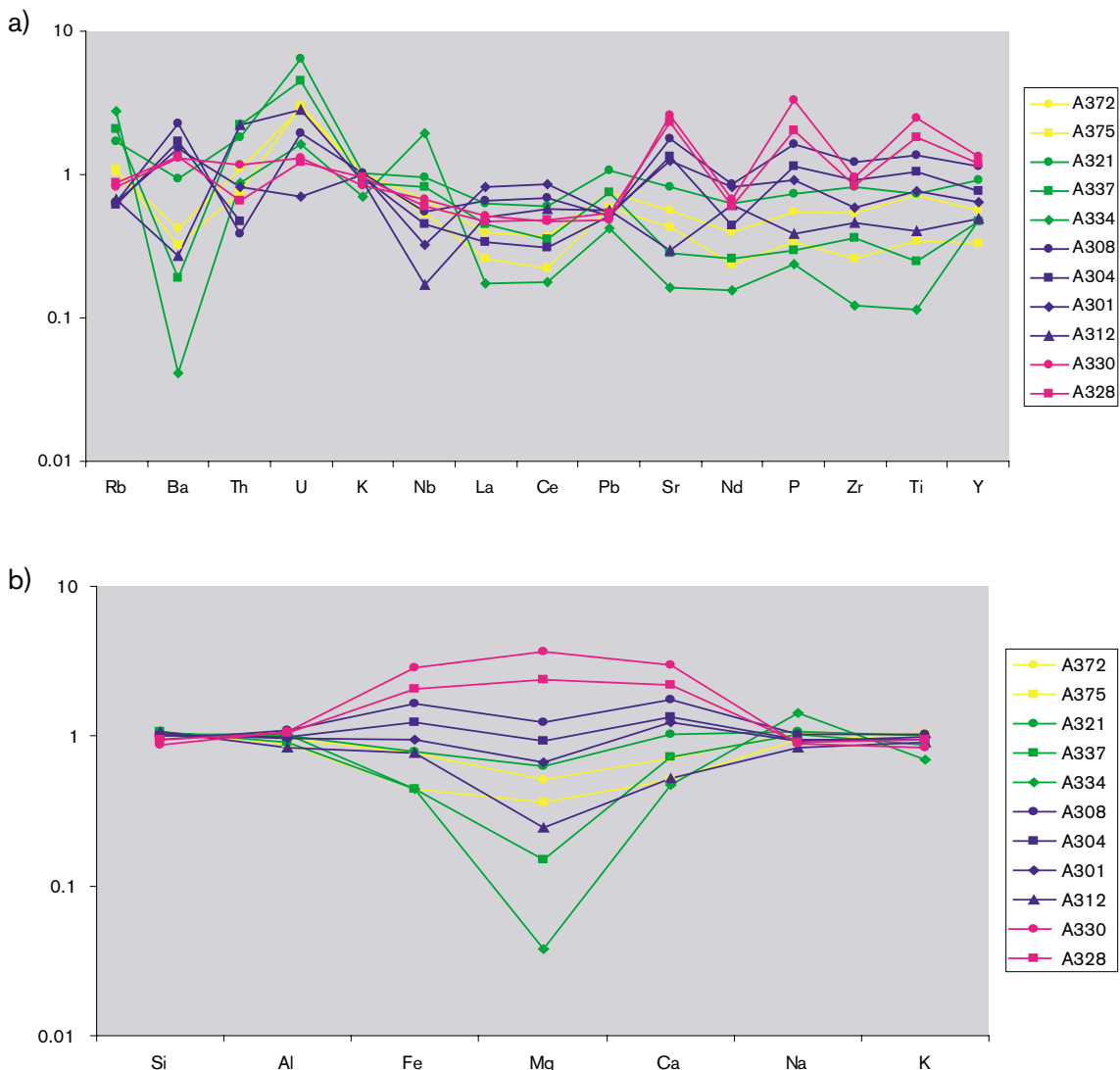
Notabelt är att även U-Pb dateringarna av monazit gav missledande resultat (1 397±14 och 1 383±14 Ma; /Åberg m fl, 1984/), fast här saknas enkla förklaringar.

Sammantaget visar de nya åldersresultaten att samtliga väldaterade yngre graniter i sydöstra Sverige nu kan härledas till en och samma magmatisk episod (1,45–1,44 Ga) och att den inträffade samtidigt som sydvästra Sverige genomgick en mycket omfattande metamorfos (Hallandian; ca 1,46–1,40 Ga; /Christoffel m fl, 1999; Söderlund, 1999/).

1.2 Geokemi

Studiens geokemiska labanalyser har utförts vid University of Leicester under ledning av dr Tim Brewer, och fullständiga analysresultat (33 st) finns i tabell 1-3. För att underlätta jämförelser återges representativa data för respektive graniter i tabell 1-2 och figur 1-3 nedan. De relativt parallella kurvorna för både huvud- och spårelement för respektive bergart och bergartsgrupp (bortsett från LIL-elementen åt vänster i figur 1-3a) tyder på normala fraktioneringsprocesser inom varje granitmagma.

Proven av Uthammargranit har en ensartad sammansättning vilket gör att dateringsprovet (A360) väl representerar dess magmatiska huvudfas. Granitens något högre halt av mafiska komponenter som Fe, Mg och Ti visavi proven från Götemar och Jungfrun (tabell 1-3) indikerar att Uthammargranitens magma varit den mest primitiva av dessa tre.



Figur 1-3. Geokemiska analysdata för representativa prov (se tabell 1-3) med koncentrationer redovisade i "spidergram" normaliserade mot innehållet i prov A360 som är Uthammargranitens huvudfas. Kurvorna visar således övriga graniters halter av utvalda element relativt Uthammargranitens huvudfas. Gul färg visar Jungfrungraniten, grön färg Götemargraniten, blå färg Eringsbodagraniten medan röd färg visar den äldre Gersebograniten. Prov med rund symbol är den mest primitiva inom varje granit.

Tabell 1-2. Geokemi från representativa prov av Uthammar-, Jungfrun-, Götemar-, Eringsboda- och Gersebogranit.

