

Vinnsla steinefna til vegagerðar

Tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit

Hafdís Eygló Jónsdóttir
Gunnar Bjarnason



Febrúar 2013

EFNISYFIRLIT

FORMÁLI	1
1. INNGANGUR	3
2. UPPBYGGING VEGAR OG LAGSKIPTING	4
3. TÆKJABÚNAÐUR OG VERKTÆKNI	5
3.1 VINNSLULÍNA VIÐ MÖLUN STEINEFNA	5
3.2. MATARAR.....	7
3.3 BRJÓTAR.....	9
3.3.1 <i>Almennt um brjóta</i>	9
3.3.2 <i>Kjaftbrjótar</i>	15
3.3.3 <i>Kónbrjótar</i>	19
3.3.4 <i>Kastbrjótar (hverfibrjótar)</i>	24
3.3.4.1 Láréttir hverfibrjótar (HSI)	24
3.3.4.2 Lóðréttir hverfibrjótar (VSI)	26
3.4 HÖRPUR.....	28
3.4.1 <i>Almennt um hörpur</i>	28
3.4.2 <i>Helstu gerðir af hörpum</i>	32
3.5 FÆRIBÖND	36
3.6 ÞVOTTUR Á EFNI	36
3.6.1 <i>Aðferðir</i>	36
3.7 AÐSKILNAÐUR OG RÝRNUN STEINEFNA Í EFNISVINNSLU	40
3.8 UPPRÖÐUN TÆKJABÚNAÐAR.....	45
3.8.1 <i>Hringrás efnis</i>	45
3.8.2 <i>Dæmi um uppröðun tækjabúnaðar</i>	46
4. FRAMLEIÐSLUEFTIRLIT	51
4.1 ALMENNT	51
4.1.2 <i>Aðferðir við sýnatöku</i>	51
4.1.3 <i>Kornastærðardreifing</i>	52
4.1.4 <i>Kornalögun</i>	53
4.1.5 <i>Brothlutfall</i>	56
5. JARÐFRÆÐI, JARÐLÖG OG EFNISGERÐIR	57
5.1 ALMENNT	57
5.2 KLÖPP.....	57
5.3 LAUS JARÐLÖG	62
6. FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA	64
6.1 INNGANGUR.....	64
6.2 FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA	64
6.2.1 <i>Styrktarlag</i>	64
6.2.2 <i>Burðarlag</i>	66
6.2.3 <i>Kæðingarefni</i>	79
6.2.4 <i>Malarslitleg</i>	84
6.2.5 <i>Malbik</i>	85
7. SAMANTEKT UM VERKTÆKNI VIÐ MÖLUN STEINEFNA	86
8. NIÐURLAG	88
9. HEIMILDIR	89

FORMÁLI

Í þessari skýrslu eru leiðbeiningar og upplýsingar um marga þætti sem tengjast efnisvinnslu til vegagerðar. Fjallað er ýtarlega um tækjabúnað og verkætækni en auk þess eru upplýsingar um framleiðslueftirlit, jarðfræði og framleiðslu ólíkra efnisgerða til vegagerðar.

Skýrslan er samin af Hafdísí Eygló Jónsdóttur, verkefnastjóra hjá Vegagerðinni, sem jafnframt var verkefnisstjóri og meðhöfundur er Gunnar Bjarnason forstöðumaður hjá Vegagerðinni. Í vinnuhópnum voru auk þess Ingvi Árnason deildarstjóri hjá Vegagerðinni og Pétur Pétursson hjá PP ráðgjöf. Þór Konráðsson hjá Skútabergi ehf. veitti ýmsar upplýsingar, las yfir hluta texta og gaf gagnlegar ábendingar

Eftirfarandi aðrir aðilar veittu upplýsingar og góð ráð: Björn Konráðsson og Gunnar M. Sveinbjörnsson hjá Skútabergi ehf., Kristján Már Magnússon hjá Myllunni ehf., Skúli Ferdinandsson hjá Króksverki ehf. verktökum, Viðar Ríkharðsson, Samúel Helgason og Rúnar Kristjánsson hjá Tak-Malbik ehf., Jón Bergur Arason hjá Þverá-Golf ehf., Kristján J. Kristjánsson Fossvélum ehf., Gunnar Þór Hjaltason hjá Suðurverki og Brynjar Baldvinsson og Gunnar Jónsson hjá Alverki ehf. Martin Osmundssen hjá Metso Minerals í Noregi og Damian Roberts hjá Metso (UK) Englandi fá auk þess kærar þakkir fyrir alla aðstoðina. Auk þess hafa margir aðrir starfsmenn Vegagerðarinnar á Norðursvæði veitt aðstoð. Meðal annars Haukur Jónsson, Ólafur Hreinsson, Birgir Guðmundsson, Kolbeinn Sigurbjörnsson og Friðleifur Ingvi Brynjarsson. Er þeim öllum þakkað.

Verkefnastjóri sá um að taka sýni og skoða vinnslu hjá efnisvinnsluverktökum. Auk þess sá verkefnastjóri um að taka sýni fyrir Jón Magnússon deildarstjóra hjá Nýframkvæmdum Norðvestursvæðis Vegagerðarinnar og Hauk Jónsson deildarstjóra hjá Nýframkvæmdum Norðaustursvæðis Vegagerðarinnar.

Í febrúar 2011 sótti verkefnastjóri tvö námskeið hjá Metso minerals í Tampere Finnlandi: „Crusher and crusher training“ og „Advanced crushing process training“. Metso minerals er mjög framarlega í framleiðslu á efnisvinnslubryótum og öllu því sem við kemur vinnslu steinefna. Fjöldmargir fyrirlestrar voru haldnir um mismunandi þætti efnisvinnslu, brjóta og hörpur. Kennarar á námskeiðunum voru starfsmenn Metso frá Frakklandi, Bretlandi og Finnlandi.

Kostnaður við gerð skýrslunnar var að mestu greiddur af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar en að nokkrum hluta af Jarðfræðideild Vegagerðarinnar.

1. INNGANGUR

Skýrslunni er einkum ætlað að koma hönnuðum, eftirlitsmönnum og verktökum í vegagerð að gagni.

Í vegagerð er steinefnaframleiðsla mjög mikilvægur þáttur. Forsenda fyrir gæðum efnisframleiðslu er að hafa góða stjórn á öllum þáttum vinnslunnar: efnisnámi, flokkun, hreinsun, mölun, blöndun og að lokum haugsetningu steinefnisins.

Vinnsluaðferðir ráðast af hráefninu, eiginleikum þess, samsetningu og þeim kröfum sem gerðar eru til framleiðslunnar. Kröfurnar eru mismunandi eftir því í hvað á að nota efnið og eru strangari eftir því sem ofar dregur í veghlotinu¹.

Markmiðið með skýrslunni er að:

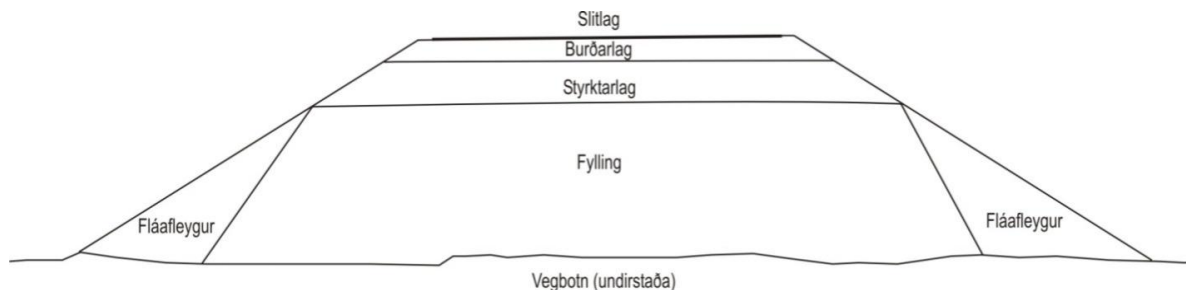
- til verði handhægar leiðbeiningar um vinnslu steinefna til vegagerðar.
- stuðla að yfirfærslu á þeirri þekkingu sem er til staðar hjá framleiðendum og kaupendum á vinnslu steinefna til nýrra aðila í greininni.
- bæta verktækni við vinnslu steinefna til vegagerðar og stuðla þannig að auknum gæðum framleiðslunnar og þar með betri gæðum og endingu vega.
- bæta gæði hönnunar, eftirlits og framleiðslu með því að auka þekkingu á vinnslu steinefna og stuðla þannig að markvissari vinnubrögðum.

Þungamiðja skýrslunnar er umfjöllun um tækjabúnað sem notaður er við steinefnavinnslu þ.e. mismunandi brjóta, hörpur og matara og um verktækni við vinnslu steinefna. Fyrst og fremst er fjallað um þann tækjabúnað sem notaður er hér á landi. Sagt er frá hvernig búnaðurinn er byggður upp, hvernig hann vinnur, hvernig hann er settur upp og um verktækni við framleiðslu ólíkra efnisgerða. Einnig er fjallað um framleiðslueftirlit og gefið yfirlit um jarðfræði Íslands og þær efnisgerðir sem notaðar eru við vegagerð. Allt eru þetta upplýsingar, sem munu vonandi koma hönnuðum, eftirlitsmönnum og verktökum að gagni.

¹ Veghlot er öll uppbygging vegar, efnisheild frá vegbotni til slitlags.

2. UPPBYGGING VEGAR OG LAGSKIPTING

Hefðbundinn vegur skiptist í undir- og yfirbyggingu (Mynd 2.1). Undirbygging vegarins samanstendur af vegbotni og fyllingu. Yfirbyggingin kemur þar ofan á. Hún er úr frostfríu efni og samanstendur af styrktarlagi, burðarlagi og slitlagi.



Mynd 2.1. Þverskurður af íslenskum vegi. Hlutföllin eru ýkt.

Fylling er neðst. Mikið efnismagn þarf í fyllinguna og er ódýrt efni notað í hana. Fyllingin jafnar vegbotninn og undirbyggingin fær þannig rétta hæð áður en yfirbyggingin er sett ofan á. Fyllingarefni er nánast aldrei malað en stundum er þörf á að flokka það. Utan á fyllingu er settur *fláafleygur*, sem gegnir ekki burðarhlutverki í veghlotinu og getur því verið byggður úr öllum efnisgerðum m.a. mold.

Styrktarlagið er neðsta lag yfirbyggingarinnar og kemur ofan á fyllinguna. Hlutverk styrktarlagsins er, ásamt burðarlaginu, að dreifa álagi frá umferð svo ekki komi til formbreyting á slitlaginu. Í styrktarlagið er notað ódýrara efni en í burðarlagið og er þess vegna oft haft tiltölulega þykkt. Styrktarlagið er stundum skipt í tvennt, efri og neðri hluta. Styrktarlag þarf stundum að mala, sérstaklega ef efnið sem á að nota er stórgrýtt mól eða klöpp. Dæmigerð lagþykkt styrktarlags er um 400 mm en þá er miðað við að fyllingin hafi sæmilegt burðarþol.

Burðarlag kemur ofan á styrktarlagið. Meginhlutverk burðarlagsins er að dreifa álagi frá umferð á stærri flöt í styrktarlaginu og hefur að því leyti svipað hlutverk og styrktarlagið. Burðarlagið er alla jafna þynnra en styrktarlagið og spennur í burðarlagi eru tiltölulega miklar. Þess vegna er burðarlagið úr vandaðra efni en styrktarlagið, og stundum bundið með biki eða sementi til að auka burðarþolið með því að auka samloðun í efninu. Burðarlag er yfirleitt lagt í tveimur lögum og þá er talað um efri og neðri hluta burðarlags. Burðarlag er alltaf malað steinefni. Við framleiðslu á efni í burðarlag þarf að nota a.m.k. tvö brotstig við mölun. Dæmigerð lagþykkt burðarlags er um 200 mm.

Slitlag er efsta lagið í yfirbyggingunni, óbundið malarslitlag á vegi þar sem umferð er lítil en bikbundið eða í undantekningar tilfellum steipt á umferðarmikla vegi. Hlutverk slitlagsins er að skapa slétt og jafnt ökusvæði með góðu veggripi þannig að nægjanlegt viðnám sé á milli slitlagsins og hjólbarða ökutækja til að hindra að þau renni til á veginum. Slitlagið þarf að vera það sterkt að það þoli þá umferð sem fer um veginn og verji neðri lög vegarins gegn aflögun. Slitlög má flokka í bundin og óbundin slitlög. Aðallega er um tvenns konar bikbundin slitlög að ræða hér á landi, malbik, sem er heitblandað í malbikunarstöð, og klæðingu. Klæðingarefni er yfirleitt flokkað malað steinefni. Við framleiðslu á klæðingarefni þarf að nota a.m.k. tvö brotstig.

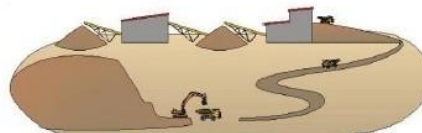
3. TÆKJABÚNAÐUR OG VERKTÆKNI

Í þessum kafla er fjallað um vélbúnað sem tengist efnisvinnslu. Töluvert er stuðst við upplýsingar frá fyrirtækinu Metso Minerals og mikið fjallað um vélbúnað frá þeim. Ástæðan er sú að verkefnastjóri sat tveggja vikna námskeið hjá Metso Minerals í Finnlandi og fékk auk þess leyfi til að nota forrit frá þeim. Heimasíður og upplýsingar um búnað til vinnslu steinefna hafa einnig verið skoðaðar hjá fleiri framleiðendum. Aðrir framleiðendur eru meðal annars SBM Mineral processing og Kleeman í Þýskalandi, Hartl í Austurríki, TRIO og KPI-JCI Astec mobile Screens í Bandaríkjunum, Gipo í Sviss, REV Ítalíu, Keestrack í Belgíu, Komatsu í Japan, Sandvik (+ Extec og Fintec) í Svíþjóð og Terex Finlay á Írlandi.

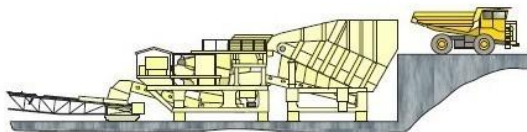
3.1 Vinnslulína við mólun steinefna

Vinnslulína fyrir mólun samanstendur af nokkrum einingum, þ.e. brjótum, möturum, hörpum og færíböndum, og eftir atvikum þvottabúnaði. Einingarnar eru ýmist fastar (kyrrstæðar), hreyfanlegar eða færánlegar, þ.e. flytjanlegar á hjólum eða sjálfkeyrandi á beltum, og eru þær síðastnefndu mun algengari hér á landi. Flestar eru þessar einingar tölvustýrðar. Á myndum 3.1.1, 3.1.2 og 3.1.3 eru sýndar mismunandi uppsetningar.

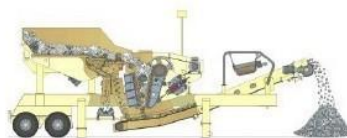
1) Föst (steyptar undirstöður)



2) Hreyfanleg (á sleðum)



3) Flytjanleg (á hjólum)



4) Sjálfkeyrandi (á beltum)



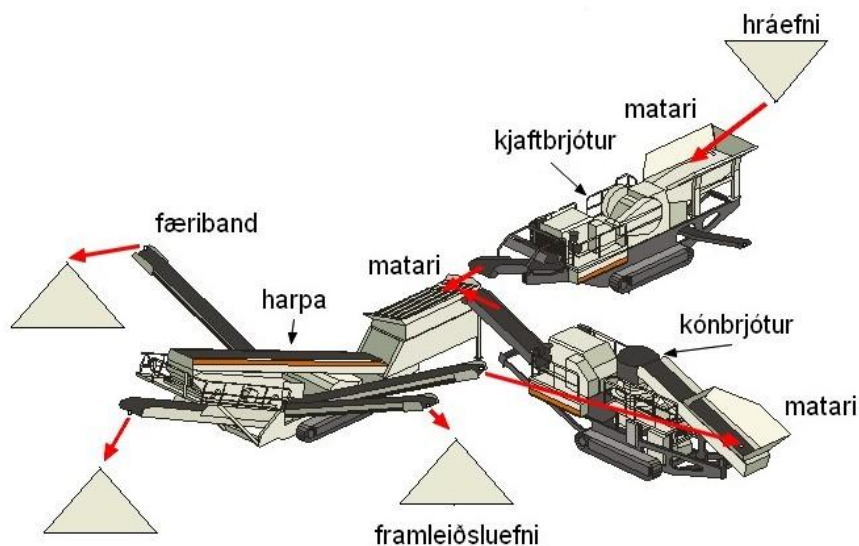
Mynd 3.1.1. Fastar, hreyfanlegar, flytjanlegar og sjálfkeyrandi einingar. © Metso Minerals.

Fastar einingar eru á steypum grunni og boltaðar niður (Myndir 3.1.1 (1) og 3.1.3). Þær eru settar upp til lengri tíma og framleiða yfirleitt ákveðna staðlaða framleiðslulínu úr sömu námunni. Þær eru yfirleitt settar upp í töluverðri fjarlægð frá sjálfri námunni eða námustálinu, og fá efnið til sín t.d. með námubifreiðum (búkollum) eða færíböndum.

Hreyfanlegar einingar og/eða samstæður eru á sleðum (Mynd 3.1.1 (2)) og eru hálf færánlegar að því leyti að þær er hægt að færa með kranabíl.

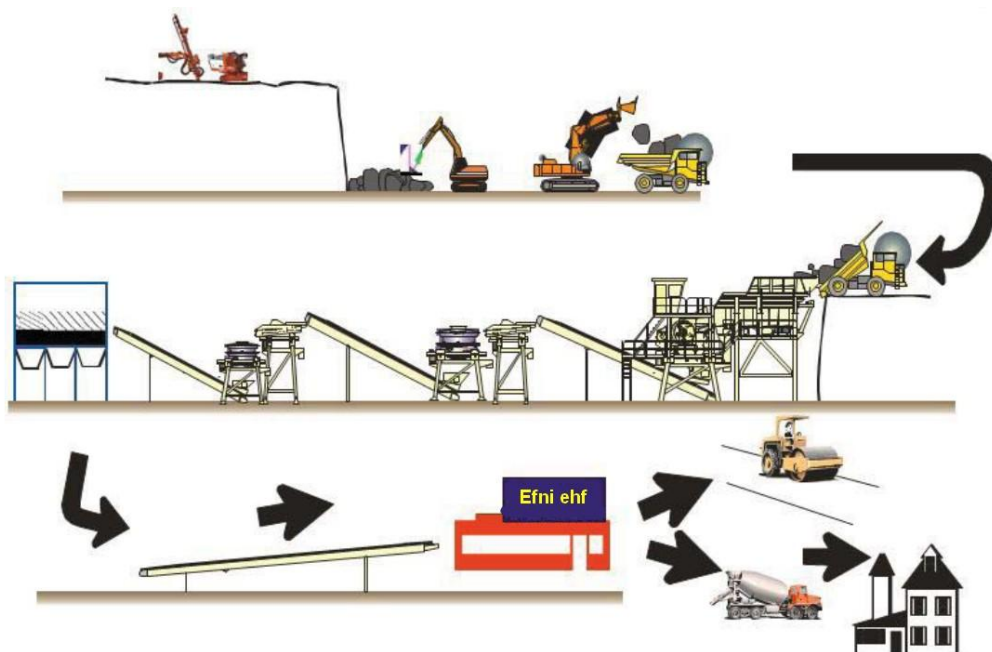
Flytjanlegar samstæður á hjólavögnum samstanda af matara, eftirbrjót, hörpu og færíböndum (Mynd 3.1.1 (3)). Uppsetningin innan samstæðunar er ekki breytileg. Þegar þær eru fluttar til innan námusvæðisins þarf að nota dráttarvagn.

Sjálfkeyrandi einingar og/eða samstæður á beltum (Myndir 3.1.1(4) og 3.1.2) eru útbúnar þannig að auðvelt er að flytja þær á milli staða. Þegar þær eru komnar á staðinn, eru þær fluttar til innan svæðisins með fjarstýringu. Kosturinn við færarlegar einingar er að þær geta unnið saman eða í sitt hvoru lagi. Einnig er auðvelt að breyta uppsetningu á vinnslulínunni. Frá því að færarlegar einingar komu til sögunnar hefur notkun þeirra ekki einungis stóraukist heldur hefur tæknibúnaður þeirra þróast hröðum skrefum.



Mynd 3.1.2. Sjálfkeyrandi einingar á beltum. Forbrjótur (kjaftbrjótur), harpa og eftirbrjótur (kónbrjótur). © Metso Minerals.

Sjálfkeyrandi einingar á beltum hafa rutt sér til rúms í stórum námum vegna þess að með þeim er hægt að minnka rekstrarkostnað og hámarka framleiðslu.

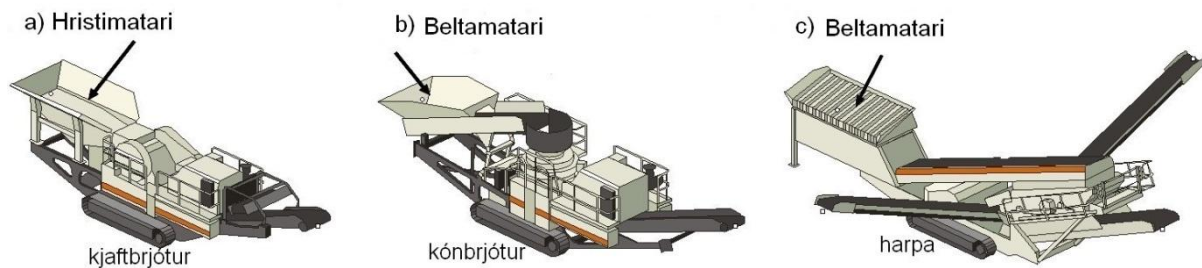


Mynd 3.1.3. Föst uppsetning. Tækin eru öll sett upp á athafnarsvæði og eru ekki færarleg heldur er efninu ekið að. Á myndinni er sýnd framleiðsla á sprengdu bergi frá losun til byggingarstaðar. © Metso Minerals.

3.2 Matarar

Matari (e: feeder) er tækjabúnaður sem er hluti af efnisvinnslubrjótum og hörpum og er settur framan við eininguna (Myndir 3.2.1 og 3.2.2.). Með matara fæst jafnara rennsli á efninu og betri stjórnun á magni. Efnid kemur inn á matarann með færibaldi, hjólaskóflu eða gröfu. Efnid færast síðan að brjótnum og/eða hörpunni. Einnig er hægt að nota matarann til að flokka efni (flokkari og forharpa). Fínefni skiljast frá meðan stærra efni færast að brjótnum. Þannig er hægt að skilja mismunandi efnisstærðir í sitt hvorn hauginn. Flestir matarar í dag eru sjálfvirkir og er þeim stýrt með fjarstýringu. Eldri matarar eru sjaldnast sjálfvirkir og er þá rennslisjafnari í sumum þeirra (t.d. járnkeðjur).

Algengustu matararnir eru eftir afkastagetu og stærð: plötumatarar (e: apron feeders), hristimatarar (með eða án forhörpu) (e: vibrating feeders) og beltamatarar (hallandi/lárétt) (e: belt feeders).



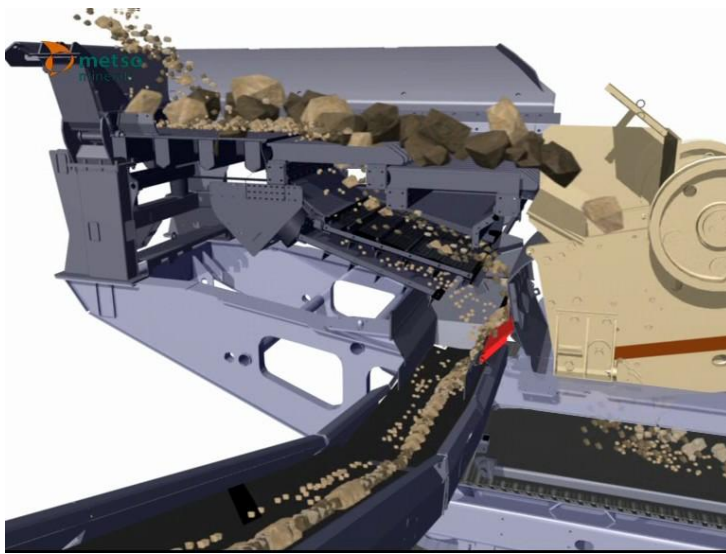
Mynd 3.2.1. Mismunandi vinnslueiningar. Fremst á einingunum eru matarar © Metso Minerals.



Mynd 3.2.2. Þrjár vinnslueiningar í námu við Leiðólfsstaði í Laxárdal: kjaftbrjótur, harpa og kónbrjótur. Matarar eru við allar einingarnar (Hafðís Eygló Jónsdóttir 2010).

Algengustu matarar hér á landi eru hristimatarar og beltamatarar. Beltamatarar eru sjaldnast notaðir á forbrjóta. Fyrir hörpur eru notaðir beltamatarar. Plötumatarar eru eingöngu notaðir þar sem framleiðsla er mikil og efnið er gróft.

Hristimatarar eru mikið notaðir til að mata efni inn á forbrjóta (Mynd 3.2.3) en einnig eru þeir algengir í brjótasamstæðum á hjólum (Mynd 3.2.4). Í matara fyrir forbrjóta eru tungur (grindur/plötur/rist) sem hægt er að fá mismunandi tegundir af. Þær eru valdar eftir því hvernig efni er verið að vinna og algengust eru gafflar (e:grizzly) eða hjólakefli með ákveðnu föstu millibili. Tungurnar ýta efninu í átt að brjótnum. Allt efnið sem er minna en einhver ákveðin stærð fer niður á milli tungnanna og sameinast síðan efninu sem fór í brjótinn. Undir tungunni er einnig hörpusigti. Á hörpusigtinu er hægt að forharpa og taka út fínasta efnishlutann á hliðarbelti. Hliðarbeltið er yfirleitt aukabúnaður. Einnig er hægt að setja upp grind til að aðeins vissar stærðir komist að brjótnum.



Mynd 3.2.3. Hristimatarari á forbrjót með forhörpu. Á myndinni eru fínefni tekin út úr vinnslunni á hliðarbandi. © Metso Minerals.

Mynd 3.2.4. Mokað í hristi matara framan við kónbrjót í samstæðu. Myndin er tekin í klapparnámu við Dettifoss (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).



3.3 Brjótur

Brjótur (e: crusher) er mulningsvél, þ.e. vélbúnaður við efnisvinnslu sem brýtur niður efni í ákveðnar stærðir. Meginmarkmið við efnisvinnslu er að framleiða steinefni með ákveðna kornastærðardreifingu. Brjótur eru ýmist olú- eða rafknúnir. Afköst þeirra eru mismunandi eftir stærð og eru mæld í tonnum á klukkustund. Afköst brjóta fara einnig eftir grófleika og styrk efnisins sem verið er að mala hverju sinni. Í flestum brjótum eru hæðaskynjarar. Einnig er hægt að setja upp myndavélar ef fylgjast þarf með mörgum brjótum í vinnslunni.

Til eru margar gerðir og tegundir brjóta sem notaðir eru á mismunandi stigum í efnisvinnslu og eru eiginleikar þeirra mismunandi.

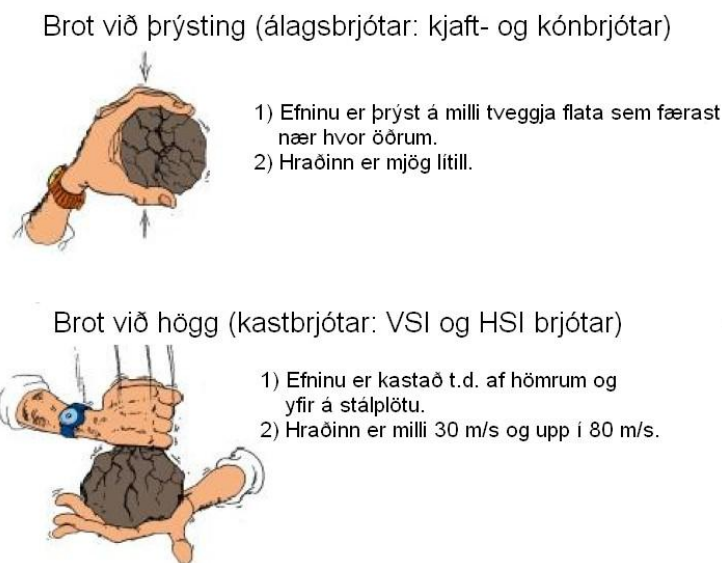
Brjótur er yfirleitt einn hlekkur í efnisvinnsluferli þ.e. vinnslulínu með brjótum, möturum, hörpum og færiböndum. Uppsetningin er ýmist föst, hreyfanleg, flytjanleg eða sjálfkeyrandi. Ef vinnslulínan er samhangandi þá verða brjótarnir að passa hvor með öðrum, þannig að þeir geti tekið á móti efni vandkvæðalaust frá brjótnum sem er á undan í vinnsluferlinu. Þar sem vinnslulínan er ekki samhangandi er möluninni skipt niður í þrep og efnið lagerað á milli.

Mikilvægt er að velja brjóta með tilliti til hráefnisins sem ætlunin er að vinna og hvaða hlutverki hann á að gegna í vinnsluferlinu. Brjótur eru einnig valdir með tilliti til stofnkostnaðar, viðhaldskostnaðar, afkastagetu, orkukostnaðar og þess hversu auðvelt er að flytja búnaðinn. Algengustu brjótur hér á landi, sem notaðir eru til framleiðslu á efni til vegagerðar eru færanlegir kjaftbrjótur og kónbrjótur.

Í efnisvinnslu fer brotið á steinefni í flestum tilfellum fram í nokkrum brotstigum, þ.e. efnisvinnslan er þrepaskipt: fyrsta brotstig, annað brotstig, þriðja brotstig og stundum fjórða brotstig. Algeng er 2ja og 3ja þrepa vinnsla.

3.3.1 Almenn um brjóta

Brjótum má skipta upp í tvo flokka: *álagsbrjóta* og *kastbrjóta*. *Álagsbrjóta* vinna þannig að efni sem sett er í þá brotnar vegna þrýstiálags (Mynd 3.3.1.1). *Kastbrjóta* vinna þannig að efnið brotnar vegna höggálags.



Mynd 3.3.1.1 Myndin sýnir á táknrænan hátt hvernig steinar brotna undan þrýstiálagi og höggálagi. © Metso Minerals.

Í töflunni hér fyrir neðan eru nokkrar gerðir brjóta flokkaðar og tilteknir nokkrir helstu eiginleikar þeirra. Undir flokkinn álagsbrjótur falla kjaftbrjótur og kónbrjótur og undir flokkinn kastbrjótur falla VSI og HSI kastbrjótur².

	Tegund brjóts	Brotstig	Berg		Algennt smækkunarhlutfall	Hlutfall fín-efna sem verða til	Teningslöggun
			Mjúkt	Hart			
Álagsbrjótur	Kjaftbrjótur	1. Stig		X	3 - 5	Lágt	
	Kónbrjótur	2. Stig	X	X	3 - 4	Meðal/Lágt	
	Kónbrjótur	3. Stig	X	X	2 - 3.5	Meðal/hátt	X
Kastbrjótur	Kastbrjótur (HSI)	1. & 2. Stig	X		5 - 8	Meðal/hátt	X
	Kastbrjótur (VSI)	3. Stig	X	(X)	1.5 - 3	Hátt	X

Tafla 3.3.1.1. Yfirlit yfir helstu gerðir brjóta.

Brotstig

Brotstig segir til um hvað efnið er sent í gegnum marga mismunandi brjóta. Mölun í tveimur brjótum er dæmi um tveggja brotstiga mölun, þ.e. forbrjótur sem er 1. stigs brot og kónbrjótur sem er þá 2. stigs brot.

Eftir því sem brotstigin eru fleiri minnkar smækkunarhlutfallið³ á hverju stigi, og þá verður meiri sveigjanleiki fyrir hringrás⁴. Álagið á brjóta dreifist einnig jafnara.

Fyrsta brotstig (forbrjótur)

Tilgangurinn með fyrsta brotstigi er fyrst og fremst að minnka efnið í þá stærð sem hægt er að flytja yfir á næsta brotstig. Brjótur sem hægt er að nota á fyrsta brotstigi, þ.e. forbrjótur, eru annað hvort kjaftbrjótur eða HSI kastbrjótur. HSI-brjótarnir henta fyrir efni sem mylst vel og efni sem er mjúkt. Kjaftbrjótarnir henta betur í hörðu bergi og hafa þeir aðallega verið notaðir hér á landi.

Annað brotstig (miðbrjótur/eftirbrjótur)

Tilgangurinn með öðru brotstigi er annað hvort lokaframleiðsla á efni eða til undirbúnings fyrir þriðja brotstig. Brjótur sem hægt er að nota á öðru brotstigi eru annað hvort kónbrjótur eða HSI brjótur. Kónbrjótur hafa aðallega verið notaðir hér á landi.

Þriðja brotstig (fínbrjótur/lokabrjótur)

Þetta brotstig ákvarðar gæðin á lokaafurðinni. Áherslan er fyrst og fremst á kornalöggun. Ýmsir möguleikar eru í boði á þriðja brotstigi en það fer alfarið eftir efnisgerð og því hvaða steinefni er verið að framleiða hvaða aðferð er valin. VSI brjótur bætur kornalöggun jafnvel þó efnið sé hart. Kónbrjótur eru miklu sveigjanlegri þegar kemur að hámarks kornastærð á

² VSI= Vertical Shaft Impactor. HSI=Horisontal Shaft Impactor

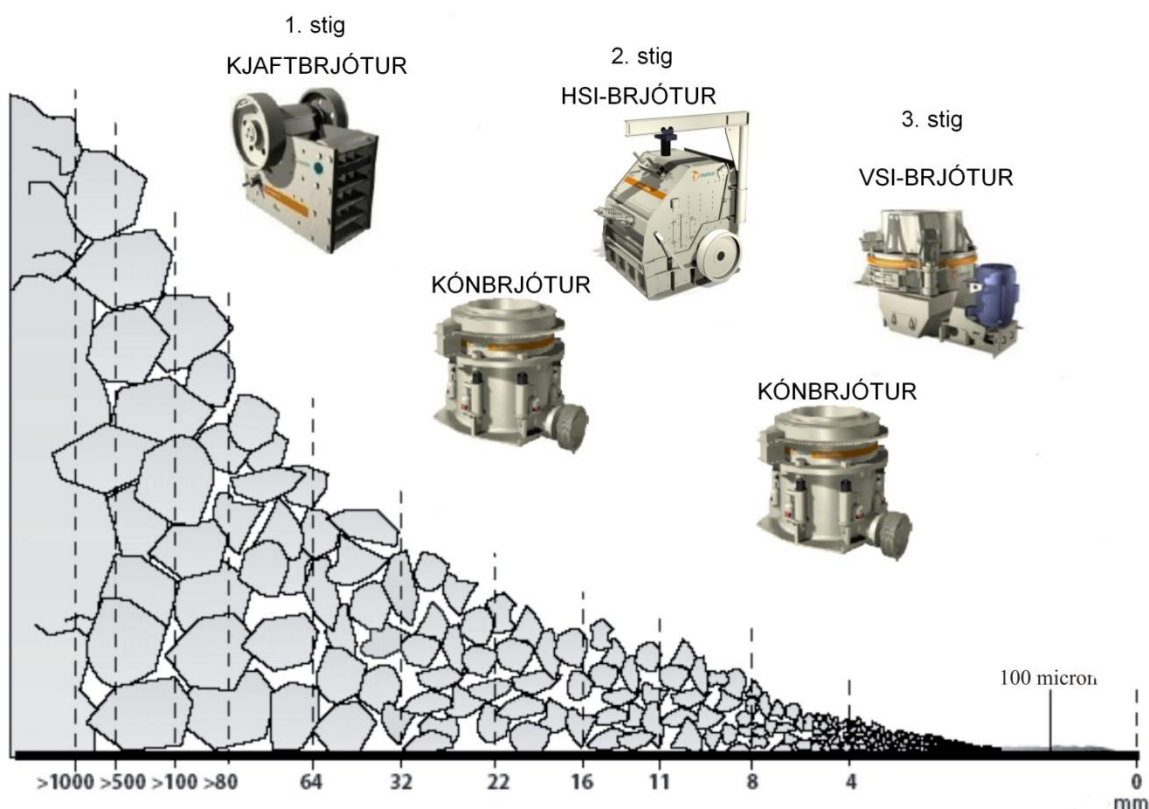
³ Smækkunarhlutfall er skilgreint sem hlutfall hráefnisstærðar og framleiðslustærðar (inn/út úr brjóti). Sjá bls.11.

⁴ Hringrás þýðir að hluti efnisins sem búið er að brjóta er brotið aftur. Sjá kafla 3.8.1.

hráefni, þar sem hægt er að kaupa nokkrar stærðir af keilum sem taka við mismunandi kornastærð steinefnis. Hægt er að nota sömu kónbrjótana og eru notaðir á 2. brotstigi en með fínni keilu. VSI brjótur þurfa mikla orku og er framleiðslukostnaður hár. Efnisnýting er með þeim hætti að þeir brjóta veikt steinefni alveg einstaklega vel niður og bæta gæði steinefnanna.

Smækkunarhlutfall

Smækkunarhlutfall (e : reduction ratio) er skilgreint sem hlutfall hráfnisstærðar og framleiðslustærðar (inn/út úr brjóti). Allir brjótur hafa ákveðið smækkunarhlutfall, sumir geta smækkað mikið en aðrir minna. Allir hafa þeir takmarkað smækkunarhlutfall sem þýðir að smækkunin á steinefninu þarf oft að fara fram í nokkrum brotstigum (Mynd 3.3.1.2). Fjöldi brotstiga er stjórnað af hráfnisstærð og framleiðslustærð. Til þess að ná að brjóta efni mikið niður til dæmis úr 400 mm og niður í 22 mm þá þarf vinnslan að gerast í nokkrum þrepum því ekki er hægt að brjóta þokkalega sterkt efni í einum brjóti.

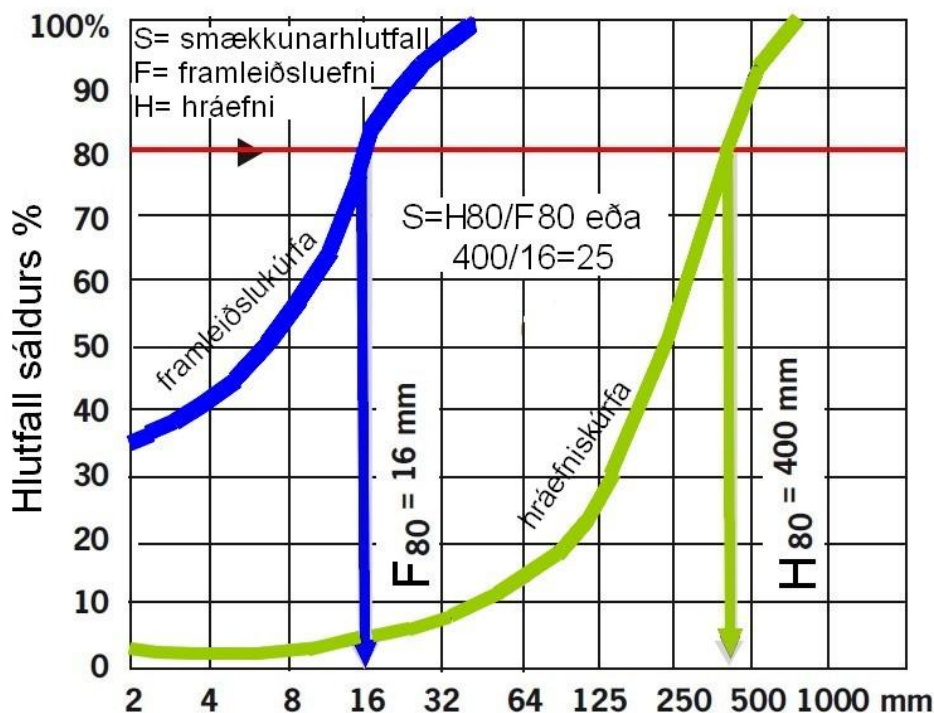


Mynd 3.3.1.2. Smækkun á efni fer fram í nokkrum brotstigum. Kjaftbrjótur er notaður á fyrsta stigi og brýtur gróft efni niður. Einnig er hægt að nota HSI brjót á fyrsta stigi ef efnið er mjög mjúkt. Kónbrjótur, HSI og VSI brjótur eru notaðir á 2. og 3. brotstigi. © Metso Minerals.

