

Leiðbeiningar um vinnslu steinefna

Áfangaskýrsla

greinagerð um framvindu verks

verkefnastjóri:

Hafdís Eygló Jónsdóttir

aðrir þátttakendur: Gunnar Bjarnason, Ingvi Árnason og Pétur Pétursson.



apríl 2010

Inngangur

Árið 2009 fékkst styrkur frá Rannsóknarráði Vegagerðarinnar til að vinna að rannsóknarverkefni um vinnslu steinefna. Hafdís Eygló Jónsdóttir starfsmaður Vegagerðarinnar er verkefnastjóri verkefnisins. Auk hennar eru í hópnum Ingvi Árnason og Gunnar Bjarnason frá Vegagerðinni og Pétur Pétursson frá Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

Nokkrir aðilar frá verktakafyrirtækjum veittu greinagóðar upplýsingar varðandi efnisvinnslu. Má þar helst nefna: Þór og Björn Konráðssyni Skútabergi, Rúnar Kristjánsson og Viðar Ríkharðsson Tak og Skúla Ferdinandsson Króksverki.

Skilgreining verkefnisins

Markmiðið með þessu verkefni er að til verði handhægar leiðbeiningar (handbók) um vinnslu steinefna til vegagerðar og hvernig eigi að glíma við þau vandamál sem upp kunna að koma varðandi vinnslu íslenskra steinefna. Í handbókinni verður m.a. tekin saman staða efnisvinnslu hér á landi, þ.e. yfirlit yfir þann tækjabúnað sem er í notkun, hvaða vinnsluáferðum er beitt og gerður samanburður á þeim efnum sem hér eru framleidd. Fjallað verður sérstaklega um aðferðir við að stýra fínefnamagni, kornadreifingu og kornalögun efnis. Markmiðið er að bæta verktækni við vinnslu steinefna til vegagerðar, stuðla þannig að auknum gæðum framleiðslunnar og þar með betri gæðum og endingu vega.

Verkefnið er unnið með heimildakönnun og söfnun upplýsinga frá innlendum og erlendum aðilum í efnisvinnslu. Námur hafa verið heimsóttar þar sem tækjabúnaður var skoðaður, sýni tekin úr vinnslunni og send á Nýsköpunarmiðstöð Íslands (NMÍ) til frekari rannsókna.

Framkvæmd verkefnisins árið 2009

Sumarið 2009 fór verkefnastjóri vítt og breitt um landið og heimsótti nokkur verktakafyrirtæki innanlands á sviði efnisvinnslu til vegagerðar þar sem eingöngu var unnið með sprengt berg. Eftirfarandi verktakafyrirtæki voru heimsótt: Suðurverk, Króksverk, Tak, Fossvélar, Myllan og Skútaberg. Þeir efnisvinnslustaðir sem verkefnastjóri heimsótti tengdust eftirfarandi Vegagerðarverkefnum:

- *Laxárdalsvegur Höskuldsstaðir–Leiðólfsstaðir*
- *Tröllatunguvegur Vestfjarðavegur–Djúpvegur*
- *Djúpvegur í Bitrufirði*
- *Suðurstrandarvegur Krísvíkurvegur–Þorlákshafnarvegur*
- *Norðausturvegur Brunahvammsháls–Bunguflói*
- *Norðausturvegur Hófaskarðsleið*
- *Norðfjarðarvegur um Hólmaháls*

Vinnslan á hverjum stað var skoðuð. Til að fá upplýsingar um mólunarsamstæður og vinnslustýringar var lagður fram ítarlegur spurningalisti. Spurt var meðal annars um bormynstur, hleðslu kg/m³, sprungumynstur, bergtegund, brotstig, tegund af forbrjót og eftirbrjót, stillingar, hvernig mokað væri inn í brjótinn, opnun, slitfleti, hringrás, hörpur, framleiðsludagbækur og rannsóknir.

Sýni voru tekin úr framleiðslunni og send til rannsóknar á Nýsköpunarmiðstöð Íslands (NMÍ). Sýnin voru send í kornakúrfu, kleyfnipróf, LA próf, kúlnakvarnarpróf og berggreiningu.

Á árinu var unnið að ýtarlegri heimildaöflun og byrjað að skrifa leiðbeiningar um efnisvinnslu. Haft var samband við fjölmarga aðila og töluvert var sótt af heimildum á netið.