	Utham	Jung1	Jung2	Göte1	Göte2	Göte3	Erin1	Erin2	Erin3	Erin4	Erin5	Gers1	Gers2
Sample	A360	A372	A375	A321	A337	A334	A307	A308	A304	A301	A312	A330	A328
SiO2	71,69	73,54	76,25	72,35	76,17	73,89	61,32	67,65	71,86	73,06	77,55	63,11	67,19
TiO2	0,52	0,37	0,18	0,38	0,13	0,06	1,36	0,71	0,54	0,40	0,21	1,27	0,95
Al2O3	13,88	13,37	12,43	13,93	12,56	14,39	15,08	15,14	13,73	13,55	11,58	15,00	14,49
Fe2O3	2,16	1,67	0,97	1,69	0,95	0,95	7,04	3,59	2,65	2,06	1,68	6,21	4,44
MnO	0,04	0,06	0,04	0,05	0,04	0,07	0,14	0,09	0,07	0,05	0,04	0,10	0,09
MgO	0,53	0,27	0,19	0,33	0,08	0,02	1,52	0,65	0,49	0,35	0,13	1,93	1,26
CaO	1,18	0,84	0,61	1,20	0,86	0,56	3,17	2,07	1,58	1,47	0,62	3,54	2,58
Na2O	3,86	4,05	3,63	4,13	3,94	5,48	3,59	4,00	3,66	3,62	3,23	3,43	3,55
K2O	5,29	5,39	5,41	5,35	4,62	3,68	5,46	5,40	5,05	5,24	4,77	4,46	5,05
P2O5	0,13	0,07	0,04	0,10	0,04	0,03	0,50	0,21	0,15	0,12	0,05	0,43	0,26
LOI	0,73	0,22	0,27	0,63	0,57	0,66	0,42	0,42	0,55	0,40	0,43	0,58	0,42
Total	100,01	99,84	100,01	100,14	99,95	99,78	99,60	99,94	100,32	100,32	100,29	100,07	100,27
Ba	834	352	272	782	159	34	1751	1874	1409	1270	226	1099	1115
Co	5	4	0	4	0	0	21	11	7	6	7	19	12
Nb	50	33	27	47	41	97	50	27	22	16	9	33	30
Rb	228	241	251	385	469	634	176	145	141	147	152	189	198
Sr	182	102	79	150	51	30	345	324	245	227	54	472	418
Th	29	32	22	53	65	26	42	11	14	24	65	35	20
V	19	16	9	17	11	7	67	21	18	14	9	95	53
Y	52	30	17	47	24	25	103	60	40	33	26	69	62
Zr	408	217	106	332	146	50	920	498	369	240	187	395	344
La	149	59	39	93	68	26	254	99	50	122	76	76	71
Ce	262	97	58	158	93	47	478	181	81	224	152	122	126
Nd	86	34	20	54	22	13	159	74	38	70	53	58	51

Jung1, Göte1, Erin1 och Gers1 representerar den mest primitiva inom respektive intrusion.

Tabell 1-3. Geokemi med huvud- och spårelement från Uthammar-, Jungfrun-, Götömar-, Eringsboda- och Gersebogranit.

	Uthammar granite				Jungfrun granite								
Sample	A360	A361	A362	A363	Sample	A371	A372	A373	A374	A375	A376	A377	A378
SiO ₂	71,69	71,82	71,69	69,04	SiO ₂	75,15	73,54	75,46	75,03	76,25	75,34	76,03	75,17
TiO ₂	0,52	0,49	0,50	0,64	TiO ₂	0,31	0,37	0,33	0,37	0,18	0,20	0,29	0,25
Al ₂ O ₃	13,88	13,79	14,13	14,98	Al ₂ O ₃	12,90	13,37	12,71	12,49	12,43	12,79	12,52	12,74
Fe ₂ O ₃	2,16	2,07	2,18	2,85	Fe ₂ O ₃	1,45	1,67	1,44	1,76	0,97	1,06	1,44	1,25
MnO	0,04	0,03	0,04	0,07	MnO	0,06	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02
MgO	0,53	0,47	0,51	0,75	MgO	0,24	0,27	0,31	0,28	0,19	0,10	0,30	0,17
CaO	1,18	1,14	0,98	1,32	CaO	0,76	0,84	0,83	0,76	0,61	0,63	0,23	0,71
Na ₂ O	3,86	3,91	3,91	4,22	Na ₂ O	3,84	4,05	3,64	3,72	3,63	3,67	3,41	3,70
K ₂ O	5,29	5,44	5,50	5,34	K ₂ O	5,25	5,39	5,13	5,02	5,41	5,34	5,36	5,38
P ₂ O ₅	0,13	0,12	0,12	0,16	P ₂ O ₅	0,07	0,07	0,07	0,06	0,04	0,02	0,07	0,06
LOI	0,73	0,63	0,73	0,72	LOI	0,24	0,22	0,39	0,30	0,27	0,45	0,45	0,34
Total	100,01	99,91	100,29	100,08	Total	100,26	99,84	100,33	99,83	100,01	99,63	100,14	99,78
Ba	834	899	877	1132	Ba	334	352	336	241	272	284	478	359
Co	5	5	6	7	Co	3	4	3	3	0	0	6	3
Cr	31	46	4	62	Cr	0	30	0	0	0	0	0	0
Cu	5	6	5	5	Cu	0	2	0	0	0	0	0	1
Ga	22	22	21	22	Ga	20	19	18	19	17	18	18	17
Mo	0,7	2,3	1,7	0,3	Mo	0,6	0,4	0,0	0,7	0,0	0,9	0,7	0,8
Nb	49,5	47,9	47,9	46,9	Nb	29,4	33,3	32,1	36,1	26,5	28,0	26,8	23,1
Ni	2	4	1	4	Ni	1	5	3	1	2	4	1	2
Pb	45	50	35	42	Pb	37	33	27	33	26	24	18	21
Rb	228,4	225,7	235,4	194,6	Rb	237,7	241,2	230,3	231,9	250,6	251,4	224,4	235,2
S	154	173	106	206	S	45	44	30	62	47	42	106	17
Sc	8,6	8,7	4,9	5,9	Sc	3,2	7,7	5,9	3,6	3,2	7,3	5,0	1,8
Sr	181,6	180,0	178,2	247,9	Sr	96,6	102,4	88,9	74,1	78,8	76,9	97,0	103,1
Th	29,4	27,5	20,2	20,2	Th	36,9	32,2	20,4	32,9	22,1	21,7	27,6	39,4
U	3,4	5,0	4,7	6,2	U	10,7	9,8	8,5	9,7	10,3	6,6	5,7	4,3
V	19	24	20	31	V	12	16	17	11	9	14	9	15
Y	51,6	51,4	54,7	59,5	Y	26,8	29,1	26,7	30,0	17,2	15,4	18,6	21,5
Zn	50	47	53	84	Zn	24	29	30	36	20	18	21	17
Zr	407,8	404,7	389,2	469,8	Zr	181,4	217,2	204,1	224,9	106,0	108,4	164,3	153,0
La	149	123	132	111	La	45	59	61	71	39	36	61	88
Ce	262	215	233	210	Ce	81	97	105	110	58	47	97	115
Nd	86	78	80	77	Nd	29	34	36	36	20	14	32	29

Tabell 1-3. Fortsättning.

