



MANNVIT

Bergboltar í jarðgöngum, kröfur til ryðvarnar

Höfundur: Matthías Loftsson

Vegagerðin

Rannsóknarskýrsla

18. apríl 2013

TITILBLAÐ

Skýrsla nr: MV 2013-011	Útgáfunr.: 01	Útgáfudags.: 18.04.2013	Verknúmer: 7-009-299
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Bergboltar í jarðgöngum, kröfur til ryðvarnar			Upplag: Fjöldi síðna: 14
Höfundur/ar: Matthías Loftsson			Verkefnisstjóri (undirskr.): ML Yfirfarið (undirskr.): GEÍ
Verkkaupi: Vegagerðin		Tengiliður verkkaupa: Þórir Ingason	
Samstarfsaðilar: Gísli Eiríksson (GE) hjá Vegagerðinni			
Útdráttur: Kröfur til ryðvarnar innsteyptra bergbolta eru mismunandi milli landa. Í Noregi er fyrirskrifað að nota eigi samsetta húðun (combi-coat) fyrir alla innsteypta bergbolta í veggöngum, en í Svíþjóð er krafan mismunandi eftir ætluðu ytra áreiti. Frá 1996 hefur hér á landi verið gerð krafa um samsetta ryðvarnarhúðun fyrir innsteypta bergbolta í veggöngum að norski fyrirmynd. Á sama tímabili hefur ekki verið gerð krafa um ryðvörn bergbolta í virkjunum önnur en innsteyping bolta. Í skýrslu eru töflur um magn bolta í göngum hér á landi og umfjöllun um ávinning og galla í kröfum um ryðvarnir.			
Efnisorð: Bergboltar, jarðgöng, ryðvörn			

Dreifing:
 Opín öllum starfsmönnum
(Rafræn í bókasafni)

 Lokuð
(Engin dreifing nema með leyfi verkkaupa.)

Breytingasaga:

Útgáfunr	Dags.	Breyting	Höf.	Yfirfarið



MANNVIT



Mannvit Verkfræðistofa

Grensásvegur 1
108 Reykjavík
Sími: 422 3000
Fax: 422 3001
@: mannvit@mannvit.is
www.mannvit.is

Efnisyfirlit

Bergboltar í jarðgöngum	1
Innsteyptir kambstál bergboltar.....	1
Endafestir innsteyptir boltar, CT-boltar	2
Rörboltar	2
Perfóboltar	3
Ryðvörn bergbolta	4
Tæring bergbolta.....	4
Kröfur til tæringarvarnar	4
<i>Ísland</i>	5
<i>Noregur</i>	7
<i>Svíþjóð</i>	7
<i>Finnland</i>	8
<i>Miðevrópa</i>	9
Efnahvarf milli zinks og sements	9
Meðhöndlun bolta skiptir máli.....	10
Samantekt	13
Heimildir.....	14

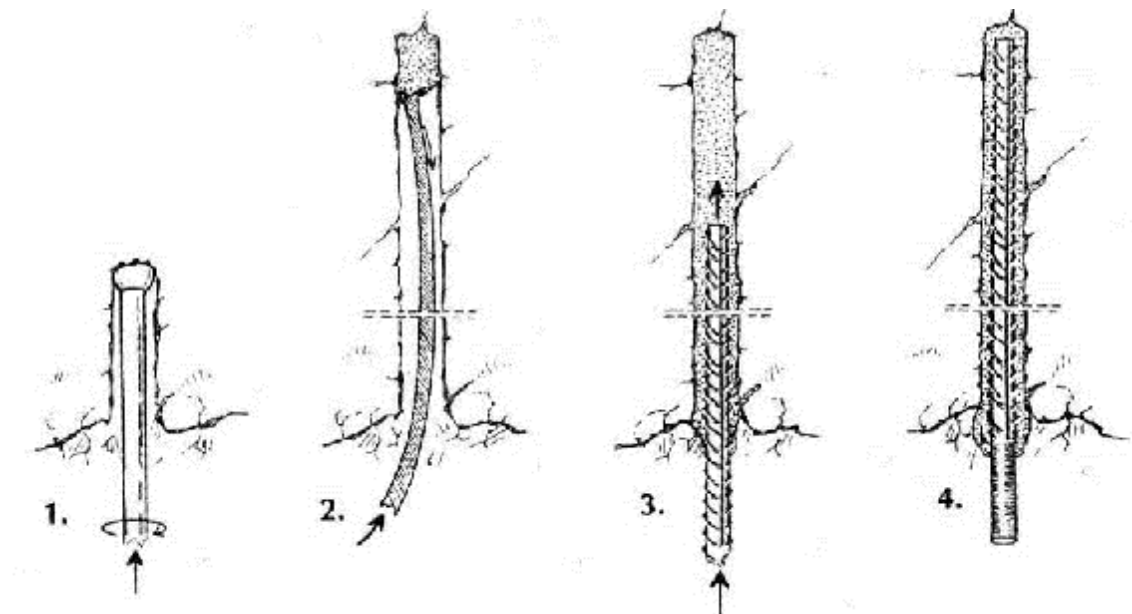
Bergboltar í jarðgöngum

Byrjað var að nota bergbolta til styrkinga í jarðgöngum upp úr 1920 en það er ekki fyrr en eftir 1950 að notkun verður algeng. Í fyrstu voru boltar eingöngu með „mekanískum“ endafestingum, en síðar koma á markað bergboltar með mismunandi aðferðum til festinga á boltanum, svo sem boltar endafestir með límfestingu, þennslubolta (swellex) og, það sem algengast er, alinnsteyptir boltar sem ýmist geta verið innsteypt kambstál eða forspenntir boltar, sem síðar eru alinnsteyptir.