Verkefnastjórinn fór einnig í heimsókn á vegum Vegagerðarinnar til Noregs til að kynna sér efnisvinnslu. Tengiliðir fyrir þessari heimsókn voru aðilar hjá fyrirtækinu Metso sem framleiðir tækjabúnað til steinefnaframleiðslu (Olav Hellekås, Martin Osmundsen, Nils Mikalsen). Einnig var fyrirtækið Franzefoss Pukk AS heimsótt sem framleiðir steinefni. Franzefoss Pukk AS er m.a. með stóra klapparnámu í Bondkall í Osló og er framleiðslan 350.000 tonn á ári. Efnisvinnsla var einnig skoðuð í minni námu: Hellestad Sandtak sem er í Bø í Telemark. Náman þar er tvískipt: klöpp og set. Eftir þessa heimsókn sá verkefnastjóri að þeir sem vinna við efnisvinnslu hér á landi eru margir hverjir ágætlega tækjavæddir.

Í marsmánuði 2010 kemur út skýrslan „*Notkun bergs til vegagerðar–vinnsla, efniskröfur og útlögn*“. Verkefnastjóri ásamt Ingva Árnasyni skrifaði kaflann „*Vinnsla bergs til vegagerðar*“ en sá kafli er hluti af þessu verkefni.

Staða verkefnisins

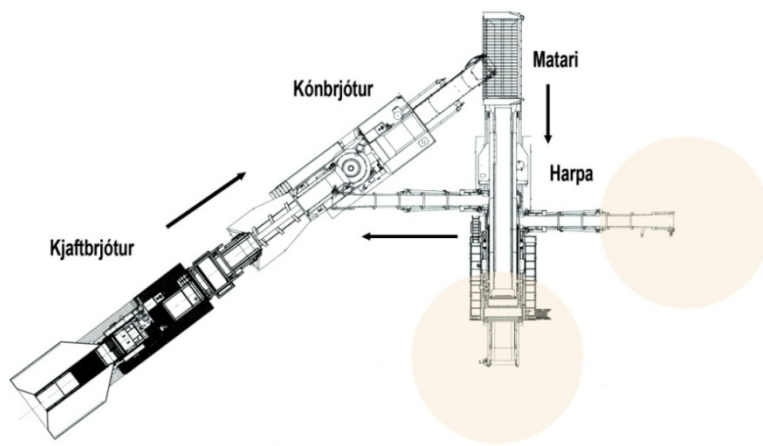
Innlendu verktakafyrirtækin sem voru heimsótt eru öll með færanlegar mólunarsamstæður en þær samanstanda af brjótum, möturum, hörpum og færíböndum, og eftir atvikum þvottabúnaði. Tækin eru flest á beltum.

Við vinnslu á burðarlags- og klæðingarefnum hér á landi er tveggja þrepa vinnsla algengust, þ.e. tvö brotstig (forbrjótur og eftirbrjótur). Á fyrsta brotstigi er forbrjótur og er efnið malað í hæfilegar stærðir til frekari vinnslu. Langflestir eru með kjaftbrjót (kjálkabrjót) sem forbrjót. Á öðru brotstigi er kónbrjótur (keilubrjótur) algengasti eftirbrjóturinn og eru flestir með topplegu.

Af þeim efnisvinnsluverktökum sem voru heimsóttir eru einungis tveir sem eru í þriggja þrepa vinnslu, þ.e. hafa þrjú brotstig. Kastbrjótar (*Horisontal–shaft–impactor* og *Vertical–shaft–impactor*) eru notaðir á þriðja brotstigi (fínbrjótur/lokabrjótur) og eru notaðir til þess að bæta kornalögun og/eða auka hlut sands og fínefna í framleiðslu malbiks og steinsteypu. Af þeim verktökum sem voru heimsóttir eru einungis tveir sem nota kastbrjóta í framleiðslu steinefna í malbik, steinsteypu og klæðingu.