Samtals smækkunarhlutfall er heildarsmækkun á efni frá hráefni og til loka framleiðslu. Það er sá þáttur sem ákvarðar fjölda brotstiga í efnisvinnslu. Hægt er að finna út hversu mörg brotstig þarf með hliðsjón af hráfnisstærð og fyrirhugaðri framleiðslustærð. Til að útskýra þetta nánar þá eru sýndar tvær kornakúrfur á mynd 3.3.1.3. Vinstra megin á línuritinu er gefið upp hlutfall sáldurs og er lesið af lárétt við 80%. Þar sem kornakúrfurnar skera 80% línuna er lesið af lóðrétt niður. Með því er fundin út flokkunarstærð efnisins. Smækkunarhlutfall er því reiknað hlutfall á milli sigtis sem að 80% af hráefni (H) smýgur og sigtis sem að 80% af

framleiðsluefninu (F) smýgur. Deilt er í hráfnisstærðina, sem í þessu tilfalli er H^{80} 400 mm með framleiðslustærðinni, sem er F^{80} 16 mm:

$$\text{Samtals smækkunarhlutfall}^5 S = H^{80}/F^{80}: 400/16 = 25$$



Mynd 3.3.1.3. Sáldurferlar fyrir framleiðsluefni og hráefni. Græna línan (H) er fyrir hráefni, þ.e. óunnið efni sem mokað er inn í brjótinn, og sú bláa sýnir kornadreifingu steinefnisins eftir að búið er að mala efnið niður þ.e. framleiðsluna (F). Þar sem sáldurferlarnir skera rauðu lárétta línuna, þ.e. 80% sáldursins, er lesið af lóðrétt. Fyrir framleiðsluefnið smýgur 80% 16 mm sigti og fyrir hráefnið smýgur 80% 400 mm sigtið. © Metso Minerals.

Til að finna út skynsamlegan fjölda brotstiga þá er hægt að nota smækkunarhlutfallið. Samkvæmt þessum útreikningi þá þarf smækkunarhlutfallið að vera 25. Með tvo brjóta, kjaftbrjót og kónbrjót þá gæti dæmið litið þannig út:

$$\text{Kjaftbrjótur } 4:1 \text{ og kónbrjótur } 3:1 \quad 4 \times 3 = 12$$

Þetta gengur ekki upp því samtals þarf smækkunarhlutfallið að ná 25. Því er að bæta við þriðja brotstiginu: kónbrjótur 3:1 og brjóta minna með kjaftbrjótinum:

$$\text{Kjaftbrjótur } 3:1, \text{ kónbrjótur } 3:1 \text{ og kónbrjótur } 3:1 = 3 \times 3 \times 3 = 27$$

Smækkunarhlutfallið sem næst út úr þessu er samtals 27 og dæmið gengur upp.

⁵ S= Smækkunarhlutfall. F80= er sigtastærðin sem 80% af framleiðsluefninu smýgur. H80= er sigtastærðin sem 80% af hráefninu smýgur.

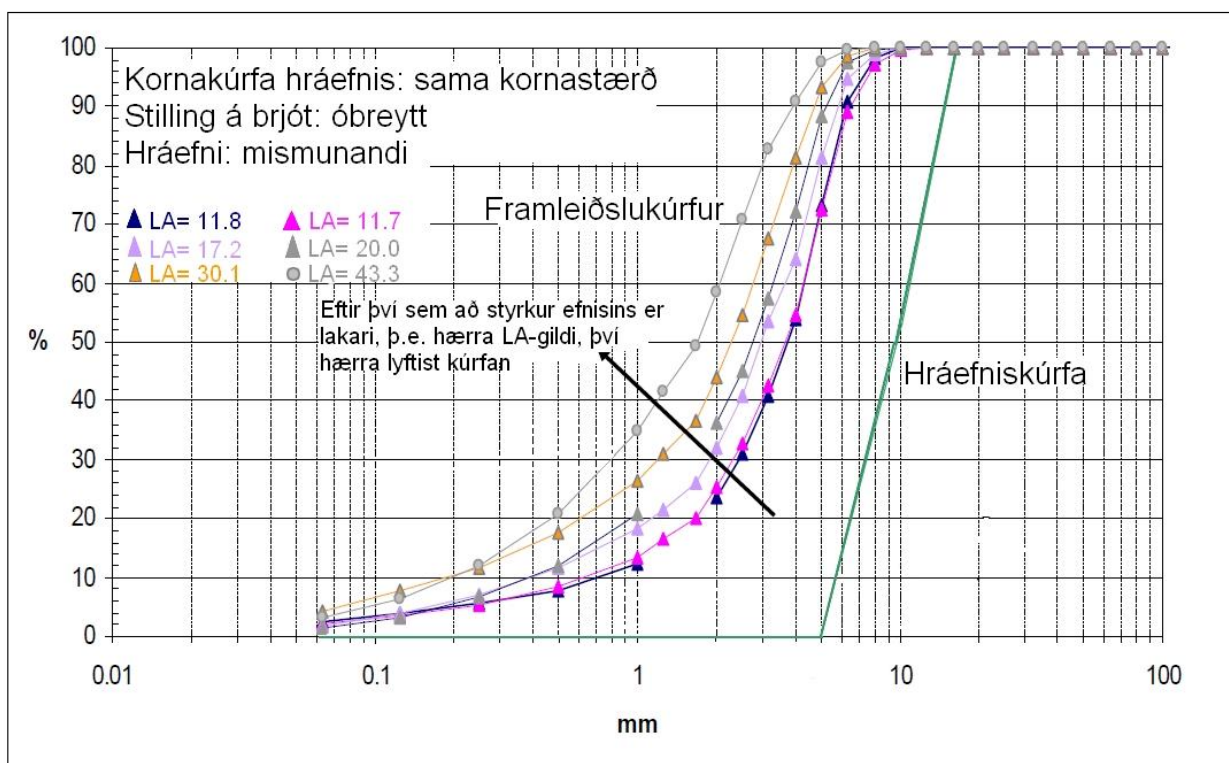
Ef til dæmis hráefnið væri frekar mjúkt eins og t.d. mjög mjúkt grágrýti og seinni brjóturinn væri HSI brjótur eða kónbrjótur þá myndi alveg duga að nota 2 brotstig, því mjúkt efni brotnar mun auðveldara (Mynd 3.3.1.4).

Fleiri brotstig þýðir að álagið á brjótana verður minna en fleiri brjótur kalla á aukinn kostnað. Ef hráefnið er úr klöpp, þá gæti verið auðveldara að sprengja grjótið smærra í staðinn fyrir að bæta við brjóti.

Til að reikna smækkunarhlutfall getur verið æskilegt að sáldurgreina hráefnið. Mjög oft er hráefnið það gróft að ekki er hægt sáldurgreina það með hefðbundnum hætti. Til að fá kornadreifingu á hráefni sem er 0-500 mm í þvermál er hægt að myndgreina efnið. Tekin er stafræn ljósmynd af hráfnishaugnum með tveim kvörðuðum boltum og er hægt að senda hana til fyrirtækisins Splitengineering (<http://spliteng.com>). Með myndgreiningu er hægt á auðveldan hátt að fá hugmynd um kornadreifingu hráfnisins en ferlið tekur nokkra daga. Einnig er hægt að kaupa forrit og sjá um myndgreininguna sjálfur.

Berggerðir eru misjafnar hvað varðar t.d. styrk, slitþol og kleyfni en berggerðin hefur áhrif á smækkunarhlutfallið. Því harðara sem hráefnið er því minni verður smækkunin í hverju brotstigi fyrir sig. Ef miðað er við tveggja þrepa brotstig þá verður mesta brotið (smækkunarhlutfallið) venjulega í forbrjótnum (kjaftbrjótnum). Ef þriðja brotstiginu er bætt við þá verður álagið á brjótana mun minna og smækkunarhlutfallið verður ekki eins mikið á hverju stigi.

Framleiðsla á 6 mismunandi efnistegundum



Mynd 3.3.1.4. Framleiðsla á 6 mismunandi efnistegundum. Hráefnið er mismunandi en kornadreifing hráfnisins eru ávallt sú sama. Stillingar á brjót eru þær sömu. Eina breytan sem er öðruvísi er styrkleiki efnisins, þ.e. LA-gildi. Eftir því sem að efnið er mýkra (LA gildi hærra) því betri verður kornadreifingin. © Metso Minerals.

Hlutfall fínefna

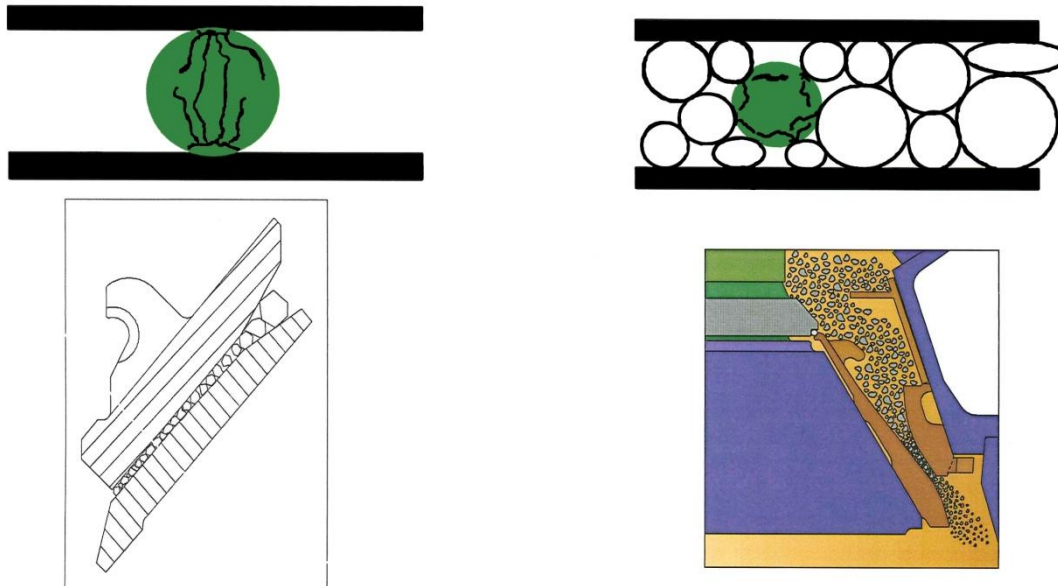
Eftir því sem að hráefnið er mýkra því meira hlutfall verður til af fínefnum. Eftir því sem efnið er harðara verður minna til af fínefnum.

Í töflu 3.3.1.1 kemur fram hvaða brjóta er ráðlagt að nota miðað við styrk hráefnis. Sem dæmi má nefna að kjaftbrjótur er yfirleitt notaður í tilfellum þar sem berg er hart, HSI brjótur í mjúku bergi og kónbrjótur ganga fyrir báða flokka.

Teningslög

Smækkunarhlutfall hefur einnig áhrif á lögun steinefnis. Þar sem hátt smækkunarhlutfall í álagsbrjótum verður að mestu til við að steinefnið kloffnar þá getur ekki fengist góð lögun á steinefnið. Einnig getur harkalegt högg eyðilagt lögun steinefnisins. Í staðinn fyrir þetta þá er núningur á milli steinefnakornanna lykillinn að því að búa til teningslaga efni.

Þegar lítið efni er í kónbrjóti þá eru það keilurnar sem sjá um að brjóta steinana og brotið verður þá frá tveimur hliðum (Mynd 3.3.1.5). Þegar mikið efni er í brjótum þá breytist myndin og við bætist að steinarnir brjóta hvorn annan frá fleiri hliðum (Mynd 3.3.1.5).



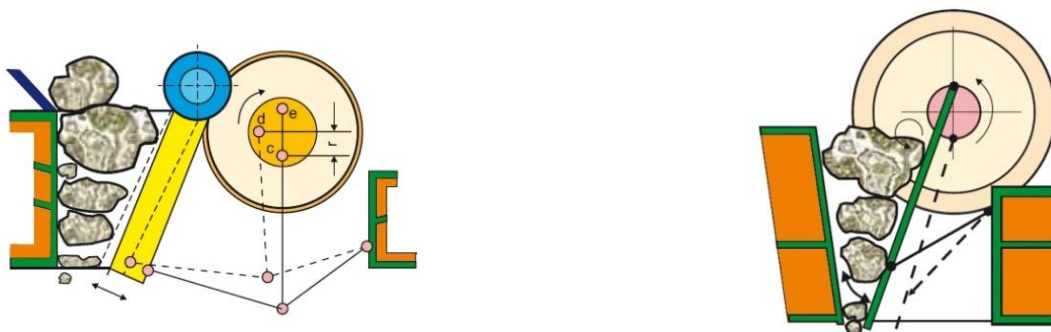
Mynd 3.3.1.5. Vinstra megin er lítið efni í brjótum, þ.e. eitt lag. Steinarnir brotna einungis frá tveimur hliðum. Hægra megin er meira efni í brjótum, þ.e. fleiri lög. Auk þrýstings frá keilum þá brjóta steinarnir hvorn annan. Steinarnir brotna frá fleiri hliðum © Metso Minerals.

VSI brjótur brjóta aðallega með núningsbroti. Það þýðir að smækkunarhlutfallið er frekar lágt en lögun steinefnisins er gott.

3.3.2 Kjaftrjótur

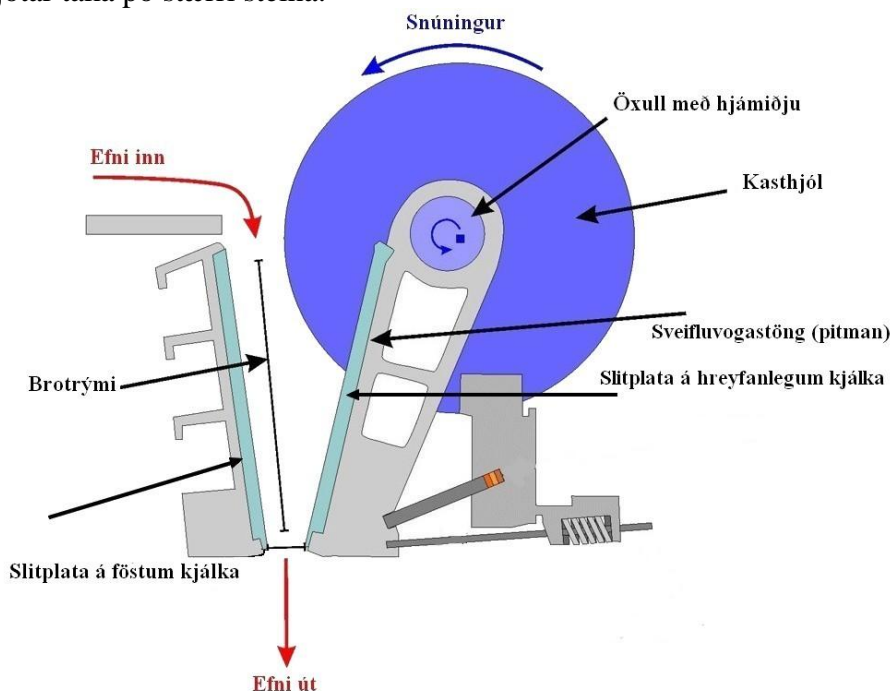
Kjaftrjótur (kjálkabryótur) (e: jaw crushers) eru forbryótur og eru notaðir á fyrsta brotstigi, þ.e. til að mala efnið í hæfilegar stærðir til frekari vinnslu.

Kjaftrjótur eru framleiddir í mörgum stærðum og eru notaðir í öllum geirum efnisvinnslu. Þeir eiga sér langa sögu, hátt í 200 hundruð ára, og áður fyrr voru flestir kjaftrjótur tveggja kefla, þ.e. með tvær veltiplötur og tvo öxla (Mynd 3.3.2.1). Síðustu árin hafa eins kefla bryótarnir orðið vinsælli vegna minni kostnaðar og mun meiri afkastagetu og eru flestir kjaftrjótur þannig í dag (Myndir 3.3.2.1 og 3.3.2.2).



Mynd 3.3.2.1. Tveggja kefla kjaftrjótur vinstra megin og eins keflis kjaftrjótur hægra megin. © Metso Minerals.

Uppgefin stærð og breidd kjálkabryóta ákvarðast af mótunarvidd (opi) þeirra, þ.e. mestu fjarlægð á milli fasta og hreyfanlega kjálkans. Bryótur sem er 1060 x 700 mm er með kjálka sem er 1060 mm að breidd og hefur opun sem er 700 mm (Mynd 3.3.2.3). Algengustu kjálkabryótur sem eru notaðir hér á landi taka steinastærðir á bilinu 500-700 mm. Einstaka bryótur taka þó stærri steina.



Mynd 3.3.2.2. Einföld skýringarmynd af kjaftrjót. © Metso Minerals.

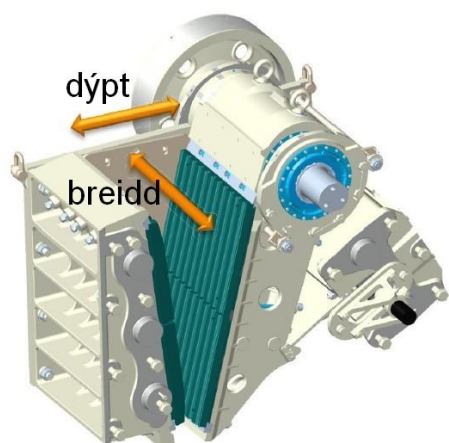
Stærstu kjaftrjótur sem eru framleiddir ráða við steinastærðir allt að 1200 mm. Hægt er að framleiða efni undir 100 mm að stærð í minnstu kjaftrjótunum.

Kjaftbrjótar eru álagsbrjótar og steinefni sem sett er í kjaftbrjóta brotnar vegna þrýstíalags. Brotið á sér stað á milli fasts og hreyfanlegs kjálka, sem eru með áföstum slitplötum, í svokölluðu brotrými (e: cavity). Efnið rennur allt eftir fasta kjálkanum. Við snúning þrýstir hreyfanlegi kjálkinn efni að fasta kjálkanum⁶ og grípur steininn. Þegar hreyfanlegi kjálkinn færast frá, fellur efnið í brotrýminu niður þangað til það festist aftur á milli kjálkana. Við endurtekna hreyfingu brotnar efnið um leið og það færast niður brotrýmið þar til það hefur náð þeirri kornastærð sem brjóturinn er stilltur fyrir. Hreyfingin á fasta kjálkanum myndar hringlaga hreyfingu efst sem síðan fer yfir í sporöskjulaga hreyfingu um miðbik brotrýmisins og neðst er nánast um línulega hreyfingu að ræða. Hringlaga hreyfingin efst ræður því að stórir steinar komast inn í brotrýmið. Samþjöppun efnis verður mest í neðri hluta brjótsins í kæfirými brjótsins (e: choke point) en það er það svæði í brotrýminu þar sem brotsvæðið er minnst.

Hægt er að fá margar gerðir af slitplötum í kjaftbrjóta enda er efni sem fer í brjótana af mismunandi toga. Hægt er að fá slitplötur sem henta fyrir sprengt grjót, mól, fínefnaríkt efni og endurvinnslu. Slitplötur eru annaðhvort í heilu lagi eða tvískiptar. Í færanlegum kjaftbrjótum er plássíð yfirleitt lítið og því eru slitplöturnar yfirleitt heilar. Mesta álagið á slitplötunum er á neðri hlutanum og því þarf að velja slitplötunni við, þ.e. hafa endaskipti á plötum, þegar slitið er orðið töluvert. Slitplöturnar eru úr málmblöndu sem harðnar með tímanum vegna högg álags. Eftir því sem að slitplöturnar slitna víkkar brothólfið að neðanverðu og þá fara brjótarnir að brjóta efnið minna niður.

Hjá flestum framleiðendum er hægt að fá milliplötu í kjaftbrjóta sem sett er innan við slitplötuna á fasta kjálkanum. Milliplötuna getur verið gott að setja upp ef brjóta þarf efnið meira niður (fínna) og ef nauðsynlegt er að hafa þrengri stillingar á brjótum. Einnig hentar að hafa þessa milliplötu ef skipt er úr efnisvinnslu úr klöpp og yfir í mól, því mölin er núnari og því sleipari.

Opnunin á kjaftbrjót afmarkar hámarksstærð efnisstærðar brjótsins. Hámarksmeðalstærð efnis ætti alltaf að vera minna en 80% af opnuninni (miðað við dýpi, þ.e. fjarlægð á milli slitplata). Mötunarviddin (dýpt) er mæld á milli slitplata þegar sveiflufogastöngin (e: pitman) er í hvíldarstöðu (Mynd 3.3.2.3). Ef opnunin er 700 mm þá er ekki ráðlagt að taka stærri steina inn en 560 mm, þ.e. $700 \text{ mm} \times 0.8 = 560 \text{ mm}$. Upplýsingar um ráðlagðar steinastærðir er að finna í viðkomandi handbók fyrir hvern brjót.



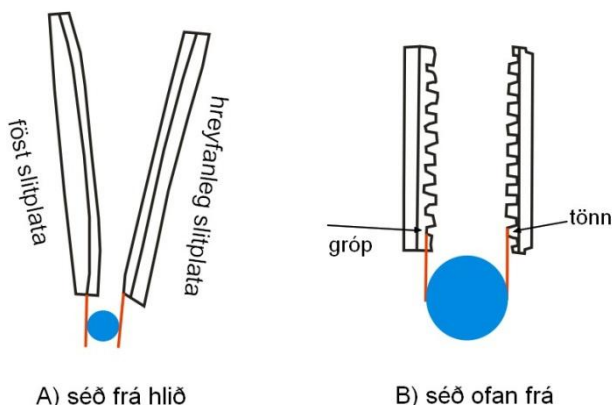
Til að brjóturinn vinni vel og líftími hans verði sem lengstur er ráðlagt að hámarksstærð efnis sem matað er inn í brjótinn sé ekki meiri en 80% af opnun brjótsins, þ.e. dýptinni. Þessi tala er notuð þegar er verið að mala sprengda klöpp. Aðrar aðstæður eru fyrir mól því hún er nún og sleip og erfiðara er að ná taki á kornunum og því mun meiri hætta á að efnið hrökkvi upp úr brotrýminu við þrýstíalagið. Fyrir mól er því ráðlagt að hámarksstærð efnis sem matað er inn sé ekki meiri en 70% af opnun brjótsins.

Mynd 3.3.2.3. Kjaftbrjótur. Mötunarviddin (dýpt) er mæld á milli slitplata. © Metso Minerals.

⁶ Hornið á milli fasta kjálkans og lausa kjálkans kallast á ensku „nip angle“ og oft er talað um það sem „bite angle“.

Til að mæla hversu þröngur brjóturinn er í þrængstu opnun, þá þarf að mæla úttaksopnunina neðst í brjótum. Þetta er gert þegar brjóturinn er ekki í gangi. Skriðið þarf inn í brjótinn. Fyrir flesta kjaftbrjóta með svokallaða „námuslitplötur“ þá er fjarlægðin frá gróp á færanlegu plötunni mæld yfir í tönnina á föstu plötunni (Mynd 3.3.2.4).

Mæla á svæðið sem er minnst slitið og ávallt skal mæla beina línu. Ef opnunin í opinni stillingu (OSS)⁷ er 100 mm (± 2 mm) í tilteknum brjóti þá þarf að finna út slagið⁸ á brjótum sem væri þá í þessu dæmi 32 mm (upplýsingar um slag brjóta er að finna í handbókum fyrir brjótana). Opnun brjótsins í lokaðri stillingu (CSS)⁹ væri þá 68 mm (± 2 mm). Upplýsingar um ráðlagðar þrængstu stillingar er að finna í viðkomandi handbók fyrir hvern brjót.



Mynd 3.3.2.4. Mælingar á opnun kjaftbrjóts. Á mynd A er horft inn í hlið brjótsins. Á mynd B er horft ofan í brjótinn. © Metso Minerals.

Fyrir aðrar tegundir kjaftbrjóta er stundum mælt frá tönn yfir í tönn. Mælingin fer eftir því hvernig slitplötur eru notaðar og auk þess tegund kjaftbrjóts.



Mynd 3.3.2.5. Kjaftbrjótur. Munurinn á lokaðri stillingu (e: CSS) og opinni stillingu (e: OSS). © Metso Minerals.

Hámarksframleiðslustærð sem kemur út úr kjaftbrjót ræðst af opnun í lokaðri stillingu (CSS) (Mynd 3.3.2.5) en einnig fer það eftir styrk efnisins, þ.e. hversu auðveldlega efnið sem verið er að mala, brotnar.

⁷ OSS (Opin staða, e: open side setting): Mesta bil milli fasta og færanlega kjálkans þegar þeir eru lengst frá hvor öðrum.

⁸ Slag (e: stroke) er mismunur á milli mestu og minnstu opunar mælt neðst í brotrýminu í einni færslu. Slagvidd er mismunandi milli tegunda.

⁹ CSS (lokað staða, e: closed side setting): Minnsta bil á milli fasta og færanlega kjálkans þegar þeir eru sem næst hvor öðrum.

Vinnsla efnis í kjaftbrjót

Fínefni eru óæskileg í kjaftbrjóta. Kjaftbrjótar eru sterk og öflug tæki en það má alls ekki misbjóða þeim. Til að auka afköst og að auka líftíma brjótsins er ráðlagt að taka fínefnin undan á matara brjótsins.

Fínefni eru óæskileg í kjaftbrjót vegna þess að :

- Fínefni verða til þess að efnið þjappast saman og mikill kraftur fer í það
- Álag verður mun meira, afköst minnka
- Líftími brjótsins minnkar
- Slitplötturnar ná ekki að harðna
- Orkunotkun eykst

Auk þess eru eftirfarandi atriði mikilvæg:

- Innmatað efni á að hafa jafna dreifingu í brotrýminu
- Kjaftbrjóturinn afkastar mest þegar brotrýmið er 2/3 fullt
- Gott að hafa matara en hann tryggir hámarks flæði efnis og ver brjótinn fyrir höggum
- Fallhæð frá enda matara yfir í skammtara má ekki vera meiri en 600-1000 mm

Eftir því sem að efnið er grófara sem fer inní brjótinn því meiri áhrif hefur það á afköst brjótsins. Einnig fer minna af efninu undan á grjótskilju matarans og meira í gegnum sjálfan brjótinn. Grófara efni inn þýðir einnig grófara framleiðsluefni brjótsins. Og fínna efni þýðir fínna framleiðsluefni.

Þrátt fyrir að kjaftbrjótar séu forbrjótar þá eru þeir einnig notaðir til vinnslu á grófum efnum, s.s. í styrktarlag. Ekki er æskilegt að vinna efni í kjaftbrjót fyrir efri lög í vegagerð þar sem efni sem brotið er í kjaftbrjót nær ekki æskilegri lögun né sáldurferli.

Ekki er hægt að búa til mikið af fínefnum í kjaftbrjótum þegar þeir eru notaðir til að brjóta efni mjög fínt. Minnstu kjaftbrjótarnir geta verið með þrengstu opnun 40 mm. Ef verið er að brjóta þokkalega harða klöpp þá verða fínefnin á bilinu 7-10%, að hámarki. Ef opnunin er 200 mm og verið er að vinna slitsterkt efni þá myndast mjög lítið af fínefnum, þ.e. undir 1%. Ef efnið sem verið er að vinna er mjúkt þá verður til meira af fínefnum.

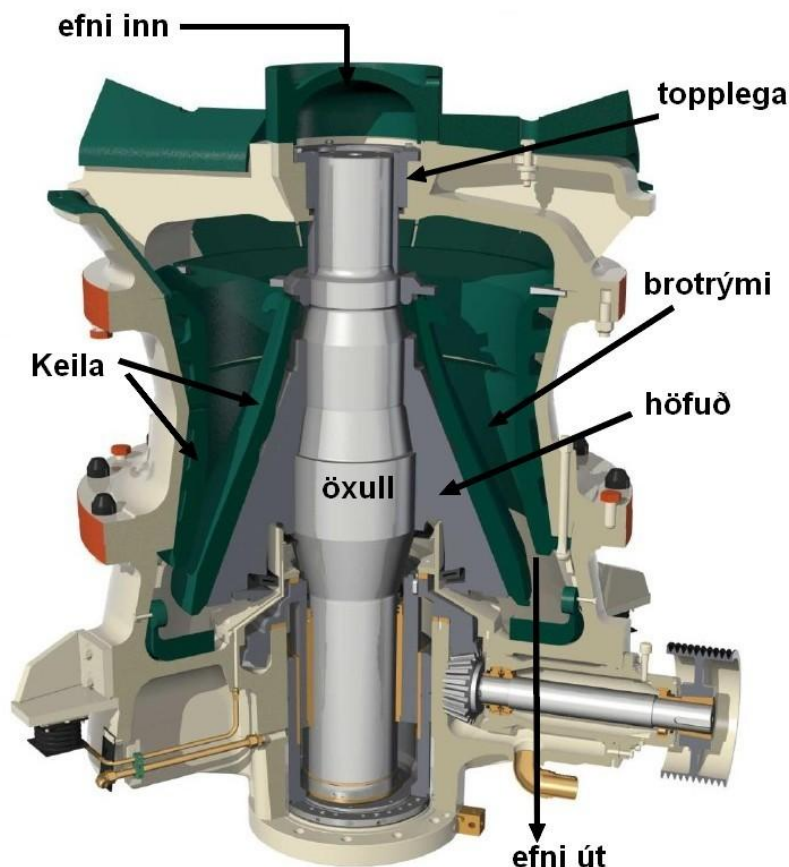
Almennt má segja að kjaftbrjótar búi til miðlungs stóra steina í mölun en lítið af fínefnum.

3.3.3 Kónbrjótar

Kónbrjótarlkeilubrjótur (e: cone crushers) eru framleiddir í mörgum stærðum og eru aðallega notaðir á 2., 3., og 4. brotstigi (Mynd 3.3.3.1). Kónbrjótar hafa þróast út frá *hringbrjótum* (e: gyratory crushers) og er uppbygging þeirra nánast eins. Þegar talað er um hringbrjóta í dag þá er verið að vísa í mjög stóra og þunga brjóta sem veða á bilinu 100 til 600 tonn. Þetta eru stórir brjótar miðað við kónbrjóta sem geta verið á bilinu 5 til 200 tonn. Munurinn felst fyrst og fremst í stærðinni. Í nánum erlendis þar sem framleiðslugeta er mikil er algengt að stórir hringbrjótar séu notaðir til að forbrjóta efnið. Afkastageta þessara brjóta er mjög mikil vegna þess hve mótunarop þeirra er stórt og er afkastageta þeirra mikil samanborið við kjaftbrjóta. Hringbrjótar þurfa ekki matara og efni er venjulegast sturtað beint í þá af námubifreiðum. Hringbrjótar eru eins og margir kjaftbrjótar til samans og í stórum nánum eru þeir aðalforbrjótarnir. Hér verður ekki fjallað sérstaklega um stóra hringbrjóta en í grundvallaratriðum þá vinna þeir alveg eins og kónbrjótar.

Minni hringbrjótar eru í raun og veru venjulegir kónbrjótar en eru ekki kallaðir hringbrjótar heldur kónbrjótar með topplegu. Munurinn felst fyrst og fremst í keilunni, hjámiðjuöxlinum og topplegu. Fjallað verður um þetta síðar.

Kónbrjótar eru álagsbrjótar og steinefni sem sett er í kónbrjóta brotnar vegna þrýstíalags. Brotið á sér stað í brotrými milli fastrar og hreyfanlegrar keilu.



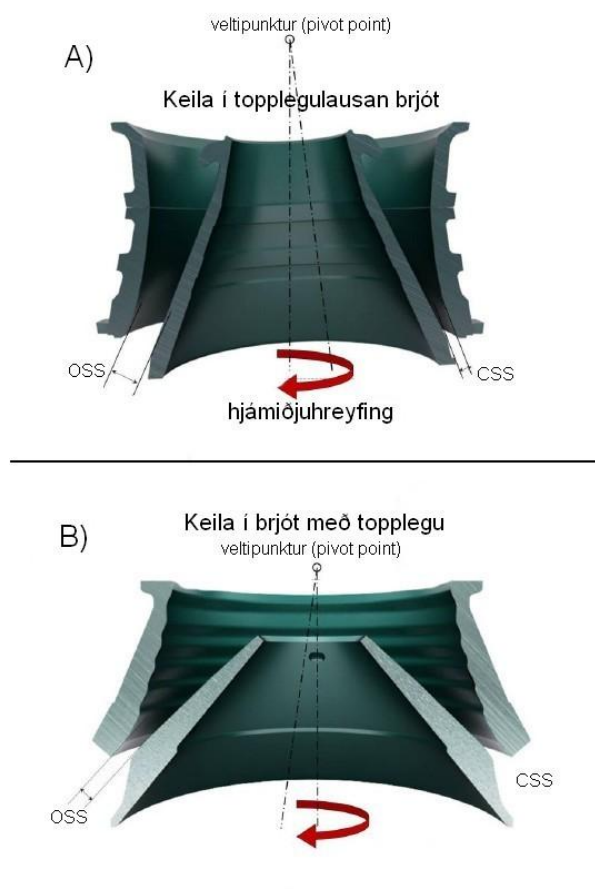
Mynd 3.3.3.1. Einföld skýringarmynd af kónbrjót með topplegu (þverskurður). © Metso Minerals.

Í grundvallaratriðum má flokka kónbrjóta í nokkrar gerðir eftir notkunarviðinu. Stærð brjóta er lýst í samræmi við þvermál keilunnar þ.e. 900 mm, 2100 mm o.s.frv. Þyngdin er einnig

breytileg allt frá 5 til 200 tonn og hestöfl eru frá 10 til 700. Breytileikinn er það mikill að ráðlegt er að fá nákvæmar lýsingar frá framleiðendum tækisins.

Kónbrjótar eru uppbyggðir þannig að þeir eru með lóðréttan öxul sem snýst um hjámiðju (Mynd 3.3.3.1). Utan um öxulinn er keilulagað höfuð sem er miðjan á brjótum. Utan um höfuðið er síðan innri kápa og inni keilulaga skálinni er ytri kápa. Til samans kallast þessar kápur *keila*. Milli þeirra er brotrými þar sem brotið fer fram á efninu.

Á leið sinni gegnum brjótinn fellur efnið niður brotrýmið. Hreyfingin sem verður um hjámiðju öxulsins býr til sveiflu, þ.e. slag. Slagið er í raun og veru færsla höfuðsins, þ.e. mismunurinn á milli opinnar (OSS) og lokaðrar stillingar (CSS). Sveiflan er misstór. Brotið á efninu verður á milli ytri og innri kápunnar, þ.e. efnið brotnar vegna þrýstings. Enn fremur brjóta steinarnir hvor annan. Eftir því sem að keilan er flatari því stærra verður slagið. Þegar keilan sveiflast þá þrýstist innri kápan upp að ytri kápunni. Þegar innri kápan færast frá fellur efnið niður þangað til að það festist aftur. Þessi hreyfing er endurtekinn alla leið niður brotrýmið þar til réttri framleiðslustærð er náð.



Hjá framleiðendum er hægt að fá kónbrjóta með topplegu eða topplegulausa. Eini munurinn á milli þessara brjóta er fyrst og fremst að topplegubrjóturinn er fastur uppi, þ.e. í toppinn með legu og brotrýmið (keilan) er mun brattari (Mynd 3.3.3.2 A). Í topplegu brjótum þá er innri keilunni lyft til að opna eða minnka opnun brjótisins. Hægt er að stilla slag í sumum topplegu brjóta en það er mikil aðgerð.

Í topplegulausum brjótum þá er engin topplega og keilan er ekki eins brött (Mynd 3.3.3.2 B). Í topplegulausum brjótum er ytri keilunni lyft til að opna eða minnka opnun brjótisins. Ekki er hægt að stilla slag á topplegulausum brjótum.

Mynd 3.3.3.2. Munurinn á keilum í brjóta með topplegu (A) og í topplegulausa brjóta (B). © Metso Minerals.

Kónbrjóta með topplegu er hægt að fá með mismunandi slagi hjá framleiðendum. Í brjótum sem eru topplegulausir er ekki hægt að breyta slaginu.

Nokkur atriði skipta máli þegar kemur að vali á keilu eins og *lögum keilu og mötunarop*. *Lögum keilu*: Keilur brjóta eru margar og mismunandi. Fyrir topplegulausa brjóta er vísað í hugtök sem tengjast almennri notkun, eins og fjölnotakeilur (e: standard) fyrir 2. stigs brjóta, og fínefnakeilur (e: short head) fyrir 3. stigs brjóta. Undirflokkar segja svo til um stærðina eða réttara sagt brotrýmið þ.e. *mjög vítt, vítt, miðlungs, þröngt og mjög þröngt*. Undirflokkarnir

eru mismargir fyrir mismunandi stærðir brjóta, og til eru nokkrar gerðir fyrir hverja gerð brjóta. Eftir því sem að keilan, þ.e. brotrýmið, er þrengra þá þrengist inntaksopið og brjóturinn tekur fínna efni inn og fínna efni kemur út.

Það skiptir máli að velja rétta keilu fyrir þá steinefnaframleiðslu sem stefnt er að. Með því næst hámarks orkunýting, slit dreifist jafnt innan brotsvæðisins og álagstoppa á brjótinn minnka. Þegar keilan er valin þá er búið að ákveða brotrýmið og þar með er búið að ákveða stærð á inntaksopi og úttaksopi.

Í topplegulausa brjóta sem eru í notkun hér á landi hefur það tíðkast að nota fjölnotakeilur, annað hvort *víða* eða *miðlungs* og eru þær notaðar á öðru brotstigi (Mynd 3.3.3.3). Miðlungs fjölnotakeila brýtur fínna en víð fjölnotakeila:

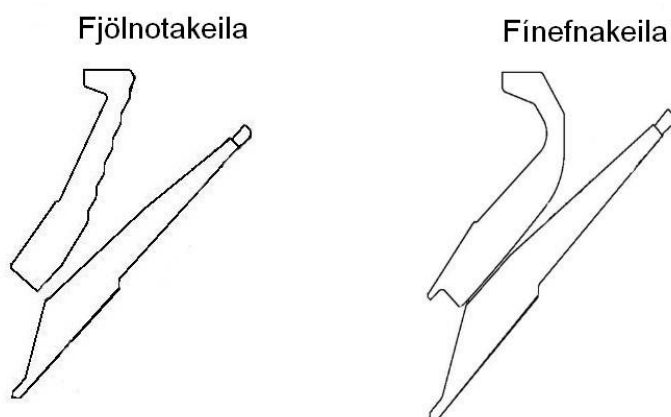
- Framleiðsluefni stærra en 25 mm (yfirleitt)
- Smækkunarhlutfall 4-6:1
- Ekki endilega hringrás, þ.e. val
- Kokmötun æskileg (þ.e. fullmata brotrýmið)

Fínefnakeila (e: short head) í topplegulausa brjóta er einungis notuð á lokastigi (Mynd 3.3.3.3). Fínefnakeila með mjög þröngri opnun (e: extra fine) er sérstaklega hönnuð fyrir sandframleiðslu (hráefnið á bilinu 5-15 mm):

- Framleiðsluefni minna en 25 mm (yfirleitt)
- Smækkunarhlutfall 3-5:1
- Alltaf hringrás
- Kokmötun nauðsynleg

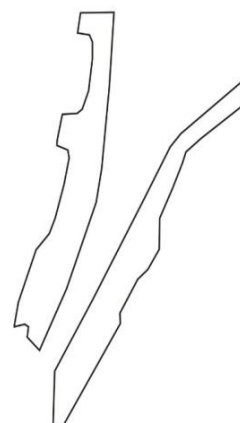
Í vegagerð er aðallega verið að nota fjölnotakeilur. Mesti munurinn felst í mötunaropi keilanna. Á fín og miðlungs fjölnota keilu getur munað allt að 30 mm á mötunaropi og 3 mm á úttaksopi. Því fínri sem keilan verður því betri teningslögunin verður á efninu.

Keilur í topplegulausa brjóta



Mynd 3.3.3.3. Keilur í topplegulausa brjóta. Myndin vinstra megin sýnir víða fjölnotakeilu. Ytri kápan er með hökum. Myndin hægra megin sýnir þrönga fínefnakeilu. Eftir því sem keilurnar eru þrengri því þykkari eru þær. © Metso Minerals.

Keila í topplegubrjót



Keilur í brjóta með topplegu eru mun brattari en í topplegulausa brjóta (Mynd 3.3.3.4). Efnið fellur því lengra niður og slagið er styttra.

Mynd 3.3.3.4. Myndin sýnir keilu fyrir kónbrjót með topplegu. Brotrýmið er gróft. © Metso Minerals.