Tvær gerðir af innsteyptum bergboltum hafa verið mest notaðar í jarðgöngum hér í seinni tíð, innsteypir kambstáls boltar og endafestir innsteyptir boltar, svokallaði CT boltar. Fyrr voru einnig notaðir svokallaðir rörboltar og „perfoboltar“. Minna hefur hér á landi verið notað af óinnsteyptum boltum, sem þá eru eingöngu endafestir eða festir að hluta með lími, eða þennsluboltum og verður því ekki fjallað um þær gerðir hér.

Innsteyptir kambstál bergboltar

Hér er átt við 16 til 25 mm svert kambstál, sem er að fullu innsteypt frá holubotni að yfirborði holu. Lengd bolta er frá 2 m til 6 m, en mest er notað af 3 til 4 m boltum. Til að tryggja fulla innsteypingu er skilgreint verklag við ísetningu bolta að borhola sé fyrst nær fyllt af sementsefju, frá holubotni og upp holuna, áður en bolta er troðið í holuna eða eins og sýnt er á mynd 1. .



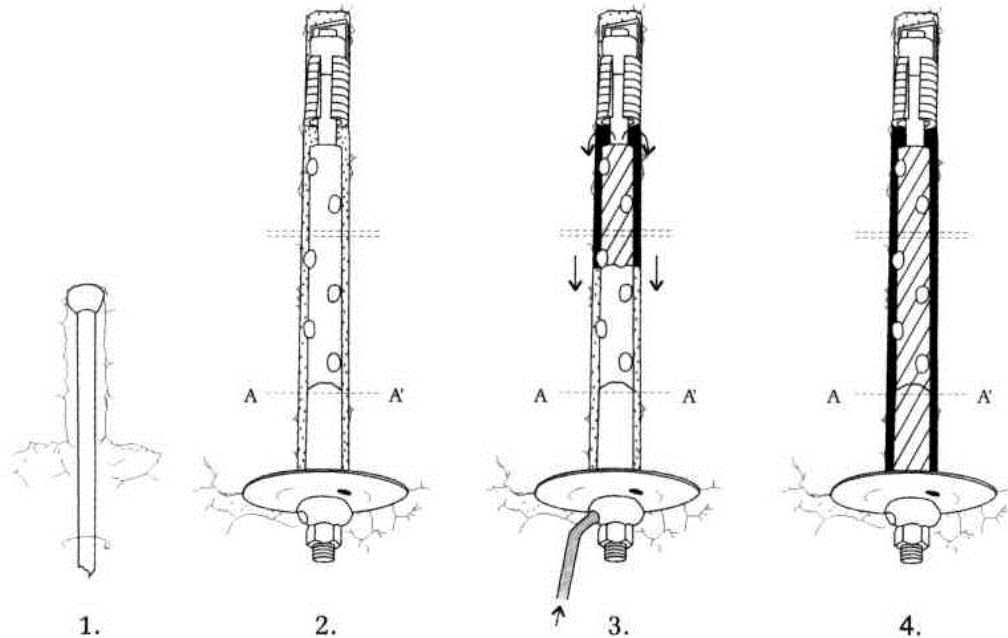
Mynd 1. Verklag við innsetningu innsteypts kambstáls bergbolta¹.

Kostir innsteypra kambstálsbolta er að uppsetning er tiltölulega auðveld, bolti er tiltölulega ódýr í innkaupum og er innsteypur enda á milli. Sementsefjan er því ryðvörn. Hentar þó illa ef vatn rennur í holu og efja þarf tíma til að harðna. Bolti er því ekki „virkur“ strax eftir innsetningu, heldur þarf efjan að stífna og harðna.

¹ Fjellbolting. Veiledning. Håndbok 215, Statens vegvesen, 2000.

Endafestir innsteyptir boltar, CT-boltar

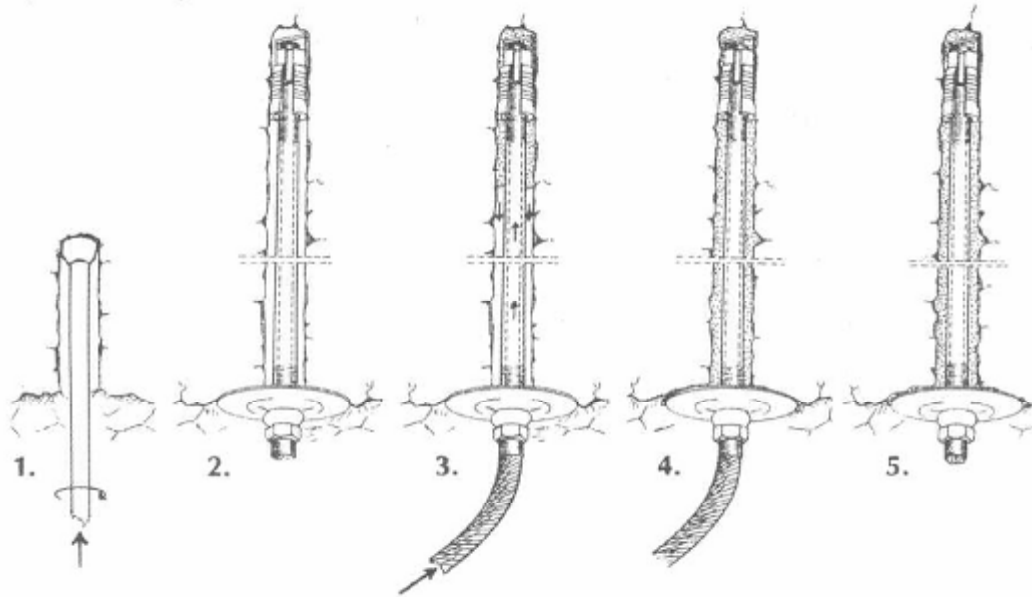
Þessi gerð bergbolta hefur talsvert verið notuð þar sem berg er lélegra og ná þarf fram virkni styrkingar fljótt. Bolti er þá endafestur fyrst og forspenntur með herslu, en síðar er sementsefju dælt í holuna, sem getur þess vegna verið nokkrum dögum síðar. Hlíf er milli bolta og bergs þar sem sementsefju er dælt niður um þar til efjan flæðir út um borholuna, sjá mynd 2.