Algeng vandamál varðandi vinnslu á burðarlagefni úr bergi eru að ná fram nægilega háu hlutfalli af millistærðum (0.063– 6 mm) og ná réttri kornalögun. Þar skiptir berggerðin máli. Í meginatriðum verður hart og/eða stökkt berg flögulaga eins og þóleiít, en veikara efni hefur tilhneigingu til að fá teningslaga lögun eins og gropið grágrýti. Veikt berg myndar auk þess meira af millistærðum og fínefnum þegar það er mulið. Í langflestum námum er um að ræða misharða þóleiítklöpp. Aðrar eru í opið grágrýti og sterkt kubba- og stuðlaberg úr grágrýti. Í grágrýti er sterk fylgni á milli kornalögunar og LA steinefnaprófsins sem er styrkleikapróf. Því herra sem LA gildið er (minni styrkur) því betri verður kornalögunin.

Eitt af þeim atriðum sem nauðsynlegt er í efnisvinnslu er hringrás. Hringrás þýðir að hluti efnisins sem búið er að brjóta er brotið aftur, þ.e. um er að ræða yfirstærðarefni sem er sent til baka yfir í eftirbrjótinn. Hringrás í efnisvinnslu skiptir máli fyrir gæðin á efninu. Markmiðið með hringrásarefninu (yfirstærðarefni) er að það fylli upp í holrúm á milli kornanna. Við það verður loftrými minna í brothúsinu og fyllingin meiri. Núningur milli steinefnakorna hjálpar til við brotið, þ.e. lélegri steinar brotna við þetta, og steinarnir brjóta brúnir utan af hvorum öðrum sem leiðir til meiri teningslögunar korna. Allir nema einn verktaki sem voru heimsóttir hringrása efninu. Hringrás er mjög misjöfn, allt frá því að vera 5 til 30% af heildarmagni. Ekki tíðkast að hringrása meira en 30% af efninu því þá kemur það niður á afköstum.



Mynd 1. Myndin sýnir dæmi á uppsetningu á vinnslu með hringrás þar sem allt efnið er brotið a.m.k. tvisvar.

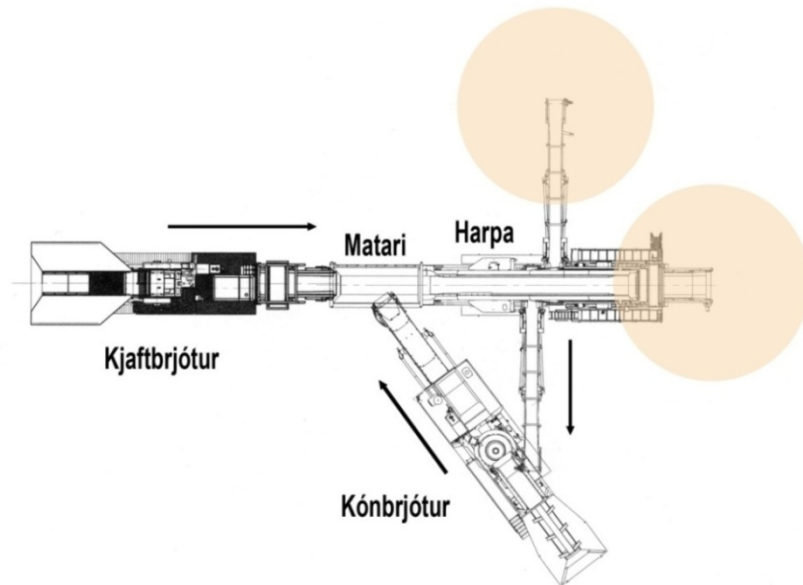
Á mynd 1 er allt efnið brotið a.m.k. tvisvar. Fyrsta brot á sér stað í kjaftrbrjót (forbrjót) og annað brot á sér stað í kónbrjót (eftirbrjót). Kónbrjótur er síðan tengdur hörpu sem stærðarflokkar efnið og sendir yfirstærðir aftur til baka í kónbrjótinn (hringrás). Við þetta brotnar hluti efnisins enn meira niður.

Á mynd 2 er sama uppsetning en hér sendir harpan ekki yfirstærðir til baka í kónbrjótinn (eftirbrjótinn). Þrátt fyrir það er allt efnið brotið tvisvar þar sem fyrsta brot á sér stað í kjaftbrjót (forbrjót) og annað brot í kónbrjót (eftirbrjót). En yfirstærðarefninu er ekki dælt jafnt og þétt til baka inn í hringrás. Yfirstærðarefnið fellur undan keilunni í haug og er síðan mokað í slumpum til baka yfir í vinnsluna. Með þessu móti næst ekki góð hringrás fyrir efnið.