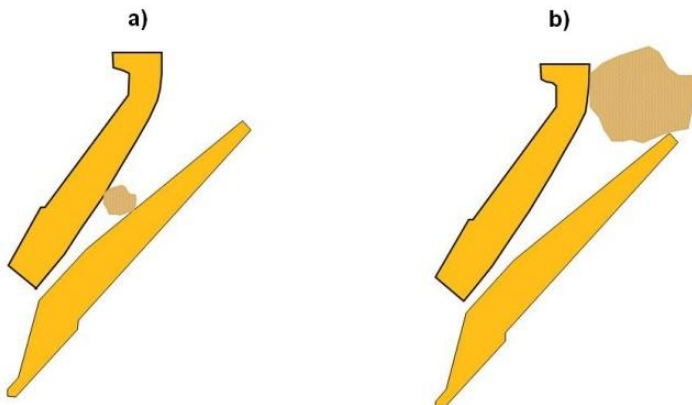


Mynd 3.3.3.5. Topplegulaus kónbrjótur. Séð ofan í brjótinn (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).



Mynd 3.3.3.6. Kónbrjótur með topplegu (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).

Mötunarop: Steinastærð miðast við þrengstu stöðu á mötunaropinu (e: closed side setting, CSS). Þegar um er að ræða mól þá verður að minnka opnunina um 10-20%. Ef opnunin er of þröng (steinn of stór) þá kemst efnið ekki inn (Mynd 3.3.3.7). Þetta leiðir til þess að afköst minnka og mikið álag verður á efsta hluta keilunnar. Þetta getur leitt til þess að eitthvað gefi sig.



Mynd 3.3.3.7. Mynd (a) sýnir brotrými þar sem hræfnisstærðin er of lítil. Mynd (b) sýnir sama brotrými sem er of þröngt miðað við hræfnið. © Metso Minerals.

Ef opnunin er of víð (steinn of lítill) þá brotnar efnið í neðri hlutanum. Þetta leiðir til þess að það verður léleg nýting á álagsflötum, mölunin verður óhagstæð vegna lélegs smækkunarhlutfalls og erfitt verður að varna því að hausinn spinnist en þá snýst snúningsásinn rangsælis. Ef kónbrjótar ganga álagslausir, þ.e. hafa lítið sem ekkert efni, spinnast þeir afturábak.

Þættir sem skipta máli varðandi val keilu:

Inntaksefni – þ.e. stærð hráfnisstærðar

Framleiðsluefni – hvaða kornastærðarflokk á að framleiða?

Lögun – lögun keilu, því minni keila því betri teningslögun

Svörfun – þykkt á fóðringum og málmblanda

Mikilvægt er að vanda val á keilu til þess að tryggja að hámarksafköst náist við mölunina. Velja þarf keiluna með tilliti til efnisstærðar og þeirrar framleiðslu sem stefnt er að, þannig að allir fletir hennar nýtist. Ef til að mynda gróf fjölnotakeila er notuð fyrir fínt efni fer brotið að mestu fram í neðri hlutanum og efri hlutinn nýtist þar af leiðandi ekki og útkoman verður aukið slit.

Innri og ytri keilan ákvarða brotrýmið (e: cavity). Þegar tiltekið keilusetthefur verið valið þá hafa skilyrði svo sem mötunarop, brotrými og úttaksop í þrengstu stöðu (CSS) verið ákvörðuð.

Ekki er ráðlagt að efni sem er matað inn í kónbrjót sé stærra en 80% af víðustu stöðu mötunaropsins. Dæmi: Mesta opnun með miðlungs fjölnotakeilu er 125 mm og því ættu efnið sem kemur inn í brjótinn ekki að vera stærra en 100 mm.

Í mörgum brjótum er hægt að lesa úr tölvu brjótsins opnun brjótsins. Ef tölvubúnaður er ekki til staðar þá er hægt að henda tónum olíusíum, gosdósum, eða kúlum úr álpappír ofan í brjótinn þegar hann er í vinnslu. Álkúlan/dósirnar pressast saman og þá er hægt að mæla þær með skífumáli og fá út hve opnunin á brjótnum er. Einnig er hægt að láta blýstykki síga niður í brjótinn í vinnslu og mæla það síðan með skífumáli.

Ef keila er komin á síðasta snúning þá er ekki lengur hægt að ná keilusettinu saman og brjóturinn nær ekki að brjóta eins vel og afköstin detta því niður. Þá þarf stöðugt að þrengja brjótinn. Neðsta brúin á keilunni þynnist og það kemur hvílt í hana og hún verður eins og jólabjalla í laginu. Reynsla hér á landi sýnir að keilan dugar í flestum tilfellum í 2 til 3 ár.

Vinnsla teningslagaðs efnis í kónbrjót (miðað við fínmölun)

Í flestum tilfellum er hægt að framleiða teningslagað efni í kónbrjót en til þess að það sé hægt þá þarf að uppfylla nokkur skilyrði:

- Fullmata brotrými (kokmötun)
- Stöðuga og jafna mötun (Ef mötun er of hæg verða kornin oft flögótt)
- Hringrás
- Mælt er með því að taka undan (sigta) efni frá áður en það fer inn í kóninn þegar ¼ hluti efnisins er smærra en minnsta bilið á milli kápanna
- Ráðlögð hámarksstærð innmataðs efnis 50 mm
- Stillingar á úttaksopi nálægt framleiðslustærð
- Keila sem hentar fyrir hráefnið
- Nýrri brjótar geta framleitt teningslagaðra efni

Það eina sem takmarkar notkun á kónbrjót í fínmölun (3. stig) eru óhóflegt magn fínefna í mötuninni og of hátt rakainnihald. Samkvæmt framleiðendum eru korn minni en 5 mm ekki æskileg í kónbrjótinn og hámarks rakainnihald í mötuninni má ekki vera meira en 3%.

3.3.4 Kastbrjótar (hverfibrjótar)

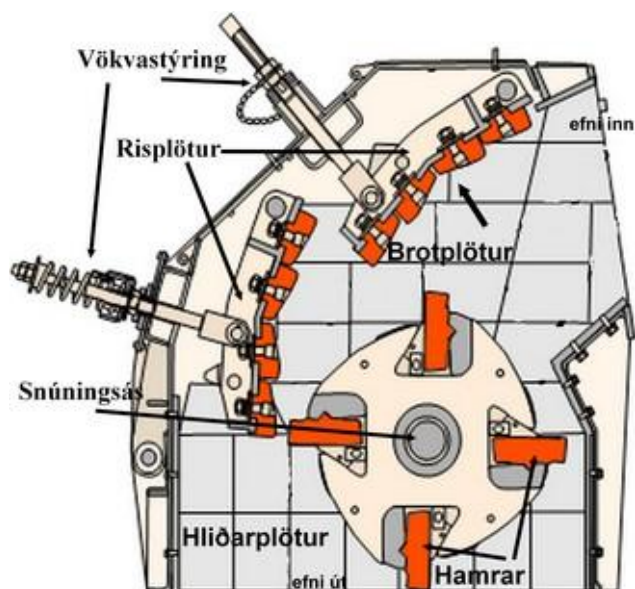
Tvær aðalgerðir kastbrjóta eru láréttur hverfibrjótur (e: Horizontal Shaft Impactor, HSI) og lóðréttur hverfibrjótur (e: Vertical Shaft Impactor, VSI). Það sem einkennir þessa brjóta er hátt smækkunarhlutfall og betri kornalögun framleiðsluefnis.

3.3.4.1 Láréttir hverfibrjótar (HSI)

Láréttir hverfibrjótar (HSI brjótar) brjóta steinefnið með höggálagi. Þeir eru framleiddir í mörgum stærðum og gerðum og þá er hægt að nota á öllum stigum efnisvinnslu. Þessir brjótar eru fyrst og fremst notaðir fyrir efni sem brotna auðveldlega og sverfa tiltölulega lítið slitfleti brjótsins og þar sem framleiðsla á fínefnum er ekki vandamál. HSI brjótar eru mikið notaðir til að endurvinna efni og henta best fyrir mjúk efni.

Uppgefin stærð HSI brjóta hefur ekkert með mótunarvídd að gera heldur ákvarðast stærð þeirra af þvermáli snúningsás (rótors) og breiddar hans. Brjótur sem heitir NP1520 er með snúningsás sem er 1500 mm í þvermál og 2000 mm breiður.

Brjótarnir eru uppbyggðir þannig að þeir eru með láréttum snúningsás með nokkrum lausum hömrum eða föstum stöngum (Mynd 3.3.4.1.1). Brotið á efninu verður í þremur liðum. Í fyrsta lagi þá brotnar efnið við mjög snöggt högg sem verður þegar efnið lendir á hömrum, sem eru áfastir við snúningsásinn. Hér á um 60% brotsins sér stað. Um 30% brotsins verður síðan þegar efnið kastast áfram af miklu afli af hömrunum og yfir á eina eða fleiri risplötu. Yfirleitt er um eina til þrjár risplötur að ræða, en fjöldi þeirra fer eftir stærð brjóts, og á hverri þeirra eru minnst 4 boltaðar brotplötur. Þaðan kastast efnið síðan áfram yfir á hliðarplötu, sem samanstanda af mörgum smærri einingum, sem eru umhverfis brotrýmið. Á leið sinni gegnum brjótinn kastast efnið tvisvar til þrisvar sinnum á risplöturnar og sömuleiðis á hamrana. Restin af brotinu verður síðan vegna árekstra á milli sjálfra kornanna. Í nýjum brjótum eru risplöturnar vökvastýrðar. Á færanlegum brjótum er yfirleitt bara ein risplata og þá er sú plata með 8 áfastar brotplötur.



Mynd 3.3.4.1.1. Þversnið af HSI brjót. Hér eru 4 hamrar á snúningsás (appelsínugulir), tvær risplötur hvor með fjórum boltuðum brotplötum, og hliðarplötu (gráar). Hliðarplöturnar verja rýmið. Í þessum brjótum eru tvær vökvastýrðar risplötur. Vökvastýringin, sem er einungis á nýrri brjótum, leiðir til þess að brotplöturnar færast nær hömrunum eftir því sem að slitid eykst (sjálfstilling).

Á eldri HSI brjótum sem eru ekki tölvustýrðir er einungis hægt að stýra hraðanum á efninu með matara, þ.e. ekki er hægt að breyta hraðanum á snúningsásnum. Á nýrri brjótum er hægt að stýra hraðanum. Meiri hraði þýðir betri kornalögun á smærri kornastærðum, þ.e. kleyfni minnkar. Mestur hraði er í lokastiginu, í sandframleiðslu, en minnstur í forbroti sökum þess hve efnið er stórt sem kemur inn. Á öðru brotstigi er kornastærðin orðin minni og þá er hægt að auka hraðann.

Kastbrjótar sem forbrjótar hafa mjög mikla afkastagetu og er mötunarstærð forbrjótanna mikil. Af öllum forbrjótum þá er kastbrjóturinn sá brjótur sem brýtur efnið mest í teningslaga stærðir. Ef efnið er mjúkt og auðvelt að mala þá er kastbrjótur besta valið sem forbrjótur. Dæmi um jarðefni erlendis sem henta vel fyrir þennan brjót í forbroti er kalksteinn, gips og kol. Sem eftirbrjótar þá eru þeir notaðir fyrir hin ýmsu efni eins og kalkstein, gips, kol og sandstein en einnig fyrir basalt og mól.

Hér á landi hefur notkun þessara brjóta fyrst og fremst einskorðast við efnisvinnslu þar sem bæta þarf kornalögun og/eða auka hlut fínefna í framleiðslunni, t.d. fyrir malbik og steinsteypu, og í endurvinnslu malbiks. Einnig hefur eitthvað verið um að þeir hafi verið notaðir til að auka hlut fínefna í malarslitlög. Þessir brjótar hafa ekki verið notaðir sem forbrjótar hér á landi nema þá helst þegar verið er að endurvinna malbik. Þessir brjótar hafa lítið verið notaðir í klapparvinnslu hér á landi en hafa þó verið notaðir í bergnámunum Bláhæð og Snasa þar sem er basalt með fremur mikinn styrk og slitþol. HSI brjótar hafa þó aðallega verið notaðir þar sem steinefni er unnið úr seti.

Mjög fáir efnisvinnsluverktakar hér á landi nota þessa brjóta. Á landinu er vitað samtals um fimm HSI brjóta, bæði sem samstæður en einnig sem stakar einingar. Einungis þrjú þeirra eru nothæfir og einungis einn brjótur er nokkuð nýlegur. Ástæðan fyrir því að svona fáir efnisvinnsluverktakar á Íslandi nota þessa brjóta er vegna mikils slits og vegna mjög mikils viðhaldskostnaðar. Samanborið við kónbrjót þá er endingin á HSI brjót mun minni og framleiðslukostnaður á steinefni miðað við kónbrjót er allt að 40 til 50% hærri.

Hægt er að fá slithluti í kastbrjótana úr ýmsum málmblöndum sem eru mis slitþolnar enda er efni sem fer í brjótana af mismunandi toga. Algengasta málmblandan er magnesíum og þá er nánast bara hægt að brjóta auðmulið berg og set. Eftir því sem steinefnið er harðara því sterkari málmblöndur þurfa að vera á slitflötum eins og til dæmis króm. Því slitþolnari því dýrari eru slithlutirnir og vandmeðfarnari og þá er ekki ráðlagt að taka inn mjög stóra steina. Mesta álagið er á hamrana og stangirnar og það eru þeir hlutir sem spænast tiltölulega fljótt upp.

Þegar hamrarnir í kastbrjótunum eru nýjir þá er höggið mun öflugra og orkan sem verður til brýtur steininn upp í fleiri hluta. Þegar hamrarnir byrja að slitna þá verður höggálagið minna; steinninn brotnar upp í færri bita og kastast ekki á brotplötturnar heldur snýst hann við. Við þetta detta afköstin strax niður. Það er meiri hætta á aukningu á flögóttu efni þegar hamrarnir eru slitnir.

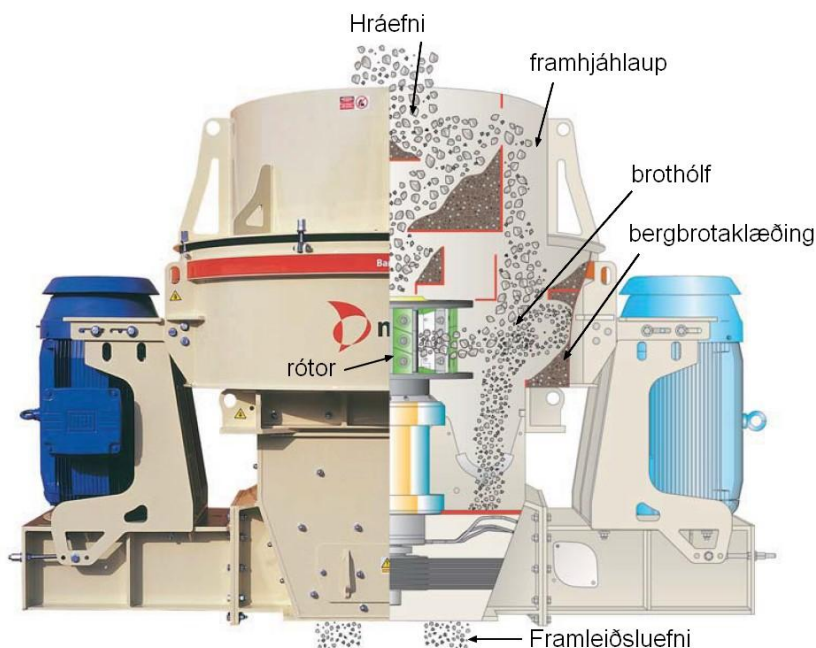
3.3.4.2 Lóðréttir hverfibrjótar (VSI)

Lóðréttir hverfibrjótar (VSI brjótar) eru framleiddir í nokkrum stærðum og eru eingöngu notaðir sem fínbrjótar/eftirbrjótar á 3. eða 4. brotstigi. Þessir brjótar eru aðallega notaðir í framleiðslu á fíngræðu steinefni, eins og klæðingarefni og sandi, með góða kornalögun, þ.e. teningslögun. Þessi gerð brjóta er meira talin vera tæki til að bæta kornalögun („good shaper“) og sem sandframleiðsluvélar („sand maker“).

Það sem takmarkar notkun á VSI brjótum er hámarks kornastærð á hráefni sem er mismunandi eftir stærð brjóta. Minnstu brjótarnir taka hámark 20 mm steinefni inn í brjótinn en þeir allra stærstu 60 mm.

Á VSI brjótum hafa stillingar varðandi opnun ekkert að segja. Hér er það hraðinn sem hefur áhrif á afurðina. Eftir því sem hann er meiri verður afurðin fínri og öfugt. Smækkunarhlutfall VSI brjóta er langt frá því að vera jafn hátt og á kónbrjótum en kornalögun hráefnisins verður mun betri vegna þeirra keðjuverkandi árekstra sem kornin verða fyrir á leið sinni gegnum brjótinn. VSI brjótar brjóta aðallega með núningsbroti. Það þýðir að smækkunarhlutfallið er frekar lágt en lögun steinefnisins er góð.

Brjótarnir eru uppbyggðir þannig að þeir eru með lóðréttum snúningsás sem er rafdrifinn (Mynd 3.3.4.2.1). Ofan á snúningsásnum situr toppstykki (rótor) og utan um það er belgur (brothús). Hráefnið fellur lóðrétt ofan í brjótinn, ofan í toppstykkið sem snýst rangsælis á miklum hraða. Toppstykkið sem er með þrjú göt er annað hvort opið eða lokað (Myndir 3.3.4.2.2, 3.3.4.2.3, 3.3.4.2.4 og 3.3.4.2.5).



Mynd 3.3.4.2.1. Þversnið af Barmac VSI brjót með framhjállaupi. Hér er útfærslan *steinn-á-stein*. © Metso Minerals.

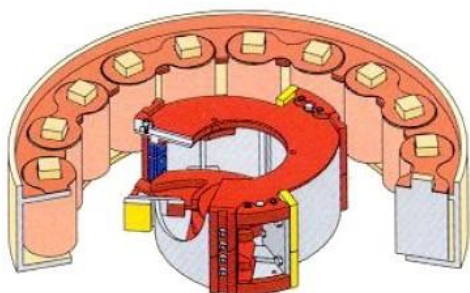
Snúningsásinn er þýðingarmesti hluti brjótsins. Hann brýtur ekki neitt heldur sér hann bara um að kasta efninu á miklum hraða út úr götum og út í belginn (brothólf) þar sem það brotnar. Nokkar útfærslur eru af belgnum og þær algengustu eru *steinn-á-stein* og *steinn-á-málm*. *Steinn-á-stein* útfærslan er með hólfum (steinhólfum) og toppstykkið er alltaf lokað í þessari útfærslu. Steinefni sest í hólfinn sem myndar hlífðarkápu sem ver brjótinn. Í *steinn-á-*

málm útfærslunni eru engin slík hólfi og þar fer steinninn beint í málm. Hægt er að fá mismunandi útfærslur á málmstykkinu og val er um opið eða lokað toppstykki.

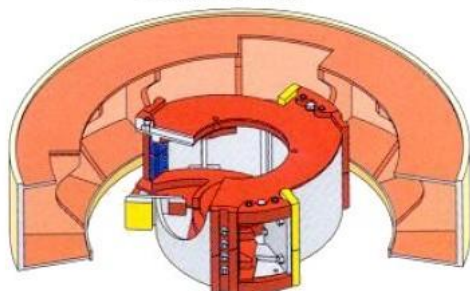
Í *steinn-á-steinn* útfærslunni koma kornin inn í belginn og skella á hlífðarkápunni og þá eiga sér stað keðjuverkandi árekstrar. Þarna á sér stað smækkun á steinefninu vegna árekstra, núnings og svörfunar kornanna. Efnið er inni í belgnum í 5 til 30 sekúndur en þá fellur það úr hólfinu í gegnum fallrennu og út úr brjótnum. Sumir VSI brjótar eru einnig með framhjáhlaupi (e: cascade). Þá er minna efnismagni hleypt beint ofan í toppstykkið og hluti efnisins fer niður til hliðanna. Með framhjáhlaupi er hægt að stýra kornadreifingunni meira.

VSI brjótar eru hannaðir til að nýta sér hraða kornanna og höggáraun meira en þrýsting til þess að brjóta steinefnið. Í náttúrulegu umhverfi er berg með ójafnar brúnir. Með því að beita þrýstingi á bergið leiðir það til þess að bergið brotnar ekki í teningslaga steina. Með því að nota hraða í staðinn fyrir yfirborðsprýsing verður það til þess að krafturinn dreifist jafnt á yfirborð bergsins og sömuleiðis í gegnum massann á berginu, sem leiðir til betri kornalögunar. Styrkur steinefnisins ræður miklu um það hvernig brotið verður. Veikt efni brotnar mikið og mikill fíngerður salli myndast en mun minni þegar efnið er sterkt.

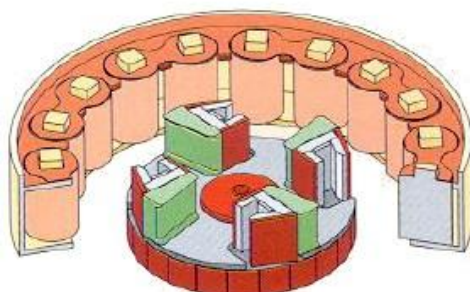
steinn-á málm



steinn-á stein



steinn-á-málm

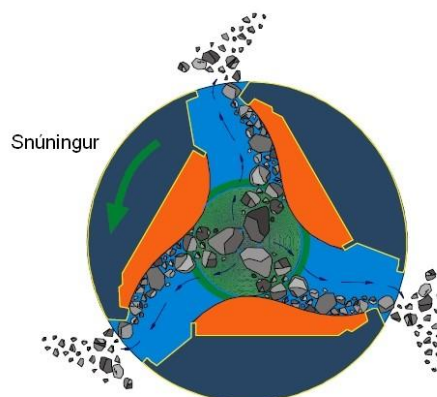


Mynd 3.3.4.2.5. Horft ofan í toppstykki á VSI brjót. Appelsínugula svæðið getur annaðhvort verið bergbrotaklæðing *steinn-á stein* eða málmklumpur *steinn-á málm*. © Metso Minerals.

Mynd 3.3.4.2.2. *Steinn-á-málm* útfærsla á VSI brjót. Myndin sýnir lokað toppstykki með steðjum. © Metso Minerals.

Mynd 3.3.4.2.3. *Steinn-á-stein* útfærsla á VSI brjót. Myndin sýnir lokað toppstykki með steinhólfi. Steinefnið pakkast inn í hólfið og mynda hlífðarkápu sem ver brjótinn. © Metso Minerals.

Mynd 3.3.4.2.4. *Steinn-á-málm* útfærsla á VSI brjót. Myndin sýnir opið toppstykki með steðjum. © Metso Minerals.



3.4 Hörpur

Hörpur (e: screens) eru raf- eða olíuknúin tæki sem stærðarskipta steinefnum sem unnin eru úr mismunandi seti eða klöpp og aðskilja ýmis efni og jarðveg til endurvinnslu. Hörpur eru ýmist notaðar sem sjálfstæð eining eða með efnisvinnslu.

3.4.1 Almennt um hörpur

Hörpur eru framleiddar í mörgum stærðum og gerðum. Flestar eru þær á nokkrum hæðum. Hver stærð sem á að framleiða þarf að minnsta kosti eina hæð á hörpunni. Á hverri hæð er net með mismunandi möskvastærð og er grófasta netið efst, yfirleitt hlífðarnet, og flokkunarnet þar fyrir neðan. Hörpunarflötur (flatarmál neta) er mismunandi.

Uppgefin stærð sumra harpa ákvarðast af hörpunarfleti og hæðum. Til dæmis harpa af gerðinni CVB1540-1 frá framleiðandanum Metso. Fyrri talan 1540 merkir flatarmál 1,5 m x 4,0 m þannig að hörpunarflöturinn er 6 m². Seinni talan 1 stendur fyrir eina hæð. Merkingar á ýmsum öðrum tegundum harpa segja til um lítið annað en um fjölda hæða og færibanda.

Hörpur skipta miklu máli í efnisvinnslu og þurfa að vera af réttri stærð og gerð og hafa afköstum brjótanna. Þær gegna mikilvægu og margvíslegu hlutverki í efnisvinnsluferlinu, allt eftir því í hvaða þætti framleiðslunnar þær eru notaðar hverju sinni.

Í hverju brotstigi í efnisvinnslu verða til minni og minni kornastærðir. Til þess að geta búið til nothæft steinefni þá þarf að sigta efnið í mismunandi flokka. Eftir hvert brotstig er efnið harpað og er það oftast nær gert með titrandi og hallandi hörpum. Efni sem hefur náð fyrirhugaðri stærð fer í gegnum hörpuna en stærri steinar eru fluttir með færibandum að næsta brjót. Fyrsta hörpunin er oft gerð til að losna við skaðleg efni svo sem leir úr efninu og er þetta oft framkvæmt með titrandi matara. Nothæft efni er flutt aftur inn í vinnsluna um leið og óæskileg efni eru fjarlægð.

Algengustu hörpur sem notaðar eru til efnisvinnslu hér á landi eru tveggja eða þriggja hæða hörpur með einum öxli. Flestar þeirra eru á beltum en einhverjar eru sambyggðar í samstæðum og nokkrar eru á fótum. Algengustu mistök í efnisvinnslu hér á landi er að oflesta hörpur þannig að þær hafa ekki undan og/eða raða hörpunetum rangt í hörpuna.

Markmiðið með hörpun er að:

- hindra að of smátt efni fari í brjótana og auka þar með afköst brjóta
- hindra að yfirstærðar eða undirstærðarefni lendi í næsta þrepi vinnslunnar
- tryggja að framleiðsla sé af réttri stærð í lokasigtun

Hörpur eru notaðar í:

- flokkun
- til að taka út ákveðin kornastærðarflokk
- lokaframleiðslu á flokkuðu steinefni

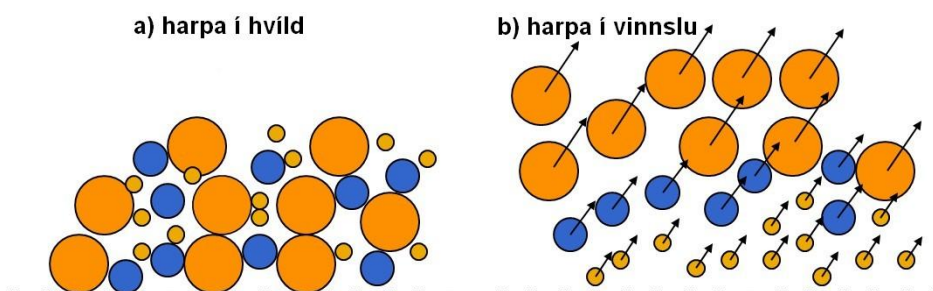
Hörpun ræðst af möguleika kornanna á að fara í gegnum möskvann (þ.e. gatið á netinu), sem ræðst aftur af:

- ferli kornanna (stefnu, hraða, slagi, hraðaaukningu)
- stærð, lögun og þykkt möskva
- fjölda gata á netinu sem kornið hefur möguleika á að „sjá“ þ.e. fara í gegnum (fer meðal annars eftir hörpunarfleti)

Hér skiptir flatarmál hörpu, möskvastærð og eðlisþyngd steinefnis máli.

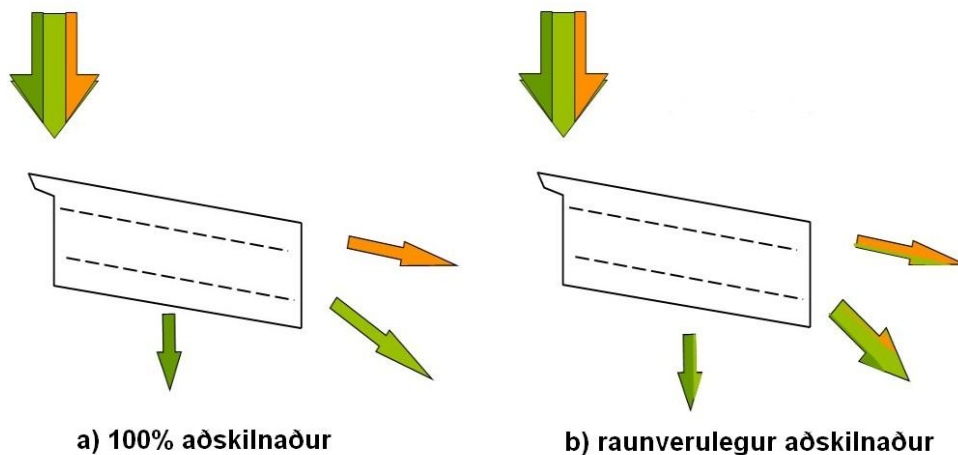
Lagskipting og aðskilnaður efnis á hörpu

Aðskilnaður byrjar á færribandinu þar sem fínefnin hristast niður og grófa efnið hristist upp (Mynd 3.4.1.1). Til að aðskilnaður geti átt sér stað þarf lagskipting innan efnismassans á bandinu að vera til staðar. Með lagskiptingu er átt við að stærri efniskorn hristast upp á yfirborð efnismassans vegna titrings í hörpunni meðan minni korn detta niður á milli holrúma og falla á botninn. Lagskipting innan efnismassans er frumskilyrði svo aðskilnaður á hörpu geti átt sér stað. Þetta þarf að gerast eins fljótt og mögulegt er til þess að hægt verði að sigta frá fínni steinefninu í efnismassanum.



Mynd 3.4.1.1. Á mynd a) er harpan í hvíld og öll steinefnakornin í haug. Á mynd b) er harpan í vinnslu og þá hristast kornin og aðskiljast. © Metso Minerals.

Aðskilnaður verður þegar kornin koma að möskvænum og fara í gegn ef þau eru smærri en opnunin eða komast ekki í gegn þar sem þau eru stærri. Aðskilnaðarmöguleiki efniskorna ákvarðast af hlutfalli milli stærðar kornsins og möskvastærðar. Því meiri munur á stærð því auðveldara er fyrir efniskornin að komast í gegn eða vera hafnað, og öfugt. Aðskilnaður er aldrei 100% (Mynd 3.4.1.2).



Mynd 3.4.1.2. Á mynd a) er sýnt á táknrænan hátt hvernig 100% aðskilnaður er hugsaður: þrjár stærðarflokkar steinefna aðskiljast fullkomlega. Á mynd b) er sýndur raunverulegur aðskilnaður. Stærðarflokkarnir eru táknaðir með mismunandi litum. © Metso Minerals.

Til þess að aðskilnaður geti orðið á milli fínna og grófari korna þá verða fínu kornin að snerta netið. Hreyfingin á hörpunni nær til allra kornanna og þau fá öll sömu hröðunina. Kornin sem eru þyngri kastast hærra en fínu kornin sem eru nálægt yfirborðinu. Þetta býr til nokkur lög og til verður lagskipting. Síðan er hámarkslengd hörpunnar notuð til að ná fram aðskilnaði. Vegna raka í steinefninu er fullkominn aðskilnaður aldrei mögulegur þar sem rakinn eykur samloðun í efninu.

Mikilvægt er að passa uppá það að ofhlaða ekki eða undirhlaða hörpur. Hversu mikið efni er á hverri hæð fyrir sig hefur mikið að segja. Allar hörpur hafa sín takmörk og ræðst það til dæmis af lengd, stærð og tegund. Ef of mikið efni er á hörpunni þá verður lítil aðskilnaður og undirstærðir blandast yfirstærðum. Ef of lítið efni er á hörpunni þá kastast („fljúga“) kornin yfir möskvann og hafa þar með mun minni möguleika á að fara í gegnum netið. Það er misjafnt hver efnisþykktin á að vera á efninu á hörpunni en það fer t.d. eftir því hvort um er að ræða þurra eða blauta sigtun. Til að átta sig á hæfilegri efnisþykkt þá er ágætis regla að áætla þykktina sem hlutfall af framleiðslustærðinni. Fyrir sigtun á þurru steinefni er hæfilegt að hámarksþykktin sé þreföld framleiðslustærðin; ef hún er t.d. 20 mm þá væri ráðlegt að hafa þykktina ekki meiri en 60 mm. Fyrir sigtun á blautu steinefni er hæfilegt að þykktin sé ekki meiri en fjórföld framleiðslustærðin. Magn efnis sem hægt er að setja í hörpuna fer einnig eftir fjölda hæða í hörpunni.

Þættir sem hafa áhrif á afköst hörpunnar:

- Raki veldur því að fínefnin loða við stærri korn, og einnig við yfirborð netsins, og kemur þá í veg fyrir að kornin fari í gegnum möskvann.
- Óhóflega mikið efni á sigtinu veldur því að efnisþykktin verður of mikil þannig að aðskilnaður getur ekki átt sér stað.
- Of lítið efni er á sigtinu til þess aðskilnaður eigi sér stað. Þetta verður til þess að korn sem ættu að fara í gegnum möskvann kastast („stökkva“) yfir netið og lenda með yfirstærðum.
- Of mikill hristingur á hörpunni sem hefur sömu áhrif eins og of lítið efnismagn.
- Hátt hlutfall yfirstærðasteina sem stífla möskvann og koma þannig í veg fyrir að undirstærðir komist í gegn.
- Ílóng korn festast í möskvanum og loka þannig á að undirstærðir komist í gegn.

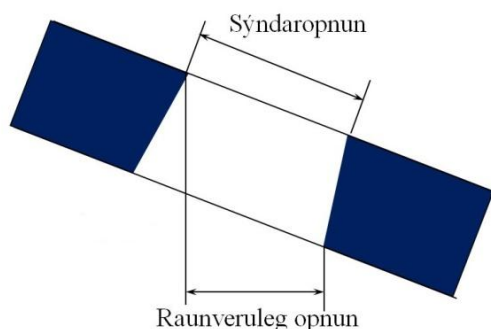
Slaglengd

Flestar hörpur í dag eru með einum öxli en margar eru með tveimur og jafnvel þremur öxlum. Í flestum tilfellum er um að ræða hjámiðjuöxla. Á hjámiðjuöxlinum er þyngdarklossi sem hægt er að þyngja eftir því hvernig titringi menn óska eftir. Með þessu er verið að breyta slaglengdinni, þ.e. verið að eiga við miðflottaaflið á öxlinum. Eftir því sem bætt er á þá verður hörpunin grófari og harðari. Ef létt er á verður hristingurinn fínni.

Ef slaglengdin á hörpunni er of mikil þá hafa kornin mun minni möguleika á að fara í gegnum netið. Ef slaglengdin er of lítil þá er hætta á að netið stíflist.

Sýndaropnun og raunveruleg opnun

Eftir því sem að hallinn verður meiri á netinu því minni verður hin raunverulega opnun á netinu (Mynd 3.4.1.3). Auk þess eykst hraði kornanna eftir því sem að hallinn er meiri. Þegar



notuð eru gerviefni þá er mun þykkara efnislag í þeim. Þetta veldur því að hin raunverulega opnun verður minni. Ef efnisþykktin er 10 mm og möskvastærðin 15 mm þá er opnun við 5° halla einungis 13,3 mm. Við 10° halla er opnunin 11,5 mm og við 15° halla 9,1 mm.

Mynd 3.4.1.3. Sýndaropnun og raunveruleg opnun. Munurinn á milli sýndar- og raunverulegrar opunar verður meiri ef efnislagið er þykkt. Einnig ef hallinn er aukinn. © Metso Minerals.

Tegundir hörpuneta

Hörpunet eru mismunandi og í boði eru mjög margar tegundir fyrir mismunandi hörpur. Hægt er að fá netin langspennt, hliðarspennt eða sem litlar staðlaðar einingar. Hörpunetin eru úr stáli sem geta þá verið gataðar plötur, soðin eða ofin vírnet og píanónet eða úr gerviefnum eins og úr fíber og gúmmíi. Hægt er að fá nokkrar gerðir af möskvum: ferkantaða, ílanga eða kringlóttu möskva. Í forvinnslu eru notaðar þykkar gataðar stálplötur, samsóðin vírnet eða þykkar gúmmímottur.

Margir efnisvinnsluverktakar á Íslandi nota ofin vírnet.

Samband möskvastærðar og framleiðslustærðar

Framleiðslustærð er ekki sama og möskvastærðin á netinu. Möskvastærðin er alltaf stærri en framleiðslustærðin. Fyrir minni korn þarf möskvinn á netinu að vera 2 til 3 mm stærri en framleiðslustærðin. Eftir því sem framleiðslustærðin verður stærri því meiri munur verður á framleiðslu- og möskvastærð.

Möskvastærð til dæmis fyrir efnisflokkinn 0/16 mm efni er misjöfn eftir því hvaða efnisgerðir í yfirborði harpa eru notaðar og einnig eftir því hvernig efni er verið að vinna. Ef efnið sem á að framleiða er úr sprengdri klöpp og nota á vírnet þá þarf möskvastærðin að vera 19 mm en 18 mm ef um mól er að ræða. Ef gerviefni eru notuð þá þarf möskvastærðin að vera á bilinu 20 til 21 mm fyrir sprengda klöpp en 18,5 til 20 mm ef um mól er að ræða.

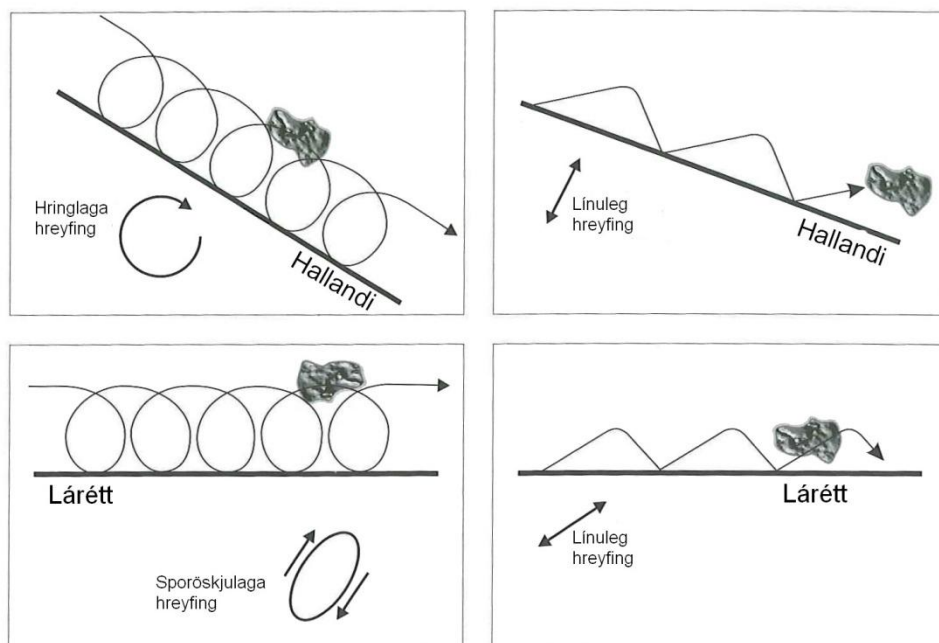
3.4.2 Helstu gerðir af hörpum

Það eru til margar tegundir af hörpum en algengustu hörpunar sem notaðar eru í steinefnavinnslu eru hristihörpur.

Hristihörpur

Hristihörpur (e:vibrating screens) eru þýðingarmiklar og alhliða tæki í steinefnavinnslu. Hristihörpur eru með rétthyrndan hörpunarflöt með skömmunarenda og útfallsenda á sitt hvorum endanum. Með hristihörpum er hægt að stærðargreina efni allt frá 300 mm og niður í 45 μm (0.045 mm). Hristihörpur eru notaðar í ýmislegt eins og þurra hörpun, flokkun, til að taka út yfir- og undirstærðir og raka hörpun. Flestar tegundir af hristihörpum eru framleiddar með fleiri en einum hörpunarfleti.

Til eru þrjár grunn gerðir af hristihörpum: láréttar hörpur, hallandi hörpur og bananahörpur. Innan þessara flokka eru margar og mismunandi útfærslur. Mismunandi hreyfingu er beitt á hristihörpum sem er framkölluð með vélbúnaði sem framkallar titrun og við hana verður til línulega, hringlaga eða sporöskjulaga hreyfing (Mynd 3.4.2.1). Hörpur með línulega eða hringlaga hreyfingu eru mikið notaðar.



Mynd 3.4.2.1. Hreyfingar hristiharpa: hringlaga, línuleg og sporöskjulaga hreyfing.

Láréttar hörpur

Láréttar hörpur (e:horizontal screens) eru yfirleitt á tveimur til þremur hæðum og er hallinn frá láréttu til 5°. Hreyfingin sem verður til á láréttum hörpum er annaðhvort línulaga eða sporöskjulaga. Hreyfingin er framkvæmd með tvöföldum eða þreföldum öxli. Við línulaga hreyfingu er hreyfingin á efniskorninu þannig að það skýst upp og fellur aftur niður annað hvort undir 45° horni eða 30° til 60° horni. Við sporöskjulaga hreyfingu skoppar efniskornið og veltur áfram.