Mynd 2. Verklag við innsetningu innsteypts endafests bergbolta, CT-bolta¹.

Rörboltar

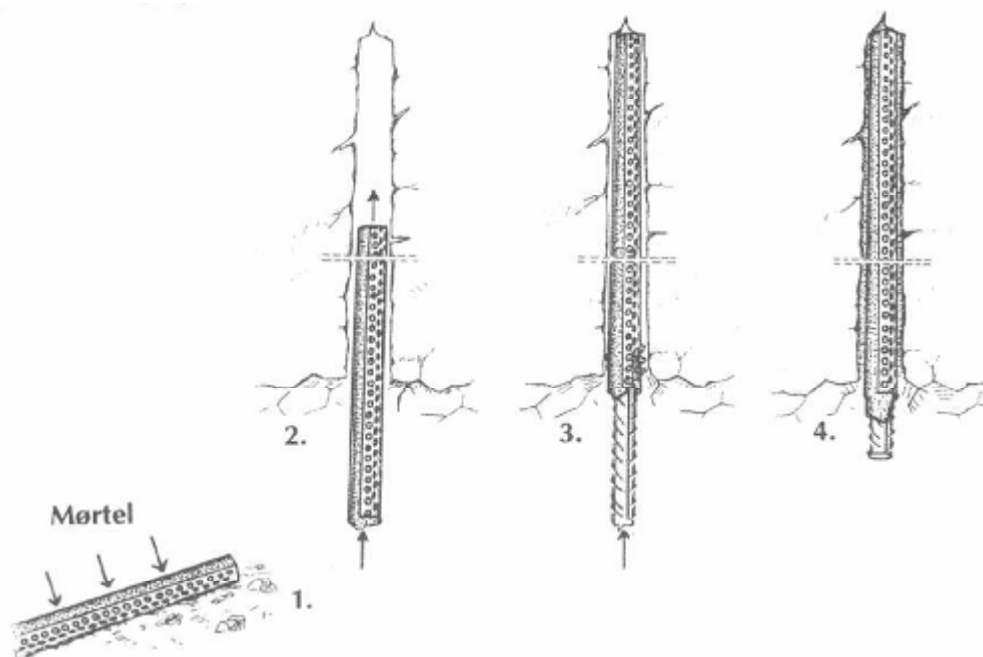
Rörboltar hafa verið notaðir hérlandis, m.a. í jarðgöngum undir Breiðadals og Botnsheiði. Þá hefur þessi gerð verið notuð í nokkrum af eldri virkjunum. Boltarnir eru endafestir og holir og er sementsefju dælt inn um enda boltans eftir innsetningu, sjá verklag á mynd 3. Boltagerð þessi hefur svipaða kosti og CT-boltar, en trygging fyrir fullri innsteypingu er ekki jafn góð.



Mynd 3. Verklag við innsetningu innsteypts rörbolta¹.

Perfóboltar

Fyrr var þessi boltagerð nokkuð notuð, en ekki í seinni tíð. Var t.d. notuð í Oddskarðsgöngum og í nokkrum af eldri virkjunum. Kostir er að ekki þarf dælubúnað til að koma innsteypingarefju í borholur og bolti situr að fullu í sementsefju innan við raufahlífina. Ókostir eru að borhola verður að vera nokkuð jafnvið þannig að tryggt sé að efja í raufahlíf fylli holuna eftir ísetningu bolta, tímafrekari vinna við boltaísetningu en við venjulega innsteypta bolta og bolti getur ekki verið mjög langur (mest um 3 m).

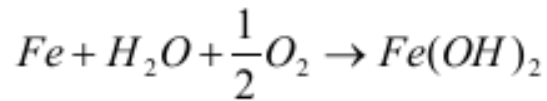


Mynd 4. Verklag við innsetningu innsteypts perfóbolta¹.

Ryðvörn bergbolta

Tæring bergbolta

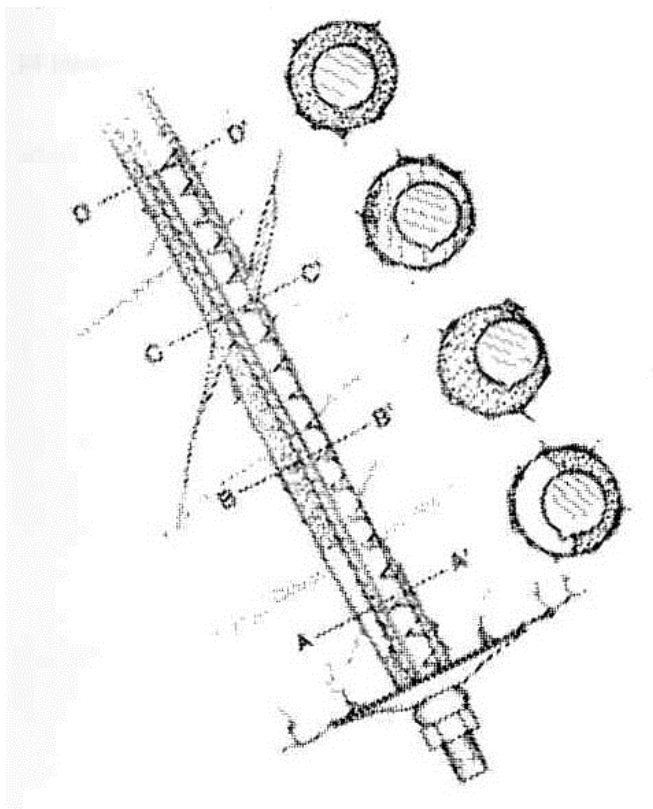
Fyrir tæringu járnþarf bæði vatn og súrefni.