Götemar granite													
Sample	A321	A322	A323	A326	A327	A332	A324	A325	A337	A338	A334	A335	A336
SiO2	72,35	73,76	73,31	72,91	71,62	74,46	76,48	76,20	76,17	76,08	73,89	74,55	76,02
TiO2	0,38	0,31	0,39	0,38	0,43	0,39	0,13	0,14	0,13	0,13	0,06	0,16	0,12
Al2O3	13,93	13,33	13,21	13,40	13,53	12,85	12,11	12,43	12,56	12,44	14,39	13,64	13,07
Fe2O3	1,69	1,63	2,01	1,87	2,11	2,11	0,97	0,80	0,95	0,92	0,95	0,80	0,92
MnO	0,05	0,07	0,10	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04
MgO	0,33	0,27	0,32	0,36	0,39	0,62	0,11	0,12	0,08	0,11	0,02	0,03	0,06
CaO	1,20	1,18	1,35	1,22	1,45	1,03	0,85	0,94	0,86	0,96	0,56	0,80	0,67
Na2O	4,13	4,02	3,93	4,09	3,98	3,31	3,82	3,84	3,94	4,01	5,48	3,53	4,65
K2O	5,35	5,22	5,09	5,08	5,22	4,88	4,60	4,52	4,62	4,61	3,68	6,38	3,97
P2O5	0,10	0,08	0,11	0,10	0,13	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
LOI	0,63	0,49	0,45	0,59	0,70	0,43	0,65	0,60	0,57	0,58	0,66	0,33	0,42
Total	100,14	100,37	100,27	100,03	99,60	100,21	99,81	99,67	99,95	99,93	99,78	100,29	99,96
Ba	782	659	697	677	752	366	150	187	159	167	34	85	91
Co	4	0	3	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0	0	0	0	0	8	0	0	6	0	0	0	6
Cu	3	3	2	1	3	3	2	1	0	1	0	0	0
Ga	24	23	25	24	23	17	25	25	23	24	37	28	26
Mo	12,7	0,6	3,4	5,6	3,8	1,0	4,4	2,9	4,6	5,1	1,7	0,7	1,6
Nb	47,1	39,2	49,8	52,6	52,1	12,2	43,2	61,4	40,6	44,7	96,6	204,3	42,6
Ni	1	1	0	2	1	2	1	1	3	2	3	0	3
Pb	48	52	53	47	44	21	30	54	34	36	19	91	48
Rb	384,9	389,9	398,6	363,5	385,3	182,4	454,2	514,2	469,3	466,6	634,3	619,2	449,0
S	120	88	207	258	167	33	107	70	92	105	32	20	57
Sc	12,1	19,4	14,4	9,8	8,0	5,8	10,3	11,0	7,4	10,2	39,3	10,5	9,6
Sr	149,2	134,2	135,2	143,7	155,9	143,7	46,4	45,9	50,9	48,0	29,3	32,3	32,7
Th	53,1	62,2	71,5	46,6	43,6	37,6	60,9	67,7	65,1	68,3	25,7	57,7	66,3
U	21,9	9,8	14,3	10,6	6,2	4,2	16,4	7,3	15,3	16,5	5,5	35,2	7,8
V	17	16	20	13	17	16	8	9	11	7	7	9	7
Y	47,4	30,3	37,4	39,7	52,2	27,0	25,8	20,0	24,1	25,0	24,9	89,5	19,6
Zn	39	45	43	46	31	36	16	22	16	17	16	23	22
Zr	331,7	296,6	349,8	326,7	423,0	211,1	158,0	163,1	146,4	148,5	49,5	41,2	109,4
La	93	86	85	81	87	35	55	69	68	67	26	43	27
Ce	158	128	131	138	151	58	79	106	93	99	47	65	41
Nd	54	36	38	40	52	28	21	28	22	24	13	21	13

Tabell 1-3. Fortsättning.

Eringsboda granite													
Sample	A300	A301	A302	A303	A304	A305	A306	A307	A308	A309	A310	A311	A312
SiO2	72,00	73,06	72,51	68,69	71,86	69,54	68,86	61,32	67,65	68,08	67,75	73,06	77,55
TiO2	0,53	0,40	0,45	0,76	0,54	0,59	0,54	1,36	0,71	0,75	1,01	0,41	0,21
Al2O3	13,33	13,55	13,61	14,72	13,73	14,10	15,37	15,08	15,14	14,94	13,63	13,14	11,58
Fe2O3	2,45	2,06	2,29	3,43	2,65	2,95	2,83	7,04	3,59	3,46	4,98	2,17	1,68
MnO	0,05	0,05	0,05	0,08	0,07	0,08	0,07	0,14	0,09	0,09	0,09	0,06	0,04
MgO	0,40	0,35	0,34	0,64	0,49	0,53	0,51	1,52	0,65	0,72	1,15	0,36	0,13
CaO	1,25	1,47	1,54	2,10	1,58	1,88	1,57	3,17	2,07	2,08	2,64	0,90	0,62
Na2O	3,27	3,62	3,56	3,88	3,66	4,11	3,99	3,59	4,00	4,18	3,34	3,23	3,23
K2O	5,65	5,24	5,25	5,20	5,05	5,09	5,74	5,46	5,40	5,18	4,30	5,76	4,77
P2O5	0,15	0,12	0,14	0,20	0,15	0,18	0,16	0,50	0,21	0,20	0,35	0,09	0,05
LOI	0,43	0,40	0,45	0,42	0,55	0,56	0,51	0,42	0,42	0,45	0,42	0,43	0,43
Total	99,51	100,32	100,19	100,13	100,32	99,60	100,16	99,60	99,94	100,12	99,67	99,60	100,29
Ba	1297	1270	1260	1569	1409	1391	1627	1751	1874	1364	1142	673	226
Co	6	6	10	9	7	7	7	21	11	9	14	4	7
Cr	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	3
Cu	6	4	5	6	4	7	5	19	4	5	16	5	3
Ga	17	17	17	20	18	19	22	24	21	21	19	15	16
Mo	2,3	0,1	1,2	0,9	2,2	2,1	1,1	0,4	2,1	1,3	2,0	0,9	3,8
Nb	26,9	16,0	17,9	34,3	22,3	26,1	22,5	49,3	27,1	33,9	38,9	18,1	8,5
Ni	4	4	1	3	1	2	3	6	1	2	2	3	1
Pb	25	24	26	27	23	30	22	28	23	25	25	26	25
Rb	176,8	147,3	146,8	155,3	140,6	148,9	161,9	175,8	145,1	166,9	176,2	169,5	152,3
S	132	121	152	122	108	209	65	550	203	235	549	92	79
Sc	5,4	5,7	6,5	12,8	7,4	9,0	7,6	19,3	9,8	12,8	10,2	5,8	2,9
Sr	213,2	226,8	229,4	296,9	244,8	261,5	273,0	345,4	323,7	276,0	317,8	132,1	54,0
Th	22,5	23,9	18,6	23,2	13,8	21,0	7,0	41,5	11,4	8,7	32,6	25,9	64,8
U	5,1	2,4	1,8	3,7	0,0	7,2	4,0	9,4	6,6	2,4	9,9	8,0	9,7
V	18	14	16	21	18	23	23	67	21	25	68	17	9
Y	53,1	33,4	38,1	74,8	39,5	46,1	47,4	102,9	59,3	58,6	67,2	32,6	25,5
Zn	48	46	46	71	51	68	61	130	79	79	79	41	31
Zr	364,9	239,9	308,3	496,5	369,2	450,5	384,6	919,9	497,8	431,4	373,5	288,0	187,2
La	99	122	96	102	50	70	76	254	99	70	95	111	76
Ce	167	224	171	189	81	122	133	478	181	131	171	198	152
Nd	60	70	58	76	38	54	52	159	74	59	64	68	53