Hallandi hörpur

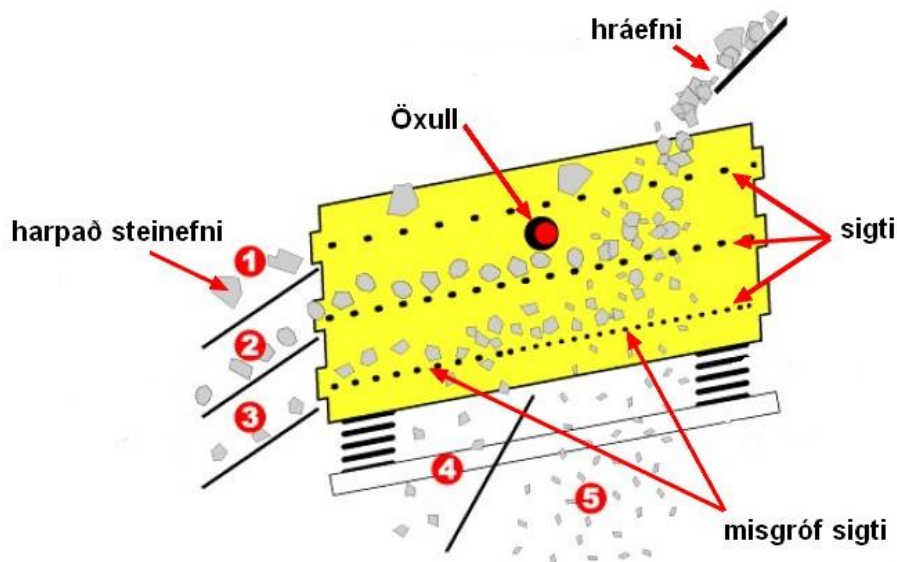
Hallandi hörpur (e:inclined screens) eru einfaldar í uppsetningu og mjög vinsælar. Þær eru yfirleitt á tveimur til fjórum hæðum (Myndir 3.4.2.2, 3.4.2.3 og 3.4.2.4). Halli er á bilinu 10°

til 35°. Efniskornið skoppar og vegna hallans (þyngdaraflls) veltur það auk þess áfram. Því meiri sem hallinn er því hraðara fer efniskornið.

Á hörpum er lóðréttur, hringlaga eða sporöskjulaga titringur framkvæmdur með vélbúnaði annað hvort með snúningi þyngdarbúnaðar eða snúningshjóls sem venjulegast er fast við einn öxul. Hreyfingin á hörpunni getur annað hvort verið með efnisflæðinu eða á móti efnisflæðinu, þ.e. sú átt sem harpan er látin hristast eða snúast í. Þegar hreyfingin er á móti efnisflæðinu þá hægir það á efnisrennslinu og meiri möguleikar eru á skilvirkum aðskilnaði. Hreyfing með efnisflæðinu gefur mun meiri afköst.



Mynd 3.4.2.2. Hallandi hristiharpa. Skipt um net í hallandi hristihörpu á Nordberg NW300 GPD mólunarsamstæðu Taks. Hörpunarflöturinn er 1,2 m x 2,0 m. Efst er hlífðarsigti úr gúmmí (gerð Skega Panelcord) og svo koma flokkunarnet úr vírneti. Einungis tvær stærðir koma út úr þessari hörpu. Þessar hörpur eru hannaðar til að sigta efni með mjög litlum hörpunarfleti (lítill og stutt). Myndin er tekin í námunni á móts við Bláskriðu á Melrakkaslétu (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).



1 = mismunandi framleiðslustærðir, 1 er grófast og 5 er fínast

Mynd 3.4.2.3. Hallandi hristiharpa.



Mynd 3.4.2.4. Hristiharpa. Lokotrack ST458 með 3 hæðum. Hörpunarflötur er 7.9 m². Myndin er tekin í námunni við Uppsali í Húnavatnssýslu (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).

Banana hörpur

Banana hörpur eða hörpur með breytilegum halla (e: multiple inclination „banana screen“) eru mikið notaðar og afkasta miklu. Netin eru sveigð, þ.e. með banana-lagi, og eru yfirleitt 1 til 3 hæðir (Mynd 3.4.2.5). Við skömmunarendann er hallinn 30-40° og við útfallsendann er hann frá láréttu og allt að 15°. Hörpunar er hægt að fá annaðhvort með sporöskjulaga eða línulaga hreyfingu. Flatarmál harpa með sporöskjulaga hreyfingu er stórt og þær afkasta miklu. Hörpur sem eru með línulega hreyfingu eru minni. Við skömmunarenda hörpunnar er harpan bröttust. Þetta leiðir til þess að steinefnið sem kemur inn í hörpuna flæðir hratt við skömmunarendann. Restin af steinefninu, sem er þá þynnra lag, lagskiptist og harpast mun hraðar heldur en mögulegt væri ef lagið væri þykkara. Við útfallsenda hörpunnar minnkar hallinn mikið og hægir þar með á steinefninu þannig að hörpunin verður miklu skilvirkari fyrir þá stærð sem verið er að framleiða. Afkastageta bananaharpa er töluvert meiri, jafnvel þrisvar til fjórum sinnum meiri heldur en fyrir venjulegar hristihörpur.



Mynd 3.4.2.5. Banana harpa frá Metso. Netin eru með breytilegum halla. © Metso Minerals.

Grjótharpa/grjótskilja

Grjótharpa (e: scalping screen) er mjög stór forharpa (Mynd 3.4.2.6) með línulaga hreyfingu sem grófflokkar efni. Grjóthörpur eru mikið notaðir í forvinnslu til að taka út yfir- eða undirstærðir svo að þær stærðir fara ekki áfram í vinnslunni. Í óhreinum námum er hægt að nota grjótskiljuna til að fjarlægja óhreinindi áður en þau fara inn í forbrjótinn.



Mynd 3.4.2.6. Stór grjótharpa Lokotrack ST171 (grizzly scalper) í námunni Skútum á Moldhaugnahálsi. Efst eru fleygar/aflangir stálbitar (grizzly bars) og þar undir er sigti. Efnið í haugnum sem er undir færibandinu er minna en 100 mm (Hafðís Eygló Jónsdóttir 2012).

Hvað er gott að hafa í huga

Val á réttri hörpustærð og tegund skiptir miklu máli enda má segja að harpan sé hjartað í efnisvinnslunni. Jafn mikilvægur er allur sá búnaður sem þarf í innviði hörpunnar. Eftirfarandi atriði er meðal annars gott að hafa í huga:

- Hvernig hörpunet er valið skiptir máli. Gúmmi, fíbernet eða stál. Ofin vírnet, píanónet, gataðar stálplötur, gataðar gúmmímottur eða strekktar gúmmímottur?
- Hversu þykkt á netið að vera? Ef netið er til dæmis þunnt þá aukast afköstin en endingin verður mjög léleg.
- Hvernig eiga möskvarnir á netinu að vera? Ferkantaðir, kringlóttir eða ílangir?
- Hvaða stærð á að vera á möskvunum? Reglan fyrir vírnet er að velja skal möskvastærð sem er 5 til 10 % stærri en framleiðslustærðin. Fyrir gúmmíplötur er almenna reglan að hafa möskvastærðina 25 til 30% stærri en framleiðslustærðina.

3.5 Færibönd

Steinefni er flutt á færiböndum milli framleiðslueininga, þ.e. frá forbrjót yfir á eftirbrjót og hörpu og þaðan út í hauga. Dúkurinn á yfirborði færibandsins nefnist færibandareim og eru til nokkrar gerðir af þeim. Dúkurinn sem notaður er lagskiptur og er yfirleitt úr gúmmí eða plasti. Á milli laga er strigi. Algengustu þykkir á færibandareimum sem notaðar eru hér á landi eru 10 mm og þá eru þau í tveimur til þremur lögum. Í forbrjótum þurfa færibandareimarnar að vera þykkari og í fleiri lögum þar sem efnið er mun grófara sem verið er að vinna með. Algengt er 12 mm í 4 strigalögum. Það heyrir til undantekningar að vírofin net séu notuð í færibönd.

Yfirborð á færibandareimum er þrenns konar: slétt bönd sem notuð eru fyrir sand, skúffubönd: sem eru algengustu dúkarnir í steinefnavinnslu og skóflubönd sem eru lóðrétt bönd.

3.6 Þvottur á efni

Í þessum kafla verður farið yfir helstu atriði varðandi þvott á efni til að tryggja að gæði þess verði sem best.

Í efnisvinnslu er nokkuð algengt að steinefni séu þvegin. Markmiðið með þvotti er að:

- Fjarlægja óhreinindi úr steinefninu.
- Flokka steinefni.

Þvotti er yfirleitt náð með því að:

- Nota þvottahörpur ef aðskilja þarf fínefni.
- Nota þvottakar með spöðum ef mjög erfitt er að aðskilja fínefni.
- Nota þvottakar með snigli fyrir fínt og gróft efni.

Einnig er hægt að nota eftirfarandi aðferðir:

- Nota þvottakar með skófluhjólí.
- Nota óbeinar aðferðir.

Hér á landi hefur það tíðkast að nota þvottahörpur eða þvottasnigla. Í þvotti er nauðsynlegt að hafa afkastamiklar vatnsdælar. Töluvert er um að efni hafi líka verið mokað beint upp úr fallvötnum og litið svo á að það sé þvegið. Nokkuð stór hluti framleiðanda er með einhvers konar þvottabúnað.

Algengt er að klæðingarefni séu þvegin en einnig eru burðarlagsefni stundum þvegin. Markmiðið með þvotti á klæðingarefnum er fyrst og fremst til að bæta viðloðun efnisins. Í dag er stór hluti klæðingarefna sem notað er hér á landi flokkað efni en það fyrirfinnst þó enn að óflokkað klæðingarefni sé notað. Þegar óflokkað klæðingarefni er þvegið, þá er það gert á hörpu og í þvottasnigli. Flokkað klæðingarefni er einungis þvegið á hörpu.

Helstu vandamál varðandi þvott á steinefnum hér á landi eru aðgengi að nægjanlegu vatni til þvottar og frost.

3.6.1 Aðferðir

Algengasta aðferð við þvott á steinefnum hér á landi er þvottur á hörpu og þvottur í snigli.

Þvottahörpur (e: washing on-screen)

Ef efnið er óhreint getur reynst nauðsynlegt að þvo efnið t.d. á hörpu. Þá er röragrind með spíssum/úðastútum fest ofan á hörpuna (Mynd 3.6.1.1). Margar gerðir eru til af spíssum/úðastútum til að setja á grindurnar, fyrir misjafnan þrýsting og misbreiðar bunur.

Undir hörpunni er þró sem leiðir skolvatn og fínefni í burtu og leiðir það yfir í settjarnir. Þumalputtareglan er 2,0-2,5 m³ af vatni fyrir hvern m³ af möl. Það er ekki alltaf nauðsynlegt að þvo á hörpu. Þvotturinn getur einnig farið fram í þvottasnigli. Nokkuð margir verktakar á Íslandi nota þvottahörpur.



Mynd 3.6.1.1. Þvottur á hörpu. © Rock Systems.

Þvottakar með spöðum (e: log washer)

Þvottakar með spöðum er notað til að þvo gróft steinefni sem inniheldur leir eða önnur óhreinindi. Leirinn þarf að vera þannig samansettur að hann leysist upp í vatni. Grófleiki efnisins sem þessi þvottakör ráða við er mismunandi (grófleiki allt upp í 127 mm). Um er að ræða hallandi kar með tveimur öxlum með mörgum spaðasettum sem raðast upp eftir öxlunum í spíral (Mynd 3.6.1.2).



Mynd 3.6.1.2. Spaðar á öxli. ©CDE Global.

Í vinnslu þá snúast öxlarnir gegn hvor öðrum og spaðarnir skarast þannig á móti hvor öðrum. Spaðarnir eru stilltir þannig að þeir flytja efnið upp úr karinu og að útfallsenda. Þvotturinn á steinefninu verður við það að steinarnir sverfa hvorn annan. Við þetta þá þvæst leirinn af efninu og leysist upp. Veikt steinefni brotnar við núninginn. Venjan er síðan að nota þvottahörpu eftir karið til að fjarlægja fínefni. Fáir efnisvinnsluverktakar á Íslandi nota þvottakar með spöðum.

Þvottakar með snigli fyrir fínt efni (e: fine material washer, screw classifier)

Þvottakar með snigli eða þvottasnígill er notaður til að þvo kornastærðir minni en 8 mm. (Mynd 3.6.1.3). Þvottasnígill fyrir fínt efni kemur á eftir þvottahörpu. Við inntaksenda karsins er flöt og víð skúffa. Þar safnast vatn fyrir og er það gert til að fínefni nái betur að aðskiljast. Upp úr botni skúffunar gengur hæggengur snigill sem dregur steinefnið áfram uppúr vatninu. Fínefnið fara í yfirfallsrennur og þaðan út með skolvatninu. Við þvott í þvottasníglum þarf að passa upp á að sandstærðir skolist ekki burt og er það hægt með því að hafa hæga mötun og auka við rennsli á vatninu. Nokkuð margir verktakar á Íslandi nota þvottakar fyrir fínt efni.



Mynd 3.6.1.3. Þvottasnígill fyrir fínt efni © Rock Systems.

Þvottakar með snigli fyrir gróft efni (e: coarse material washer)

Hægt að fá þvottasnígla fyrir gróft steinefni sem taka alveg upp í 50 mm stærðir og jafnvel stærra. Uppbyggingin er mjög svipuð og fyrir þvottasnígil fyrir fínt efni fyrir utan að það er mun minni skúffa við inntaksendann sem er ekki alveg lárétt (Mynd 3.6.1.4). Þessi þvottakör eru notuð þegar fjarlægja þarf takmarkað magn af skaðlegum efnnum eins og uppleysanlegum leir, óhreinindum og rusli. Svona þvottakör eru oft notuð sem lokaþvottur fyrir gróft efni sem

hefur hafa farið í gegnum þvott á hörpu. Ekki er vitað um neinn verktaka á Íslandi sem notar þvottakar fyrir gróft efni.



Mynd 3.6.1.4. Þvottasigill fyrir gróft efni ©KPI-JCI & Astec Mobile Screens.

Þvottakar með skófluhjól (e: rotating washing barrel)

Skófluhjól er færibandahjól með skóflum sem eru inni í kari. Vatn og steinefni eru sett inn í karið. Hjólið með skóflunum snýst og moka efnið upp úr vatninu að útfallsenda. Til eru nokkrar tegundir af skófluhjólum. Þau er til dæmis hægt að fá til að þvo og endurvinnna steypuefni og sandstærðir 0- 6 mm. Fáir verktakar nota skófluhjól hér á landi; einungis þeir sem framleiða og endurvinnna steypu.

Óbeinar þvottaaðferðir

Töluvert hefur verið notast við óbeinan þvott þ.e. vatnsúðara, spúlun og þvott í rennandi vatni (vatnsföllum). Þessar aðferðir eru sjaldnast fullnægjandi til að ná árangri við þvottinn heldur er fyrst og fremst um skolun að ræða.

3.7 Aðskilnaður og rýrnun steinefna í efnisvinnslu

Í þessum kafla verður farið yfir helstu atriði varðandi haugsetningu á efni til að tryggja að gæði þess verði sem best.

Algengasta vandamál í haugsetningu er aðskilnaður fínni og grófari efna þannig að kornadreifing verður ekki sú sem reiknað er með. Auk þess geta gæði efnisins rýrnað vegna niðurbrots eða óhreininda, s.s. gróðurs, moldar og vatns.

Aðskilnaður

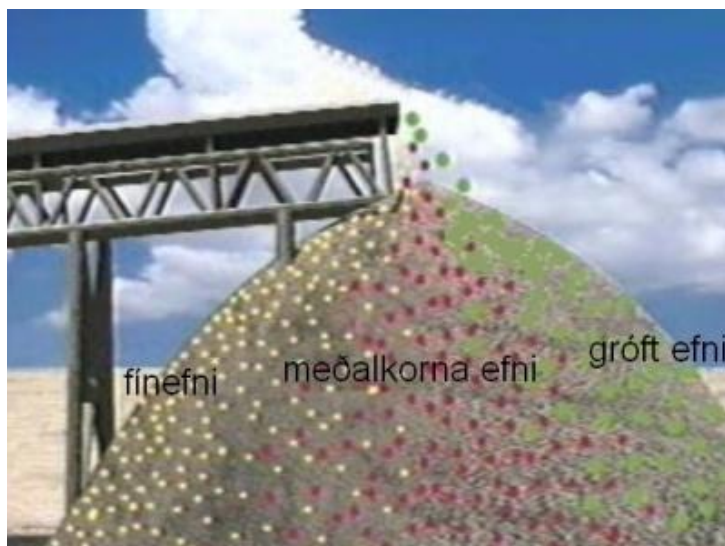
Aðskilnaður er sennilega erfiðasta vandamálið sem á sér stað við efnisvinnslu. Aðskilnaður verður við meðhöndlun á öllu steinefni sem er ekki einskorna. Flokkað steinefni með þröngt kornastærðarbil, eins og 8/11 mm, er ekki líklegt til að aðskiljast. Vandamálin eru fyrst og fremst tengd óflokkuðu efni með breiðu kornastærðabili, eins og til dæmis 0/32 mm efni og 0/63 mm.

Aðskilnaður á sér stað á nokkrum stöðum í framleiðslunni: á færibandinu, í haug framan við færiband og þegar efnið er haugsett. Aðskilnaður á sér einnig stað í flutningi og við útlögn.

Aðskilnaður í haug framan við færiband

Eins og áður segir byrjar aðskilnaður á færibandinu vegna lagskiptingar efnisins. Undir færibandinu eru kefli sem bandið rúllar eftir. Þegar færibaldið er í gangi þá skoppar efnið lítillaga. Þessi hreyfing verður til vegna sveigju sem myndast í beltinu, á milli keflanna. Hreyfingin veldur því að fín korn detta niður á botninn og grófari korn setjast ofaná.

Aðskilnaðurinn sem verður til á færibandinu heldur áfram þegar efnið fellur fram af bandinu og í haug (Mynd 3.7.1). Fínefnin falla nokkurn veginn lóðrétt niður af færibandinu og hlaðast upp undir því, þ.e. í innanverðum haugnum. Grófara efnið aftur á móti sem er efst á færibandinu kastast lengra í burtu og safnast saman utan við færibaldið. Fínefnin hafa einnig



meiri tilhneigingu til að loða við færibaldið sem veldur því að meira af fínefnum safnast upp undir því en ella. Utanaðkomandi þættir, eins og veður, hafa einnig áhrif aðskilnað. Til dæmis getur töluverður vindur feykt fínefnum úr efninu (Mynd 3.7.2). Hægt er að sporna við því með því að setja stálplötu/plastdúk framan við færibaldið til að tryggja að efnið falli beint niður (Mynd 3.7.3). Ef vindur er mikill þá er hægt að byggja skjól fyrir efnishauginn.

Mynd 3.7.1. Skýringamynd af aðskilnaði í haug undir færibaldi. Gult=fínefni, rautt: meðalkorna efni, grænt=gróft efni.

Önnur algeng tegund af aðskilnaði sem er alltaf til staðar er þegar stærri korn rúlla niður hliðar efnishaugansins. Því hærri sem haugurinn er og keilulagaðri því verra verður vandamálið. Þetta leiðir til þess að neðst í utanverðum haugnum verður bara gróft efni. Kúlulaga steinefni er líklegra til að rúlla niður en teningslaga steinefni.



Mynd 3.7.2. Aðskilnaður undir færíbandi. Forbrotið klapparefni úr skeringu á Hólaheiði. Þennan dag var hvasst og má sjá allra fínasta efnið fjúka (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).

Hvernig er hægt að koma í veg fyrir aðskilnað

Ekki er hægt að koma í veg fyrir aðskilnað en það er hægt að lágmarka hann með nokkrum grunnaðferðum.

Mokað undan færíbandi

Við mokað undan bandi er gott að hafa hauginn sem jafnastan að stærð og moka alltaf úr sama skóflufarinu (Mynd 3.7.3). Betra er að moka oftar og stöðugt úr haugnum því eftir því sem að haugurinn verður stærri, því meiri verður aðskilnaðurinn.

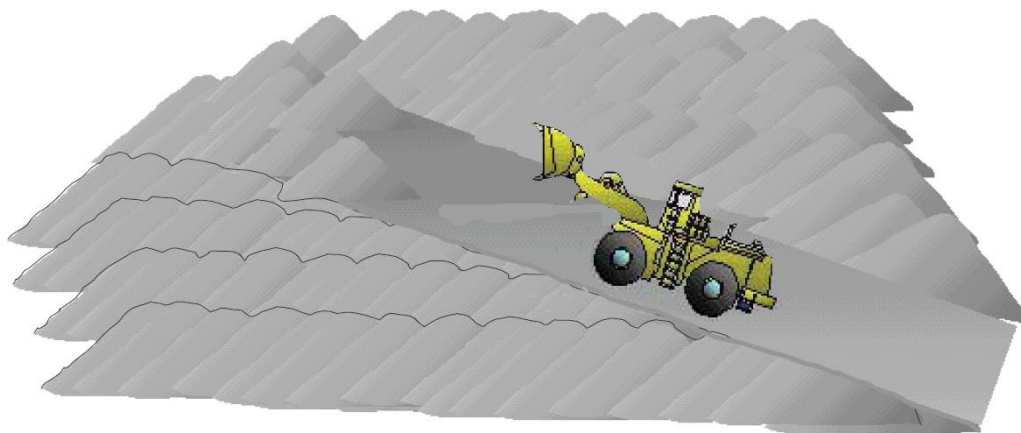
Gott verklag er að keyra að haugnum, með skófluna eins neðarlega og hægt er án þess að skrapa botninn, og síðan lyfta skóflunni upp gegnum hauginn.



Mynd 3.7.3. Mokað undan færíbandi á FinTec hörpu. Mokað úr sama skóflufarinu. Plastdúkur er settur framan við færíbandið til að tryggja að efnið falli beint niður (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2012).

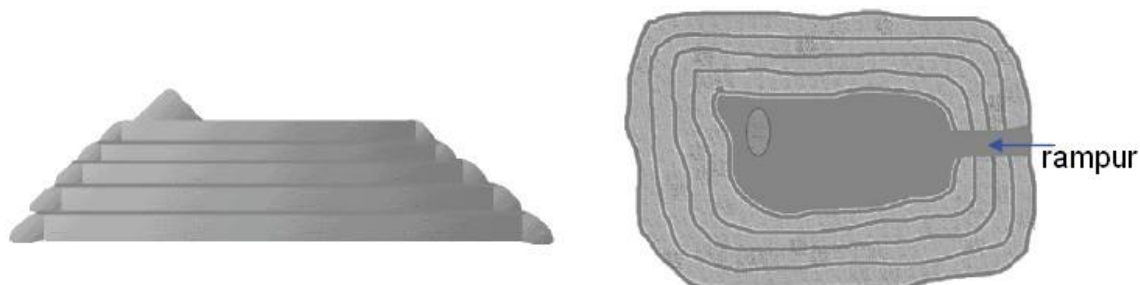
Efni haugsett

Æskilegast er að nota hjólaskóflu þegar efni er haugsett (Mynd 3.7.4). Þegar efnið er keyrt í haug er ekki sama hvernig það er losað úr skóflunni. Til að koma í veg fyrir aðskilnað er nauðsynlegt láta efnið falla úr eins lítilli hæð og hægt er úr skóflunni og bakka um leið.



Mynd 3.7.4. Efni keyrt í haug. Haugurinn er byggður upp í jöfnum lögum.

Haugurinn er byggður upp í lögum og ráðlagt er að hvert lag sé ekki mikið þykkara en 2 metrar (Mynd 3.7.5). Lögin eru byggð þannig upp að losað er úr skóflunni í jafn stór hlöss sem eru þétt hlið við hlið. Til að hlössin séu jöfn þarf að passa upp á að hafa alltaf jafn mikið í hverri skóflu. Aldrei má myndast skápur (hvilft) á milli hauganna og þar með strýtur á hlössin. Því getur verið gott að láta hlössinn skarast. Þegar kemur að næstu röð eru hlössinn sett á víxl miðað við fyrri röðina.



Mynd 3.7.5. Horft á hauginn frá hlið og ofan frá. Nauðsynlegt er að hafa bil við endann á hverju lagi svo efnið rúlli ekki niður hliðar haugsins.

Og svona er þetta gert koll af kolli þangað til að fyrsta lagið er komið. Lagið er jafnað áður en næsta lag er sett ofaná og krefst það mikillar nákvæmni. Efninu má aldrei sturta fram af haugnum. Nauðsynlegt er að hafa smá bil við endan á hverju lagi svo efnið rúlli ekki niður hliðar hausins. Á hlið þá lítur haugurinn út fyrir að vera tröppulaga.

Eftir því sem að haugurinn hækkar því minni verður hver lagflötur. Æskilegt er að lagþykktirnar í haugnum séu svipaðar. Haugurinn á að vera tiltölulega flatur ofaná og alls ekki með keilulaga útlit. Uppkeyrslan (rampurinn) upp á hauginn skal vera eins lítil og hægt er.

Efnishaugar geta verið nokkuð stórir um sig auk þess sem margir efnishaugar af mismunandi kornastærðaflokkum eru oft haugsettir í sömu námunni. Mikilvægt er að áætla nægilega stórt svæði áður en vinnsla hefst svo að hverjum haug sé ætlað hæfilega stórt svæði.



Mynd 3.7.6.

Efnishaugur. Haugurinn er um 10 m hár og byggður upp með hjólaskóflu. Haugurinn er byggður upp í lögum en mikið hrun er niður hliðar haugsins. Enginn rampur er lengur upp á hauginn. Ekki er hægt að nota hjólaskóflu til að moka úr haugnum. Nota þarf beltagröfu. Myndin er tekin í Búastaðanámu í Vesturdal í Vopnafirði (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2012).

Efni haugsett með færüböndum

Til er sérstök tegund færübanda sem eru einungis notuð við að byggja efni upp í haugum og þá er moksturstækjum sleppt. Kosturinn við þessi færübönd er að aðskilnaður í steinefninu minnkar töluvert. Þetta eru færübönd sem færast í hálfboga til beggja hliða (e: radial movement conveyor), færübönd sem hreyfast upp og niður (e: variable height conveyor) og færübönd sem færast til beggja hliða og lengjast og styttest (e: telescoping conveyor) (Mynd 3.7.7). Þau eru talin vera mjög góð til að lágmarka aðskilnað.



Mynd 3.7.7. Efni haugsett með færübandi, TeleStacker Conveyor. ©Superior.

Efni mokað á bifreiðar

Þegar mokað er úr efnishaug á bifreið er nauðsynlegt að sá sem moka taki ekki alltaf úr sama farinu heldur moki úr mörgum stöðum. Gott verklag er að skipta hauginum upp í þrennt og taka þannig úr hverjum hluta til skiptis. Efninu er varlega sturtað úr skóflunni úr eins lítilli hæð og hægt er. Hjólaskófla hentar best til verksins. Ef mokað er á bifreiðar með eftirvagni (vagnlest) þá er gott að hlaða vagnlestina þannig að fyrsta skóflan er sett fremst, næsta skófla er sett aftast og síðan í miðjuna. Svona er þetta gert koll af kolli eða þar til vagnlestin er fullhlaðinn. Svona mokstursaðferð gengur ekki upp fyrir 10 hjóla bifreiðar því pallarnir á þeim eru of stuttir.

Einnig er hægt að nota beltagröfu þegar efni er mokað er á bifreið (Mynd 3.7.8). Þá eru beltagrafan uppi á haugnum og plan er búið til. Bifreiðin er þá neðan og framan við vélina.



Mynd 3.7.8. Mokað á bíl með beltagröfu. Myndin er tekin í námunni Klapparósi sem er rétt sunnan við Kópasker (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).

Rýrnun og niðurbrot steinefna

Rýrnun getur orðið á efnisgæðum í haugum vegna nokkurra þátta. Í fyrsta lagi getur orðið rýrnun á efnisgæðum þegar pláss er of lítið fyrir hauga af mismunandi efnisstærð og efnið blandast saman.

Niðurbrot á framleiddu efni í haug getur orðið vegna umferða véla við haugsetningu og moksturs úr haugnum. Einnig getur orðið niðurbrot vegna veðrunar ef efnið er geymt í haug í langan tíma.

Aðrir þættir sem hafa áhrif eru:

- Vélar og tæki geta borið óhreinindi og annað í efnishauginn.
- Mikill vindur getur feykt stórum hluta fínefna í burtu.
- Frost í haug getur aukið aðskilnað og haft áhrif á gæði.
- Undirlag er fínefnaríkt og blautt og blandast efnishaugnum.
- Lauf og gróður getur fokið í hauginn.

3.8 Uppröðun tækjabúnaðar

Uppröðun tækjabúnaðar er mismunandi. Í mörgum námum er ein samhangandi flæðilína en annarsstaðar er möluninni skipt niður í þrep og efnið haugað á milli. Þar sem flæðilínan er samhangandi þá verða brjótarnir að passa fyrir hvorn annan, þannig að þeir geti tekið á móti efni frá brjótnum sem á undan er. Ef mjög stórir steinar koma inn í forbrjót, þá stíflast hann auðveldlega. Ef vinnslan er samhangandi þá tæmist brjótur númer tvö og þá hefur það áhrif á framleiðsluna. Í hjólasamstæðum er ekki hægt að breyta uppsetningu tækjabúnaðar.

Hráefni sem notað er í efnisvinnslu er mjög mismunandi og er mikilvægt að hafa það í huga þegar verið er að stilla upp. Mikilvægt er að klöpp sé sprengd í hæfilegar stærðir, af því það kostar oft minna að sprengja efnið fínna í stað þess að bæta við brjóti. Annað dæmi er að afköst eru meiri í hörðu efni en í mjúku því mun meira af fínefnum verða til í mjúku efni en hörðu. Þá þarf kannski að taka fínefni undan á forhörpu eða millihörpu.

Efnisvinnsla er þrepaskipt og fer brotið fram í nokkrum brotstigum. Algeng er 2ja og 3ja þrepa vinnsla. Við vinnslu á burðarlags- og klæðingarefnum hér á landi er tveggja þrepa vinnsla algengust, þ.e. tvö brotstig. Flestir efnisvinnsluverktakar á Íslandi eru með færanlegar einingar eða færanlegar samstæður, sem eru annað hvort á beltum eða hjólum.

Í forstiginu er efnið allt frá því að vera mjög fínt og upp í það að vera með stórum steinum og það jafnvel í sömu námum. Þess vegna er afkastageta forbrjótsins ekki stöðug allan tímann. Fyrir árangursríka og stöðuga mölun er mikilvægt að hafa síðasta brjótinn í vinnslulínunni alltaf fullan. Þetta er hægt með því að hafa stjórn á hráefninu (e: feed fragmentation). Samkvæmt góðum vinnureglum ætti vinnslulínan að vera sett upp þannig að í lokastiginu sé brjóturinn að vinna á allt að 100% afköstum. Þá þarf forbrjóturinn að vera á 80% afköstum. Þetta gefur aukin afköst til að taka á truflunum sem geta orðið vegna breytinga í hráefniskúrfu. Ef fremsti brjótur er látinn vinna á fullum afköstum og stíflast þá stöðvast brjóturinn líka sem er fyrir aftan. Með því að láta forbrjótinn vinna á 80% afköstum þá er ekki verið að ofkeyra hann.

3.8.1 Hringrás efnis

Eitt af þeim atriðum sem mikilvægt er í efnisvinnslu er hringrás (e: closed circuit) en hún skiptir máli fyrir gæðin á efninu. Hringrás þýðir að hluti efnisins sem búið er að brjóta er **brotið aftur**, þ.e. harpa stærðarflokkar efnið og sendir yfirstærðir til baka í eftirbrjótinn (Mynd 3.8.1.1). Markmiðið með hringrás efnis er tvenns konar:

- Í fyrsta lagi er hluti efnisins yfirstærðir sem þarf að minnka niður.
- Í öðru lagi þá fyllir hringrásarefnið upp í holrúm á milli kornanna í eftirbrjótnum og við það verður loftrými minna t.d. í keilunni og fyllingin verður 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.

Hringrás er mjög misjöfn, allt frá því að vera 5 til 30% af heildarmagni (þ.e. 5 til 30% af efninu fer aðra umferð). Ekki tíðkast að hringrás meira en 30% af efninu því þá kemur það niður á afköstum vinnslunnar. Eftir því sem að hringrásin eykst þá minnka afköstin og öfugt. Hringrásin fer töluvert eftir efninu sem verið er að vinna. Ef efnið er jafnt að grófleika þá er hringrásin jöfn og stöðug. Ef efnið er misgróft þá rokkar hringrásin fram og til baka. Ef efnið er ekki hringrásað verður áberandi mikið af yfirstærðum í steinefninu og einnig hefur það áhrif á lögun kornanna.



Mynd 3.8.1.1. Malað úr klapparskeringu á Hólaheiði. Steinefnið er búið að fara í forbrjót og á hörpu og er á leiðinni í kónbrjót. Á færibandinu má einnig sjá yfirstærðarefni (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).

Eftir því sem að netin eru smærri (minni möskvi) myndast meiri hringrás. Í 0/63 mm efni er hringrásin sama sem engin. Í klæðingarefni er mun meiri hringrás. Um 30% af efninu fara aftur í gegnum eftirbrjótinn.

3.8.2 Dæmi um uppröðun tækjabúnaðar¹⁰

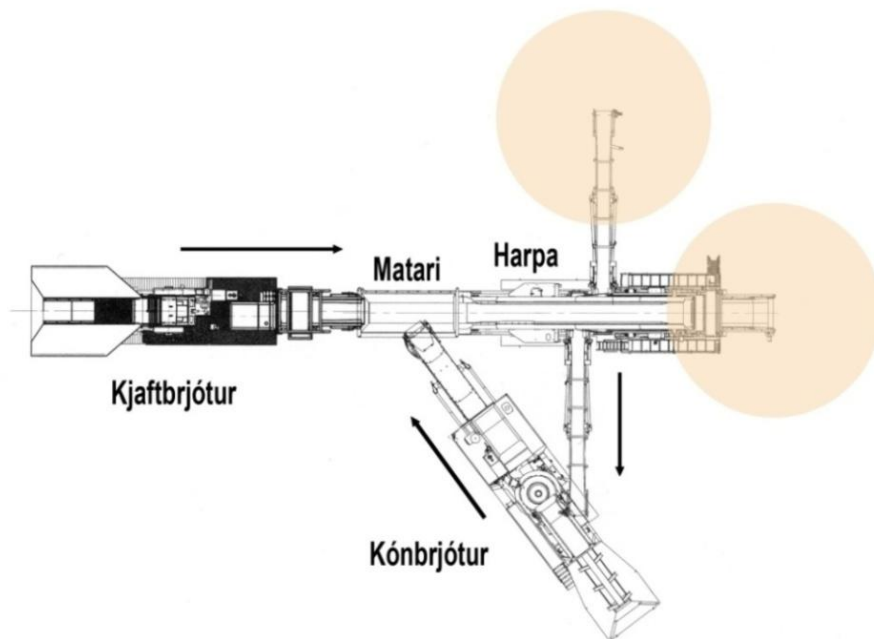
Efnisvinnsla er þrepaskipt og fer brotið fram í nokkrum brotstigum. Algeng er 2ja og 3ja þrepa vinnsla. Hér á landi tíðkast að vera með 2ja þrepa vinnslu í burðarlags- og klæðingarefnum. Til eru tvær megin uppsetningar í efnisvinnslu miðað við **tvo** brjóta (færanlegar einingar):

- A) Hámarks afköst** (e:maximum capacity) (Mynd 3.8.2.1): Í þessarri uppsetningu er harpa á milli brjótanna: forbrjótur (**F**) + harpa (**H**) + eftirbrjótur (**E**) og auk þess hringrás. Stór hluti efnisins er brotið einu sinni og hluti þess tvisvar sinnum.
- B) Hámarks lögun** (e:maximum shape) (Mynd 3.8.2.2): Í þessarri uppsetningu er harpan á eftir brjótunum: forbrjótur (**F**) + eftirbrjótur (**E**) + harpa (**H**) og auk þess hringrás. Nánast allt efnið er brotið einu sinni til tvisvar og hluti þrisvar sinnum.

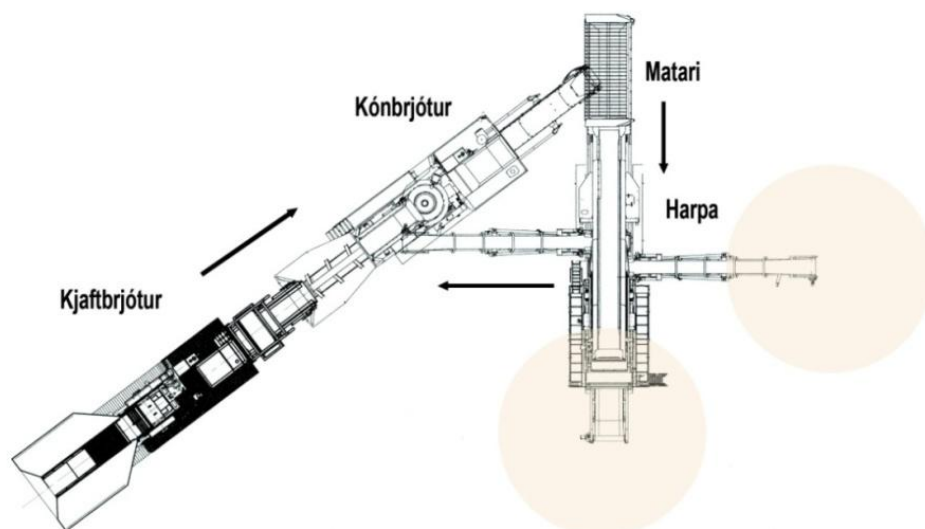
Auk þess er til þriðja uppsetningin. Hún er í raun blanda af þessum tveimur. Munurinn er sá að hér er um **þrjá** brjóta að ræða, þ.e. 3ja þrepa vinnslu.

- C) Mestu gæði** (e:optimum quality) (Mynd 3.8.2.3): forbrjótur (**F**) + miðbrjótur (**M**) + harpa (**H**) + eftirbrjótur (**E**) og auk þess hringrás. Nánast allt efnið er brotið tvisvar til þrisvar sinnum.

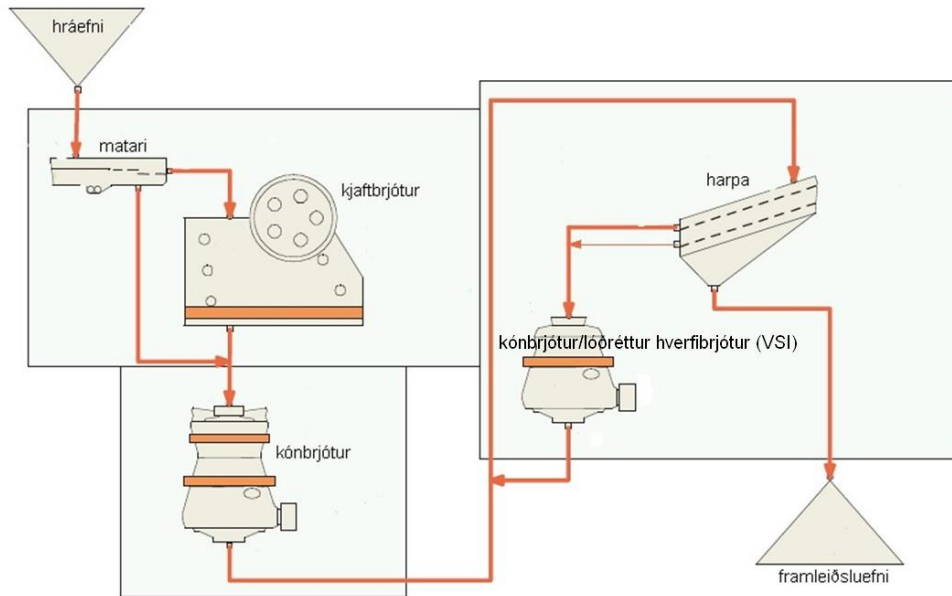
¹⁰ Í eftirfarandi dæmum eru kjaftbrjótar forbrjótar (F), kónbrjótar mið- og eftirbrjótar (M, E) og VSI brjótar eftirbrjótar (E).



Mynd 3.8.2.1. Hámarks afköst (uppsetning A - miðað við tvo brjóta). Kjaftrjótur (F) + harpa (H) + kónrjótur (E) og auk þess hringrás. Þetta er algengasta uppsetningin hér á landi. © Metso Minerals.



Mynd 3.8.2.2. Hámarks lögun (uppsetning B - miðað við tvo brjóta). Kjaftrjótur (F) + kónrjótur (E) + harpa (H) og auk þess hringrás. © Metso Minerals.



Mynd 3.8.2.3. Mestu gæði (uppsetning C - miðað við 3 brjóta). Kjaftbrjótur (**F**) + kónbrjótur (**M**) + harpa (**H**) + kónbrjótur/lóðréttur hverfibrjótur (**E**) og auk þess hringrás. Hér er gert ráð fyrir að efnið sem verið er að vinna sé frekar gott. © Metso Minerals.