Selta í vatni eykur mjög tæringu og hitastig hefur líka flýttandi áhrif. Þá tærist hraðar bolti sem er undir togáhrifum, sennilega vegna mikrosprungna í málminum.

Kröfur til tæringarvarnar

Innsteyping bergbolta er jafnframt ryðvörn, á sama hátt og innsteyping járna í steypum mannvirkjum ver járnið allajafnan fyrir tæringu, en glufur geta verið í þeirri ryðvörn. Þó svo að borhola sé alltaf nokkru víðari en þvermál bolta (skilyrt minnst 10 mm víðari), er erfitt að tryggja að steypuhula verði alls staðar utan um bergboltann. Borholan borast kannski ekki beint, bolti getur legið utan í bergi í hluta holu og formbreytingar í bergi geta líka aflagað borholur og slitið sundur steypu í borholunum. Dæmi um misfellur í innsteypingu eru sýndar á mynd 3.



Mynd 3. Dæmi um hvernig innsteypingu um bergbolta getur verið mismunandi¹.

Vegna þessa eru oft gerðar kröfur um að bergboltar séu ryðvarðir að auki. Ryðvörn er þá zinkhúðun og epoxymálning að auki í sumum tilfellum. Kröfur um ryðvörn bergbolta, umfram innsteypingu, eru

hins vegar misjafnar milli landa og frá einu verki til annars innan sama lands. Þá hafa kröfur breyst í árunna rás.

Það skiptir miklu að velja tæringarvörn bolta í samræmi við aðstæður. Þetta er gert í sumum löndum en stundum virðist sem kröfur séu ekki gerðar með hliðsjón af aðstæðum heldur hefur hefð ráðið för. Eftirfarandi kröfur eru gerðar í nokkrum löndum.

Ísland

Hér hefur tíðkast að nota mest innsteypta bergbolta, sem fyrr segir. Tæringarvörn bolta hefur þó verið mismunandi eftir mannvirkjum. Fyrir veggöng hafa boltar verið skilgreindir með hvort tveggja zinkhúðun og epoxymálningu í öllum göngum frá 1996, þ.e. frá og með Hvalfjarðargöngum. Í Múlagöngum og jarðgöngum undir Breiðadals og Botnsheiði voru boltar zinkhúðaðir, en í veggöngnum fyrir þann tíma var lítið notað af bergboltum og þá eingöngu svart stál. Samantekt um helstu boltagerðir og tæringarvörn í veggöngum á Íslandi er sýnd í töflu 1,

Tafla 1. Bergboltar í veggöngum á Íslandi

Göng	Byggingarár	Boltagerðir	Magn (stk)	Tæringarvörn bolta	stk/m göng
Arnardalshamar	1948	Engir boltar	0		0
Strákagöng	1965 - 1967	?	?		?
Oddskaðsgöng	1972 - 1977	perfóboltar	?	óvarðir	?
Múlagöng ²	1988 - 1990	Rörboltar og Innsteypt kambstál	1.916	zinkhúðun	0,6 (36% rörab.)*
Breiðadals- og Botnsheiðargöng ³	1991 - 1996	Rörboltar og innsteypt kambstál	8.550	zinkhúðun	0,98 (79% rörab.)*
Hvalfjarðargöng	1996 - 1998	Innsteypt kambstál og CT-boltar	17.364	Zink og epoxyhúðun	3,17 (<10% CT-boltar)
Fáskrúðsfjarðarg.	2003 - 2005	Innsteypt kambstál, CT-boltar og límboltar**	18.076	Zink og epoxyhúðun	2,8 (25% CT-boltar, 6% límb.)
Göng undir Almannaskarð	2004 - 2005	Innsteypt kambstál og CT-boltar	3.211	Zink og epoxyhúðun	3,18 (85% CT-boltar)
Héðinsfjarðargöng	2006 - 2010	Innsteypt kambstál og CT-boltar	32.502	Zink og epoxyhúðun	3,1 (55% CT-boltar)
Bolungarvíkurgöng ⁴	2008 - 2010	Innsteypt kambstál og CT-boltar	18.415	Zink og epoxyhúðun	3,8(12,3% CT-boltar)

* rörboltar aðallega settir upp sem vinnustyrking á graftartíma ganganna.

** límboltar eru 2,4 m langir, endafestir með límtúpu, svokallaðir spennuboltar

² Jarðgöng í Ólafsfjarðarmúla. Framkvæmdarskýrsla, Vegagerðin, júlí 1991.

³ Jarðgöng í Breiðadals- og Botnsheiði, Framkvæmdareftirlit, Vegagerðin, febrúar 1996.

⁴ Óshlíðargöng. Framkvæmdarskýrsla. Efla og Geotek, 2011.

Í virkjanagöngum hafa aðallega verið notaðir óryðvarðir innsteyptir bergboltar, kambstálsboltar. Í aðrennslisgöngum Búrfellsvirkjunar voru notaðir forspenntir boltar sem grautaðir voru eftir innsetningu (rörboltar?)⁵ og í göngum Laxárvirkjunar var eitthvað notað af perfóboltum⁶.