Tabell 1-3. Fortsättning.

Eringsboda granite				Gersebo granite (TIB 1) 1.80 Ga						
Sample	A313	A314	A315	---	Sample	A328	A329	A330	A331	A333
SiO2	71,05	71,77	69,11		SiO2	67,19	67,27	63,11	62,13	68,72
TiO2	0,49	0,53	0,77		TiO2	0,95	0,94	1,27	1,34	0,82
Al2O3	14,11	13,69	14,36		Al2O3	14,49	14,31	15,00	15,39	14,29
Fe2O3	2,67	2,69	3,82		Fe2O3	4,44	4,44	6,21	6,34	4,05
MnO	0,07	0,08	0,09		MnO	0,09	0,08	0,10	0,10	0,08
MgO	0,44	0,39	0,93		MgO	1,26	1,25	1,93	2,05	1,12
CaO	1,28	1,07	1,81		CaO	2,58	2,61	3,54	3,77	2,05
Na2O	3,84	3,49	3,94		Na2O	3,55	3,50	3,43	3,60	3,67
K2O	5,55	5,78	4,93		K2O	5,05	5,07	4,46	4,32	4,50
P2O5	0,16	0,12	0,23		P2O5	0,26	0,27	0,43	0,46	0,20
LOI	0,37	0,26	0,37		LOI	0,42	0,42	0,58	0,60	0,42
Total	100,02	99,88	100,35		Total	100,27	100,16	100,07	100,08	99,92
Ba	931	704	1511		Ba	1115	1172	1099	1422	977
Co	7	8	12		Co	12	14	19	21	11
Cr	0	0	0		Cr	0	0	18	14	0
Cu	4	11	7		Cu	7	12	16	17	7
Ga	18	17	20		Ga	22	21	22	23	19
Mo	1,4	0,4	0,0		Mo	1,8	0,6	1,5	1,5	1,0
Nb	18,7	29,1	40,6		Nb	29,9	30,2	33,3	29,0	28,4
Ni	0	2	0		Ni	5	4	6	9	3
Pb	25	26	29		Pb	24	22	22	13	19
Rb	172,7	211,7	139,8		Rb	198,0	184,2	188,6	147,5	262,6
S	150	168	252		S	464	464	764	667	228
Sc	8,0	5,4	5,1		Sc	13,6	14,5	15,9	14,2	16,7
Sr	192,9	164,3	365,1		Sr	418,4	420,3	471,6	602,6	360,4
Th	16,0	47,8	18,4		Th	19,5	23,9	34,5	23,8	16,6
U	3,4	5,1	4,1		U	4,1	4,8	4,4	4,8	4,5
V	14	15	40		V	53	43	95	97	39
Y	31,5	48,4	48,4		Y	62,3	63,5	69,3	95,0	60,2
Zn	57	47	67		Zn	71	69	92	96	61
Zr	293,3	277,1	411,4		Zr	343,6	352,0	394,5	429,0	311,3
La	74	161	109		La	71	69	76	60	64
Ce	122	294	177		Ce	126	126	122	116	121
Nd	47	90	57		Nd	51	48	58	69	57

Proven av Jungfrungranit visar en viss variation där dateringsprovet (A372) väl representerar granitens huvudfas medan två prov från öns södra stenbrott (A375-76) visar något lägre halter av Fe, Mg och Ti, samt av fraktioneringselement som Nb, Y, Zr och HREE (tabell 1-3).

Även Götemarkgraniten visar en viss intern variation där proven i söder (A321-323), sydväst (A326-27) och mitt (A332) representerar granitens huvudfas, medan proven från Kråkemåla stenbrott i nordost (A324-25, A337-338) visar lägre halter av Fe, Mg och Ti samt av fraktioneringselement som Nb, Y, Zr och HREE (tabell 1-3). De tre analyserade granit- och aplitgångarna (A334-336) har än mer utarmade sammansättningar vilket indikerar att dessa gångar består av så kallade restmagmor vilka avsatts i sprickor uppkomna i samband med granitkroppens avkylningskontraktion. Gångarnas status som restmagma illustreras främst av en anrikning i alkali-element som Rb och K+Na medan alla övriga halter är låga (tabell 1-3).

Gersebograniten, som gränsar till Götemarkgraniten i nordost (se nedan), har i huvudsak samma mineralogiska sammansättning som de yngre graniterna. Geokemiska skillnader syns dock på spårelementnivå (tabell 1-3; figur 1-3) vilket styrker att denna granitmagma bildades i en annan tektonisk miljö.

Eringsbodagraniten, som bildar en klart större intrusion (ca 20 × 35 km) i gränzonen mellan Småland och Blekinge /Kornfält och Bergström, 1991/, visar en betydande sammansättningsvariation från granodiorit till granit där systematiska spårelementtrender tyder på fraktionerad kristallisation (tabell 1-3, figur 1-3). Notabelt är att intrusionens granitiska faser i allt väsentligt liknar motsvarande led i Oskarshamnsområdets tre yngre graniter.

Oskarshamnsområdets tre yngre granitintrusioner (*Götemark-, Uthammar- och Jungfrungraniterna*; /Lundegårdh m fl, 1985/) har länge inbjudit till korrelationer och dateringsresultaten bekräftar att de inom mätosäkerheten är samtida. Därtill är de mineralogiskt och geokemiskt lika, vilket indikerar en likartad bildningsmiljö och att de haft samma modermagma. Ett successivt uppträngande längs skilda intrusionskanaler i berggrundens övre delar kan då förklara graniternas geografiska spridning samt att det finns vissa geokemiska skillnader mellan graniternas respektive huvudfaser (tabell 1-3; figur 1-3).