Mynd 2. Færanleg samstæða: kjaftbrjótur (forbrjótur) , kónbrjótur (eftirbrjótur) og tveggja dekkja harpa. Öll tækin eru á beltum.

Í vinnslu á neðri hluta burðarlags (t.d. 0–53 mm efni) gerist það ansi oft að stór hluti efnisins fer aðeins í gegnum forbrjótinn (t.d. kjaftbrjót) en ekki í gegnum eftirbrjótinn (t.d. kónbrjót). Ástæðan er sú að opnunin á forbrjótnum (m.v. kjaftbrjót) er stillt þannig að rétt efnisstærð næst strax eftir forbrjótinn og er hörpuð frá. Þetta er frekar óheppilegt fyrir kornalögunina þar sem fleygmyndun verður til í kjaftbrjót. Þetta gerist þegar uppsetningin er forbrjótur (kjaftbrjótur), harpa og eftirbrjótur (kónbrjótur) (mynd 3 og 4). Með þessari uppsetningu verða afköstin meiri.



Mynd 3. Myndin sýnir dæmi á uppsetningu á vinnslu með hringrás þar sem er miðað við hámarks afköst.



Mynd 4. Færanleg samstæða: kjaftrjótur, þriggja dekkja harpa og kóntrjótur. Öll tækin eru á beltum.

Hingað til hafa verið gerðar fremur litlar kröfur í Alverki '95 varðandi kornalögun (FI gildi) en í nýju Alverki verða gerðar mun ýtarlegri kröfur (*Leiðbeiningar um efnisrannsóknir og efniskröfur*). Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög koma fyrir í töflu 1 og eru eftir vegtegund. Öll verk sem voru skoðuð voru boðin út samkvæmt Alverki '95. Einungis í verkinu *Suðurstrandarvegur Krísuvíkurvegur–Þorlákshafnarvegur* kemur inn sú viðbót að gerð var krafa um kornalögun FI gildi.

Af sjö verkum sem voru heimsótt er eitt sem tilheyrir vegtegund B3, eitt C2 og 4 C1. Eitt verk er samblanda af B3 og C1. Fyrir vegi sem falla undir vegtegund A–B1 má kleyfnistuðullinn (flakeness index FI) samkvæmt nýju kröfunum vera að hámarki 20% eða FI₂₀ en 35% fyrir vegtegund C1–C2. Ef miðað er við kröfurnar sem verða í nýju Alverki stóðst allt efni kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlög nema eitt og er það *Norðfjarðarvegur um Hólmaháls* sem fellur undir vegtegund B2–B3. Í því verki var verktakinn með mjög öflugan eftirbrjót (kónbrjót), HP300, en enga hringrás. Sami verktaki var einnig með verkið *Norðausturvegur Brunahvammsháls–Bunguflói* en sá vegur fellur undir vegtegund C1–C2 og þar eru kröfurnar lægri, eða FI₃₅. Engin hringrás var á efninu.

Tafla 1. kröfur um kornalögun fyrir burðarlag og niðurstöður efnisrannsókna

Vegtegund	Flokkun *	Verk	kornalögun FI gildi		Bergtegund
			0–53 mm	0–25 mm	
A–B1	FI ₂₀				
B2–B3	FI ₂₀	<i>Norðfjarðarvegur um Hólmah.</i>	26.6	21.9	<i>þóleiít</i>
		<i>Suðurstrandarvegur**</i>		12***	<i>grágrýti</i>
C1–C2	FI ₃₅	<i>Tröllatunguvegur</i>	28.3	25.5	<i>þóleiít</i>
		<i>Laxárdalsvegur</i>	29.4	23.3	<i>þóleiít</i>
		<i>Norðausturv. Brunahv.h.– Bungufl.</i>		21.8	<i>kubbaberg/ stuðlaberg</i>
		<i>Djúpvvegur Bitrufirði</i>		22.3	<i>þóleiít</i>
		<i>Norðausturvegur Hófaskarð**</i>	29.2	11.8 14.8 7	<i>grágrýti grágrýti grágrýti</i>
D	FI ₅₀				

*Í töflunni þýðir að FI_x að kleyfnistuðullinn (flakiness index) skuli að hámarki vera X %.