Í töflu 2 eru sýndar helstu gerðir bergbolta í virkjanagöngum. Athygli vekur að kröfur til tæringavarnar eru aðrar í virkjanagöngum, sem eru mörg hver vatnsgöng, en í veggöngum.

Tafla 2. Bergboltar í virkjanagöngum á Íslandi

Göng	Byggingarár	Boltagerðir	Magn (stk)	Tæringarvörn bolta	stk/m göng
Írafossvirkjun	1951 - 1953	?	?		0
Grímsárvirkjun	1956 - 1957	?	?		?
Efra - Sog	1958 - 1959	?	?		?
Búrfellsvirkjun, aðrennslisgöng (89m ²)	1966 - 1969	Expansionboltar eftir á grautað (rörboltar ?)	1.405	?	1,36
Laxárvirkjun	1970 - 1972	Perfóboltar	?		
Blönduvirkjun (25 og 32 m ²)	1984-1988	Innsteypt kambstál	651	óvarðir	0,26
Sultartangavirkjun, aðrennslisgöng, „top heading“ (62m ²) ⁷ .	1997 - 1999	Innsteypt kambstál, fáir CT-boltar	11.992	óvarðir	3,55 (2,6% CT-boltar)
Sultartangavirkjun, aðrennslisgöng, „bench“ (90 m ²)	1997 - 1999	Innsteypt kambstál, fáir CT-boltar	1.688	óvarðir	0,5 (0% CT-boltar)
Kárahnjúkavirkjun, aðkomugöng (45m ²)	2003 - 2004	Innsteypt óvarið kambstál, fáir CT-boltar	2.712	óvarðir	2,61 (4% CT-boltar)
Kárahnjúkavirkjun, kapalgöng (14 m ²)	2003 - 2004	Innsteypt óvarið kambstál, fáir CT-boltar	1.415	óvarðir	1,47 (<1% CT-boltar)
Kárahnjúkavirkjun, frárennslis- og sográsagöng (69m ²) ⁸	2003 - 2004	Innsteypt óvarið kambstál, fáir CT-boltar	4.834	óvarðir	2,8 (<1% CT-boltar)
Búðarhálsvirkjun, aðrennslisgöng, „top heading“ (68m ²)	2011 - 2013	Innsteypt kambstál, fáir CT-boltar	~15.700	Zink og epoxyhúðun*	3,98 (CT-boltar 32%)

* Krafan í verklýsingu er galvanisering, en boltar flestir með hvort tveggja, zink + epoxy

⁵ Búrfellsvirkjun – jarðgangagerð. Páll Ólafsson, Tímarit VFÍ 1984.

⁶ Laxá III – Jarðgangagerð. Niels Indriðason, Tímarit VFÍ 1984.

⁷ Sultartangi Hydroelectric Project. Underground Excavation Headrace Tunnel. Lahmeyer Int. Og VSÓ ráðgjöf, 2000.

⁸ Kárahnjúkar Hydroelectric Project. Kar-15 Final Report, febrúar 2008.

Noregur

Í norsku staðallýsingu fyrir vegagerð⁹ er fyrirskrifað í dag að allir boltar eigi að vera með tvöfaldri ryðvörn. Í eldri lýsingu frá 1994¹⁰ er hins vegar ekki gerð krafa um tvöfalda húðun nema til að hindra efnahvörf milli zinksins og sementsefjunnar.

Þessi krafa virðist ekki ná inn í verklýsingar fyrir virkjanagöng í Noregi frekar en á Íslandi. Í leiðbeiningum frá NEV (Norges Vassdrags- og Energidirektorat)¹¹ er ekki gerð sérstök krafa til ryðvarnar bergbolta önnur en að venjulegir kambstálsboltar skuli settir í miðja holu og steypast að fullu inn. Forspennt stög skuli hins vegar vera með tvöfaldri ryðvörn.

Annað dæmi er verklýsing fyrir aðrennslisgöng í Tyrklandi, sem byrjað var á í lok árs 2011, skrifuð af norskum ráðgjafa, Norconsult¹². Þar segir að ryðvörn skuli vera heitgalvanhúðun, minnst 80 µm, eða með hvoru tveggja heitgalvanhúðun og epoxyhúðun. Krafan er sem sagt a.m.k. galvanhúðun, en epoxy húðun þar ofan á er ekki skilyrt.

Rannsókn hefur verið gerð á niðurbroti styrkinga í gögnum í Noregi, m.a. tæringu bergbolta¹³. Þar í landi hafa verið notaðir bergboltar til styrkinga í jarðgöngum frá því á sjötta áratugnum eða upp úr 1950. Í fyrstu voru aðeins notaðir endafestir boltar án ryðvarnar, svart stál, en upp úr 1970 voru allir boltar með zinkhúðun.

Niðurstöður athugunar sýndi að óryðvarðir boltar sem bara voru endafestir voru í mörgum tilfellum einskis nýtir eftir 50 ár. Plötur og boltarær voru ryðgaðar, en boltinn sjálfur minna ryðgaður þar sem lítið vatn var í holum. Innsteiptir óryðvarðir boltar voru þó, að því er virtist í lagi, því þó endi bolta, plötur og boltarær væru kolryðgaðar þá stöðust boltar togprófun (pull-out test). Bent er þó á í greininni að ekki sé hægt að fullyrða að boltar séu allir heilir, því innsteyping getur verið götött.

Hvað varðar zinkhúðaða bergbolta þá sýndi sama athugun að þeir boltar voru allir heilir, þar með talið bergboltar í neðansjávargöngum, sem höfðu verið berskjaldaðir fyrir salt vatni og þörungagróðri.