Mineralogiskt och geokemiskt likartade intrusioner finns även längre söderut, bl a i Blekinge. Dit hör den nu daterade Eringsbodagraniten liksom Karlshamnsgraniten och båda är relativt samtida med de i Oskarshamnsområdet. Det visar att samma typ av magmabildning också förekom långt utanför Oskarshamnsområdet, vilket indikerar att granitbildningen inte orsakats av lokala utan av långt mer regionala processer. Vilka dessa varit kan ej utläsas i studiens resultat men notabelt är att denna regionala granitbildning i sydöstra Sverige varit samtida med den Hallandiska metamorfosen (ca 1,46–1,40 Ga) i sydvästra Sverige. Klart är också att vissa krustarelaterade skillnader mellan dessa händelser på ömse sidor av protoginizonen i södra Sverige beror på blockrörelser längs denna zon under sen-sveconorwegisk tid (ca 960–920 Ma) vilka medfört att mycket djupare krustanivåer kommit att bli exponerade i Sydvästsverige.

1.3 Götemargranitens utbredning

Götemargranitens utbredning har uppfattats olika och i PÖB-kartan Oskarshamn /Lundegårdh m fl, 1985/ redovisas en mot nordväst och nordost påtagligt utvidgad kropp jämfört med tidigare studier, se exempelvis figur 23 i /Åberg, 1978/. En skillnad är att man i nordost inkluderat den granit som finns i en km-bred zon vid Gersebo (Gersebograniten); förmodligen beroende på att denna granit i fält uppfattats som en medelkornig randfas till den mestadels grovkorniga Götemargraniten. Gersebogranitens mer mafiska sammansättning och svaga förgnejsning skulle då tyda på att den varit en mer primär fas av Götemar-magmatismen och att graniten sedan kommit att bli något deformerad vid huvudmagmans uppträngande.

De geokemiska analyserna visar att Gersebograniten har en från Götemargraniten avvikande sammansättning, bl a finns klart högre halter Fe, Mg och Ca samt andra spårelement-förfällanden (figur 1-3). Avgörande är dock att Gersebograniten är äldre ($1\ 803 \pm 7$ Ma) eftersom dateringen inte givit minsta stöd för hypotesen att denna ålder skulle bero på ärvda zirkoner. Såväl geokemi som U-Pb data stöder därför slutsatsen att Gersebograniten är en rätt normal TIB 1 bergart (ca 1,81–1,77 Ga; /Åhäll och Larson, 2000/), om än ganska välbevarad. Notabelt är också att Gersebograniten ger samma ålder som Äspöområdet TIB 1 graniter ($1\ 804 \pm 3$ Ma; /Kornfält m fl, 1997/).

Studien visar således att Götemargranitens utbredning måste revideras, åtminstone i en km-bred zon i nordost relativt den kartbild som redovisas i PÖB-kartan Oskarshamn.

Notabelt är också att Gersebograniten har påverkats termalt av Götemargranitens kontakt-metamorfos och att den därför kan bidra till att klargöra hur Oskarshamns-områdets äldre berggrund påverkats av den yngre magmatismen.

1.4 Dagens dateringsteknik

Dateringslab som är kvalitetsmedvetna och tekniskt välrustade har idag en analysteknik som medger precisa och tillförlitliga åldersbestämningar av nära nog alla magmatiska bergartsled. Härigenom kan merparten av Sveriges magmatiska bergarter dateras med god precision. Undantaget är metamorfa mafiska bergarter (exempelvis metadiabas och metagabbro) beroende på att dessa vanligen saknar dateringsbara primärmineral som baddelyit och primärzirkon.

Tidigare förekommande problem vid U-Pb datering av ”svårdaterade graniter” beror på flera faktorer, dels av analysteknisk natur och dels beroende på att vissa granittyper regelmässigt innehåller en stor andel ”ärvda” zirkoner, företrädesvis som kärnor med yngre påväxtlager eller också som hela kristaller.

I kvalitetsmedvetna U-Pb lab kan man möta dessa problem med en kombination av tekniska och metodologiska ansträngningar. Först och främst behövs en förfinad mätteknik som klarar av att analysera mycket små provmängder zirkon med bibehållen precision, så kallad ”ROM-teknik” då den först utvecklades vid Royal Ontario Museum i Canada. De lab som klarar det har stora metodologiska fördelar; bl a medges ett ytterligt selektivt urval av ”bästa-zirkoner” eller att man endast daterar en mindre del av en zirkonkristall. Vidare finns utrymme för en omfattande abrasion av utvalda zirkoner

för att eliminera (eller åtminstone kraftigt reducera) effekter av alla typer av post-magmatiska störningar i zirkonkristallerna. Sist men inte minst upptäcker man regelmässigt missledande resultat, exempelvis när analyserade prov innehållit material av olika åldrar eller varit inhomogent av andra skäl, beroende på att analyserna ger så välbestämda punkter i ett U-Pb diagram att minsta störning skoningslöst avslöjas i form av en dålig anpassning till den linjära diskordialinjen.

1.5 Tänkbara uppföljningsinsatser

I geofysiska sammanställningar över Baltiska Skölden har man nyligen indikerat ett större mellan-krustalt massöverskott centrerat till området strax öster om Oskarshamn (opublicerade uppgifter). Orsaken är oklar och det finns flera möjliga förklaringar till ett sådant massöverskott; exempelvis en koncentration av äldre mafiska bergarter eller också att Oskarhamnsområdets yngre magmatism varit bimodal och att nu exponerade graniter därför underlagras av tyngre gabbroida bergarter. Resultaten i denna studie ger ett visst indirekt stöd åt det senare scenariot eftersom Oskarhamnsområdets tre yngre graniter nu visats vara samtida, eller åtminstone relativt samtida, och därtill så geokemiskt lika att de kan ha haft en gemensam modernmagma som uppkommit genom uppsmältning i samband med en intrusion av en större mafisk magma i jordskorpans nedre skikt.

Ett högprioriterat uppföljningsarbete är därför att klarlägga de yngre granit-intrusionernas 3-dimensionella utbredning genom att detektera deras termala inverkan på omgivande berggrund. Och genom att modellera nu exponerade granitvolymers värmeinhåll mot graniternas avkylningsförlopp borde det gå att fastställa om graniterna åtföljdes av avsevärda volymer associerade mafiska bergarter eller ej. Sådana uppföljningsinsatser inkluderar U-Pb datering av lämpliga mineral med lägre bildningstemperatur än zirkon, bl a titanit, och att sådana studier utförs i både granitintrusioner och omgivande TIB-bergarter som Gersebograniten och den tidigare daterade Äspögraniten.