Algengasta uppsetningin í tveggja þrepa efnisvinnslu hér á landi er „hámarks afköst“ þ.e. forbrjótur (**F**) + harpa (**H**) + eftirbrjótur (**E**) og auk þess hringrás (Mynd 3.8.2.1) Í þessari uppsetningu, sérstaklega fyrir burðarlag, fer stór hluti efnisins aldrei yfir á annað brotstig. 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 óheppilegt fyrir kornalögunina þar sem fleygmyndun (þ.e. ílöng korn) verður til í kjaftbrjót. Með þessari uppsetningu verða afköstin meiri.

Í uppsetningunni „hámarks lögun“ sem samanstendur í tveggja þrepa framleiðslu af forbrjót (**F**) + eftirbrjót (**E**) + hörpu (**H**) og auk þess hringrás og er nánast allt efnið brotið einu sinni, stór hluti tvisvar sinnum og hluti þrisvar sinnum (Mynd 3.8.2.2). Með þessari uppsetningu verða afköstin minni en gæðin mun betri. Þessi uppsetning er ekki algeng í tveggja þrepa vinnslu á Íslandi.

Í uppsetningunni „mestu gæði“ (Mynd 3.8.2.3) eru í þessu dæmi þrjú brjótar og ein harpa en hægt er að hafa fleiri hörpur. Efnið er brotið þrisvar til fjórum sinnum.

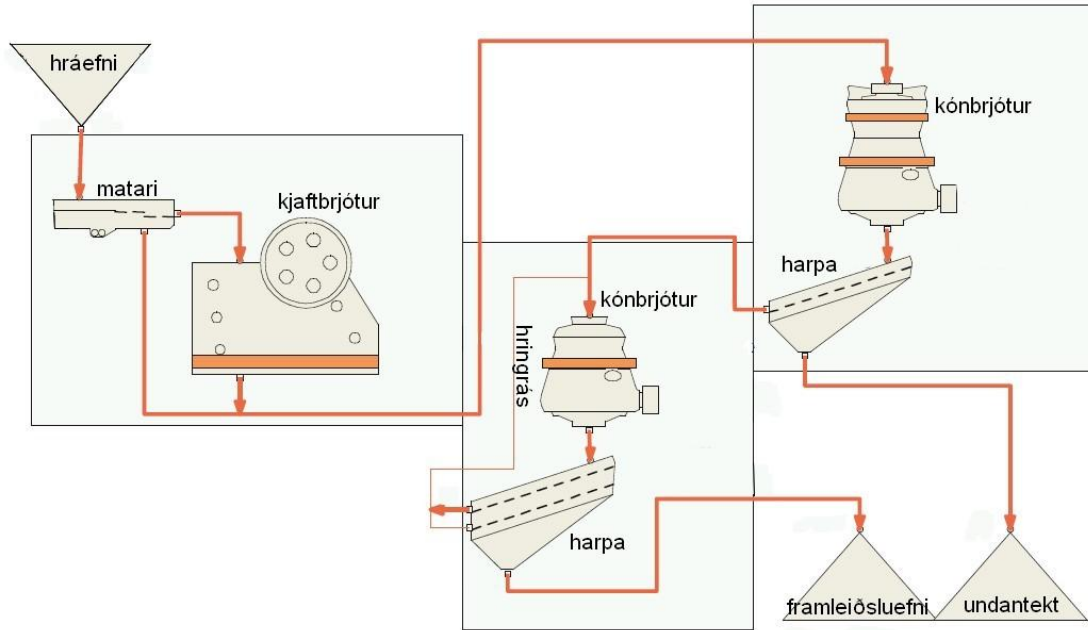
Efnisvinnsluáðilar sem eru með samstæður á hjólum eiga erfiðara með að breyta uppsetningunni því samstæðurnar samstanda af hörpu og eftirbrjót (Mynd 3.8.2.4). Forbrjóturinn er ekki með í samstæðunni og er því stakur. Efnisvinnslu hringurinn er forbrjótur (**F**) + harpa (**H**) + eftirbrjótur (**E**) og auk þess hringrás.



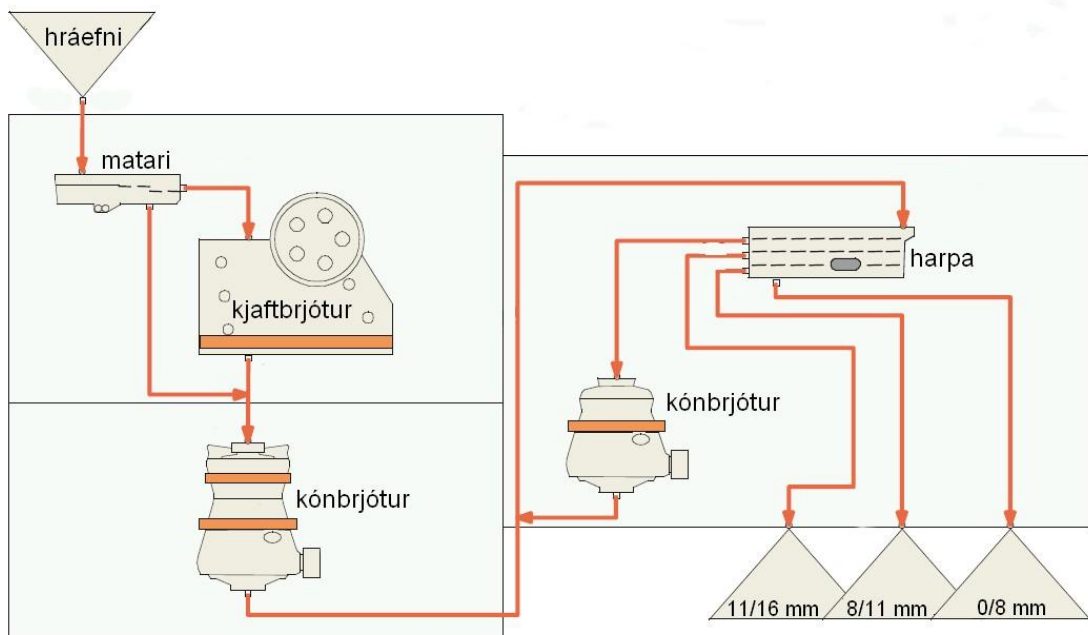
Mynd 3.8.2.4. Stakur forbrjótur Lokotrack LT105 og Lokotrack LT1100 mölunarsamstæða frá Fossvélum í klapparskeringu á Þröskuldum. Kónbrjótur með topplegu. Harpan í samstæðunni er 3ja hæða hristiharpa B380T (lárétt). Efsta hæðin samanstendur af 4 gúmmí hlífðanetum. Næstu tvær hæðir samstanda hver af tveimur netum. Hvert net er 1,6 x 2,7 m þannig að hörpunarflöturinn er 1,6 x 5,4 m eða 8 fermetrar (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2010).

Erlendis er 3ja þrepa efnisvinnsla mun algengari í vegagerð samanborið við það sem gerist hér á landi. Þetta er sérstaklega þegar verið er að vinna úr klöpp í burðarlag og klæðingu. Þegar verið er að vinna styrktarlag úr klöpp þá er tveggja þrepa vinnsla algeng.

Á næstu blaðsíðu eru sýndar myndir af uppsetningu við mölun miðað við færanlega brjóta. Fyrri myndin, mynd 3.8.2.5, er dæmi um uppsetningu á vinnslu burðarlags úr klöpp sem er ekki alveg nógu góð. Taka þarf hluta efnisins undan. Seinni myndin, mynd 3.8.2.6, sýnir hugsanlega uppsetningu, fyrir klæðingarefni sem er unnin úr góðri heillegri klöpp. Þessi uppsetning gæti líka gengið fyrir malbik.



Mynd 3.8.2.5. Dæmi um uppsetningu með færanlegum einingum fyrir burðarlag. Vinnslan er í frekar erfiða klöpp og hér eru notaðar tvær hörpur: milliharpa og eftirharpa. Á millihörpunni eru fínefni tekin undan. © Metso Minerals.



Mynd 3.8.2.6. Dæmi um uppsetningu með færanlegum einingum fyrir t.d. klæðingu. Vinnslan er í góða einsleita klöpp og hér eru þrjár brjótar og harpa sem stærðarflokkar. Hér er það þriðji brjóturinn sem tekur yfirstærðarefni og verður hluti af hringrásinni. © Metso Minerals.

4. FRAMLEIÐSLUEFTIRLIT

4.1 Almenn

Á verkstað er æskilegt að aðstaða sé til staðar til að rannsaka kornadreifingu steinefnisins sem verið er að framleiða, kornalögun og brothlutfall. Í ritinu „*Efnisrannsóknir og efniskröfur – leiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd*“ sem gefið er út af Vegagerðinni eru settar fram kröfur til steinefna og um tíðni framleiðsluprófana.

Við vinnslu steinefna er helst hægt að hafa áhrif á kornadreifingu, kornalögun og brothlutfall. Vinnslu skal ávallt hefja með prufuvinnslu. Ef ekki er reynsla af vinnslu á efni úr námunni er lítið hægt að fullyrða um hvernig framleiðslan verður. Mikilvægt er að sýni séu tekin úr efni sem unnið er með áætluðum afköstum vinnslunnar (réttu flæði). Eftir að niðurstöður á kornadreifingu, kornalögun og brothlutfalli liggur fyrir eru gerðar breytingar ef ástæða þykir til.

- Verktaki ber ábyrgð á að framleitt efni uppfylli kröfur sem settar eru fram í útboðsgögnum og að framleiðsluprófanir séu gerðar því til staðfestingar.
- Leiði rannsóknir á einhverjum tíma í ljós að efnið fullnægi ekki kröfum, skal verktaki þegar í stað vinna tvö ný sýni til frekari áréttingar og jafnframt aðgæta, að hann sé að vinna það efni í námunni, sem ákveðið hafði verið. Verði verktaki var við breytingu í námu, skal hann strax taka sýni til rannsókna, óháð almennum fyrirmælum um tíðni prófa.
- Náist ekki fyrirhuguð efnisgæði, þrátt fyrir breyttar vinnsluaðferðir og frekari prófanir, skal það tilkynnt verkkaupa tafarlaust.
- Ef verkkaupi og verktaki eru ósammála um efnisgæði skal senda sýni til viðurkenndrar rannsóknarstofu.

4.1.2 Aðferðir við sýnatöku

Eftir því sem framleiðsluefnið er grófara því stærra verður sýnið að vera og öfugt. Ef stærstu steinar í sýninu eru um 63 mm í þvermál þá verður lágmarksþyngd sýnisins að vera 85 kíló. Ef mesta kornastærð er 22 mm þá verður sýnið að lágmarki að vera 50 kíló að þyngd (Sjá viðauka 5 í áður nefndu leiðbeiningariti um efnisrannsóknir og efniskröfur).

Sýni er hægt að taka með eftirfarandi hætti:

- *Undan færibaldi í vinnslu* (Mynd 4.1.2.1). Til dæmis er hægt að setja kar/stóra skál undir færibaldið og renna undir efnisbununa. Karið verður að vera það breitt að það dekki allan bununa. Þetta verður að gerast þegar vinnslan er í fullum afköstum.
- *Beint af færibaldi*. Stoppa vinnsluna og taka sýni af færibaldi. Þetta verður að gerast þegar vinnslan er í fullum afköstum.
- *Úr haug*. Best er að fá tæki til að blanda saman efni úr nokkrum stöðum úr haugnum og búa til flatan haug sem hægt er að fara upp á og moka úr. Ef tæki er ekki til staðar, einungis handskófla, þá þarf að taka sýni úr nokkrum stöðum haugsins: efst, úr miðjunni og neðst.



Mynd 4.1.2.1. Sýnataka. Sýni tekið undan færibaldi í klapparnámu á Dettifossvegi. Gunnar M. Sveinbjörnsson vélamaður hjá Skútabergi (Hafðís Eygló Jónsdóttir 2010).

4.1.3 Kornastærðardreifing

Á teikningunni hér fyrir neðan (Mynd 4.1.3.1) er sýnt í grófum dráttum hvernig ákvörðun kornastærðardreifingar fer fram og hvernig niðurstöðurnar eru settar fram. Sigtin sem gefin eru upp á myndinni eru á möskvastærðarbilinu frá 0,063 mm til 4,0 mm. Yfirleitt er stærsta sigtið stærra, en stærð stærsta sigtis fer eftir því hvaða framleiðsluflokk í steinefnaframleiðslu er verið að skoða.

SKÝRINGAR:

1 Þurrkað við 110°C í 24 klst. eða þar til þyngdarbreyting er hverfandi

2 Vigtað og þyngd skráð með einum aukastaf (tíundapart úr grammi)

3 Skolað til að fjarlægja fínefni sem er <0,063 mm

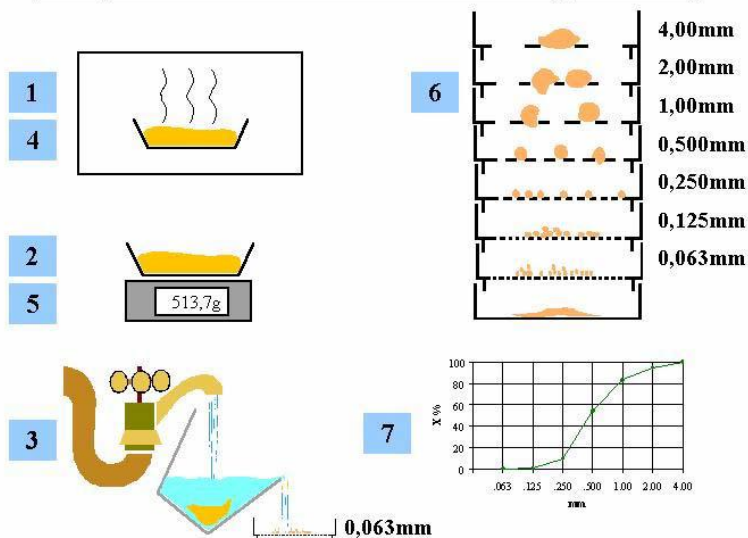
4 Þurrkað, sbr. 1

5 Vigtað, sbr. 2

6 Sett í sigtaröð og hrist í hristara

7 Vigtað af hverju sigti og fundið þungahlutfall sem smýgur viðkomandi sigti. Sáldurferill dreginn upp.

CEN prófunaraðferðir: Kornastærðardreifing (EN 933-1).



Mynd 4.1.3.1. Framkvæmd mælingar á kornadreifingu (Efnisrannsóknir og efniskröfurleiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd, viðauki 1).

Margir verktakar og sumar verkfræðistofur eru enn að nota ASTM C-136 sigtunarröðina sem byggist á sigtun á möskvastærðum sem ekki falla undir evrópska staðla. Eða blandaða röð evrópusigta sem eru ekki samkvæmt evrópustaðli. Samkvæmt evrópustöðlum sem eru í gildi hér á landi á að nota ISO 565 R20 röðina. Eftirfarandi sigtaröð fyrir Ísland hefur verið valin við ákvörðun kornastærðardreifingar: **0,063 – 0,125 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 8 – 11,2– 16 – 22,4 – 31,5 – 45, 63, 90 og 125 mm.**

Sýni verður ávallt að votsigta svo hægt sé að ákvarða fínafnahlutfall efnisins.

Margir verktakar eru með sigtaseríu á vinnslustað (Mynd 4.1.3.2). Flestir eru bara með eina sigtaröð en fátítt er að tvær sigtaraðir séu til staðar. Yfirleitt eru grófustu sigtin ekki mikið grófari en 45 mm. Þeir sem eru ekki með grófustu sigtin hafa mælt ása stærstu steina með málbandi eða skífumáli.



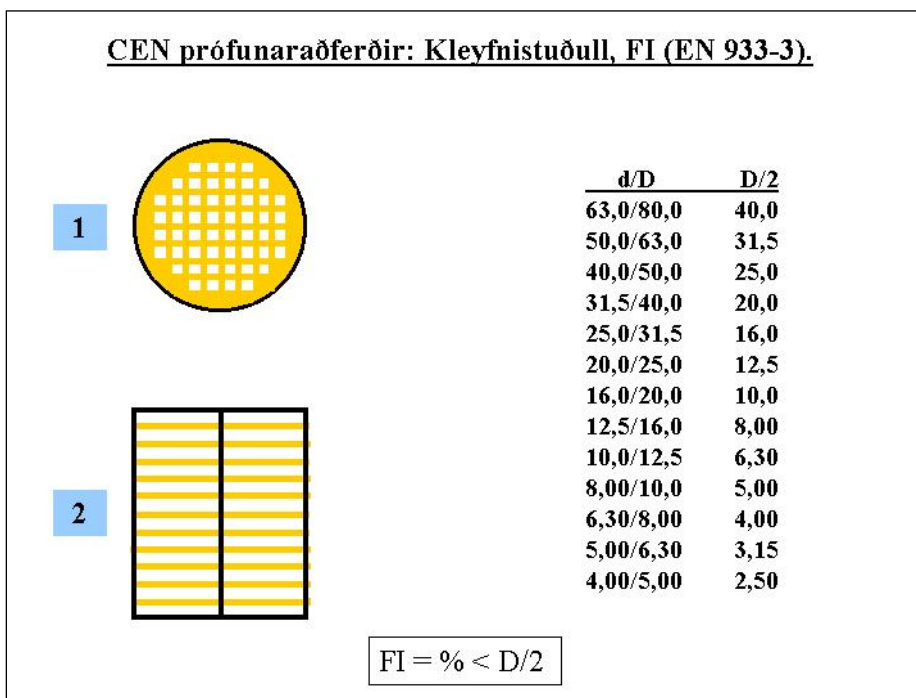
Mynd 4.1.3.2. Sigtaröð með 15 sigtum (blönduð sigtaröð). Grófasta sigtið er 53 mm. Þvermál sigtanna er 300 mm. Sigtin og hristarinn eru frá fyrirtækinu Matest á Ítalíu. Jón Bergur Arason hjá fyrirtækinu Þverá Golf ehf. (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2012).

4.1.4 Kornalögun

Kornalögunarmæling er gerð til að kanna hvort malað steinefni sé flögótt, en lögunin getur haft áhrif á stæðni steinefnisins og þjöppunareiginleika. Niðurstöður fást með því að sigta fyrst á ferningssigtum (Myndir 4.1.4.1, 4.1.4.2 og 4.1.4.3) niður í ákveðin kornastærðarbil: 6,3/8, 8/10 mm o.s.frv. Hvert kornastærðarbil er síðan sigtað á tilsvarendi stafasigti. Skjóta þarf inn nokkrum millisigtum í sigtaröðina fyrir ferningssigtin: 5,0 mm, 6,3 mm, 12,5 mm, 20,0 mm og 25,0 mm. Mælingin afmarkast við efni sem er grófara en 4,0 mm og fínna en 31,5 mm en evrópustaðallinn miðast við efni sem er fínna en 80,0 mm. Kornalögun er skoðuð á steinefni fyrir burðarlag og klæðingu.



Mynd 4.1.4.1. Hringlaga ferningssigti vinstra megin á mynd og ferkantað stafasigti hægra megin. Myndin er tekin á rannsóknastofu Skútabergrs ehf. á Akureyri (Guðmundur Ragnarsson 2012).



SKÝRINGAR:

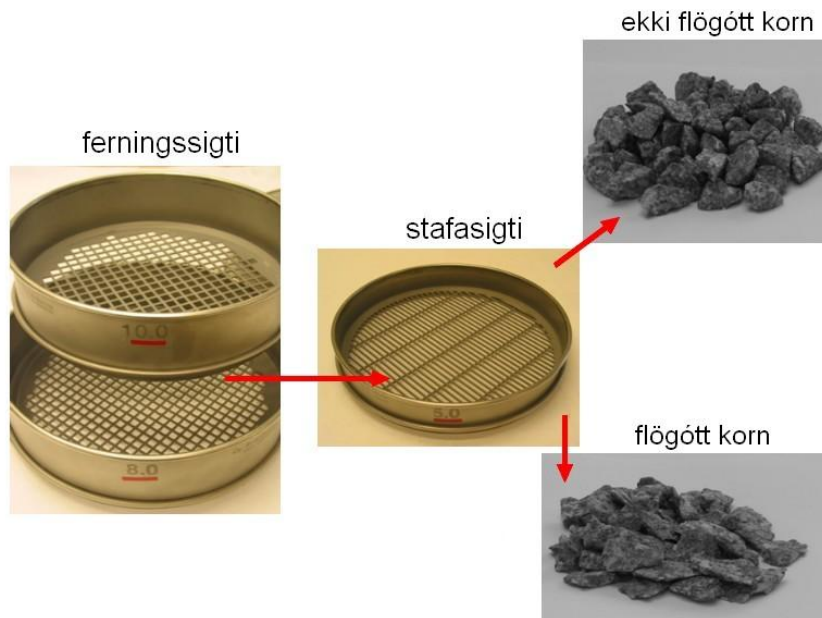
1 Ákveðið kornastærðarbil sigtað á ferningsstigtum, d/D.

2 Sama kornastærðarbil sigtað á stafsigti sem hefur bilið D/2 á milli rimla.

Mynd 4.1.4.2. CEN prófunaraðferð fyrir kleyfnistuðul (Efnisrannsóknir og efniskröfurleiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd, viðauki 1).

FRAMLEIÐSLUEFTIRLIT

Sýni sem situr á milli 8,0 og 10,0 mm ferningssigta er sigtað á 5,0 mm stafsigti (Mynd 4.1.4.3) og sýni sem situr á milli 10,0 og 12,5 mm ferningssigta er sigtað á 6,3 mm stafsigti o.s.frv. Kleyfnistuðullinn (Flakiness Index, FI) er síðan reiknaður sem vegið meðaltal þyngdarhluta sýnis sem smýgur hvert stafsigti. Aðferðin mælir ekki beint hlutfallslegð miðáss kornanna, heldur einungis hlutfall skammáss miðað við langás. Því kemur í raun ekki fram hvort flögóttu kornin sem mælast eru plötulaga eða stafлага, nema að því leyti sem ferningssigtin takmarka streymi plötulaga korna í stærðarflokkinn sem um ræðir.



Mynd 4.1.4.3. Sýni sem situr á milli 8,0 og 10,0 mm ferningssigta er sigtað á 5,0 mm stafsigti. Það sem fer ekki í gegnum stafsigtið er ekki flögótt og það sem fer í gegn er flögótt. © Metso Minerals.

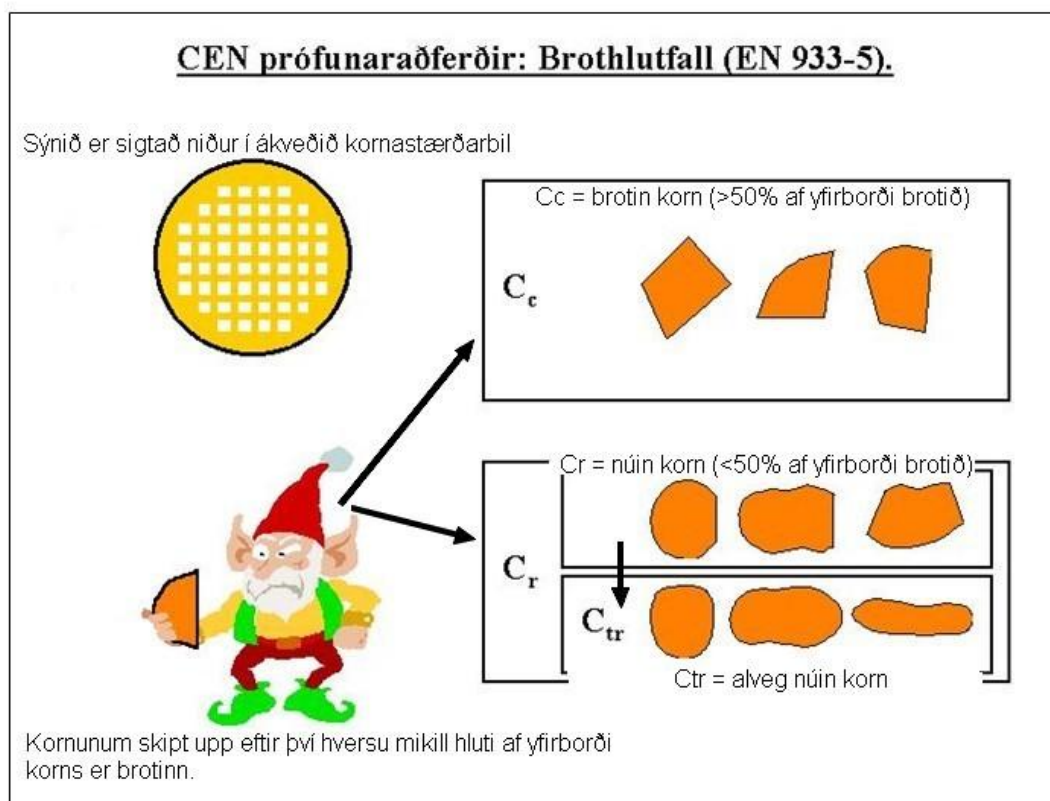


Mynd 4.1.4.4. Ákveðið kornastærðarbil sigtað á ferningslaga stafsigti. Sigtunin er gerð handvirk. Ef notað er kringlótt stafsigti er hægt að setja sigtin í hristara. Myndin er tekin á rannsóknastofu Skútubergs ehf. á Akureyri (Guðmundur Ragnarsson 2012).

4.1.5 Brothlutfall

Brothlutfallsprófið segir til um hvort efnið er nægilega brotið til þess að burðargeta þess sé í lagi, en skrið getur myndast í óbrotnu efni. Aðferðin hentar fyrir malað efni en er óþarft fyrir sprengt berg. Í grófum dráttum þá fer mæling á brothlutfalli þannig fram: Prófið er framkvæmt á efni sem er búið að sigta á ferningssigti og er grófara en 4 mm og fínna en 63 mm. Efninu er skipt upp í kornastærðaflokka. Um er að ræða fjóra kornastærðaflokka: 6-8 mm, 8-16 mm, 16-32 mm og 32-64 mm. Í hverjum flokki er kornunum fyrst skipt upp í tvo hópa: **brotin korn** (C_c) (>50% af yfirborði brotin) eða **núin korn** (C_r) (< 50% af yfirborði brotin) (Mynd 4.1.5.1). Hvor hluti fyrir sig er vigtaður. Því næst eru brotin korn metin með tilliti til þess hvort flokka beri þau sem **alveg brotin korn**, þ.e.a.s. hvort meira en 90% af yfirborði þeirra eru brotin (C_{tr}). Eins er farið með núin korn og metið hvaða korn flokkast sem **alveg núin** (C_{tr}). Hvor hluti fyrir sig er vigtaður. Samtals eru flokkarnir fjórir: alveg brotin, að meiri hluta brotin, alveg núin og að meirihluta núin.

Í framleiðslustöðlum fyrir steinefni er niðurstaða brothlutfallsmælingar gefin upp sem C_x/y , þar sem x er hlutfall steina sem eru að meirihluta brotnir (> 50 % yfirborðs) og y er hlutfall alveg rúnnaðra steina (C_c/C_{tr}).



Mynd 4.1.5.1. CEN prófunaraðferð fyrir brothlutfall (Efnisrannsóknir og efniskröfurleiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd, viðauki 1).

5. JARÐFRÆÐI, JARÐLÖG OG EFNISGERÐIR

Í þessum kafla er fjallað um jarðfræði, jarðlög og efnisgerðir. Berg fær meiri umfjöllun heldur en set og er ástæðan sú að myndun lausra jarðlaga verður aðallega til við veðrun og svörfun á berggrunni landsins. Efnafræðilegir og bergtæknilegir eiginleikar setsins eru því háðir grunneiginleikum berggrunnssins og setlög sem ættuð eru í nágrenni hans endurspeglar gerð berggrunnssins.

5.1 Almenn

Hér á landi er steinefni til vegagerðar unnið úr ýmsum jarðmyndunum, bæði lausum og föstum. Um það bil tíundi hluti náma á Íslandi eru bergnámur þar sem fast berg er sprengt eða rífið upp. Aðrar námur eru í lausum jarðlögum. Notkun bergs til vegagerðar hefur farið mjög vaxandi á undanförunum árum. Lengi vel var heildarnotkunin hér á landi einungis um 10% en undanfarin ár hefur hlutfall bergs verið um fjórðungur af heildarnotkun.

Berggrunnur á Íslandi er fremur einsleitur og er basalt langalgengasta bergtegundin en aðrar bergtegundir eru m.a. rýólít (líparít), andesít og ýmsar gerðir setbergs. Basaltið getur hafa storknað hægt langt undir yfirborði og myndað djúpberg eða runnið sem hraun á yfirborði. Móberg þ.e. bólstraberg og túff myndast við gos í sjó/vatni eða undir jökli.

Basalti má einnig skipta eftir eiginleikum þess til vegagerðar en þeir eru m.a. háðir ummyndun bergsins og gropu (blöðrum) þess. Þessir eiginleikar hafa einnig áhrif á berggæðin þ.e. styrk, veðrunarþol og slitþol bergsins. Berggæðin eru mikið háð gropu og ummyndun bergsins. Þannig hefur ferskt blöðrótt berg fremur lítinn styrk en mikið veðrunarþol en þétt og blöðrulaust berg hefur mikinn styrk, slitþol og veðrunarþol. Mikið ummyndað berg hefur lágt veðrunarþol og getur einnig haft lítinn styrk. Ef kafað er dýpra í gerð bergsins þá eru berggæðin einnig háð gerð og kornastærð steindanna¹¹ (kristallar) í berginu. Efnasamsetning basalts er einnig mismunandi eftir gosbeltunum. Þétt berg með harðar steindir hefur meiri styrk og slitþol en gropið berg með mýkri steindir.

Meirihluti steinefna sem notuð eru til vegagerðar er unnin úr setlögum. Algengast er að mala efni í burðarlög og klæðingar úr áreyrum og malarhjöllum. Setnámur eru ekki einsleitar og í flestum tilfellum er um að ræða blöndu berggerða af mismunandi gæðum. Setið hefur flust um lengri eða skemmri leið en gerð þess fer eftir því úr hvaða bergi setið hefur rofist og hvað það hefur brotnað mikið niður. Af berggrunnskortum má fá gróft yfirlit yfir bergtegundir svæðisins sem líklegt er að einkenni einnig malarefnið á hverjum stað, þar eð meginhluti lausa efnisins hefur oftast flust tiltölulega stutta vegalengd frá upprunastað. Þannig er yfirleitt alltaf eitthvað af súru bergi og mikið ummynduðu bergi í setmyndunum nálægt megineldstöðvum og móberg er víða áberandi í malarefni í og við gosbeltin. Margar setnámur eru fremur sandríkar og með lítið af grófu efni þannig að ekki næst ávallt viðunandi brothlutfall við vinnsluna til að hægt sé að framleiða burðarhæft efni með góðan stöðugleika.

5.2 Klöpp

Íslenskt berg er mjög ungt jarðfræðilega séð, sumt nýlega mynduð hraun á yfirborði en elstu bergmyndanir á landi eru allt að 16 milljóna ára gamlar. Berggrunnur er að mestu úr hraunlögum og móbergi með millilögum. Um 80% bergs á Íslandi er basískt storkuberg, þ.e. kvika sem hefur storknað sem gosberg á yfirborði, í sprungum sem gangberg eða djúpt undir yfirborði jarðar sem djúpberg. Steindir bergsins eru aðallega feldspat-, pyroxen- og ólívín-

¹¹ *Steind* (kristall) er kristallað frumefni eða efnasamband sem finnst í náttúrunni. Steind er smæsta eining bergs; sumar bergtegundir innihalda aðallega eina gerð steinda en flestar tegundir eru samsettar úr mismunandi tegundum steinda.

kristallar en auk þess magnetít og fleiri steindir. Hlutfall steinda er mismunandi milli berggerða, en alla jafnan er meira af dekkri og þyngri steindum í basalti en í súru bergi. Storkuberg er gjarnan flokkað eftir ytri og innri gerð.

Ytri gerð er lýsandi fyrir útlitið. Berg getur verið blöðrótt, straumflögótt, eða stuðlað. Við hraða storknun gosbergs vinnst gosgufunum ekki tími til að losna úr kvikunni áður en hún storknar. Kvikan storknar því utan um gosgufubólur, svo bergið verður *blöðrótt*. Í handsýni sjást blöðrunar sem litlar holur í berginu. Með tíð og tíma setjast ýmis steinefni í blöðrunar sem holufyllingar. *Straumflögótt* berg myndast þegar kvika er á hreyfingu eftir að hún er byrjuð að storkna. Þá myndast eins konar rennlisrákir. Rennlisrákirnar stafa af mishröðu rennsli nýmyndaðra kristalla og gleragna í berginu. Súrt berg er oft straumflögótt (er í flögum/hellum) og straumflögun kemur einnig fyrir í dulkornóttu basalti. Mjög straumflögótt berg er ekki heppilegt til vinnslu burðarlags- og slitlagsefna þar sem það springur oft í flögotta (flata og ílanga) lögun korna sem veldur óstöðugleika í efninu, auk þess sem kornin eru brotgjörn. *Stuðlað* berg myndast þegar bergið dregst saman við kólnun og myndar sprungunet á yfirborðinu. Þessar sprungur má stundum rekja alla leið niður í gegnum hraunlagið. Stuðlar standa ávallt hornréttir á kólnunarflötinn. Þvermál stuðlanna getur verið allt frá nokkrum sentimetrum (kubbaberg) og upp í meira en 1 metra (stuðlað berg).

Innri gerð er lýsandi fyrir kristallastærð bergsins og segir til um hvernig kvikan sem klöppin varð til úr storknaði. Gott dæmi um *glerkenndan* massa er hrafntinna en hún myndast við snögga kælingu súrrar kvikunnar. Kristallar eru smáir í *dulkornóttu bergi* og greinast ekki með berum augum. Einungis er hægt að greina þá í smásjá. Þétt berg, t.d. þóleiítbasalt, er oftast dulkornótt. Í *smákornóttu bergi* eru kristallar smáir en greinast með berum augum. *Stórkornótt* berg er með mjög stóra kristalla sem greinast auðveldlega með berum augum. Djúpberg, eins og gabbró, er stórkornótt berg sem myndast við hæga kólnun djúpbergs. Þegar stórir kristallar eru á víð og dreif um smákornóttan, dulkornóttan eða glerkenndan grunnmassa kallast bergið *dílótt*.

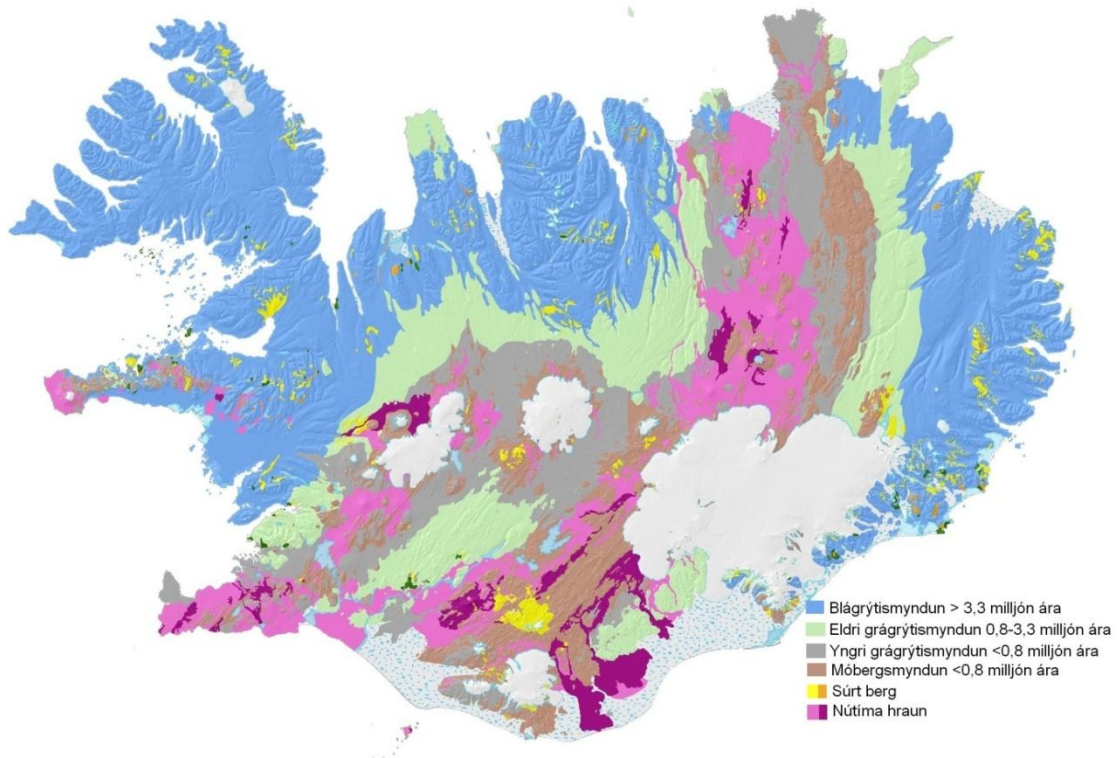
Hér á landi er berg oft flokkað eftir kísilinnihaldi, þ.e. í basískt, ísúrt og súrt berg. Berg telst vera basískt ef það inniheldur <52% kísilsýru (SiO₂) en súrt ef kísilsýra er >65%. Ísúrt nefnist bergið ef kísilsýruinnihald er á bilinu 52-65%.

Basískt berg er algengast hér á landi. Gróf flokkun á basalti byggir á útliti bergs og er skipt upp í þrjá flokka: þóleiít basalt, ólivín basalt og díla basalt. *Þóleiít basalt* er mjög algengt í öllum berggrunni landsins. Það er dul- til fínkornótt og með lítið af ólivínsteindum. *Olivín basalt* er einnig að finna í elsta berggrunni landsins og sömuleiðis innan grágrýtismyndunarinnar. Það er smákorna og mjög oft smáblöðrótt og inniheldur meira magn ólivíndíla. Holrými eru jafndreifð um allan bergmassan. *Díla basalt* er greint eftir magni díla og það þarf að innihalda meira en 5% díla til að teljast dílabasalt. Ef dílarnir eru á bilinu 1-5% er talað um stakdílótt berg. Stundum eru tvær eða jafnvel þrjár tegundir díla í berginu og þá er sagt að það sé tví- eða þrídílótt. Eiginleikum díla basalts svipar yfirleitt til þóleiíts eða ólivín basalts. Þó er það oft sterkara og slitþolnara en annað berg og er mikið notað í varnargarða við ár og brimvörn við strönd.

Ummyndun er efnafræðileg breyting á frumgerð bergsins og hefur mikil áhrif á upprunaleg berggæði. Ummyndun verður til dæmis vegna háhita, útfellingar og útskolunar. Eftir því sem ummyndun eykst þá minnkar styrkur, veðrunarþol og slitþol bergsins. Bergið brotnar og sverfist því hraðar sem ummyndunin er meiri. Þegar ummyndun er langt gengin ummyndast frumsteindir bergsins yfir í síðsteindir t.d. leirsteindir sem mynda leirsalla við niðurbrot bergsins og getur valdið því að steinefnið verður frostnæmt að vinnslu lokinni. Ummyndun bergs er mest í elsta hluta berggrunnsins á Vesturlandi, Mið-Norðurlandi, Austfjörðum og

Vestfjörðum. Ummyndun bergs er mjög ráðandi þáttur varðandi gæði bergs til mannvirkjagerðar.

Það er löng hefð fyrir því að skipta berggrunni Íslands upp í fjóra flokka eftir aldri og myndunaraðstæðum (Mynd 5.2.1). Elsta berg landsins hefur myndast á tertíer tímabili jarðsögunnar sem kallast hér á landi *blágrýtismyndunin*.¹² Berg frá þessu tímabili er eldra en 3,3 milljón ára gamalt og finnst aðallega á Vesturlandi, Vestfjörðum, Mið-Norðurlandi og Austfjörðum. Hraunlagastaflinn frá þessu tímabili einkennist af basalhraunlögum og kallast basaltið *blágrýti* en einnig finnst ísúrt og súrt berg í nágrenni forna megineldstöðva sem eru töluvert margar innan gamla hraunlagastaflans. Í nágrenni þeirra er bergið mjög ummyndað. Á milli hraunlaga eru millilög úr seti og eru rauð setlög algeng á þessum svæðum en þau eru með hátt fínefnahlutfall m.a. leir.



Mynd 5.2.1. Berggrunnskort. Einfalt jarðfræðikort af Íslandi sem sýnir grófa skiptingu berggrunns. © Náttúrufræðistofnun Íslands.