Boltar varðir með hvort tveggja zinkhúðun og epoxyhúðun komu líka vel út úr athugun, en í fyrrgreindri úttekt segir að þessir boltar hafa ekki verið á markaði svo lengi að draga megí ályktun um varanleika þeirra. Boltar með tvöfaldri ryðvörn, zink + epoxyhúðun, voru fyrst notaðir á einstaka stöðum eftir 1985 og CT-boltar með tvöfaldri ryðvörn koma ekki á markaðinn fyrr en 1993.

Svíþjóð

Í leiðbeiningum sænsku vegagerðarinnar¹⁴ er krafa til ryðvarnar bergbolta háð aðstæðum. Í tiltölulega þéttu bergi eða þar sem þétt er með bergþéttingu gildir tæringarflokkur Im₁ samkvæmt EN

⁹ Prosesskode 1. Standard beskrivelsestekster for vegkontrakter. Håndbok 025. Statens vegvesen, 2007.

¹⁰ Prosesskode-1. Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdriften. Statens vegvesen, 1994.

¹¹ Retningslinjer for betongdammer til 4.8 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg, NVE 2005.

¹² Kargi Hypropower Project. Headrace tunnel in Beynamaz Formation and Kunduz Marbles Rock Excavation and Rock Support Specifications (Norconsult).

¹³ Degradation of earlier reinforcement and support. Asbjørn Martiniussen. Norwegian Tunnelling Society, Publication no. 17, 2008.

¹⁴ TRVK Tunnel 11. Trafikverket tekniska råd Tunnel. TRV publ nr 2001:088. Trafikverket, 2011.

ISO 12944-2, og innsteyptir boltar mega vera óryðvarðir. Annars skulu boltar vera galvaníseraðir í flokki Im₃, nema í saltvatnsumhverfi, þar verða bergboltar að vera með hvort tveggja galvanhúðun og epoxyhúðun, sbr. töflu 3 á næstu blaðsíðu. Þetta viðmið er talið uppfylla 120 ára líftíma fyrir innsteypta bergbolta.

Fyrir ógrautaða bergbolta eiga boltar að vera í það minnsta heit galvanhúðaðir og þar sem mikilla seltuáhrifa gætir einnig með epoxyhúðun.

Rannsókn gerð í Svíþjóð sýndi að lítil hættu er á tæringu innsteyptra bergbolta.¹⁵ Fram kemur í athugun að það sem fyrst og fremst hefur áhrif á endingu innsteyptra bergbolta er lágt sýrustig, framboð á súrefni og vatn. Sementsinnsteyping skapar basískt umhverfi um bolta og takmarkar aðgengi vatns og súrefnis. Þá er talið æskilegt að vatns-sementstala sementsefju sé lág sem þá stuðlar frekar að sjálfþéttingu vatnsleka í kringum bolta. Fyrir ryðmyndun þarf vatn og lágt sýrustig og ef engin verða vatnsskipti verður engin tæring.

Tafla 3. Kröfur til bergbolta í sænsk veggöng, sænska taflan og

þýðing :

Korrosiviteitsklass enlig TRVK Tunnel, tabell FA-3	Im ₁	I övrig miljö om en systematisk förinjektering är utförd eller vid berg som är så tätt att särskilda tätningsåtgärder inte behövs	Obehandlat stål samt ingjutning med cementbruk som uppfyller krav enligt AMA,EBE.1171.	Fyrir unhverfisflokk Im ₁ í þéttu berg eða bergi sem er þétt með bergþéttingu = óryðvarðir boltar.
	Im ₃	I övrig miljö	Varmförzinkat stål samt ingjutning med cementbruk som uppfyller krav enligt AMA,EBE.1171.	Fyrir umhverfisflokk Im ₃ við aðrar aðstæður en ofangreint þá = heitgalvanhúðaðir boltar.
	Im ₃	I marin miljö eller i en miljö med för stål aggressivt vatten.	Varmförzinkat stål kombinerat med ytskydd av värmehärdad epoxy med skiktjocklek ≥ 80 µm samt ingjutning med cementbruk som uppfyller krav enligt AMA,EBE.1171.	Fyrir umhverfisflokk Im ₃ þar sem sem gætir áhrifa frá sjó eða vatn er tærandi þá = heitgalvanhúðaðir og epoxyhúðaðir boltar.

Finnland

Ekki hafa fengist beinar upplýsingar um hvort einhver sérstök skilgreind viðmið eru til staðar fyrir jarðgöng í Finnlandi.

¹⁵ Durability of cement grouted rock bolts. Windelhed Kjell, Lagerblad Björn og Sandberg bertil, SvebeFo rapport, 2002

Í skoðun höfundar og fleiri¹⁶ á jarðgöngum í Finnlandi hefur komið fram að boltar eru yfirleitt hvort tveggja galvaniseraðir og epoxihúðaðir. Þá eru ekki settar rær og skífur á innsteypa bolta sem settir eru upp síðar, þ.e. aftan við stafn ganga. Fyrir vinnustyrkingar, við stafn ganga, eru notaðir CT boltar, sem þá eru grautaðir síðar.

Miðevrópa

Í mörgum miðevrópuríkjum virðast menn líta á bergbolta meira sem vinnustyrkingu og steypar einingar settar inn síðar sem varanleg styrking ganganna. Bergboltar eru því mest svart óryðvarið stál. Algengt er að nota t.d. „swellex bolta“ sem eru hol rör sem eru þanin út að bergi í borholu með loftþrýstingi.

Efnahvarf milli zinks og sements

Til að fyrirbyggja sementsofnæmi þeirra sem vinna með sement er skilyrt í reglugerð að ekki megi vera króm í sementi¹⁷. Sement er því „afkrómað“ en með afkrómun“skapast hætta á efnahvörfum milli sements og zinks í galvanhúðuðu járn. Við efnahvörfin myndast gasbólur, sem talið er af sumum að geti minnkað viðloðun milli steypu og stálsins. Til að koma í veg fyrir efnahvörf milli zinks og sements var farið að húða bolta með epoxymálningu.¹⁸ Þá var það talið til bóta að hafa tvöfalda ryðvörn á bolta sem átti þá að lengja líftíma boltans.