2 Svårdaterade graniter – en jämförelse mellan olika dateringsmetoder

Redovisningen nedan baseras på de tekniska möjligheter som kvalitetsmedvetna dateringslab erbjuder för U-Pb datering av zirkoner. Andra mineral och dateringsmetoder kan förstås också användas men när det gäller en granits bildningsålder, dvs dess magmatiska kristallisation, är denna metod nästan alltid att föredra.

Graniters dateringsproblem beror främst på att många hög- och mellankrustalt bildade granitmagmor antingen innehåller mineral som är ärvda från magmans ursprungsbergarter (så kallade xenokrystmineral) eller mineral som har ogynnsamma halter av radiogent bly (främst låga $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -kvoter). I båda fallen bjuder ljusa, kvarts- och kalifältspatrika graniter med låg smältpunkt (sk eutektiska graniter, ”minimum melt granites”) störst problem, fast av olika skäl. I allmänhet går problemen att bemästra men ibland tarvas betydande merarbete.

I de flesta eutektiska graniter finns gott om zirkoner som ”överlevt” granitens magmabildningsfas och som därför inte speglar granitens ålder utan istället de äldre bergarter ur vilken magman bildats (sk protolitbergarter). Sådana ärvda zirkoner kan vara mer eller mindre assimilerade eller övervuxna av nya magmatiska höljen till följd av granitmagmans kristallisation, och en datering av sådana blandzirkoner ger mestadels oprecisa eller geologiskt meningslösa åldrar.

Alltså, om man vill bestämma en granits egentliga ålder kan man endast använda sig av primärmagmatiska zirkoner (eller delar av zirkoner) vilket innebär att ärvda kärnor och metamorfa överväxningar först måste identifieras för att säkert kunna undvikas.

Om man däremot vill bestämma en granits protolitålder (dvs från vilket krustalt material graniten har bildats) eller när bergarten genomgått en metamorf omkristallisering, är det just dessa äldre respektive yngre zirkondelar som ska identifieras och dateras.

Dessa analystekniska krav är sällan svåra att möta i magmatiska bergarter med intermediär sammansättning då primärzirkoner i sådana bergarter oftast förekommer i form av relativt stora (50–200 mm) och välbildade prismatiska kristaller, väl lämpade för U-Pb datering. När det gäller eutektiska graniter finns däremot två faktorer relaterade till granitmagmans bildning som regelmässigt försvårar en tillförlitlig åldersbestämning:

- andelen ärvda zirkoner är vanligen mycket högre än i andra bergarter,
- primärmagmatiskt zirkon kan vara besvärligt att finna i tillräckligt stora dateringsbara partier beroende på att tillväxtzonerna utanpå ärvda kärnor ofta är smala eller att de nybildade primär-magmatiska zirkonkristallerna är relativt få eller alltför små.

Även inom landet finns otaliga exempel där datering misslyckats på grund av ärvda zirkoner. Ett av de mer intressanta fallen var Bohusgraniten (920 Ma) där den första U-Pb dateringen resulterade i en relativt god ålder, fast inte på själva graniten utan istället på dess ca 1 555 Ma gamla ursprungsbergarter. En datering kunde dock genomföras då man i ett annat prov funnit tillräckligt bra kristaller av monazit och xenotime /Eliasson och Schöberg, 1991/.

2.1 Jonsondsdatering

Denna relativt nya teknik förutsätter att man för att datera en granit antingen kan identifiera nybildade magmatiska zirkoner av tillräcklig storlek eller zirkoner med tillräckligt stora magmatiska tillväxtzoner utanpå äldre kärnor.

Tekniskt avancerade jonsonder (som den på Riksmuseet i Stockholm) har små mätområden, i regel punkter vars bredd understiger 15 μm . Detta mätområdeskrav förutsätter att man med hjälp av BS- och CL-bilder från svepelektronmikroskop kan identifiera olika tillväxtzoner i zirkonerna och därmed välja ut de zirkondelar man vill datera med jonsondens smala stråle.

En fördel med denna teknik är att man genom att göra flera analyser i en och samma zirkon ibland kan datera flera händelser. I det ideala fallet skulle man exempelvis kunna datera en zirkonkärna av arkeisk ålder som hamnat i en svekofennisk intrusion där den växt till under magmatiska förhållanden för att långt senare eroderas fram ur sin värdbergart och deponeras i ett gotiskt sediment där den härigenom avrundade zirkonen åter växt till, fast nu under metamorfa förhållanden vid den följande svekonorwegiska orogenesisen, osv. Normalt behövs dock mer än en zirkonkristall för att datera flera steg i en sådan händelsekedja med användbar noggrannhet. Ändå är det inom denna typ av dateringsprojekt som jonsondstekniken har sina bästa prestanda.

En nackdel med jonsondsteknik och zirkoner från svårdaterade graniter beror på att dessa ofta har relativt sett lägre halter av lämpliga bly-isotoper, vilket vid en jonsondsdatering medför relativt stora beräkningskorrektioner och i slutändan en större osäkerhet i åldersberäkningen.

Sammantaget medför dessa metodrelaterade faktorer att man fortfarande inte kan jonsonds-datera alla graniter med nöjaktig noggrannhet och att man i allmänhet har störst problem med hög- och mellankrustalt bildade granitmagmor då sådana eutektiska graniter dels har sämre isotopförhållanden och dels en lägre andel zirkon som bildats vid granitens kristallisation.

2.2 Konventionell U-Pb teknik

Modern datering med konventionell U-Pb teknik har fördelen att man regelmässigt uppnår mer precisa åldrar än vid jonsondsdatering. När det gäller svårdaterade graniter är det dock ofta av avgörande betydelse att labbet ifråga kan datera mycket små provmängder med bibehållen precision (den så kallade ROM-tekniken), eftersom denna typ av graniter regelmässigt har få stora primärmagmatiska zirkoner men väl ett betydande antal små.

I denna rapport redovisas nya U-Pb dateringar av ”svårdaterade graniter” där tolkningsalternativen minimerats genom att man kunnat identifiera bra primärzirkoner vilka givit konkordanta eller närkonkordanta analyspunkter med god mätprecision. Detta visar att kvalitetsmedvetna U-Pb lab idag kan datera nära nog alla typer av magmatiska bergartsled och att detta kan ske med god mätprecision trots att bergarterna innehållit stora mängder ärvda zirkoner. Och om man behöver en än mer välbestämd ålder, är det relativt enkelt att uppnå detta genom att analysera flera fraktioner.