Grágrýtismyndunin (kvartertímabil jarðsögunnar) kemur næst á eftir *blágrýtismynduninni* og skiptist upp í *eldri* og *yngrri grágrýtismyndunina* og *móbergsmyndunina*. Eldri- og yngri grágrýtismyndunin er að finna utan við gosbeltin (grænt og grátt á mynd 5.2.1). Móbergsmyndunina er að finna utan við gosbeltin en einnig myndast móberg á gosbeltunum.

Basísk hraunlög frá kvartertímabilinu kallast grágrýti. Grágrýti er með opna kristalbyggingu, þ.e. smákornótt og yfirleitt fremur ferskt, en oft er þó einhver ummyndun til staðar og ólivín

¹² Nú er farið að skipta jarðsögunni upp á annan hátt og er neogen og paleogen notað um það sem áður var tertíer. Tertíer heitið er því dottið út þótt ýmsir mikilsvirtir jarðfræðingar noti það hiklaust enn. Skil kvarter og neogen eru í dag við 2,6 milljón ár (tertíer-kvarter).

ummyndast fyrst. Grágrýti er nánast alltaf blöðrótt og alsett smásæjum holrýmum. Millilög eru fátíð innan grágrýtisstaflans.

Skiptingin grágrýti og blágrýti er aðeins útlitsleg. Um er að ræða sama bergið, þ.e. samsetningin er raunverulega sú sama hvort sem um ræðir þóleiít basalt, ólivín basalt eða díla basalt. Munurinn felst í aldri, rofi og ummyndun. Blágrýtislögin hafa grafist í jörðu og orðið fyrir mun meiri fergingu.

Nokkuð er um grágrýtiskubbaberg í eldri grágrýtismynduninni (Mynd 5.2.2) og er það berg mjög hart og gott til vinnslu vegna þess hversu smátt það er eftir losun.



Mynd 5.2.2. Klapparnáma. Brunahvammsháls á Vopnafjarðarheiði. Grágrýtiskubbaberg og stuðlaberg- klöppin springur í góðar vinnslustærðir (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2009).

Jarðlög sem tilheyra *móbergsmynduninni* eru yngri en 0,8 milljón ára gömul (brúnt á mynd 5.2.1). Innan móbergsmyndunarinnar má finna grágrýtishraun sem mynduðust á hlýskeiðum ísaldar og móbergsstapa, hryggi og bólstraberg sem urðu til við gos undir þykkum ísaldarjöklinum sem haldi landið. Móbergsmyndunin, er að mestu úr basískum gosefnum. Helstu gerðir móbergs eru: túff úr fínni gjósku, þursaberg úr grófri gjósku og gjalli, bólstrabrotaberg úr bólstrabrotum, grófri gjósku og gjalli og bólstraberg. Bólstrabergið verður til við gos undir miklum þrýstingi t.d. djúpt í sjó eða vatni og undir þykkum jökli. Slíkt berg nefnist bólstrabrotaberg þegar bólstrarnir eru mjög óreglulegir og uppbrotnir. Útbreiðsla móbergs endurspeglar eldvirkni á Íslandi síðustu 800.000 ár. Á móbergssvæðum, á suðvestanverðu landinu, er stór hluti bergnáma í móbergshryggjum og er vinnslan þar mest í bólstrabrotabergi.

Yngsti tíminn innan kvartertímabilsins kallast *Nútími* og þau jarðlög sem tilheyra þessum tíma eru innan við 11.000 þúsund ára gömul og mynduðust eftir að ísa leysti. Hér getur að líta nútíma hraun (eldhraun) og móbergsmyndanir ýmiskonar. *Nútíma hraun* í gosbeltum landsins hafa runnið eftir að jöklar hörfuðu og síðasta jökulskeiði lauk, en hraun er sá hluti kvikunnar sem breiðist út á yfirborði jarðar. Hraun er hægt að flokka í tvo útlitsflokka: *helluhraun* og

apalhraun. Aðalmunurinn er sá að helluhraun er heitara, þynnra, gasríkara og blöðróttara. Í einu og sama gosinu er hægt að fá helluhraun nær eldstöðinni og apalhraun fjær vegna þess að kvikan verður kaldari og seigjan því meiri eftir því sem fjarlægðin er meiri. Yfirborð hrauna er misúfið eftir flæðieiginleikum kvikunnar. Þykkfljótandi kvika myndar apalhraun og verður úfið á yfirborði og yfirborðið er þakið gjallkenndu hraungrýti. Þunnfljótandi kvika myndar þunnt helluhraun sem er sléttari á yfirborði en springur þó sums staðar upp í nokkurra metra háar hvelfingar vegna gasþrýstings í kvikunni. Efri hluti hrauna, hraunkarginn, er nánast alltaf blöðróttur. Apalhraun mynda einnig oft gjallkarga í neðri hluta lagsins þegar þau velta fram. Hefðbundin uppbygging hrauna er að neðst er þunnur blöðróttur gjallkargi en fyrir ofan er þéttari miðhluti bergsins. Efst er yfirleitt blöðróttur gjallkargi, jafnan þykkari en sá sem er neðst. Styrkleiki bergs í hraunum er ærið misjafn, allt frá því að vera mjög þétt og sterkt upp í að vera frauðkennt (bruni) og veikbyggt eftir því. Nútíma hraun njóta sérstakrar verndar samkvæmt náttúruverndarlögum.

Losun bergs Í klöpp ræður þéttleiki sprungna miklu um það í hvaða stærðir bergið hefur tilhneigingu til að springa. Í flestum tilfellum er hægt að smækka allar berggerðir þannig að ásættanlegt hlutfall náist af grjóti í hæfilegum stærðum fyrir forbrjót. Þegar mikið af grjóti springur í of stórar stærðir er hægt að smækka stærstu steinana með fleyg eða með því að láta stálkúlu falla á þá. Ef fínefnarík millilög eru í námunni getur verið nauðsynlegt að aðskilja fínefnin frá grjótinu og er oft hægt að gera það á einfaldan hátt með gröfu en í sumum tilfellum getur reynst nauðsynlegt að flokka slíkt efni frá, t.d. í matara forbrjóts eða með sjálfstæðri forhörfu.

Nokkrir þættir eru ráðandi varðandi stærð grjóts eftir losun með sprengingu. Í fyrsta lagi gerð og eiginleikar bergsins, í öðru lagi raða- og holubil og í þriðja lagi magn sprengiefna (grömm sprengiefnis á rúmmetra bergs). Aðstæður í námu skipta einnig máli, best er að taka fyrir í einni pallsprengingu stóra spildu djúpt inn frá námustáli (skáp). Skeifulaga náma (skápur) sem veitir gott aðhald frá hliðunum gefur smærra grjót en ella (þvinguð losun). Sé hins vegar verið að losa úr snasa (nefi) þar sem sprengingin er án aðhalds má búast við stærra grjóti.

Bormynstur er háð nokkrum atriðum s.s gerð bergsins sem sprengja á, pallhæð og þvermáli holu. Við ákvörðun á bormynstri og stærð á hleðslu í óþekktri námu er nauðsynlegt að sprengja lítið prufuskot, t.d. 2-4 raðir með 10-20 holum, áður en farið er í stórt skot. Þegar fundin er hleðsla sem gefur viðunandi framkast á massanum gefur sú hleðsla grundvöll að hleðslu eftirfylgjandi skota.

Í 9 m borun eru 3 m í forhlað miðað við eina kveikju. Forhlaðið má aldrei vera minna en forsetningin (þ. e. bilið á milli holanna). Ef stálhæð er upp undir 10 m er nauðsynlegt að nota tvær kveikjur. Æskilegt magn sprengiefna er breytilegt eftir aðstæðum og fer eftir ýmsu, m.a. eftir gerð bergsins, innri spennu í berginu og í hvað á að nota bergið. Í hörðu og góðu bergi, er unnt að fá góða nýtingu á sprengiefni þar sem hleðslan er á bilinu 350 til 500 gr/m³. Í sprungnu, óþéttu bergi (seigu/mjúku bergi) þarf hinsvegar mun meiri hleðslu, eða allt að 700 til 1000 gr/m³. Í þannig bergi er ekki óalgengt að töluvert verði af yfirstærðum sem þarf þá að smækka. Í hraunklöpp er algengt að hleðsla fari yfir 1000 gr/m³.

5.3 Laus jarðlög

Laus jarðlög eru set sem sest hefur til í mismunandi setmyndunarumhverfi.

Uppruni nánast allra lausra jarðlaga er berggrunnur landsins, þ.e. stór hluti lausra jarðlaga verður til við veðrun og rof berggrunnisins. Myndun lausra jarðlaga verður í raun og veru í þremur áföngum:

- Við veðrun og svörfun á berggrunni.
- Við flutning þess efnis sem þannig losnar.
- Setlagamyndun. Efnið staðnæmist og hleðst upp.

Laus jarðlög eru mismunandi að gerð og gæðum og henta því til mismunandi nota. Gerðir lausra jarðlaga eru: *jökulruðningur*, *straumvatnaset*, *strandset*, *skriður* og *fokset*.

Jökulruðningur er það efni sem jöklar hafa flutt og hlaðið upp. *Jökulruðningur* skiptist upp í *botnruðning* sem verður til undir virkum jökli og *leysingarúðning* sem verður til við bráðnun jökuls. Íslenskur jökulruðningur er mjög fínefnaríkur og kornastærðir eru allt frá leir og upp í stórgrýti. *Jökulruðningur* á Íslandi er mjög siltarríkur. Malarslitlagsefni er töluvert unnið úr jökulruðningi.

Set sem flyst með jökulám kallast *jökulárset* (Mynd 5.3.1) og hleðst upp við breytilegar aðstæður. Setið getur sest til í göngum undir/í jöklinum: *malarásar*, til hliðar við jökulinn: *jaðarhjallar* eða framan við jökulinn í mismunandi fjarlægð frá jökulbrún: *jökuláraurar* eða hlaðist upp í sjó eða vatni: *óseyrar* og *dalfyllur*. Kornastærðin í jökulárseti er mismunandi, sömuleiðis lagskipting efnisins og útbreiðsla.

Árset kallast það set sem flyst með bergvatnsám og eins og jökulárset hleðst setið upp við mismunandi aðstæður. Af árseti eru *áreyrar* algengasta myndunin. Þær er að finna við drag- og jökulár. *Aurkeilur* eru einnig mjög algengar og myndast framan við gil í klettum og fjallshlíðum.

Efni í burðarlög og klæðingar er malað úr jökulárseti og árseti. Úr aurkeilum er töluvert malað í malarslitlag

Strandset myndast við núverandi sjávarmál. *Strandset* er mismunandi eftir því hvar það hleðst upp en algengast eru *fjörur* og *marbakkar*.

Ein af algengustu setlagamyndunum sem finnst á Íslandi eru *skriður* sem hlaðast upp við breytilegar aðstæður eins og *hrunskriður*, *skriðukeilur*, *berghlaup* og *aurskriður*. Kornastærðasamsetning í skriðum er allt frá leir og upp í stórgrýti. Malarslitlagsefni er töluvert unnið úr skriðuefni.

Efnafræðilegir eiginleikar setsins eru háðir grunneiginleikum berggrunnisins og því hefur ástand móðurbergsins, sem setið er rofið úr, mikið að segja um hvernig samsetning setsins er. Setið er ekki einsleitt og í mörgum tilfellum er um að ræða blöndu berggerða af mismunandi gæðum en berggæðin fara mikið eftir því hvar á landinu setmyndunin er. Töluverður munur er til dæmis á malarefni úr námu úr Berufirði á Austurlandi og Þistilfirði á Norðurlandi. Mikið ummyndað berg er í Berufirði í nágrenni megineldstöðvar. Við Sævarland í Þistilfirði eru fornir strandhjallar (*strandset*) og er setið í þeim lítið ummyndað og einnig hafa orkuríkar aðstæður við ströndina brotið niður lélegar bergtegundir.

Dæmi um námur með bergtegundum sem bera ekki svip af berggrunni í næsta nágrenni eru til dæmis í Jökulsá á Brú á Austurlandi. Setið í ánni hefur flust langa leið frá grágrytissvæði þar sem bergið er mun minna ummyndað en grannberg námanna og orkan í vatnsfallinu brýtur niður veikari bergtegundir.



Mynd 5.3.1. Lagskipt mól og sandur í setnámu í Aðaldal – Brúnagerði. Setmyndunin er fornt jökulárset/dalfylla. Brynjar Baldursson vélamaður hjá verktakafyrirtækinu Alverki stendur við gryfjuna (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2011).

Margar setnámur eru fremur sandríkar og með lítið af grófu efni þannig að ekki næst ávallt viðunandi brothlutfall við vinnsluna til að hægt sé að framleiða burðarhæft efni með góðan stöðugleika. Á mynd 5.3.2 er verið að mala nokkuð grófa mól í efri hluta burðarlags (0/22 mm).



Mynd 5.3.2 Malarefni úr malarhjalla (fornum árhjalla) í matara forbrjóts. Myndin er tekin í Búastaðanámu í Vesturdal í Vopnafirði (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2012).

6. FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

6.1 Inngangur

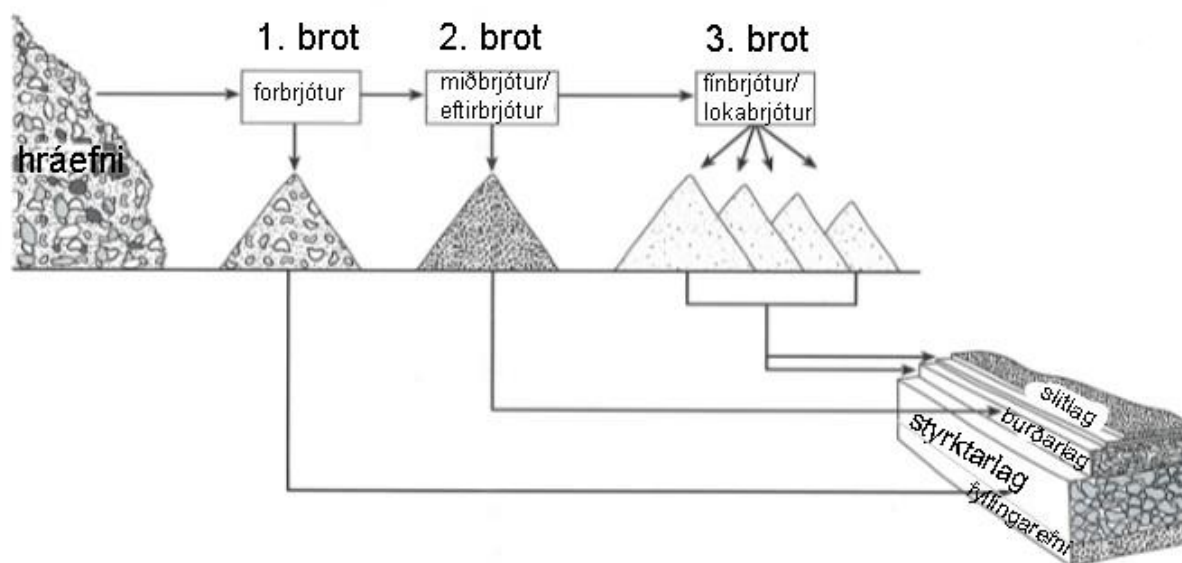
Í þessum kafla er fjallað um vinnslu mismunandi efnisgerða til vegagerðar. Verktakafyrirtækin sem voru heimsótt og sáu um að framleiða steinefni eru öll með færanlegar einingar á beltum eða samstæður á hjólum.

Sagt er frá vinnslu efnis í styrktarlag, burðarlag og klæðingu. Minna er fjallað um vinnslu í malarslitlag og í malbik.

6.2 Framleiðsla ólíkra efnisgerða

Efni sem notað er í vegi er mismikið unnið og getur verið hvort sem er úr klöpp eða seti (Mynd 6.2.1). Fyllingarefni í undirbyggingu vegar er yfirleitt ekki malað efni en stundum þarf að flokka efni í fyllingu. *Styrktarlag* kemur ofan á fyllinguna. Styrktarlagið er stundum malað og oftast nær er það forbrotið. Oft þarf reyndar að mala styrktarlagið einnig í eftirbrjót. Sérstaklega þarf að gera það þegar efnið úr námum er gróft eða verið er að endurbyggja og styrkja vegi þar sem styrktarlagið er mjög þunnt. Ofan á styrktarlagið kemur *burðarlag* sem er yfirleitt í tvennu lagi: neðri og efri hluti burðarlags. Við framleiðslu á steinefni í burðarlag þarf að nota að minnsta kosti tvö brotstig.

Efsta lag vegarins er slitlag sem annað hvort er bundið eða óbundið. Bundin slitlög eru *klæðing* og *malbik* en *malarslitlög* eru óbundin slitlög. Við framleiðslu á steinefni í klæðingu og malarslitlag þarf a.m.k. tvö brotstig. Við framleiðslu á steinefni í malbik þarf þrjú brotstig.



Mynd 6.2.1. Efni í vegbyggingu (Statens Vegvesen).

6.2.1 Styrktarlag

Styrktarlagið er neðsta lag yfirbyggingarinnar og leggst það beint ofan á fyllinguna (Mynd 6.2.1). Hlutverk styrktarlagsins er, ásamt burðarlaginu, að dreifa umferðaralaginu svo ekki komi til formbreyting á slitlaginu. Styrktarlagi er stundum skipt í tvo hluta. Styrktarlag er alltaf malað þegar það er unnið úr klöpp og stundum er mjög gróft efni úr seti malað ef þörf er á til að uppfylla kröfur um stærstu steinastærð.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Gerðar eru kröfur um kornadreifingu og berggæði styrktarlags. Ekki eru gerðar sérstakar kröfur um kornalögun eða brothlutfall. Algengir stærðarflokkar styrktarlags eru 0/45 mm, 0/63 mm, 0/90 mm og 0/125 mm.

Stundum er mjög gróft efni úr seti einungis forbrotið ef þörf er á til að uppfylla kröfur um stærstu steinastærð. Þá er efnið forbrotið með kjaftbrjót. Gott getur verið að vera með einfalda forhörfu á forbrjótnum ef taka þarf undan efni.

Kornadreifingu steinefnis sem unnið er úr seti og malað í forbrjót er hægt að stýra upp að vissu marki. Hámarksstærð stærstu steina og kornadreifingu framleiðsluefnisins er hægt að stýra með: stillingu brjótsins (CSS), hraða mótunar og undantekt á forhörfu.

Nokkur munur er á því hvort steinefni er unnið úr seti eða bergi. Í seti þarf oft að losna við fínefni og sand en í bergi vantar oft og iðulega sandstærðir.

Styrktarlag úr klöpp

Nokkuð algengt er að styrktarlag sé malað úr klöpp og þá sérstaklega í nýbyggingum þar sem engin almenn umferð er á vinnutíma. Við framleiðslu á efni í styrktarlag úr klöpp er oftast notaður kjaftbrjótur. Þó eru til bergmyndanir sem brotna það smátt við losun með sprengingum að hægt er að nota efnið án mölunar.

Styrktarlag úr seti

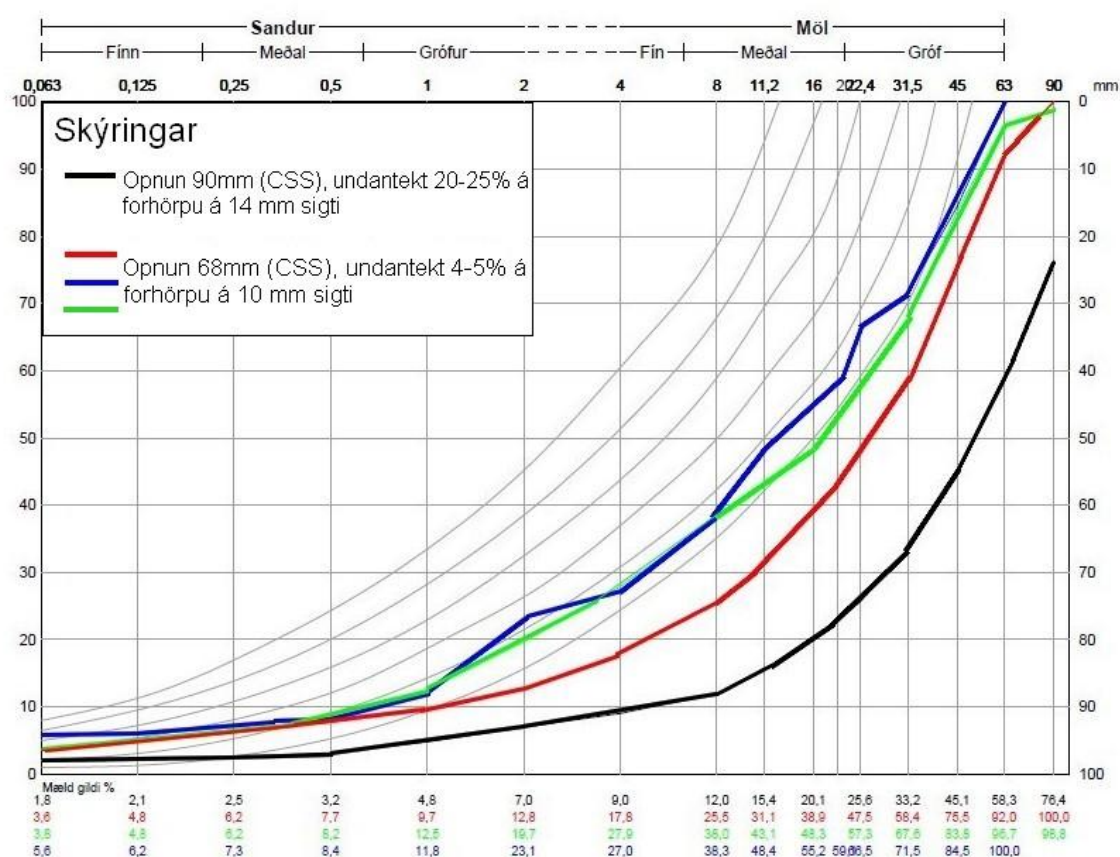
Eins og áður segir er setið stundum það gróft sem á að nota í styrktarlag að það uppfyllir ekki kröfur um stærstu steinastærð. Á mynd 6.2.1.1 eru sýndir mismunandi sáldurferlar steinefnis sem malað var með kjaftbrjóti. Hráefnið var gróf mól og sandur og þurfti að forbrjóta það til að uppfylla kröfur um stærstu steinastærð.

Kornadreifing efnisins er misjöfn og sýna mismunandi sáldurferlar hvernig lögun dreifingarinnar breyttist með því að þrengja forbrjótinn, auka mótunarhraða og stýra undantekt. Efnið sem var malað var misgróf mól, allt frá sandi og upp í stórgrýti. Efnið átti að vera óflokkað efni af flokkunarstærð 0/63 mm þ.e. $d = 0$, $D = 63$. Sáldurferill efnisins átti að uppfylla kröfuflokk G_{A90} sem þýðir að 90 – 99 % af efninu á að smjúga sigti 63 mm og 1 % að lágmarki að sitja á sama sigti. Á bilinu 98 – 100% verða að smjúga 90 mm sigti ($1,4 \times D = 90$). Allt efni skal smjúga 125 mm sigti ($2 \times D = 125$). Þar sem óhreinindi voru í efninu þá var gerð sú krafa að taka undan fínefni á forhörfu.

Notaður var kjaftbrjótur Lokotrack LT95. Ráðlögð þrengsta opnun (CSS) á brjótnum samkvæmt framleiðanda er 60 mm¹³. Milliplate, um 5 sm þykk, var sett innan við slitplötuna á fasta kjálkanum. Þetta var gert til þess að þrengja opnunina enn frekar. Stærstu steinar mega samkvæmt framleiðanda vera um 480 mm. Efnið sem var fyrst malað var mikið til sandur og stórir steinar en síðan varð það mun jafnara en með mikið af stórgrýti. Fyrst var opnunin á brjótnum í þrengstu stöðu (CSS) um 90 mm og sandur var tekin út á forhörfu með 14 mm sigti (Mynd 6.2.1.1, svarti ferillinn).

¹³ Lágmarks opnun CSS á þessum tiltekna brjót er misjöfn samkvæmt framleiðanda. Fyrir hart berg er opnunin 60 mm, 45 mm fyrir mjúkt berg og 25 mm fyrir endurvinnslu.

Kornakúrfur úr vinnslu á 0/63 mm efni úr seti



Mynd 6.2.1.1. Sáldurferlar 0/63 mm steinefni úr möl. Á myndinni eru settar inn markalínur sem einungis eru til viðmiðunar.

Framleiðslan yfir daginn var innan við 600 m³. Undantekt var um 20-25%. Kúrfan var mjög síð og mikið var af yfirstærðum í steinefninu. Ákveðið var að þröngja opnunina og var farið eins þröngt og verktaki þorði að fara eða í kringum 68 mm (CSS). Einnig var ákveðið að skipta út sigtinu í forhörpu og setja inn 10 mm sigti og mata hraðar inn á brjótinn. Framleiðsla jókst yfir daginn og var um 900 m³. Undantektin var nú um 4-5%. Kúrfan lyftist mikið og í flestum tilfellum voru yfirstærðir innan marka (Mynd 6.2.1.1, rauður, blár og grænn ferill).

Efnið þótti mjög gott sem styrktarlag.

6.2.2 Burðarlag

Burðarlagið kemur ofan á styrktarlagið (Mynd 6.2.1). Hlutverk burðarlags er að dreifa áraun af völdum umferðar niður á styrktarlagið til að koma í veg fyrir varanlegar formbreytingar í vegbyggingunni. Það er úr vandaðra efni en styrktarlagið, og stundum bundið með biki eða sementi til að auka burðarþolið. Burðarlag er mjög oft lagt í tvennu lagi og þá er talað um efri og neðri hluta burðarlags.

Einungis malað steinefni er notað í burðarlag undir bundið slitlag. Við framleiðslu á efni í burðarlag þarf að nota a.m.k. tvö brotstig og viðeigandi hörpur. Við framleiðslu á efni í neðri hluta burðarlags (0/45 mm eða 0/63 mm) og í efri hluta burðarlags (0/22 mm eða 0/32 mm) eru gerðar jafn miklar kröfur um kornalögun, fínefnainnihald (< 0,063mm), berggæði, brothlutfall og kornalögun. Lágmarks kröfur sem gerðar eru til burðarlags eru um kornadreifingu, berggerð og styrk.

Burðarlag úr klöpp

Stór hluti íslensks bergs er að mörgu leyti erfitt í vinnslu, sérstaklega vegna þunnra berglaga, millilaga úr seti, sprungufyllinga og annarra óhreininda. Algeng vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr klöpp eru of mikið af óæskilegum fínefnum, léleg kornalögun og að ná fram nægilega háu hlutfalli af millistærðum þ.e. sandi og fínmöl.

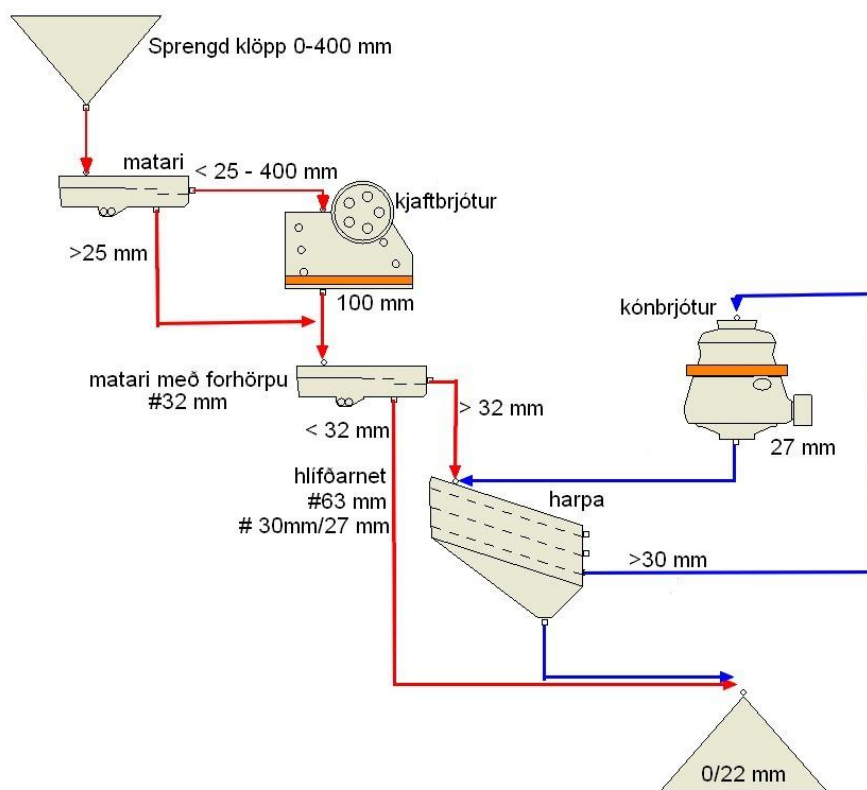
Berggerðin skiptir máli þegar kemur að kornalögun. Í meginatriðum verður hart og/eða stökkt berg flögótt en veikara efni eins og gropið grágrýti hefur tilhneigingu til að fá teningslaga lögun. Veikt berg myndar auk þess meira af millistærðum og fínefnum þegar það er mulið. Sterkt heillegt berg myndar minna magn af fínefnum og millistærðum. Ef efnið er mikið ummyndað má búast við aukningu fínefna í móluninni. Í frekar mjúku grágrýti er kornalögun ekki vandamál. Algengt vandamál varðandi vinnslu á grágrýti er að það myndar töluvert af fínefnum þegar það er mulið. Fínefni sem verða til við niðurbrot grágrýtis eru að mestu leyti syltarstærðir en sylti er ekki mjög vatnsdrægt og því ekki mjög frost hættulegt í hóflegu magni. Vinnslan miðar að því að halda fínefnahlutfallinu innan kröfumarkna.

Á myndum 6.2.2.1 og 6.2.2.2 eru sett upp dæmi um framleiðsluferla fyrir efri hluta burðarlags (0/22 mm). Um sömu námu er að ræða en tvær mismunandi uppsetningar og tveir mismunandi efnisvinnsluverktakar. Efnið er mjög hart kubba- og stuðlaberg.

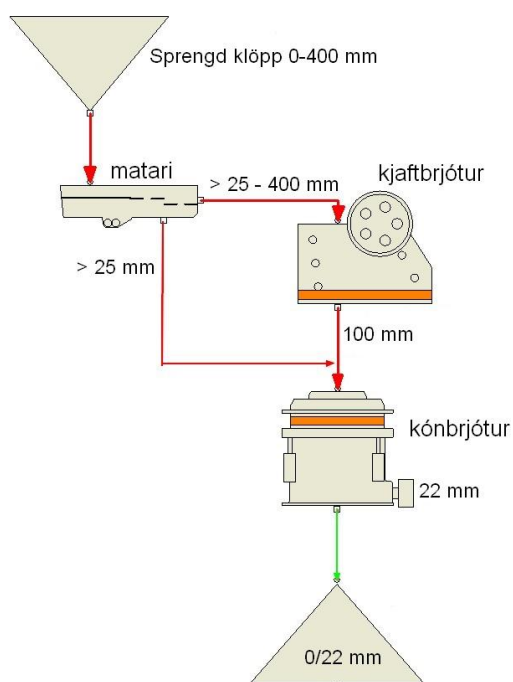
Í fyrra dæminu, mynd 6.2.2.1, er vinnslan ekki samhangandi. Uppsetningin er: Kjaftbrjótur + harpa + kónbrjótur og auk þess hringrás. Efnið er forbrotið á forbrjót LT105 sem er á beltum. Þaðan er því ekið með hjólaskóflu yfir í Nordberg GPD 300 mólunarsamstæðu (kónn með topplegu). Efninu er mokað ofan í matara sem er með millihörpu með 32 mm sigti. Efni sem er minna en 32 mm fer út á hliðarbandi og sameinast bandi af eftirhörpu og fer þaðan út í haug. Matarinn skammtar efni sem er stærra en 32 mm inn á eftirhörpu. Af eftirhörpu fara yfirstærðir og steinefni áfram inn á kónbrjót og þaðan aftur inn á eftirhörpu. Þessi uppsetning er mjög algeng.

Í seinna dæminu, mynd 6.2.2.2, er vinnslan samhangandi. Uppsetningin er: kjaftbrjótur + kónbrjótur. Um er að ræða beltabrjóta. Efnið er forbrotið á forbrjót LT105. Efni sem er minna en 25 mm fer út á forhörpu matara og sameinast bandi af forbrjót. Þaðan fer það áfram á færubandi yfir í matara sem skammtar efni inn á kónbrjót HP300 (án topplegu). Engin harpa er í uppsetningunni.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA



Mynd 6.2.2.1. Dæmi um framleiðsluferil fyrir burðarlagsefni úr klapparnámu. Hluti efnisins er einungis brotinn einu sinni. Flæðiritið samanstendur af stökum forbrjót Lokotrack LT105 og Nordberg GPD 300 mólunarsamstæðu (matari með forhörpu, 3ja dekkja hristihörpu og kónbrjót m/topplegu).

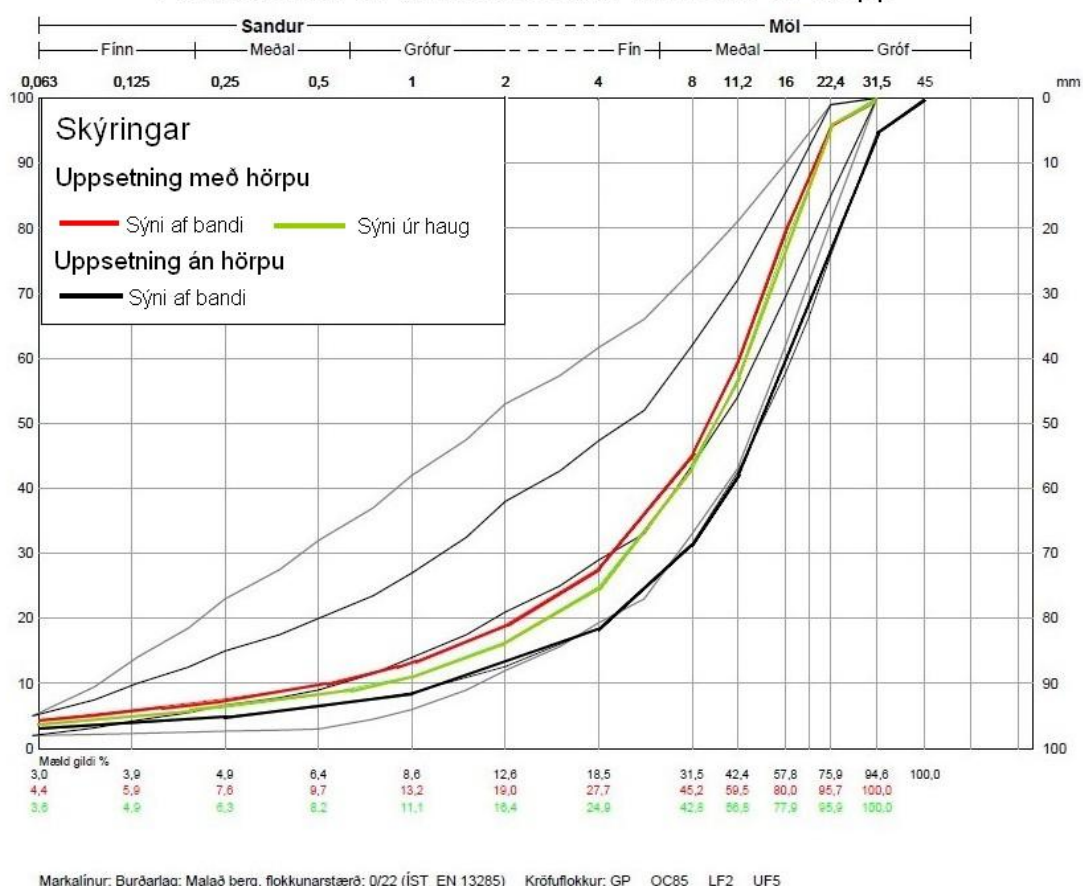


Mynd 6.2.2.2. Dæmi um framleiðsluferil fyrir burðarlagsefni úr sömu klapparnámu. Nánast allt efnið er brotið einu sinni og stór hluti tvisvar sinnum. Gallinn við þessa uppsetningu er að hér vantar hörpu sem hringrásar efninu og sendir yfirstærðir til baka. Töluvert var um yfirstærðir í framleiðslunni. Stakur forbrjótur og stakur kónbrjótur. Allt á beltum.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Á mynd 6.2.2.3 er samanburður á vinnslunum tveimur, þ.e. 0/22 mm steinefni úr klöpp. Svarti sáldurferillinn sýnir vinnslu úr uppsetningu án hörpu og rauði og græni ferillinn sýna vinnslu úr uppsetningu með hörpu. Rauði sáldurferillinn er af sýni sem er tekið af bandi og græni ferillinn er af sýni úr haug. Steinefnið í svarta sáldurferlinum er mun opnara og mun meira er af yfirstærðum. Í rauða og græna tilfellinu er harpa í uppsetningunni og það er hún sem skiptir meginmáli fyrir vinnsluna en þessi niðurstaða virðist hafa minna með opnunina á brjótunum að gera.

Kornakúrfur úr vinnslu á 0/22 mm efni úr klöpp



Mynd 6.2.2.3. Sáldurferlar af 0/22 mm steinefni úr kubba- og stuðlabergsnámu. Rauði og græni ferillinn sýna steinefni úr uppsetningu með hörpu og sá svarti með uppsetningu án hörpu. Svörtu grönnu línurnar eru markalínur ¹⁴.

Niðurstaðan er sú að harpan er mjög mikilvægur hluti af efnisvinnslunni og seinni uppsetningin þar sem er engin harpa, er ófullnægjandi. Engin harpa þýðir of mikið af yfirstærðum og sáldurferill efnisins sem verið er að framleiða verður einnig síðari (opnari).

¹⁴ Svörtu grönnu línurnar eru markalínur fyrir burðarlag úr möluðu bergi og skal sáldurferill efnisins liggja innan markalínanna. Meðaltal allra mælinga skal liggja innan við innri markalínurnar en einstaka sáldurferlar mega liggja fyrir utan.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

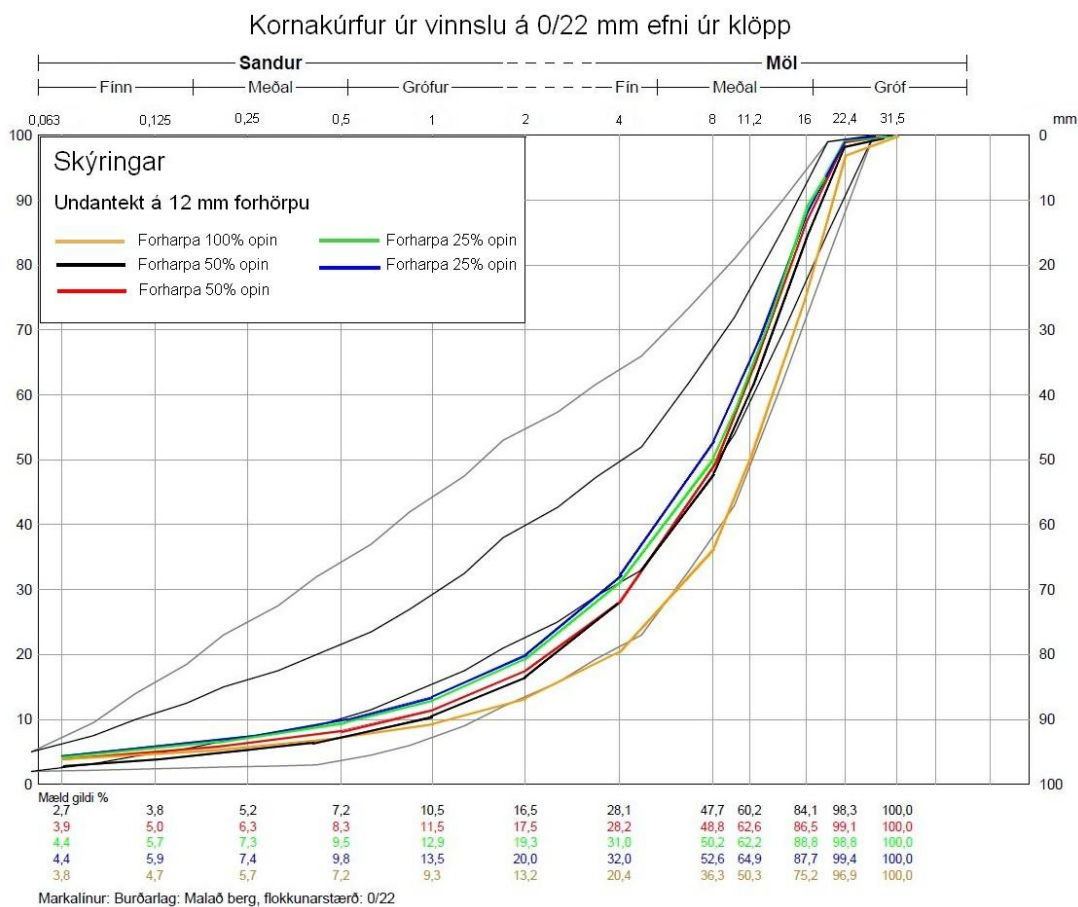
Algeng vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr klöpp eru eins og áður sagði *of mikið af fínefnum, vöntun á millistærðum og léleg kornalögun*. Í mörgum tilfellum er hægt að leysa þessi vandamál. Oft er það þó þannig að þegar eitt vandamál er leyst verður annað til.