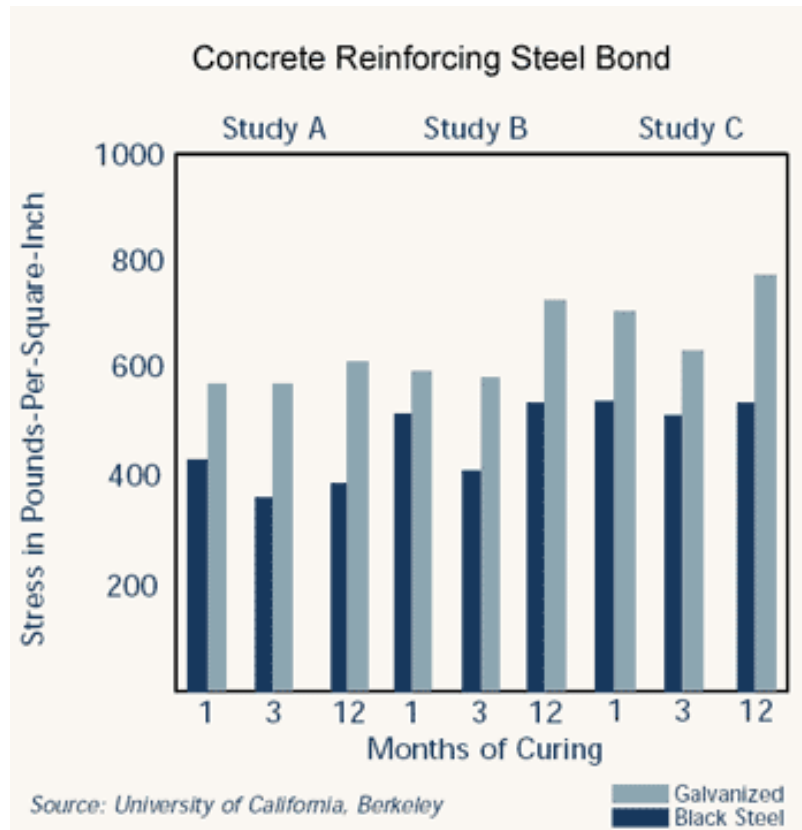
Rannsóknir hafa hins vegar sýnt efnahvörf milli sements og zinks geta aðeins orðið meðan steypan er blaut og efnahvörfin hætta við hörðnun steypunnar. Mælingar hafa líka sýnt að bindistyrkur getur jafnvel verið meiri milli sementsefju og galvanhúðaðs stáls en milli sementsefju og ómeðhöndlaðs stáls, sjá niðurstöður rannsóknar AGA¹⁹ í mynd 3. Þá hafa rannsóknir sýnt að það er aðeins við stirðnun steypunnar sem efnahvörf eiga sér stað milli zinks og sements og þau efnahvörf ná ekki í gegnum galvanhúðina.

¹⁶ Gísli Eiríksson, persónulegar uppl.

¹⁷ Reglugerð nr 806 um takmörkun á krómi í sementi, september 2004.

¹⁸ Fjellbolting. Veiledning. Statens vegvesen. Håndbok 215, mars 2000.

¹⁹ AGA American Galvanic Association. <http://www.galvanizeit.org/about-hot-dip-galvanizing/how-long-does-hdg-last/in-concrete#bondStrength>.



Mynd 3. Samanburður á þöli innsteypra bolta í togprófi¹⁵.

Þá minnkar viðloðun milli begbolta og sementefju ef bolti er epoxyhúðaður^{20,21}. Þess vegna skiptir miklu að nota rifflað stál.

Meðhöndlun bolta skiptir máli

Það gagnast lítið að tvíhúða bergbolta ef húðin skemmist við flutning og meðhöndlun bolta á verkstað, sbr. myndir 4 til 6.

Komi gat á galvanhúðun þá „grær“ hún saman að einhverju leyti með „katóðuvörn“ og skaðinn því ekki mikill. Gat á epoxyhúðun yfir zink grær hins vegar síður saman því epoxyhúðin takmarkar aðgengi að zinki fyrir katóðuvörn. Skemmd í epoxyhúðuðum bolta, sem nær í gegnum bæði epoxy- og zinkhúðina, er því meiri skaði en ef boltinn væri eingöngu zinkhúðaður.

Þegar ytri húð bergbolta laskast við meðhöndlun er sú ryðvörn slitrótt. Það eru kannski ekki miklar líkur á að skemmdir á ryðvörninni fari saman við galla í innsteypingu boltans, en það er ekki hægt að útiloka það.

²⁰ Bond strength of corrosion resistant steel reinforcement in concrete. Josiah Barrett Johnson, august 2010.

²¹ Corrosion protection of rock bolts by epoxy coating and its effect on reducing bond capacity. M Moosav og S Karimi. Research online, 2008.



Mynd 4. Járngjörð hefur nuddast við „combi-coat“ bolta og rispað af epoxy húðina.



Mynd 5. Boltar sem liggja óvarðir fyrir utan gangamunna geta orðið fyrir skemmdum.



Mynd 6. Boltar sem setja á upp er oft fleygt á gangagólf framan við stafn ganga. Meðhöndlun sem getur skaðað ryðvörn boltans.