En nackdel med konventionell U-Pb datering är att den kräver en relativt omfattande våt-kemisk preparering och att viktiga delar av labarbetet måste ske under noga kontrollerade former i en höggradigt ren labmiljö, fri från kontaminerbart bly. Dateringar i icke hög-rena lab får därför sämre precision, och särskilt vid datering av "blank-bly"-känsliga bergarter då det i deras åldersberäkningar kommer in korrektioner (för "blank-blyet") som påverkar resultatet.

Minst lika viktigt är att labbet har kvalificerad personal beroende på att arbetet inte sällan kräver betydande kompetens och fingerfärdighet vid urvalet av zirkoner (eller delar av zirkoner). Dateringar vid kommersiella lab sker därför inte alltid under optimala förhållanden, och i synnerhet när det finns komplexa zirkoner erhålls åldersbestämningar av skiftande kvalité.

Ett kostnadseffektivt sätt att bemästra denna typ av lab- och teknikrelaterade problem är att ingå samarbetsavtal med ett välrustat lab där labchefen har ett vetenskapligt intresse av framkomna åldersresultat. Inte oväntat brukar denna "mänskliga faktor" bidra till att labbet lägger manken till för att även vid besvärliga dateringar nå fullgoda resultat.

2.3 Slutsatser och priser

När det gäller svårdaterade graniter, kan en jonsonddatering vara att föredra om man utöver en åldersbestämning också vill ha åldersdata om granitmagmans ursprung eller bergartens eventuella metamorfa omkristallisation. I andra fall får man regelmässigt mer precisa åldersbestämningar med hjälp av modern konventionell U-Pb teknik, särskilt om arbetena sker vid välrustade, hög-rena och ROM-kapabla lab, och i synnerhet om arbetena kan ske i samverkan med en vetenskapligt intresserad labchef.

Kommersiella dateringar kostar idag ca 20–35 000 kronor med jonsond och ca 28–45 000 kronor för en konventionell U-Pb datering; priserna varierar dock rätt mycket beroende på den utlovade kvalitén. Flera lab kan ibland erbjuda lägre priser när resultaten är av vetenskapligt intresse för någon geolog vid labbet ifråga. Exempelvis har varken jag eller SGU i Göteborg betalat mer än 2 000 US\$ för någon av de dateringar som ingått i våra samarbetsprojekt med dr Connelly.

3 Referenser

Christoffel C A, Connelly J N, Åhäll K-I, 1999. Timing and characterization of recurrent pre-Sveconorwegian metamorphism and deformation in the Varberg-Halmstad region of SW Sweden. *Precambrian Research*. 98: p 173–195.

Eliasson T, Schöberg H, 1991. U-Pb dating of the post-kinematic Sveconorwegian Bohus granite, SW Sweden: Evidence of restitic zircon. *Precambrian Research*. 51: p 337–350.

Kornfält K-A, 1996. U-Pb zircon ages of six granite samples from Blekinge county, southeastern Sweden. *SGU C 828. Sveriges Geologiska undersökning*.

Kornfält K-A, Bergström J, 1991. Provisoriska översiktliga berggrundskartan – Karlskrona. Ba 44. *Sveriges Geologiska Undersökning*.

Kornfält K-A, Persson P-O, Wikman H, 1997. Granitoids from the Äspö area, southeastern Sweden – geochemical and geochronological data, *GFF* 119: p 109–114.

Kornfält K-A, Vaasjoki M, 1999. U-Pb zircon datings of Småland and Karlshamn granites from southeasternmost Sweden. *SGU C 831. Sveriges Geologiska undersökning*.

Lundegårdh P, Bruun Å, Wikström A, 1985. Provisoriska översiktliga berggrundskartan – Oskarshamn. BA 34. *Sveriges Geologiska Undersökning*.

Söderlund U, 1999. Geochronology of tectonothermal event in the parautochthonous Eastern Segment of the Sveconorwegian (Grenvillian) orogen, southwestern Sweden. PhD Thesis. Lunds universitet.

Åberg G, 1978. Precambrian geochronology of SE Sweden. *GFF*. 100: p 125–154.

Åberg G, Löfvendahl R, Levi B, 1984. The Götemar granite – isotopic and geochemical evidence for a complex history of an anorogenic granite. *GFF*. 106: p 327–333.

Åhäll K-I, Larson S Å, 2000. Growth-related 1.85–1.55 Ga magmatism in the Baltic Shield; a review addressing the tectonic characteristics of Svecofennian, TIB 1-related and Gothian events. *GFF*. 122: p 193–206.

U/Pb Geochronological Results

Dr J N Connelly, The University of Texas at Austin

November 1, 2001

1.1 Introduction

Heavy mineral separates from five granites from southeast Sweden were submitted to the Geochronology Laboratory at The University of Texas at Austin for U-Pb zircon dating. All samples yielded sufficient quantity and quality of zircons to be treated with standard analytical techniques.

1.2 Methods

Rock samples were initially processed at Göteborg University, Sweden, where they were crushed to mineral size using a jaw crusher and where initial heavy minerals were concentrated using a gold panning dish. The heavy mineral concentrates were sent to The University of Texas at Austin where they were processed further using sieves, heavy liquids and a FrantzTM magnetic separator. Mineral fractions were characterized using a binocular reflected-light microscope, transmitted light petrographic microscope (with condenser lens inserted to minimize edge refraction) and a scanning cathodoluminescence (CL) imaging system on a JEOL 730 scanning electron microscope.

A few grains, usually 1–3 of each population were selected for analysis on the basis of optical properties to ensure that only the highest quality zircons were analyzed. All mineral fractions analyzed were strongly abraded (Krogh, 1982), subsequently re-evaluated optically and then washed successively in distilled 4N nitric acid, water and acetone. They were loaded dry into TeflonTM capsules with a mixed ²⁰⁵Pb/²³⁵U isotopic tracer solution and dissolved with HF and HNO₃. Chemical separation of U and Pb from zircon using minicolumns (0.055 ml resin volume; after Krogh, 1973) resulted in total procedural blanks of approximately 1 and 0.25 pg for Pb and U, respectively. Pb and U were loaded together with silica gel and phosphoric acid onto an outgassed filament of zone-refined rhenium ribbon and analyzed on a multi-collector MAT 261 thermal ionization mass spectrometer operating in dynamic mode with all masses measured sequentially on a single axial Secondary Electron Multiplier (SEM) – ion counting system.

Initial common Pb was corrected for using appropriate values of (Stacey and Kramers, 1975), and ages were calculated using decay constants of (Jaffey et al, 1971). Errors on isotopic ratios were calculated by propagating uncertainties in measurement of isotopic ratios, fractionation and amount of blank with a program written by J N Connelly. Analytical data are reported in Table 1 with 2σ errors. Linear regressions were performed using the procedure of (Davis, 1982). The goodness of fit of a regressed line is represented as a probability of fit, where 10% or better is considered acceptable and corresponds to a Mean Square of Weighted Deviates (MSWD) of 2 or less.