Hægt er að minnka fínefni með *undantekt* en sú aðferð hefur einnig áhrif á millistærðir. Hægt er að auka magn millistærða með *íblöndun* ef aðgengi er að góðu efni. Ef kornalögun er léleg og vinnslueiningar eru á beltum þá er hægt að raða einingunum öðruvísi upp og hafa hörpuna á eftir brjótunum, þ.e. uppsetning B (brjótur + brjótur + harpa) í staðinn fyrir uppsetningu A (brjótur + harpa + brjótur).

Undantekt Í bergi sem verið er að mala er oft á tíðum töluvert af fínefnum sem eru ekki æskileg. Til að losna við þessi fínefni þá er hægt að taka efni undan á forhörpu. Algeng stærð á möskva sigta fyrir undantekt hefur verið 8 mm, 10 mm eða 12 mm. Möskvastærðin 8 mm og minni er þó mjög óhentug að nota þar sem sigtin eru orðin svo fín að þau stíflast og eru ekki að gera neitt gagn.

Á mynd 6.2.2.4 eru sýndir nokkrir sáldurferlar af burðarlagsefni (0/22 mm) sem malað var úr þóleiit basalti (grágrýtisklöpp) þar sem tekið var mismikið undan á 12 mm forhörpu.

Strax í upphafi var ákveðið að taka fínefni undan til að losna við óæskileg fínefni. Með forhörpuna 100% opna og allt tekið út á 12 mm sigti þá voru fínefnin um 3,8%. Þetta hafði þau áhrif að millistærðirnar hurfu að mestu úr efninu. Sáldurferill steinefnisins varð allt of síður og langt utan við markalínur (ljósbrúnn ferill) en sá ferill sker sig úr miðað við aðra sáldurferla.



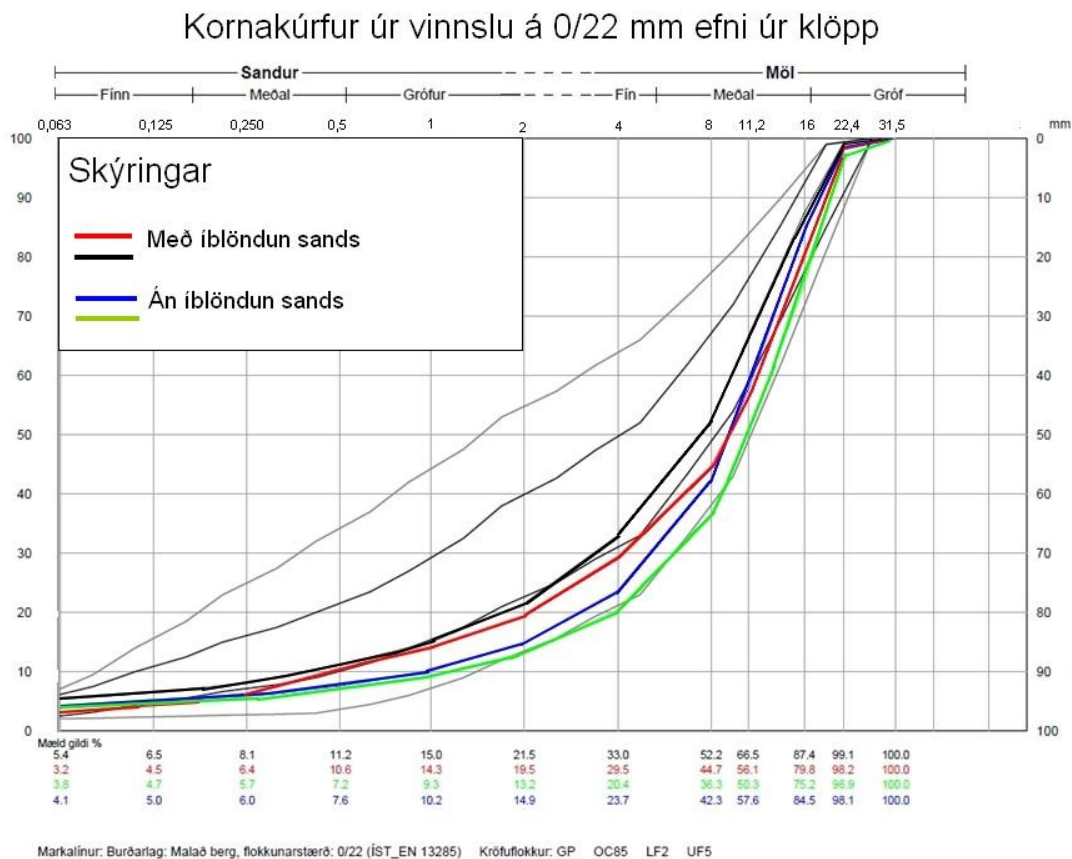
Mynd 6.2.2.4. Undantekt á 12 mm forhörpu.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Ákveðið var að loka forhörpunni um helming og var það gert með því að loka fyrir helming sigtisins með sterkum dúk. Með því að hafa forhörpuna einungis 50% opna þá lyftist ferillinn mikið (svartur og rauður) og fínefni lágu á bilinu 2,7 til 3,9%. Undir lokin var prófað að hafa forhörpuna einungis opna til fjórðungs (ljósgrænn og dökkblár). Sáldurferillinn lyftist lítillega til viðbótar og fínefni fóru upp í 4,4%.

Þegar sáldurferlar eru síðir, og þar með vantar millistærðir, getur verið gott að taka efni undan á forhörfu. Spurningin er: hversu mikið á að taka undan. Ef forharpan er 100% opin og allt efni tekið út á forhörfunni verður ferillinn mjög síður þar sem millistærðirnar fara út. Með því að minnka opnunina á forhörfunni er hægt að lyfta ferlinum töluvert upp án þess að fínefni fari yfir mörkin og án þess að missa allar millistærðir út.

Íblöndun felst í því að bæta öðru efni inn í framleiðsluna (Mynd 6.2.2.5). Í eftirfarandi dæmi var sandi, sem varð til þegar var verið að flokka klæðingarefni, bætt í efnisvinnslu á 0/22 mm burðarlagsefni. Hlutföllin voru 1 á móti 5. Eftir fimmtu hverja skóflu af forbrotnu efni sem ekið var í haug með hjólaskóflu var einni skóflu af sandi ekið í hauginn. Niðurstaðan var mjög áhugaverð og aukning varð á millistærðarefninu á bilinu 6 til 8 prósent. Sáldurferlarnir lyftust töluvert og lentu á og við markalínur efnisins.



Mynd 6.2.2.5. Íblöndun. Samanburður á sáldurferlum. Annars vegar er sandi og finni mól blandað inn í framleiðslu á burðarlagsefni (0/22 mm). Hins vegar er sýndur sáldurferill efnisins án íblöndunar.

Önnur aðferð er svokölluð „vínartertu haugsetning“. Þá mætti til dæmis setja 3 m lag af forbrotnu klapparefni og keyra síðan þunnu sandlagi yfir og svo koll af kalli. Síðan er því efni mokað t.d. með hjólaskóflu í eftirbrjót.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Einnig er hægt að auka millistærðir í burðarlagi sem unnið er úr klöpp með því að dreifa þeim yfir útlagt burðarlag úti í vegi. Þessi aðferð virkar vel en aðal atriðið er að hafa aðgang að góðum sandi.

Kornalögun

Kornalögunarmæling er gerð til að kanna hvort malað steinefni er kleyfið eða flögótt, en lögunin getur haft áhrif á stæðni steinefnisins og þjöppunareiginleika þegar út í veg er komið.

Efnisgerðir og vinnsla efnis sem á við í hvert sinn ræðst að nokkru af umferðarpunga á þeim vegi sem verið er að byggja. Kröfur um gæði efnis aukast eftir því sem þungaumferðin er meiri. Með þungaumferð er átt við bíla sem eru þyngri en 3,5 tonn og ÁDU_p miðast við tveggja akreina veg. Sömu kröfur eru gerðar til kornalögunar í steinefni fyrir neðri hluta burðarlags og efri hluta burðarlags en töluverður munur er á kornastærð þessara efnisflokka.

Kornalögun steinefnis er mismunandi eftir berggæðum, styrk og hvaða kornstærðarbil er verið að framleiða. Í töflu 6.2.2.1 eru niðurstöður níu sýna frá tíu mismunandi námum/skeringum þar sem steinefni var unnið úr klöpp í burðarlag. Um var að ræða tveggja brota efnisvinnslu með misöflugum kjaftbrjótum og kónbrjótum. Hörpur voru tengdar inn á vinnsluna nema á tveimur stöðum (A og E1) og efnið þar ekki hringrásað.

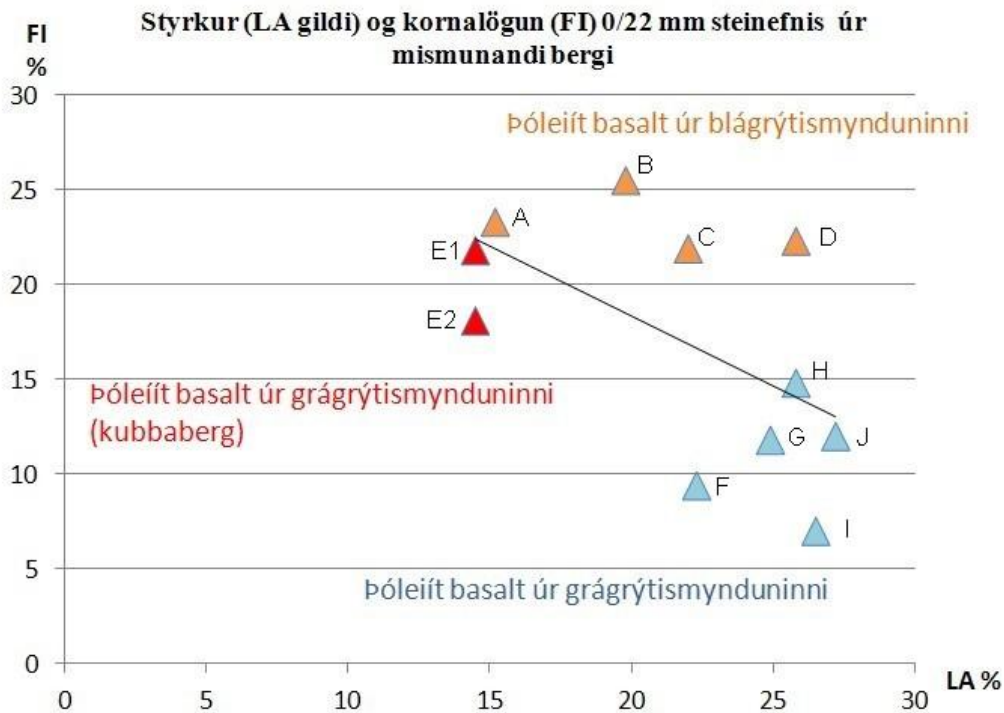
Berg	Hringrás	Styrkur (LA)	Slitþol kvarnargildi (A_N)	Kornalögun kleyfnistuðull (FI)	
		%	%	0/22 mm	0/45 mm
<i>Þóleiit basalt úr blágrýtismynduninni:</i>					
A)Þóleiit basalt		15,2	26,6	23,3	29,4
B)Þóleiit basalt	X	19,8		25,5	28,3
C)Þóleiit basalt*	X	22	30,4	21,9	26,6
D)Þóleiit basalt	X	25,8	17,6	22,3	
<i>Þóleiit basalt úr grágrýtismynduninni (hart kubbaberg):</i>					
E1)Þóleiit basalt		14,5	8,7	21,8	
E2)Þóleiit basalt	X			18,1**	
<i>Þóleiit basalt úr grágrýtismynduninni</i>					
F)Þóleiit basalt	X	22,3	8,7	9,4	29,2
G)Þóleiit basalt	X	24,9	12,4	11,8	
H)Þóleiit basalt	X	25,8	12,4	14,8	
I)Þóleiit (grágrýti)	X	26,5	30,2	7	
J)Þóleiit basalt)*	X	27,2	10,5	12	

* $\text{ÁDU}_p > 100$ og því voru kröfur til kornalögunar FI_{20} .

Tafla 6.2.2.1. Styrkur (LA gildi), slitþol (kvarnargildi A_N) og kornalögun (kleyfnistuðull, FI) á 0/22 mm og 0/45 mm steinefni frá 9 stöðum á Íslandi.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Þegar kornalögun (FI) 0/22 mm steinefnisins er birt sem fall af styrk efnisins (LA) þá sýna niðurstöður að með hækkandi LA gildi þá lækkar FI gildið (sbr. fylgnilínu), þ.e. eftir því sem að efnið er veikara því betri verður kornalögunin (Mynd 6.2.2.6). Á myndinni sést að efnið flokkast í þrjá hópa: þóleiít basalt úr blágrýtismynduninni (appelsínugult), þóleiít basalt úr grágrýtismynduninni, hart kubbaberg (rautt) og þóleiít basalt úr grágrýtismynduninni (blátt).



Mynd 6.2.2.6. Styrkur (LA gildi) og kornalögun (FI) úr 0/22 mm steinefni.

Greinilegt er að engin fylgni er milli styrkleika (LA) og kornalögunar (FI) á sýnum úr þóleiít basalti úr blágrýtismynduninni (A, B, C, D). Breytileiki bergsins er slíkur að hann spannar allt frá því að vera hart berg yfir í veikt berg. Meðalgildi á 0/22 mm steinefni er LA = 20,7 og FI = 23,2.

Niðurstöðurnar liggja á allt öðru bili þegar þóleiít basalt í grágrýtismynduninni er skoðað (F, G, H, I, J). Þar sem efnisvinnslan á 0/22 mm steinefni fór fram í frekar mjúku grágrýti náðist góð kornalögun. Kornalögunin er breytileg, allt frá 7 og upp í 14,8. Meðalgildið er í kringum 11. Greinilegt er að í þessu tiltekna bergi þá er nokkur fylgni milli kornalögunar (FI) og styrkleika (LA). Því hærra sem LA gildið er (minni styrkur) því betri verður kornalögunin (teningslaga efni). Eins og komið hefur fram áður myndast mun meira af fínefnum eftir því sem styrkur bergsins er minni, og þá sérstaklega í þóleiít basalti í grágrýtismynduninni.

Tvö sýni eru í flokknum þóleiít basalt úr grágrýtismynduninni (hart kubbaberg/stuðlaberg - rautt). Þau eru öðruvísi heldur en hefðbundið grágrýti að því leiti að hér er um kubbaberg og stuðlaberg að ræða. Um er að ræða mjög hart og sterkt berg. Annað sýnið (0/22 mm) (E1) er með kornalögun 21,8. Uppsetningin í efnisvinnslunni var: kjaftbrjótur + kónbrjótur. Engin milliharpa var í uppsetningunni þannig að allt efni fór úr kjaftbrjót og strax yfir í kónbrjót og þaðan út í haug. Efninu var ekki hringrásað. Kornalögunin hefði orðið betri ef harpa hefði verið með í uppsetningunni. Annað hvort fyrir aftan kónbrjótinn eða á milli brjótanna. Úr sömu námu var unnið samskonar efni en (E2) með annarri uppsetningu. Kornalögunin var 18,1. Uppsetningin var: kjaftbrjótur + harpa + kónbrjótur og auk þess hringrás. Hér var harpa í

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

uppsetningunni þannig að allt efni fór úr kjaftbrjót yfir í hörpu og þaðan yfir í kónbrjót. Yfirstærðum var hringrásað. Þarna munar rétt um 4% sem getur haft mikið að segja þegar kemur að kornalögun. Nauðsynlegt er því að hringrás efni. Ef efnið er ekki hringrásað þá verður áberandi mikið af yfirstærðum í steinefninu og einnig hefur það áhrif á lögun vegna þess að bergið er svo hart.

Eftir því sem að burðarlagefnið er grófara þeim mun erfiðara er að ná tilsettum kröfum sem settar eru um kornalögun, og sérstaklega ef kröfur til kornalögunar eru FI_{20} . Ástæðan er sú að í efnisvinnslunni er hringrásin mun minni og nánast engin þegar netin í hörpunni eru gróf. Í 0/45 mm efni eru netin í hörpunni til dæmis 55 mm og 60 mm. Eftir því sem að netin eru smærri myndast meiri hringrás og öfugt. Eins og komið hefur fram áður þá er hefðbundin uppsetning í efnisvinnslu eins og tíðkast hér á landi: kjaftbrjótur, harpa og kónbrjótur. Stór hluti steinefnisins nær réttri stærð strax eftir kjaftbrjót og fer því aldrei inn á kónbrjót vegna þess að harpan stærðarflokkar efnið.

Einungis efni frá tveimur stöðum sem var skoðað var sett á vegi þar sem umferðarpungi er $\dot{A}DU_p > 100$ og hámarkskröfur kornalögunar FI_{20} . Um var að ræða þóleiít basalt úr blágrýtismynduninni (C) og þóleiít basalt úr grágrýtismynduninni (J). Kornalögun á 0/45 mm efni var einungis athugað á öðrum staðnum (J). Fyrir 0/45 mm steinefni var FI stuðullinn 26,6 og 21,9 fyrir 0/22 mm steinefni. Efnið stóðst því ekki kröfurnar um kornalögun. Engin milliharpa var í uppsetningunni þannig að allt efni fór úr kjaftbrjót og strax yfir í kónbrjót og þaðan út í haug. Betri kornalögun hefði náðst með hörpu og hringrás. Enn betri kornalögunin hefði líklega náðst ef harpa hefði verið fyrir aftan kónbrjótinn.

Allt annað efni (A, B, D, E1, E2, F, G, H, I) sem var skoðað var notað á vegi þar sem umferðarpungi var $\dot{A}DU_p > 10$ og hámarkskröfur kornalögunar FI_{30} . Efnið stóðst því kröfurnar um kornalögun.

Burðarlag úr seti

Efnið í setnámum er mjög breytilegt og getur það skapað ákveðin vandamál. Námurnar geta verið lagskiptar og þær geta verið sendnar (sandhlykkur), óhreinar (fínefni) og mölin fíngerð (lítill grófleiki). Þegar efnið er mjög lagskipt getur reynst nauðsynlegt að langýta efninu með jarðýtu. Ýtan skásker þá lögin og við það blandast efnið.

Ef náman er of sandrík (með sandhlykk) getur þurft að taka undan sand. Ef efnið er fínefnaríkt, þ.e. með stærðum minni en 0,063 mm í of miklu magni þarf að fjarlægja það efni. Stundum er það gert með þvotti. Ef grófleikinn á setinu er ekki til staðar getur reynst erfitt að ná ásættanlegu brothlutfalli. Eins og kemur fram á síðu 35 þá segir *brothlutfall* til um hlutfall brotinna korna en aukið brothlutfall eykur stæðni efnisins. Reiknað er út vegið meðaltal fyrir sýnið og niðurstaðan gefur upplýsingar um steina sem eru albrotinir og steina sem eru alveg núnir (óbrotinir). Skoðuð eru þrjú til fjögur kornastærðabil. Eftir því sem framleiða á grófara burðarlag úr seti því erfiðara getur verið að ná fram því brothlutfalli sem kröfur gera ráð fyrir, sérstaklega ef hráefnið sem á að mala er ekki nógu gróft. Kröfur fyrir burðarlag eru þær sömu hvort sem um er að ræða 0/22 mm efni, 0/45 mm efni eða 0/63 mm efni.

Ekki er algengt að þvo setefni í neðri hluta burðarlagsins. Það getur hinsvegar reynst nauðsynlegt að þvo steinefni í efri hluta burðarlagsins og þá er það gert með þvottahörpu og snigli.



Mynd 6.2.2.7. Mölun á burðarlagi í Búastaðanámu í Vesturdal í Vopnafirði (Hafdís Eygló Jónsdóttir 2012).

Í meðfylgjandi dæmi var verið að vinna 0/45 mm og 0/22 mm burðarlag úr seti (Mynd 6.2.2.8). Efnið var gróft, lagskipt og mjög fast.

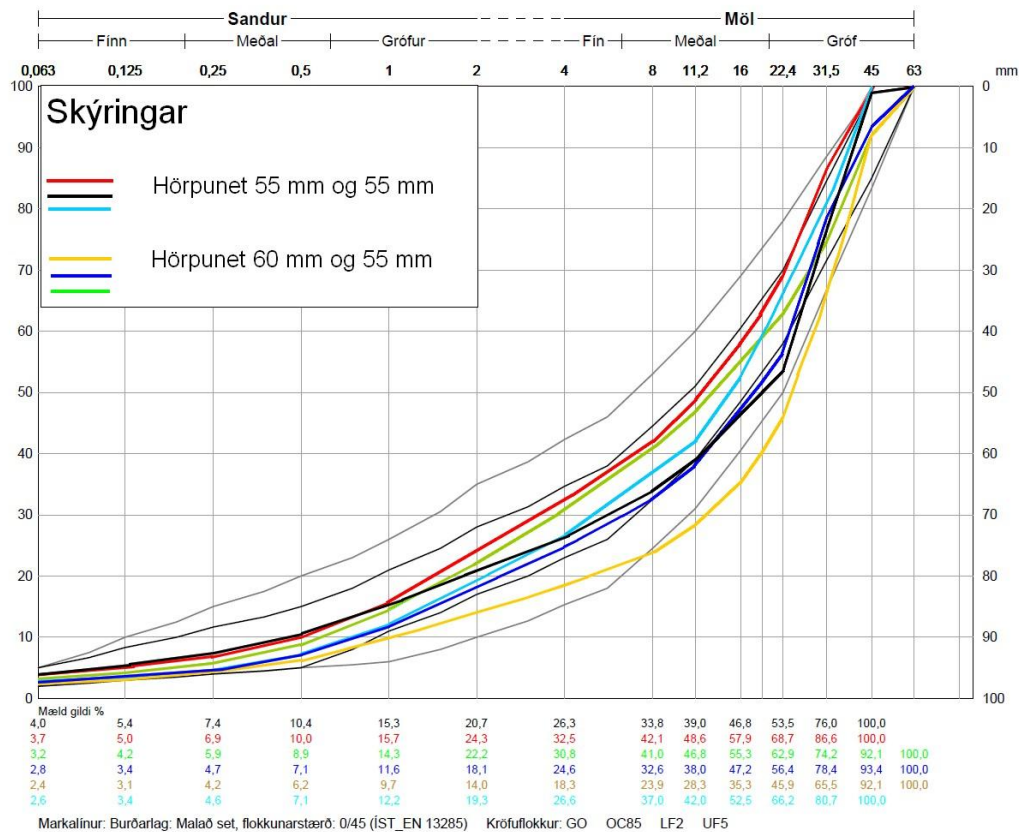
Efnið var forbrotið á forbrjót LT105 kjaftbrjót sem er á beltum (ráðlögð stærsta steinastærð má samkvæmt framleiðanda vera 560 mm). Þaðan fór það á færibandi yfir í Nordberg GPD 300 mölunarsamstæðu með kónbrjóti með topplegu og hörpu. Í samstæðunni er matari með millihörpu.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Framleiðsla á 0/45 mm efni

Í 0/45 mm efninu var 30 mm sigti á millihörpunni. Efni sem var minna en 30 mm fór út á hliðarbandi og sameinaðist bandi af eftirhörpu og fór þaðan út í haug. Matarinn skammtaði efni sem var stærra en 30 mm inn á eftirhörpu. Af eftirhörpu fóru yfirstærðir áfram inn á kónbrjót sem var með opnunina 26 til 27 mm og annað fór beint út í haug. Úr kónbrjót fór efnið aftur inn á eftirhörpu og þaðan út í haug.

Kornakúrfur úr vinnslu á 0/45 mm efni úr seti



Mynd 6.2.2.8. Kornakúrfur úr vinnslu á 0/45 mm efni úr seti með mismunandi hörpunetum.

Tvö 55 mm net voru fyrst í eftirhörpunni. Í 0/45 mm efni þarf að lágmarki að sitja 1% á 45 mm sigti. Leyfilegt er að hafa allt að 15% yfir efri flokkunarstærð (D). Kornastærðardreifing þriggja sýna sem voru skoðið í framleiðslunni sýndi öll að allt efni smaug 45 mm sigti (Mynd 6.2.10). Ákveðið var að breyta um efsta netið og var sett 60 mm net efst. Þar fyrir neðan var sigtastærðin 55 mm. Kornastærðardreifing þriggja sýna sem voru skoðuð í framleiðslunni sýndu öll að allt efni smaug 63 mm sigti. Á bilinu 6 til 8% voru yfir efri flokkunarstærð þ.e. 45 mm. Með því að breyta stærð neta breyttist brothlutfall efnisins (Tafla 6.2.2.2).

Kröfur fyrir brothlutfall, sem eru háðar fjölda þungra bíla, voru $C_{50/30}$. Þegar að 55 mm og 55 mm net voru í hörpunni var vegið meðaltal brothlutfalls $C_{54/35}$ og stóðst efnið því kröfur til hlutfalls brotinna steina en hlutfall óbrotinna steina er aðeins of hátt. Ekkert var í stærðarflokknum 32-64 mm en efnið þarf að ná 10% af heildarþunga í hverjum flokki til að ná mælingu. Þegar netin í hörpunni voru 60 mm og 55 mm þá var vegið meðaltal brothlutfalls $C_{41/40}$ sem var töluvert lakara. Nú var efni í grófasta flokknum, þ.e. 32-64 mm stærðarflokknum. Dæmið leit öðruvísi út þegar netin voru bæði 55 mm. Þá varð aukning í broti í öllum kornastærðarflokknum. Niðurstaðan er sú að til að ná lágmarks yfirstærðum þá

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

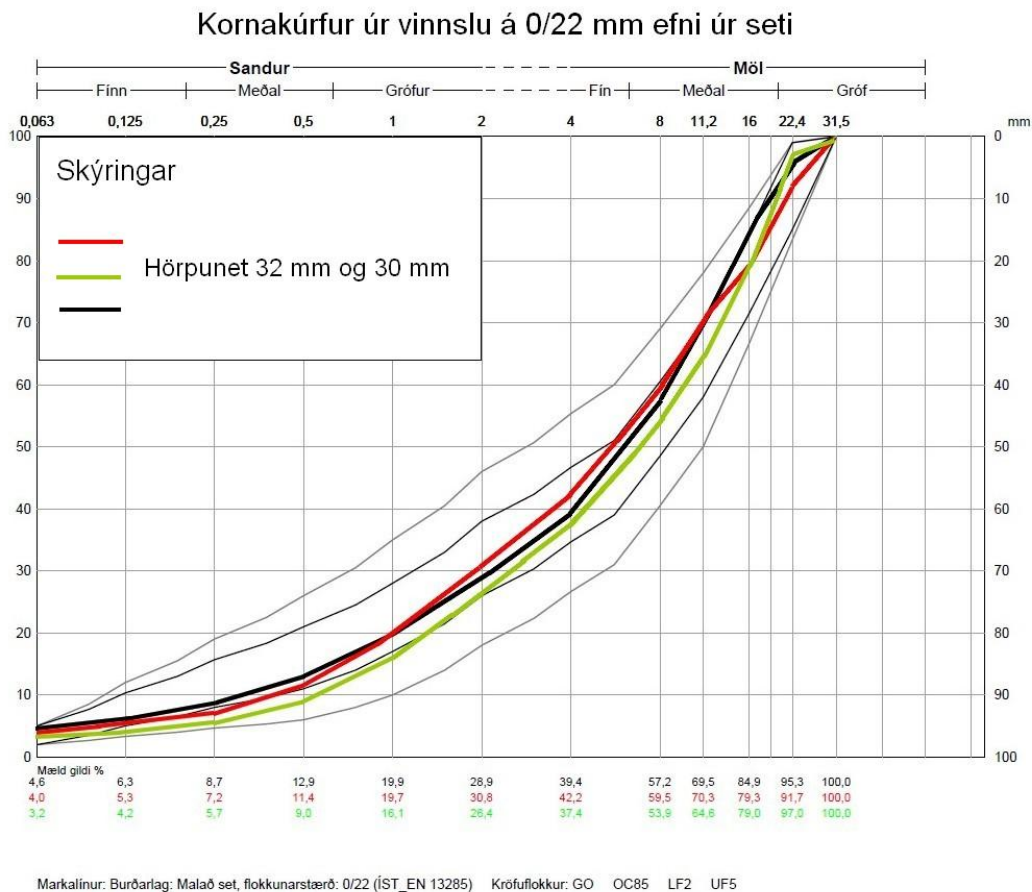
þarf að hafa stærri möskva. Þetta er gert á kostnað brothlutfalls. Brothlutfallið í grófustu kornarstærðarflokkunum lækkar töluvert með grófari netum.

Efni	Kröfu flokkur	Net mm	Brothlutfall ¹⁵				Vegið meðaltal
			4-8 mm	8-16 mm	16-32 mm	32-64 mm	
0/45 mm	50/30	55 og 55	46/42	58/31	58/32	-	54/35
0/45 mm	-	60 og 55	41/45	48/46	45/31	27/51	41/40
0/22 mm	50/30	32 og 30	77/13	52/9	58/20		61/13
0/22 mm	-	32 og 30	75/20	64/25	57/21		68/22

Tafla 6.2.2.2. Brothlutfall 0/22 mm og 0/45 mm steinefnis úr mól.

Framleiðsla á 0/22 mm efni

Í 0/22 mm efni var sama uppsetning notuð en sigtin í hörpunni voru 32 mm og 30 mm. Opnunin á kónbrjótnum var um 25 mm. Auk þess var undantekt á 10 mm forhörpu, á bilinu 6 til 7%.



Mynd 6.2.2.9. Kornakúrfur úr vinnslu á 0/22 mm efni úr seti.

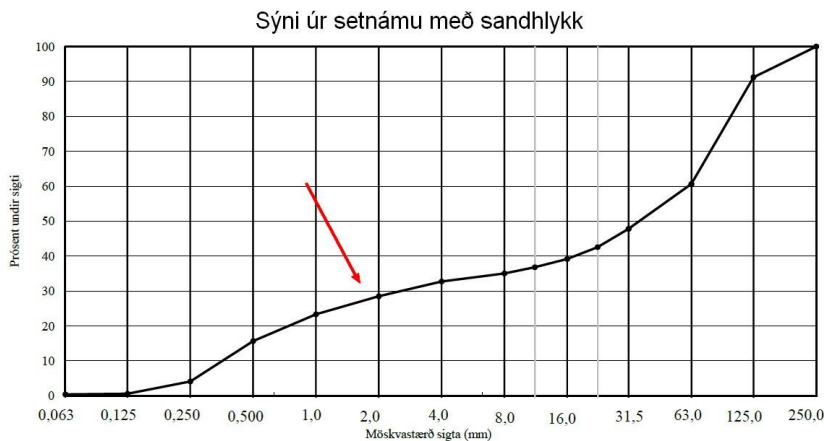
¹⁵ Í töflunni er birt brothlutfall kornastærðarflokka sem voru mældir og að lokum vegið meðaltal úr öllum mælingunum.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Í 0/22 mm efni þarf að lágmarki að sitja 1% á 22 mm sigti. Leyfilegt er að hafa allt að 15% yfir efri flokkunarstærð (D). Kornastærðardreifing þriggja sýna sem voru skoðuð í framleiðslunni sýndu öll að allt efni smaug 31,5 mm sigti (Mynd 6.2.2.9). Á bilinu 3 til 8% voru yfir efri flokkunarstærð.

Framleiðsla 0/22 mm efnis gekk mun betur en 0/45 mm efnis hvað varðar brothlutfall. Mun minna mál er að ná broti í fínna efni. Netin eru smærri og þar af leiðandi er meiri hringrás í vinnslunni. Vegið meðaltal brothlutfalls var $C_{61/13}$ og $C_{68/22}$ og stóðst efnið því kröfur um brothlutfall.

Millistærðir Algengt vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr seti er of hátt hlutfall af millistærðum (0,250– 8 mm). Mjög algengt er að hlutfall sands sé of mikið í efni sem verið er að vinna. Taka þarf þá sand út á forhörfu forbrjóts eða á millihörpu fyrir eftirbrjót. Á mynd 6.2.2.10. er gróf mól með sandhlykk. Þegar svona efni er malað verður of mikið af sandstærðum. Nauðsynlegt er því að taka sand undan á forhörfu forbrjóts eða eftirbrjóts. Í þessu tilfelli er undantektin nálægt 20%.



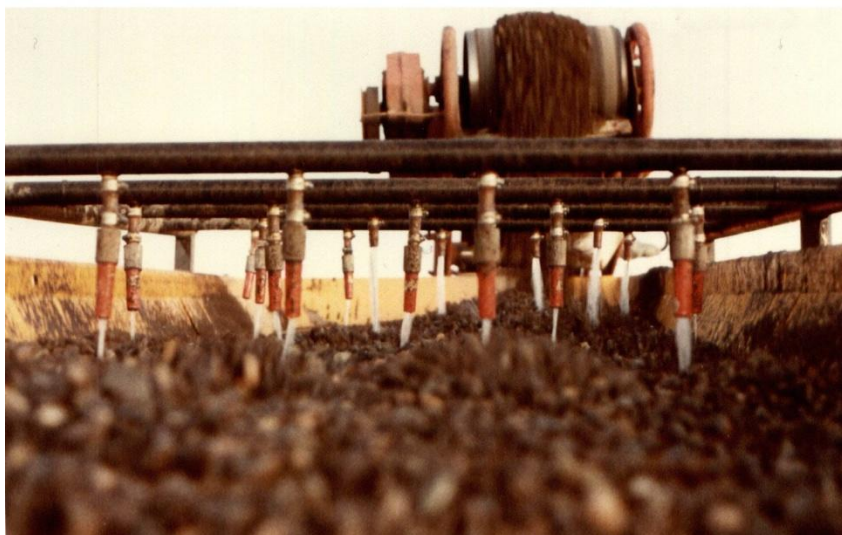
Mynd 6.2.2.10. Set með sandhlykk. Örin bendir á sandhlykkinn.

Fínefni Algengt vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr seti eru fínefni/óhreinindi. Mjög algengt er að hlutfall fínefna aukist við vinnsluna. Þegar efnið er komið út í veg má búast við áframhaldandi niðurbroti og myndun fínefna. Það sem hægt er að gera og hefur þá áhrif á aðra þætti er að taka sand út á forhörfu forbrjóts eða á millihörpu fyrir eftirbrjót. Hættan við þetta er að missa út of mikið af millistærðum. Ef ekkert annað efni er í boði þá þarf að þvo efnið. Ef það er gert þá þarf að byrja að þvo það á þvottahörpu og síðan þarf að þvo það í snigli. Það er ekki nóg að velta því í rennandi vatni. Ókosturinn við þvottinn er að



hann getur leitt til þess að efnið verður óstöðugt og þá sérstaklega ef millistærðirnar, þ.e. sandstærðirnar, hafa þvegist úr efninu. Á myndum 6.2.2.11 og 6.2.2.12 er sýndur þvottur á burðarlagsefni með þvottahörpu.

Mynd 6.2.2.11. Malarvinnslan að þvo efri hluta burðarlags með þvottahörpu í Grímsá í Skriðdal (Hilmar Finnsson 1983).



Mynd 6.2.2.12. Þvottur á burðarlagsefni með þvottahörpu. Malarvinnslan að þvo efri hluta burðarlags í Grímsá í Skriðdal. (Hilmar Finnsson 1983).

6.2.3 Klæðingarefni

Klæðingarefni eru ýmist flokkuð eða óflokkuð. Algengast er þó að nota flokkað efni í klæðingar. Kröfur til klæðingarefna eru talsvert miklar. Gerða eru kröfur um kornadreifingu, kornalögun, brothlutfall og viðloðun (hreinleiki) en auk þess eru gerðar kröfur til berggæða. Óflokkað steinefni í klæðingu er enn notað en í litlu mæli og er þá notað á umferðarminni vegi og þá fyrst og fremst í neðra lag klæðingar á nýbyggingar en einnig í yfirlagnir. Ókostur við óflokkað klæðingarefni er mikið ryk og fínefni, sem eru frek á bindiefni. Sum þeirra, sérstaklega þjál fínefni, eyðileggja viðloðunina. Með breyttum bindiefnum hefur verið reynt að yta óflokkuðu efni út.

Það getur reynst nauðsynlegt að þvo klæðingarefni. Flokkað klæðingarefni er þvegið á þvottahörpu og óflokkað klæðingarefni er þvegið á þvottahörpu og snigli.

Þegar verið er að framleiða klæðingarefni þá eru afköstin í vinnslunni mun minni en þegar burðarlagsefni er unnið. Brjóturinn er keyrður mun hægar, og framleiðslan er t.d 40 m³/klst miðað við 100 m³/klst í burðarlagsefni.

Almennt hefur gengið vel að framleiða flokkað klæðingarefni með tveimur brotstigum. Mikilvægt er að hafa öflugra hörpu sem ræður vel við að flokka efnið í þrjú flokka. Algengir stærðarflokkar klæðingarefnis eru 8/11 mm, 11/16 mm og þriðji flokkurinn í vinnslunni er þá 0/8 mm sem er afgangsstærð sem oft er notuð sem háлкуvarnarsandur og stundum ef sandurinn er góður og millistærðir vantar í burðarlag sem hefur verið ekið út í veg, þá er hægt að dreifa honum yfir. Dæmi um aðra stærðarflokka flokkaðs efnis eru 8/16 mm og 4/16 mm.

Við framleiðslu á steinefni í klæðingar í umferðamikla vegi eru gerðar auknar kröfur til kornalögunar. Til að ná þessum kröfum þá þyrftu í einhverjum tilfellum að vera þrjú brotstig. Algengt er að vera með lóðréttan hverfibrjót (VSI brjót) sem 3. stigs brjót í vinnslulínu en einnig kónbrjót.

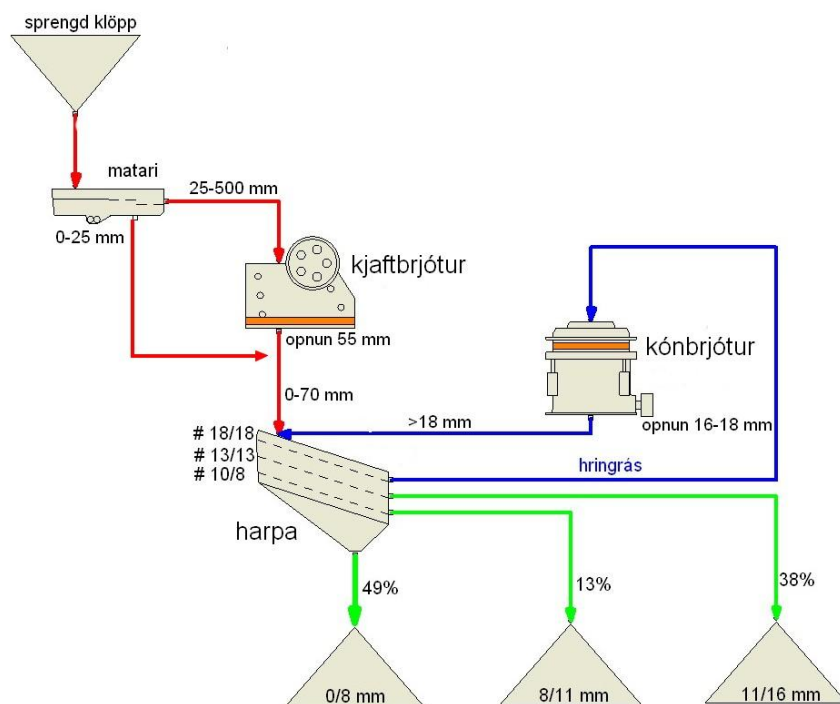
Steinefni sem hefur verið brotið með þremur brjótum verður teningslagaðra en steinefni sem er brotið í tveimur brjótum. Teningslaga flokkað klæðingarefni er mjög gott í heillagnir. Ekki er gott að nota það í hjólför né blettanir því brúnin verður svo skörp og auk þess verður blettunin gróf og þykk. Við mokstur, yfir vetratímamann, hefur brotnað uppúr svona yfirlögnum. Í hjólför og blettanir hefur því verið notað kónbrotið efni. Ástæðan er sú að það er meira flögótt og leggst betur í hjólförin. Engin skörp brún myndast og lagið verður ekki eins þykkt.