Samantekt

Kröfur til ryðvarnar innsteyptra bergbolta eru mismunandi milli landa. Í Noregi er fyrirskrifað að nota eigi samsetta húðun (combi-coat) fyrir alla innsteyptra bergbolta í veggöngum, en í Svíþjóð er krafan mismunandi eftir ætluðu ytra áreiti.

Hér á landi eru kröfur til ryðvarnar bolta umfram innsteypingu mismunandi og hafa breyst í gegnum tíðina. Frá 1996 hefur verið gerð krafa um samsetta ryðvarnarhúðun, að norski fyrirmynd, fyrir innsteyptra bergbolta í veggöngum. Á sama tímabili hefur ekki verið gerð krafa um ryðvörn bergbolta í virkjunum önnur en innsteyping bolta.

Rannsókn í Svíþjóð bendir til þess að innsteyping sé yfirleitt góð vörn gegn tæringu bergbolta, því steypan skapi basískt umhverfi um boltan og hindri aðstreymi vatns um boltann. Því þurfi oftast ekki að ryðverja innsteyptra bergbolta sérstaklega. Þar á landi er því ekki gerð krafa um samsetta ryðvörn, nema við sérstaklega slæmar ytri aðstæður eins og þar sem er selta í lekavatni eða vatnsleki er mikill.

Þau rök sem færð eru fyrir epoxyhúðun til að hindra efnahvörf milli zinks og sements eru að því er virðist haldlítill. Efnahvörfin geta aðeins átt sér stað þegar steypan er óhörðnuð en ekki eftir það. Það er því mat höfundar að sænska forskriftin sé bæði rökrétt og hagkvæm viðmiðunarleið.

Málning yfir zinkhúðun getur stundum haft öfug áhrif en ætlað var, því ef málning og zinkhúðun rispast í gegn, inn að stáli, þá takmarkar málningin „aðgengi“ að zinki og þá katóðuvörn sem felst í zinkhúðuninni. Stálið getur þá tærst hraðar á þeim stað en ella væri ef engin væri málningin.

Samkvæmt verðskrá frá framleiðendum hækkar innkaupsverð zinkhúðaðs 4m langs bergbolta um 25 til 30% með því bæta epoxyhúðun við. Áætlað er að innkaupsverð vegi um 1/3 af heildarkostnaði fyrir innsteyptra bergbolta og þá er heildarkostnaðaraukinn um 10% að nota epoxyhúðaðan bergbolta í stað eingöngu zinkhúðaðs. Miðað við meðalboltanotkun um 3 bolta/m göng í veggöngum er sparnaður kannski ekki mikill, en safnast þegar saman kemur.

Fyrir óvarið stál eru oft notaðir heldur sverari boltar 25 mm í stað 20mm (þá kannski til að vega upp á móti ryðvörn). Það gerir uppsetningu erfiðari (þyngri boltar). Efnisverð er þó svipað, þ.e. innkaupsverða á 25 mm svörtu stáli er álíka og 20 mm á zinkhúðuðu stáli.

Heimildir

- 1) Fjellbolting. Veiledning. Håndbok 215, Statens vegvesen, 2000.
- 2) Jarðgöng í Ólafsfjarðarmúla. Framkvæmdarskýrsla, Vegagerðin, júlí 1991.
- 3) Jarðgöng í Breiðadals- og Botnsheiði, Framkvæmdareftirlit, Vegagerðin, febrúar 1996.
- 4) Óshlíðargöng. Framkvæmdarskýrsla. Efla og Geotek, 2011.
- 5) Búrfellsvirkjun – jarðgangagerð. Páll Ólafsson, Tímarit VFÍ 1984.
- 6) Laxá III – Jarðgangagerð. Niels Indriðason, Tímarit VFÍ 1984.
- 7) Sultartangi Hydroelectric Project. Underground Excavation Headrace Tunnel. Lahmeyer Int. og VSÓ ráðgjöf, 2000.
- 8) Kárahnjúkar Hydroelectric Project. Kar-15 Final Report, Volume II-A: Special Report. Excavation of Powerstation Complex, februar 2008.
- 9) Prosesskode 1. Standard beskrivelsetekster for vegkontrakter. Håndbok 025. Statens vegvesen, 2007.
- 10) Prosesskode-1. Standard arbeidsbeskrivelse for vegarbeidsdriften. Statens vegvesen, 1994.
- 11) Retningslinjer for betongdammer til 4.8 i forskrift om sikkerhet og tilsyn med vassdragsanlegg, NVE 2005.
- 12) Kargi Hydropower Project. Headrace tunnel in Beynamaz Formation and Kunduz Marbles Rock Excavation and Rock Support Specifications (Norconsult).
- 13) Degradation of earlier reinforcement and support. Asbjørn Martiniussen. Norwegian Tunnelling Society, Publication no. 17, 2008.
- 14) TRVK Tunnel 11. Trafikverkets tekniska råd Tunnel. TRV publ nr 2001:088. Trafikverket, 2011.
- 15) Durability of cement grouted rock bolts. Windelhed Kjell, Lagerblad Björn og Sandberg bertil, SvebeFo rapport, 2002.
- 16) Gísli Eiríksson, persónulegar uppl.
- 17) Reglugerð nr 806 um takmörkun á krómi í sementi, september 2004.
- 18) Fjellbolting. Veiledning. Statens vegvesen. Håndbok 215, mars 2000.
- 19) AGA American Galvanicers Association. <http://www.galvanizeit.org/about-hot-dip-galvanizing/how-long-does-hdg-last/in-concrete#bondStrength>.
- 20) Bond strength of corrosion resistant steel reinforcement in concrete. Josiah Barrett Johnson, august 2010.
- 21) Corrosion protection of rock bolts by epoxy coating and its effect on reducing bond capacity. M Moosav og S Karimi. Research online, 2008.