Ages listed in the text, table and figures are quoted with 2σ errors.

1.3 U-Pb zircon results

Samples weighing 7–10 kg were collected from single blocks in quarries and road-cuts by Dr Karl-Inge Åhäll. All granites are coarse-grained and virtually undeformed, save the Gersebo granite that is medium-grained and weakly foliated.

1.4 Uthammar granite

The Uthammar sample was collected in an old quarry, 300 m SSE of the Uthammar farm (Swedish coordinates: 636207/154827). It yielded clear to slightly brown, euhedral zircons with aspect ratios between 4:1 to 2:1. Most zircons contained inclusions and, to a lesser extent, a small inherited component as cores. The largest grains (125–150 µm) were not used since they had the greatest abundance of inclusions. Small to medium grains (50–125 µm) proved most useful; careful selection using the petrographic microscope could virtually eliminate inclusions from the analysis.

Four fractions of clear, colourless zircon were analyzed as fractions containing either 1, 2 or 3 grains (see Table 1-1). One fraction overlaps concordia, and intercepts of 1,441+5/-3 Ma and 394+/-240 Ma (Figure 1-2a; probability of fit = 95%) are obtained when regressed together. The upper intercept is interpreted to represent the crystallization age of this granite. The lower intercept is not considered to be geologically distinct but may be a result of younger, integrated Pb loss.

1.5 Eringsboda granite

The large Eringsboda intrusion was sampled in the southern part of the body, in a road-cut along väg 122, 500 m north of Stora Mo (Swedish coordinates: 62500/14750). This sample yielded (amidst abundant apatite) clear to slightly beige, euhedral zircons that are similar in appearance to the Uthammar zircons. The smallest zircons offered the best zircon quality in terms of morphology, colour and low numbers of inclusions – they were used exclusively for analysis.

Analysis of four fractions, comprising between 2 to 4 grains (see Table 1-1), cluster between 2–3% discordant along Pb²⁰⁷/Pb²⁰⁶ lines (Figure 1-2b). Attempts with various fractions to cause partial spread along a discordia line (and thus enable a statistical regression of four points) was unsuccessful. To obtain a meaningful, statistically defined upper intercept age from these near concordant points, the lower intercept of the line was pinned at 200+/-200 Ma. This constraint is justified by the common occurrence of lower intercepts between 0–400 Ma within southeastern Sweden (e.g. Table 1 and 2 in Åhäll and Larson, 2000/). Regressing the four points with this lower intercept pin yields an upper intercept age of 1,447+4/-3 Ma, which is interpreted to represent the crystallization age of the Eringsboda granite.

1.6 Jungfrun granite

The Jungfrun sample was taken from a block in the old quarry at the southwestern shore of the Blå Jungfrun island (Swedish coordinates: 63473/12590). It yielded clear, euhedral prismatic to elongate zircons which range in size from 50–150 µm. Of the four “younger granites” dated in this contract, this sample had the best-quality zircons — while inclusions exist in many zircons, selecting grains without cores or inclusions was easier for this sample.

Analyses of four fractions (see Table 1-1), comprising two single grain analyses and two analyses with two zircons each, yielded three concordant points and one fraction that plots approximately 6% discordant (Figure 1-2c). A standard regression of the four analyses yields an upper intercept age of 1,441+/-2 Ma (probability of 46%), which is interpreted as the crystallization age of this granite. The lower intercept of 136+/-85 Ma apparently reflects recent to near-recent Pb loss.

1.7 Götömar granite

The Götömar body was sampled in the Kråkemåla quarry (Swedish coordinates: 637280/154980). It yielded clear to light beige, euhedral to subhedral prismatic zircons that range from 50 to >200 µm in size. Fragments of euhedral zircons were also common, likely the result of breaking larger grains in the crushing process. Zircons in this sample also contain a large amount of inclusions and apparent zircon cores – these were avoided by careful picking and examination using a petrographic microscope.

Four analyses comprising a single grain as well as fractions containing 2–4 grains each (see Table 1-1) were all discordant between 11 and 19% (Figure 1-2d). Fractions Z1 and Z3 overlap, as do fractions Z2 and Z4. All four fractions define a line with a 61% probability and an upper intercept of 1,452+11/-9 Ma; the larger error reflecting the large discordance for analyses of this sample. The age is interpreted to reflect the age of crystallization of this rock. The lower intercept of 454+/-90 Ma is older than the other samples analyzed in this contract and are probably the result of younger, integrated Pb loss.

1.8 Gersebo granite

The Gersebo granite was sampled ca 1.5 km north of Kråkemåla in a road-cut near a parking-place 750 km south of Gersebo (Swedish coordinates: 637310/155148). The sample yielded clear, colourless, euhedral, prismatic to elongate zircons that range from approximately 50–150 µm in length. This sample had an abundance of inclusions such that it was difficult to be certain that inclusions were fully avoided in the zircons analyzed.

Four fractions comprising between 1 and 3 zircons each (see Table 1-1) plot very slightly discordant but do not define a single $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age (Figure 1-2 e). Fractions Z1 and Z2 define a $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of 1805 Ma whereas Z3 and Z4 define a $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age of 1,800 Ma. Although very close in age, these two ages do not fully overlap given the small errors on these analyses. The average of the four $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages is 1,803±7 Ma, and it is interpreted that this age reliably dates the crystallization of this granite as the errors include the full range of all four analyses.

1.9 References

- Davis D W, 1982.** Optimum linear regression and error estimation applied to U-Pb data: *Canadian Journal of Earth Sciences*, v 23, p 2141–2149.
- Jaffey AH, Flynn K F, Glendenin L E, Bentley W C, Essling A M, 1971.** Precision measurements of half-lives and specific activities of ^{238}U and ^{235}U : *Physical Reviews*, v 4, p 1889–1906.
- Krogh T E, 1973.** A low-contamination method for hydrothermal decomposition of zircon and extraction of U and Pb for isotopic age determination: *Geochimica Cosmochimica Acta*, v 37, p 485–494.
- Krogh T E, 1982.** Improved accuracy of U-Pb zircon ages by the creation of more concordant systems using an abrasion technique: *Geochimica Cosmochimica Acta*, v 46, p 637–649.
- Stacey J C, Kramers J D, 1975.** Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model: *Earth and Planetary Science Letters*, v 26, p 207–221.
- Åhäll K-I, Larson S Å, 2000.** Growth-related 1.85–1.55 Ga magmatism in the Baltic Shield; a review addressing the tectonic characteristics of Svecofennian, TIB 1-related and Gothian events. *GFF* 122, 193–2006.