** grágrýti.

***0–32 mm efni.

Þegar kornalögun á 0–25 (0–32) mm efni er skoðuð kemur bersýnilega í ljós að þar sem efnisvinnslan fór fram í grágrýti næst mjög góð kornalögun: *Suðurstrandarvegur* og *Norðausturvegur Hófaskarð*. Þetta er vegna þess að gropið berg brotnar meira niður og hefur tilhneigingu til að fá teningslaga lögun. En á sama tíma myndar það meira af fínefnum.

Einungis fjögur sýni hafa verið skoðuð af 0–53 mm efni. Lögurinn virðist vera mjög svipuð hvort sem um ræðir efni úr þóleiíti eða grágrýti. Stór hluti efnisins fer að öllum líkindum ekki í gegnum eftirbrjótinn. Fleiri sýni verða send í rannsókn á kornalögun á þessu ári.

Kröfur um kornalögun steinefna í klæðingu eru miðaðar út frá umferð (ÁDU). Ef miðað er við kröfurnar sem verða í nýju Alverki, stóðst allt efni kröfur til kornalögunar steinefna í klæðingu (tafla 2).

Tafla 2. kornalögun fyrir klæðingu og niðurstöður efnisrannsókna

ÁDU	Flokkur*	Verk	kornalögun FI gildi	
			Flokkað**	óflokkad***
< 200	FI ₃₀	<i>Norðausturvegur Brunahvammsháls– Bunguflói</i>	14	25.9 16
		<i>Djúpvegur Bitrufirði</i>	20.5	
200– 1000	FI ₂₅	<i>Suðurstrandarvegur</i>	5.9	
		<i>Norðausturvegur Hófaskarðsleið</i>		17.8
1000– 2000	FI ₂₀	<i>Norðfjarðarvegur um Hólmaháls</i>		16.8
> 2000	FI ₁₅			

*Í töflunni þýðir að FI_x að kleyfnistuðullinn (flakiness index) skuli að hámarki vera X %.

**0–20 og 0–16 mm efni.

***4–16 og 8–16 mm efni

Algeng vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr bergi eru að ná fram nægilega háu hlutfalli af millistærðum (0.063– 6 mm). Þegar grjótmulningur er malaður er mjög algengt að kúrfan sé opin og verði of síð. Til að ná þessum millistærðum er hægt að þrengja eftirbrjótinn (miðað við kónbrjót) og hafa litla hringrás. Þetta hefur hins vegar áhrif á aðra þætti: kleyfni eykst og fínefni aukast (tafla 3). Í einni grágrýtisnámu á Hólaheiði (Norðausturvegur Hófaskarðsleið) voru brjótarnir hafðir víðir frekari en þröngir. Ástæðan fyrir því er sú að klöppin er ekki mjög sterk og ef brjóturinn er þröngur verður til of mikið af fínefnum.

Tafla 3.

Opnun á brjót	Fínefni	Kleyfni	Millistærðir	Hringrás	Kúrfa
Víð	–	–	–	+	opin
Þröng	+	+	+	–	lokuð

Ef eftirbrjótur er hafður víður (miðað við kónbrjót) með hringrás verður kúrfan síð, þ.e. opin. Þá vantar millistærðir (0.063–6 mm) en kleyfnin verður betri. Ef brjóturinn er hafður þröngur með lítilli hringrás, þá aukast fínefni, kleyfni og millistærðir. Kúrfan verður lokuð.

Fleiri atriði hafa mikið að segja varðandi kornalögun og kornakúrfu, eins og að passa að eftirbrjóturinn (miðað við kónbrjót) sé kokmataður (þurfi að vera mataður þannig að hann sé ávallt fullir af efni), hraði innmötunar, uppröðun á netum, hvernig mokað er inn í brjótinn, slaglengd og keilulögun. Um þessi atriði verður fjallað nánar um í lokaskýrslu.

Framhald verkefnisins

Á þessu ári mun verkefnastjóri heimsækja innlenda aðila og skoða efnisvinnslu steinefna úr setmyndunum. Markmiðið er að fylgjast með efnisvinnslu á einum stað í nokkra daga. Áhersla verður lögð á að skoða hörpur, færibönd, matara og þvottabúnað. Einnig verða brjótar skoðaðir og sýni send í efnisrannsókn.