Klæðingarefni er bæði unnið úr klöpp og seti.

Klæðingarefni úr klöpp

Klæðingarefni úr klöpp er í flestum tilfellum flokkað. Við framleiðslu á flokkuðu klæðingarefni úr klöpp má framleiðslan ekki innihalda óæskileg efni s.s. lélegar bergtegundir því strangar kröfur eru gerðar til berggæða s.s. frostþols, styrkleika og slitþols. Óhreini í efninu draga úr viðloðun.

Á mynd 6.2.3.1 er sett upp dæmi um framleiðsluferil fyrir flokkað klæðingarefni úr klöpp. Öll tækin eru á beltum. Matarinn er sambyggður kjaftbrjótnum sem er af tegundinni Lokotrack LT105. Opnunin á kjaftbrjótnum var höfð mjög þröng, 55 mm. Í mataranum er forharpa. Allt efni sem var minna en 25 mm fór framhá forbrjótnum og sameinaðist vinnslunni eftir forbrjót. Þaðan fór það inn á stóra 3ja dekkja hallandi hristihörpu (Lokotrack ST458). Efnið var flokkað í 3 flokka: 0/8 mm, 8/11mm og 11/16 mm. Hörpunarflötur hörpunar er 7.9 m². Möskvarnir á sigtum á hverri hæð voru hafðir 2 mm stærri en hámarks Kornastærð í hverjum flokki. Stór hluti efnisins fór beint út í haug en um 30% efnisins sem var að hluta til yfirstærðir fór í HP200 kónbrjót og þaðan aftur yfir á hörpu. Töluvert berggryk var í vinnslunni og til þess að minnka rykið var brugðið á það ráð að úða vatni með spísum á efnið á færiböndum. Ekkert vatn var á staðnum en verktakinn boraði ofan í klöppina og náði þannig vatni.



Mynd 6.2.3.1. Dæmi um framleiðsluferil fyrir flokkað klæðingarefni úr klöpp. Þessi uppsetning er mjög algeng hér á landi fyrir klæðingarefni, hvort sem er úr klöpp eða seti.

Í flokkuðu efni er hægt að velja um 3 kröfuflokka þar sem settar eru kröfur um leyfilegar undir- og yfirstærðir. Í leiðbeiningum Vegagerðarinnar er mælt til að notaður sé flokkur Gc90/10¹⁶. Þegar þessi kröfuflokkur er valinn þá mega leyfilegar undirstærðir fyrir stærðarflokkinn vera á bilinu 0-10% þ.e. allt að 10% efnisins má smjúga 11 mm sigti ef stærðarflokkurinn er 11/16 mm. Leyfilegar yfirstærðir mega vera allt að 9%, þ.e. 90-99%

¹⁶ G_cX/Y táknar að minnst X % efnisins eiga að smjúga grófara sigtið (efri flokkunarstærð, D) og mest Y % mega smjúga það fínna (neðri flokkunarstærð, d).

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

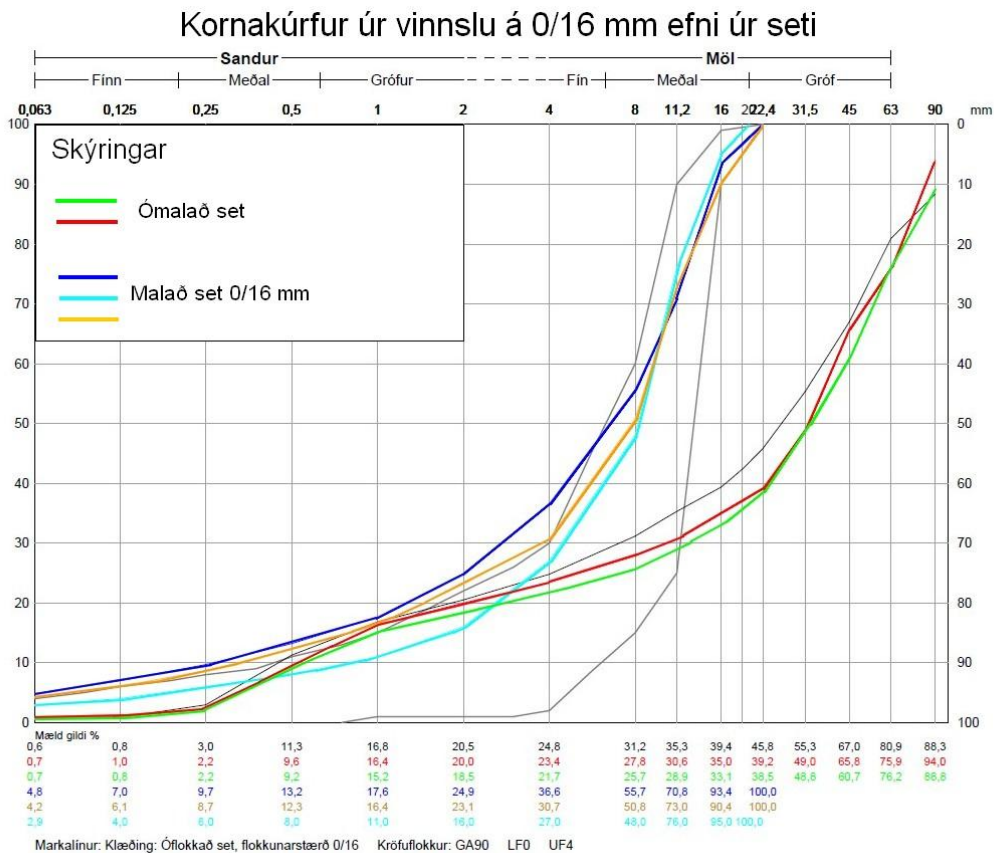
efnisins verður að smjúga 16 mm sigtið. Mælst er einnig til þess að magn fínefna sé <1 % undir 0,063 mm. Allt efnið verður að smjúga 22,4 mm sigti.

Eins og kom fram hér á undan var steinefnið flokkað í 3 flokka: 0/8 mm, 8/11mm og 11/16 mm. Mest var af afgangsstærðinni 0/8 mm (háلكuvarnarsandi) eða hátt í 50% steinefnisins. Þetta er mjög hátt hlutfall en er mjög algengt þegar verið er að framleiða flokkað klæðingarefni. Þetta er mjög mikil efnisrýrnun sem ekki er hægt að komast hjá.

Klæðingarefni úr seti

Klæðingarefni úr seti eru ýmist flokkuð eða óflokkuð. Sömu kröfur gilda um klæðingarefni úr seti og fyrir berg. Strangar kröfur eru gerðar til berggæða s.s. frostþols, styrkleika og slitþols. Óhreinindi í efninu draga úr viðloðun sem er einn af ókostum þess að velja óflokkað efni.

Í meðfylgjandi dæmi eru sýndar kornakúrfur úr setnámu áður en efnið var malað og eftir að það var malað, 0/16 mm (Mynd 6.2.3.2). Töluverður sandhlykkur var á efninu eins og það kom fyrir ómalað. Í vinnslunni var um 20% sands tekin undan. Fínefnahlutfallið var undir 1%. Við mölun jókst fínefnahlutfallið og var á bilinu 2,9 til 4,8% en samkvæmt markalínu skal fínefnahlutfall ekki vera hærra en 4% í óflokkuðu efni. Af þremur kúrfum stóðst einungis ein kúrfan kröfur miðað við þennan kröfuflokk. Líklega hefði verið eðlilegast að taka aðeins minna magn sands undan. Þannig hefði neðri partur kúrfunar líklegast síkkað lítás háttar og þá hefði aukning fínefna orðið minni.

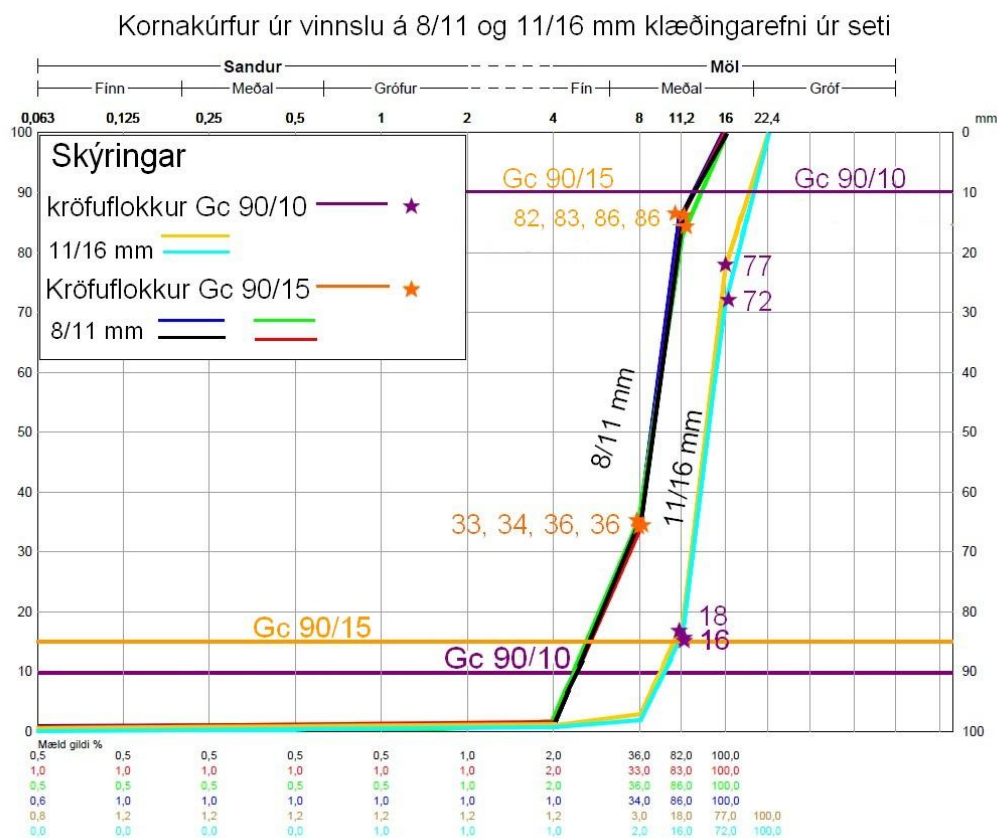


Mynd 6.2.3.2. Sáldurferlar úr seti, fyrir og eftir mölun. Rauði og græni ferillinn sýna óunnið set. Sandhlykkurinn á óunna efninu er greinilegur. Svörtu grönnu línurnar eru markalínur fyrir óflokkað 0/16 mm klæðingarefni.

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

Í meðfylgjandi dæmum eru sýndar nokkrar kornakúrfur á flokkuðu klæðingarefni, þ.e. 8/11 mm og 11/16 mm (Myndir 6.2.3.3 og 6.2.3.4). Um er að ræða tvær góðar setnámur og tvo efnisvinnsluverktaka A og B sem báðir eru með stakan forbrjót, malarasamstæðu með kónbrjót og misöflugar hörpur. Kröfuflokkarnir fyrir klæðingarefnið voru ekki þeir sömu. Hjá efnisvinnsluverktaka A voru kröfuflokkarnir Gc 90/10 og Gc 90/15. Hjá efnisvinnsluverktaka B var einungis einn kröfuflokkur Gc 90/10.

Efnisvinnsluverktaki A (Mynd 6.2.3.3). Fyrir kröfuflokk Gc 90/10 og 11/16 mm efni má 0 – 10% af efninu smjúga 11 mm sigti og 90 – 99% af efninu skulu smjúga 16 mm sigti (fjólublá lína). Fyrir kröfuflokk Gc 90/15 og 8/11 mm efni má allt að 15% af efninu smjúga 8 mm sigti og 90 – 99% af efninu skulu smjúga 11 mm sigti (appelsínugul lína). Efnið var þvegið á hörpu. Harpan var með 3 hæðum og á hverri hæð eru tvö sigti og flatarmál þeirra er samtals 1,4 x 4 og hörpunarflöturinn 5,6 m². Efst var 18/18 mm sigti. Þar fyrir neðan 12/12 mm sigti og neðst 9/9 mm sigti.



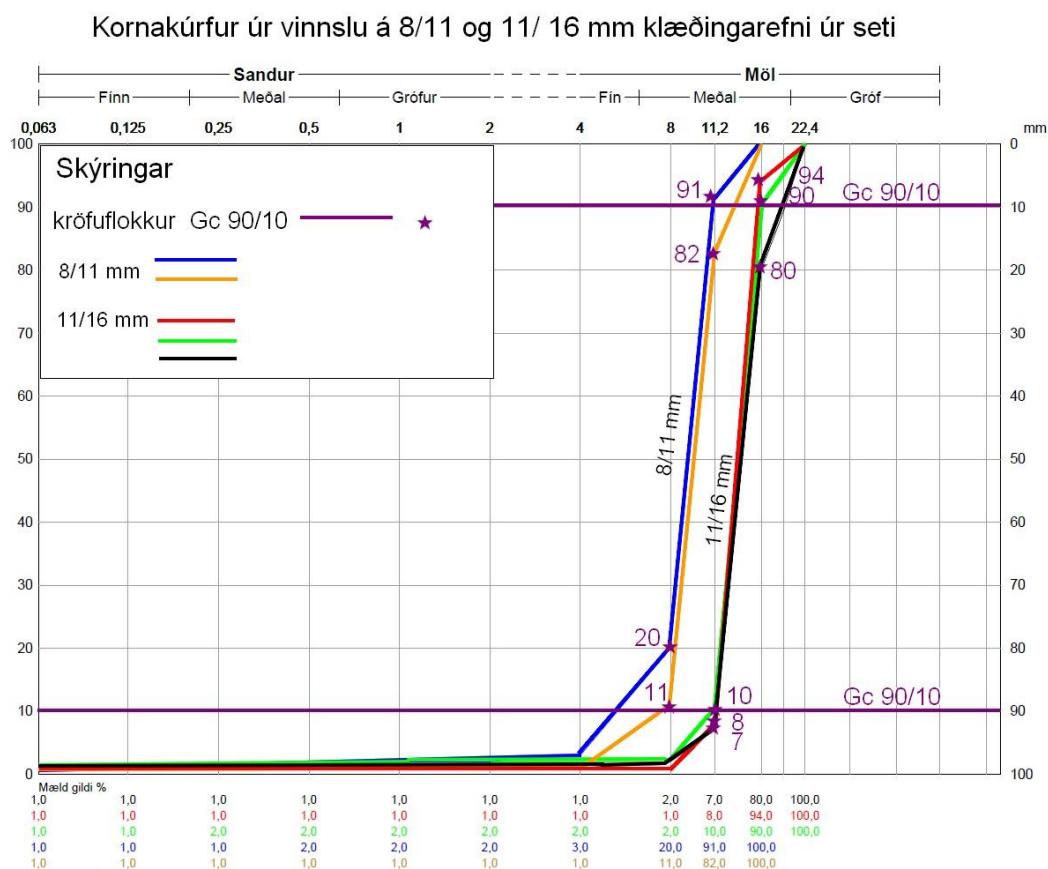
Mynd 6.2.3.3. Efnisvinnsluverktaki A. Kornakúrfur úr flokkuðu klæðingarefni.

Framleiðslan hvern dag var um 640 m³ fyrir 14 klukkustundir og skiptist þannig: 32% 0/8 mm, 33% 8/11 mm og 22% 11/16 mm. Að meðaltali 46 m³ af efni á klukkustund. Steinefnaflokkur 11/16 var með of mikið af undirstærðum, eða á bilinu 16 til 18%. Yfirstærðir í þessum kröfuflokki mega vera að hámarki 9% en voru 23% til 28%. Steinefnaflokkur 8/11 var með allt of mikið af undirstærðum eða allt að 36% en hámarkið er 15%. Efri mörkin stóðust. Efnið stóðst ekki þær kröfur sem settar voru fram.

Efnisvinnsluverktaki B (Mynd 6.2.3.4). Fyrir kröfuflokk Gc 90/10 og 11/16 mm efni má allt að 10% af efninu smjúga 11 mm sigti og 90 – 99% af efninu skal smjúga 16 mm sigti (fjólublá lína). Fyrir 8/11 mm efni má allt að 10% af efninu smjúga 8 mm sigti og 90 – 99% af efninu skal smjúga 11 mm sigti. Harpan var með 3 hæðum og á hverri hæð eru tvö sigti og

FRAMLEIÐSLA ÓLÍKRA EFNISGERÐA

hörpunarflöturinn 8,0 m². Efst var 18 /18 mm sigti. Þar fyrir neðan 14/12 mm sigti og neðst 10/8 mm sigti.



Mynd 6.2.3.4. Efnisvinnsluverktaki B. Kornakúrfur úr flokkuðu klæðingarefni.

Afköst yfir daginn voru um 500 m³ á 14 klukkustundum og skiptist framleiðslan þannig: 47% 0/8 mm, 26% 8/11 og 27% 11/16 mm. Að meðaltali 35 m³ af efni á klukkustund. Af þremur sýnum af flokkunarstærðinni 11/16 stóðust tvö sýni kröfur. Eitt sýni var með of mikið af yfirstærðum eða 20%. Í steinefnaflokki 8/11 mm var annað hvort of mikið af undirstærðum eða of mikið af yfirstærðum. Yfir heildina stóðst efnið kröfur. Ástæður fyrir þessum mun eru margþættar. Hjá verktaka A hafa afköst verið látin ganga fyrir á kostnað gæða. Harpan hjá verktaka A er mun minni en hjá verktaka B og munar hátt í 3 m² á hörpunarfletinum. Verktaki A framleiddi meira efni en verktaki B hvern dag sem þýðir að harpan hefur verið ofhlaðin. Að meðaltali var framleiðslan á klukkustund 46 m³ hjá verktaka A en 35 m³ hjá verktaka B sem var með öflugri hörpu. Efnið hjá verktaka A var þvegið í framleiðslunni á þvottahörpu með frekar litla vatnsdælu. Raki getur valdið því að fínefnið loða við stærri korn, og einnig við yfirborð netsins, og kemur þá í veg fyrir að kornin fari í gegnum möskvana. Hugsanlega hefur vatnsdælan ekki verið nógu öflug. Að lokum hefur verið um meðvitaða ákvörðun verkkaupa að ræða þar sem óskað var eftir því að í afgangsflokknum yrði ekki 0/8 mm efni heldur 0/6 mm efni. Framleiðslunýting hjá verktaka A var 32% í 0/8 mm flokki, 33% í 8/11 mm flokki og 22% í 11/16 mm flokki. Hjá verktaka B skiptist framleiðslan þannig: 47% í flokki 0/8 mm, 26% í flokki 8/11 mm og 27% í flokki 11/16 mm. Það þykir ekkert óeðlilegt að í flokkuðu efni sé hlutfallið í 0/8 mm afgangshaugnum á bilinu 40 til 50%.

6.2.4 Malarslitlag

Malarslitlög eru alltaf óflokkuð. Við framleiðslu á malarslitlögum er yfirleitt unnið úr setmyndunum eins og jökulruðningi, berghlaupum og skriðum. Malarslitlög hafa þó einnig verið unnin úr öðru efni eins og klöpp. Námur sem eru notaðar í vinnslu malarslitlaga eru í breytilegum jarðmyndunum og misjafnar að gæðum.

Kröfur eru fyrst og fremst gerðar um kornadreifingu, kornalögun, fínefnahlutfall og hlutfall leirs. Kornadreifing skiptir miklu máli varðandi gæði malarslitlagsefna. Til að efni sé hæft sem malarslitlag, þarf það að innihalda ákveðið magn af fínefnum minni en 0,063 mm og einnig er gerð krafa um að hlutfall leirs (efni minna en 0,002 mm) skuli vera á bilinu 10% til 30% af heildarmagni fínefna.

Hérlendis er það einkum skortur á rakaheldum fínefnum sem einkennir efnisvinnsluna, þ.e. fínefni með eiginleika leirs eru oft ekki til staðar í þeim jarðmyndum sem malarslitlag er unnið úr. Fínefni á Íslandi eru oft að mestu leyti sylti sem bindur illa raka í efninu. Slík fínefni binda malarslitlagið ekki vel saman auk þess sem þau fjúka auðveldlega úr veginum (rokgjörn). Malarslitlagið þarf að rykbinda. Hér á landi er það yfirleitt gert með salti eða kalsíumklóríði sem dugar kannski part úr sumri. Einnig er hægt að rykbinda með DUSTEX sem er náttúruleg trjákvöða sem endist lengur.

Algeng vandamál varðandi vinnslu malarslitlagsefna hér á landi eru fyrst og fremst vöntun á góðum fínefnum og oft vantar líka grjót í efnið. Í einhverjum tilfellum er hægt að leysa þessi vandamál. Algengast er að bæta öðru efni inn í framleiðsluna, þ.e. *íblöndun*. Í lang flestum tilfellum þarf að bæta leir inn í efnið sem verið er að mala. Helst er að fá alvöru plastískan leir í berghlaupum sem finnast á eldri svæðum landsins. Sá leir kemur meðal annars úr rauðum millilögum en einnig hafa orðið til leirsteindir í berginu sem berghlaupið hefur fallið úr. Jökulruðningur sem er á eldri svæðum landsins ætti einnig að innihalda eitthvert magn leirs. Verra er með leir á yngri svæðum landsins og sömuleiðis á hálendinu. Þar eru fínefnin mikið til gleraska úr móbergi. Í berghlaupum sem hafa fallið úr yngri jarðlögum er mun minna af góðum fínefnum.

Á nokkrum stöðum á láglandi má finna alvöru plastískt leirset. Þessi staðir hafa einhvern tíman í jarðsögunni legið undir sjó. Slíkan leir má þá flytja allnokkra vegalengd til íblöndunar við vinnslu malarslitlags.

Stundum hefur verið látið nægja að harpa efni í malarslitlag en í flestum tilfellum er efnið malað. Við framleiðslu á malarslitlögum eru hafðir tveir brjótar og harpa. Mjög mikilvægt er að mala malarslitlagsefni fremur en að harpa það vegna þess að með mölun er hægt að bæta brothlutfall og kornalögun steinefnisins.

Á fáfarnari vegum þar sem að malarslitlag er horfið og grjótpúkk er í veginum, hafa menn af sparnaðarástæðum notað Kirby brjót sem tengdur er við öflugra dráttavél til að brjóta niður hluta af grjótinu sem er í veginum og búa þannig til malarslitlag á staðnum. Ókosturinn við þessa aðferð er að gengið er á burðarlag vegarins. Þessi aðferð hefur verið notuð á fjallvegi og héraðsvegi þar sem erfitt er að finna gott efni.

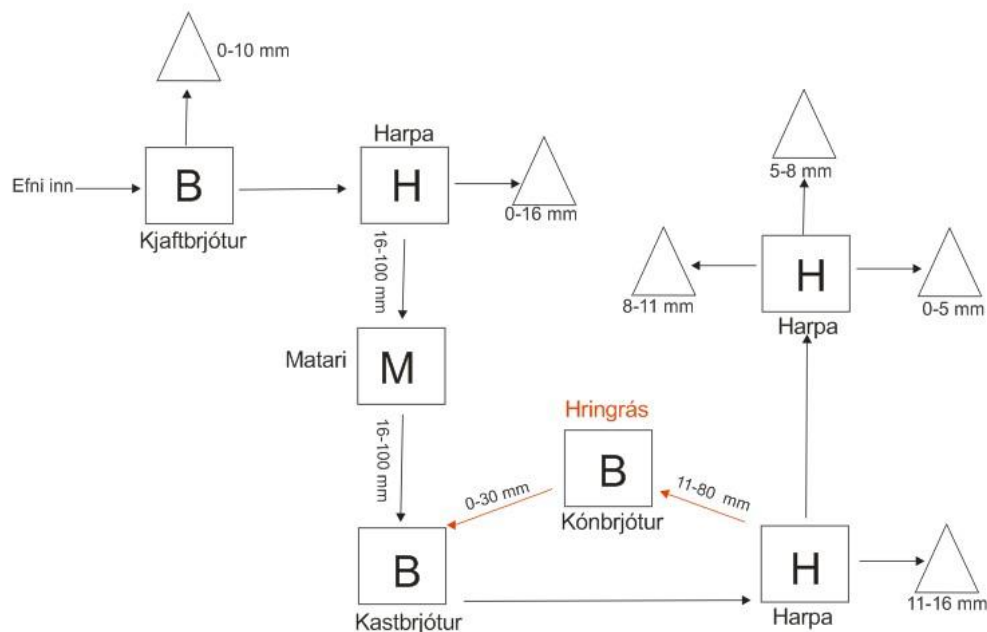
6.2.5 Malbik

Uppistaðan í malbiki er flokkað steinefni. Kröfur til steinefna sem notað er í malbik eru talsvert miklar. Kröfur eru gerðar um kornadreifingu, kornalögun, brothlutfall, viðloðun, berggerð og berggæði.

Steinefni í malbik eru nær alltaf flokkuð í tvo eða fleiri flokka. Algengir flokkar eru 0/5 mm, 5/8 mm, 8/11 mm og 11/16 mm (Mynd 6.2.5.1). Efnið er síðan blandað í réttum hlutföllum samhliða framleiðslu malbiksins. Þetta er gert til að hafa betri stjórn á kornadreifingunni.

Við framleiðslu á steinefni í malbik eru gerðar auknar kröfur til kornalögunar. Til að ná þessum kröfum þarf að hafa þrjú brotstig og hringrás. Algengt er að vera með kastbrjóta, þ.e. lóðréttan hverfibrjót (VSI brjót) eða láréttan hverfibrjót (HSI brjót) sem 3. stigs brjót í vinnslulínu fyrir steinefni í malbik m.a. til að auka hlut sands og fínafna (filler) og til að ná meiri teningslögun.

Framleiðsluferill fyrir malbik



Mynd 6.2.5.1. Malbiksframleiðsla. Í uppsetningunni eru 3 hörpur, þrjár brjótar: kjaftrjótur, kastbrjótur (láréttur hverfibrjótur) og kónbrjótur, matari og nokkur færíbönd.

7. SAMANTEKT UM VERKTÆKNI VIÐ MÖLUN STEINEFNA

Í þessum kafla eru tekin saman nokkur atriði sem gott er að hafa í huga í efnisvinnslu hvort sem um er að ræða vinnslu úr seti eða klöpp. Um öll þessi atriði var fjallað að einhverju leyti í skýrslunni.

Í efnisvinnslu er hægt að einhverju leyti að stýra kornadreifingu, brothlutfalli og kornalögun. Eftir gæðum hráefnisins getur reynst nauðsynlegt að bæta við viðbótarbúnaði, t.d. búnaði til að hreinsa, þvo eða flokka óæskileg efni úr framleiðslunni, eða bæta inn brjóti (þriðja brotstigi) til að bæta kornalögun eða bæta kornadreifingu efnisins.

Mikilvægt er í steinefnaframleiðslu að taka gæði fram yfir afköst. Gott steinefni skilar sér í góðum og öruggum vegum.

Eftirtalin atriði geta bæta kornalögun, kornadreifingu og brothlutfall:

- Fullmata (kokmata) eftirbrjótinn (miðað við kónbrjót). Passa að nóg efni sé í brjótum, þannig að efnið brjóti sig sjálft. Passa að síðasti brjótur sé ávallt fullmataður.
- Taka fínefni undan á forhörfu forbrjóts.
- Uppröðun á netum í hörpu.
- Skipta yfirborði neta í hörpu upp í einingar með minnkandi möskvastærð.
 - Gróf net: meiri afköst, fín net: minni afköst
- Hraði innmötunar (hröð mötun lokar á sigtin).
- Lögun keilu, tegund slitplata.
- Ný keila, hamrar, slitplötur
 - Er kominn tíma að skipta um keilu, hamra?
- Bæta öðru efni inn í framleiðsluna.
 - t.d. sandi.
- Víkka eftirbrjótinn (miðað við kónbrjót) og auka hringrás á efninu. Þetta eykur fyllingu efnisins í brjótum sem bætir kornalögun en minnkar afköst.
- Þrengja eftirbrjótinn (miðað við kónbrjót) og minnka hringrás á efninu. Þetta eykur hlutfall sands og fínmöl. Jafnframt eykur þetta hlutfall fínefna sem getur þurft að bregðast við. Kornalögun getur versnað. Aukin afköst.
- Stilla slaglengd (minna slag, betri kornalögun)¹⁷.

Að lokum ef allt annað þrýtur:

- Fjölga brotstigum, bæta við kastbrjót eða kónbrjót.
- Önnur gerð af brjót.

Nokkur atriði sem geta lækkað hlutfall fínefna:

- Flokka óæskilegt efni frá samhliða mokstri í brjótinn (draga efnið til og flokka, eða nota sérstakan skóflubúnað sem flokkar).
 - Þegar efni er mokað í brjót er mikilvægt að skilja lélegt efni frá, það getur sparað kostnaðarsamar aðgerðir við að hreinsa það úr að mölun lokinni. Athugull og vandvirkur gröfumaður getur gert gæfumuninn í þessu efni, en hann þarf stöðugt að vera á varðbergi. Þetta getur haft afgerandi áhrif á gæði framleiðslunnar.
- Taka fínasta hluta efnisins undan á matara forbrjóts.

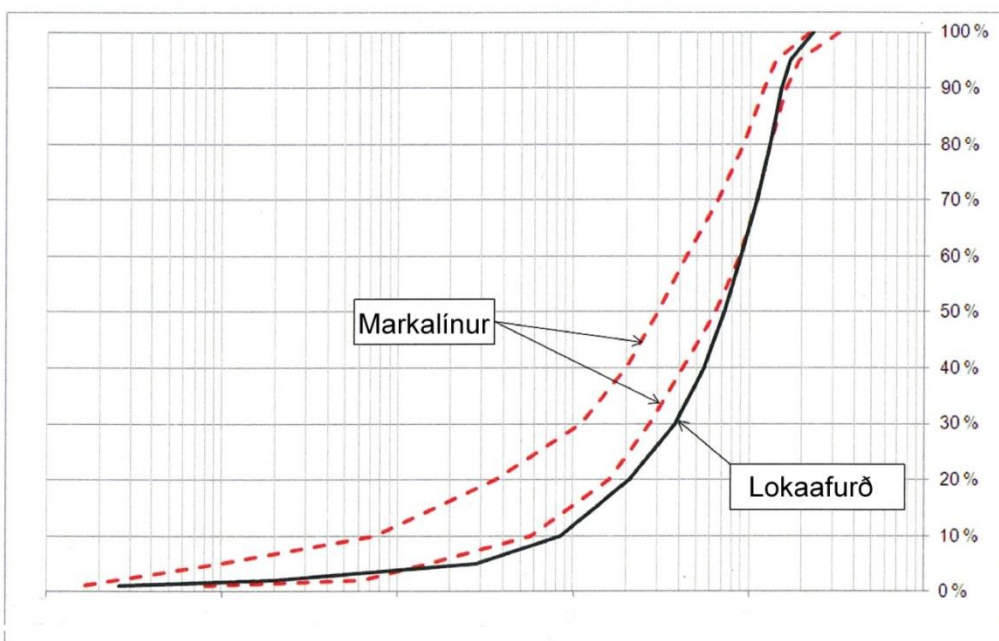
¹⁷ Einungis er hægt að stilla slaglengd á brjótum með topplegu og það er töluverð aðgerð þar sem rífa þarf brjótinn í sundur.

SAMANTEKT UM VERKTÆKNI VIÐ MÖLUN STEINEFNA

- Taka fínasta hluta efnisins út á millihörpu eftir forbrjót.
- Taka fínefni út á hörpu eftir annað brotstig.
- Þvo efnið á þvottahörpu og/eða í þvottasnigli.

Á myndinni hér fyrir neðan, mynd 7.1, er sýndur sáldurferill og þær markalínur sem ferillinn þarf að vera fyrir innan. Til þess að hægt sé að koma ferlinum inn fyrir markalínurnar þá er hægt að gera eftirfarandi:

- Stöðuga innmötun efnis og kokmata eftirbrjótinn.
- Minnka opnun (þrengja brjótinn).
- Minnka grófleikann á efninu inn í framleiðsluna eða inn í brjótinn (minnka opnun á forbrjót sem er á undan í röðinni).
- Ekki taka fínefni út úr framleiðslunni heldur taka þau frá fyrra brotstigi.
- Minnka magn stærstu steina og senda þá tilbaka í brjótinn.
- Skipta yfirborði neta í hörpu upp í einingar með minnkandi opnun.
- Velja brjót sem getur brotið með meiri höggáraun.
- Velja kastbrjót.
- Blanda sandi inn.



Mynd 7.1. Sáldurferill og markalínur. © Metso Minerals.

8. NIÐURLAG

Nauðsynlegt er að auka skilning allra sem tengjast efnisvinnslu á einhvern hátt á verktækni við vinnsluna. Meðal annars þarf að auka skilning á mikilvægi þess að vanda ávallt alla framleiðslu steinefna og taka gæði ávallt fram yfir afköst. Tímaskortur, tímapressa, misjafnar námur og þekkingarleysi hafa oft haft afdrifaríkar afleiðingar þegar vanda þarf til steinefnaframleiðslu. Fækka þarf þeim tilvikum sem koma upp og valda því að steinefnið, sem verið er að vinna, standist ekki þær kröfur sem settar eru fram í útboðsgögnum. Bæta þarf gæði hönnunar, framleiðslu og eftirlits með steinefnaframleiðslu með því að auka þekkingu bæði verkkaupa og verktaka, sem mun vonandi leiða til markvissari vinnubragða við vinnslu steinefna.

Sá tækjabúnaður sem notaður er hér í efnisvinnslu eru færanlegar samstæður og einingar, og eru flestar á beltum en einnig hjólum. Efnisvinnsla er þrepaskipt og fer brotið fram í nokkrum brotstigum. Hér á landi er nánast eingöngu um 2ja þrepa vinnslu að ræða hvort sem verið er að mala efni í burðarlag, klæðingu eða malarslitlag. Nánast allir efnisvinnsluverktakar hringrásar einnig efninu en á því eru þó undantekningar. Algengasta uppsetningin er brjótur + harpa + brjótur og auk þess hringrás. Þessi uppsetning skilar góðum afköstum og í flestum tilfellum er hægt að ná þeim efniskröfum sem settar eru fram. Algengt er að hafa 3 brjóta þegar verið er að framleiða malbik.

Erlendis frá þekkist það að hafa 3 brjóta og eina hörpu þegar framleiða þarf steinefni í burðarlag og klæðingu. Ef framleiðsluefnið er erfitt í vinnslu þarf að hafa 3 brjóta og 2 hörpur. Þetta verklag hefur ekki tíðkast hér á landi.

Uppsetningin brjótur + brjótur + harpa og auk þess hringrás virðist ekki tíðkast hér á landi. Með þeirri uppsetningu minnka afköstin en með slíkri vinnslu aukast gæðin á efninu, þ.e. brothlutfall og kornalögun. Hér er því mælt með því að efnisvinnsluverktakar sem eru með einingar á beltum skoði möguleika slíkrar uppsetningu. Í hjólasamstæðum (malarasamstæðu) er ekki hægt að breyta uppsetningu tækjabúnaðar.

Val á rétttri hörpustærð skiptir miklu máli enda má segja að harpan sé hjartað í efnisvinnslunni. Algengustu mistök í efnisvinnslu hér á landi er að oflesta hörpur þannig að þær hafa ekki undan og að raða hörpunetum rangt í hörpuna. Hörpur sem eru notaðar t.d. í flokkun á klæðingarefni eru oft á tíðum of litlar.

Framleiðslueftirlit þarf að vera skilvirkara bæði hjá verktökum og verkkaupum. Á síðustu árum hefur framleiðslueftirlit farið batnandi. Nokkrir verktakar hafa komið sér upp stafasigtum og geta þar með fylgst með kornalögun efnisins á framleiðslustigi. Lang flestir verktakar hafa aðstöðu og tæki til að gera kornastærðarmælingar. Margir verktakar og sumar verkfræðistofur eru enn að nota ASTM sigtaröðina eða blandaða röð evrópusigta sem eru ekki samkvæmt evrópustaðli. Mikilvægt er að allir verktakar í steinefnavinnslu geri mælingar á brothlutfalli og komi sér upp tækjabúnaði til sáldurgreiningar og til að mæla brothlutfall. Búnaður verður auk þess að vera í samræmi við evrópustaðla. Í íslenskum fylgistöðlum fyrir steinefni og malbik sem gefnir verða út á árinu 2013 er tilgreint hvaða sigtaröð skuli nota hér á landi.

Með breyttum vinnuaðferðum kemur framleiðslukostnaður til með að aukast en gæði framleiðsluefnisins mun einnig stórlagast.

9. HEIMILDIR

Advanced crushing process training 2011. Námskeiðsgögn Metso Minerals Tampere.

Aggregate Technical Training Manual. FHWA Aggregate Training and Certification Group. 2006.

Ari Trausti Guðmundsson og Ragnar Th. Sigurðsson 2002. *Íslenskur jarðfræðilykill*. Mál og Menning, Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Pétur Pétursson og Þórir Ingason 2004. *Fínefni í malarlitlög - nokkrir grunneiginleikar steinefna og áhrif þeirra á gæði malarlitlaga*, BUSL Efnisgæðanefnd skýrsla E-44 ágúst 2004.

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingvi Árnason 2010. *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla efniskröfur og útlögn*. Vegagerðin, Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingvi Árnason 2012. *Sprengt berg í vegagerð 2012. Handbók fyrir vegagerðarmenn*. Vegagerðin, Reykjavík.

Basics in Mineral Processing 2006. Fifth edition. Metso Minerals, Tampere.

Barmac VSI Application Handbook. Metso Minerals, Tampere.

Bearman, R.A & Briggs C.A 1998. *The active use of crushers to control product requirements*. Minerals Engineering Vol 11, no. 9, bls. 849-859.

Børge J. Wigum og Jón Haukur Steingrímsson. 1999 *Efnisvinnsla – verktækni og þekking*. BUSL Efnisgæðanefnd, skýrsla E-35. Reykjavík.

Børge J. Wigum, Þorbjörg Hólmgeirsdóttir og Viktoría Gíldóttir 1999. *Námur – efnisgæði og umhverfi. 2. hluti: Endurskoðun vinnslu í steinefnanáámum – Kornalögun*. Skýrsla nr. 99-11. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

Crusher and crusher training 2011. Námskeiðsgögn Metso Minerals, Tampere.

Crushing and Screening Handbook 2008. Third edition. Metso Minerals, Tampere.

Crushing and Screening Handbook 2011. Fifth edition. Metso Minerals, Tampere.

Cordon, J. & Christie, I 2010. *Explosives in Quarrying*. The Institute of Quarrying. Nottingham.

Donovan, J.G 2003. *Fracture toughness based models for the prediction of power consumption, product size, and capacity of jaw crushers*. Mining and Minerals Engineering Blacksburg, VA. Doctor of Philosophy

Efnisrannsóknir og efniskröfur-leiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd. Vegagerðin. <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/>

Guðbjartur Kristófersson 1999. *Jarðfræði*. Reykjavík.

Hreggviður Norðdahl 1998. *Hagnýt Laus Jarðlög á Íslandi*. Raunvísindastofnun Háskólans og Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

Lee, E. & Evertsson, C.M. 2010 *in press. A comparative study between cone crushers and theoretically optimal crushing sequences*. Minerals Engineering.

Lindqvist, M. & Evertsson, C.M 2003. *Liner wear in jaw crushers*. Minerals Engineering Vol. 16, 1-12.

HEIMILDIR

Littler, R. & Millburn, S 2007. *Sand and Gravel Production*. The Institute of Quarrying. Nottingham.

Mobile crushing plants and screens 2010. Metso Minerals, Tampere.

Nohl, J. & Domnick, B 2008. *Stockpile Segregation*. Superior Technical Bulletin. LLC.T-102. Superior Industries. Morris Minnesota.

Nordberg C Series instructional manual. Metso Minerals, Tampere.

Pekka Itävuori 2009. *Dynamic modelling of a rock crushing process*. Tampere University of Technology, Tampere. Master thesis, 102 pp.

Rothery, K. & Mellor, S 2007. *Crushing and Screening*. The Institute of Quarrying. Nottingham.

Schaal, D 2002. Liner Selection for the Gyrosphere cone crusher. Telesmith, IVC, Technical Bulletin TE-101.

Statens vegvesen 2000. *Steinmaterialer til vege-flyplasser-jernbaner*. Håndbok 223. Statens vegvesen. Oslo.

Þorbjörg Hólmgeirsdóttir, Ingunn Loftsdóttir og Jón Garðar Steingrímson 2010: *Vinnsla malar slitlaga*. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Mannvit og Vegagerðin, Reykjavík.

<http://www.dot.ga.gov/doingbusiness/materials/documents/correctstockpilingpracticesgcsa.pdf>

<http://www.rocksystems.com/>

<http://www.cdeglobal.com/>

<http://www.kpijci.com/>

<http://superior-ind.com/conveyors/stackers/telestacker>