



# ▶▶▶ Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar



**Útgefandi:** Vegagerðin, febrúar 2018.  
**Höfundur:** Hafdís Eygló Jónsdóttir, Vegagerðin.  
**Meðhöfundur:** Gunnar Bjarnason, Vegagerðin.  
**Umbrot:** Ásprent Still ehf.  
**Prentun:** Ásprent Still ehf.  
**Mynd á forsíðu:** Efnisvinnsla á Brunahvamshálsi 2009, ljósmyndari: Hafdís Eygló Jónsdóttir, Vegagerðin.  
**Mynd á baksíðu:** Vegagerð í verkinu Norðausturvegur Brunahvamsháls-Bunguflói 2009, ljósmyndari: Hafdís Eygló Jónsdóttir, Vegagerðin.

©Vegagerðin, 2018.

<b>Formáli</b>	<b>5</b>
<b>1 Inngangur</b>	<b>6</b>
<b>2 Tækjabúnaður og verk tækni</b>	<b>8</b>
2.1 Ýmsar gerðir vinnslusamstæða	8
2.2 Matari	10
2.3 Brjótur	11
2.3.1 <i>Kjaftrbjótur</i>	16
2.3.2 <i>Kónbrjótur</i>	19
2.3.3 <i>Kastbrjótur</i>	23
2.4 Færibönd	26
2.5 Hörpur	26
2.5.1 <i>Lagskipting og aðskilnaður efnis á hörpu</i>	28
2.5.2 <i>Hörpunet og möskvar</i>	29
2.5.3 <i>Halli á hörpunetum</i>	30
2.6 Helstu gerðir af hristihörpum	35
2.6.1 <i>Lárettar hörpur</i>	36
2.6.2 <i>Hallandi hörpur</i>	36
2.6.3 <i>Banana hörpur</i>	36
2.6.4 <i>Grjóthörpur</i>	37
2.7 Þvottur á steinefnum	38
2.7.1 <i>Þvottahörpur</i>	39
2.7.2 <i>Þvottakar með spöðum</i>	42
2.7.3 <i>Þvottakar með snigli fyrir fínt efni</i>	43
2.7.4 <i>Þvottakar með snigli fyrir gróft efni</i>	43
2.7.5 <i>Þvottakar með skófluhjóli</i>	44
2.7.6 <i>Þvottastöð</i>	44
<b>3 Uppröðun tækjabúnaðar</b>	<b>46</b>
3.1 Hringrás	46
3.2 Mismunandi uppsetning tækjabúnaðar	47
3.2.1 <i>A brjótur + harpa + brjótur</i>	47
3.2.2 <i>B brjótur + brjótur + harpa</i>	48
3.2.3 <i>C brjótur + brjótur + harpa + brjótur</i>	48
<b>4 Aðskilnaður, rýrnun og niðurbrot steinefna</b>	<b>50</b>
4.1 Efni haugsett	51
4.2 Efni mokað á bifreiðar	51
4.3 Rýrnun og niðurbrot steinefna	52
<b>5 Framleiðslueftirlit</b>	<b>53</b>
5.1 Aðferðir við sýnatöku	53
5.2 Kornadreifing	55
5.3 Kornalögun	55
5.4 Brothlutfall	56

<b>6</b>	<b>Framleiðsla ólíkra efnisgerða</b>	<b>58</b>
6.1	Styrktarlag	58
6.2	Burðarlag	59
6.3	Klæðing	62
6.4	Malarslitlag	64
<b>7</b>	<b>Lokaorð</b>	<b>66</b>
	<b>Heimildir</b>	<b>67</b>

## Formáli

Í þessari handbók eru leiðbeiningar og upplýsingar um marga þætti sem tengjast efnisvinnslu til vegagerðar. Fjallað er um tækjabúnað og verktækni en auk þess eru upplýsingar um framleiðslueftirlit og framleiðslu ólíkra efnisgerða til vegagerðar.

Handbókin er samin af Hafdís Eygló Jónsdóttur, verkefnastjóra hjá Vegagerðinni og meðhöfundur er Gunnar Bjarnason forstöðumaður hjá Vegagerðinni. Kostnaður við gerð handbókarinnar var að mestu greiddur af Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar en að nokkrum hluta af Jarðefnadeild og Framkvæmdadeild Vegagerðarinnar.

Handbókin er unnin upp úr skýrslunni „*Vinnsla steinefna til Vegagerðar – tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit*“ sem kom út árið 2013. Í þeirri skýrslu er ýmiskonar ítar-efni sem ekki er endurtekið í handbókinni. Myndir hafa hinsvegar verið uppfærðar og þvottur á steinefnum hefur fengið meira vægi. Í handbókinni er ekki fjallað um kröfur til steinefna né um tíðni framleiðsluprófa en um það efni fjallar ritið „*Efnisrannsóknir og efniskröfur – leiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd*“. Skýrsluna og ritið er hægt að nálgast á heimasíðu Vegagerðarinnar.

Markmiðið með handbókinni er að:

- Vera 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.

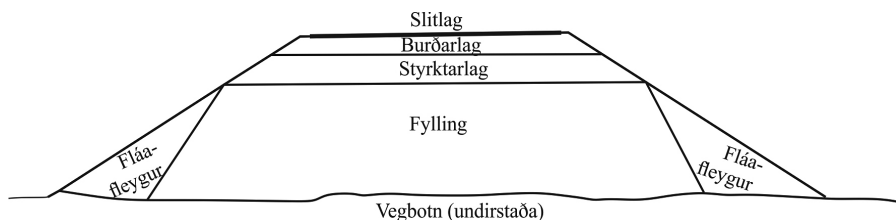
Hafdís Eygló Jónsdóttir (HEJ) tók flest allar ljósmyndirnar sem eru í handbókinni en margar myndir eru fengnar frá tækjaframleiðandanum Metso. Þorsteinn Jónas Sigurbjörnsson (PJS) og Guðjón Magnússon (GM) tóku auk þess nokkrar myndir. Pétur Pétursson hjá PP ráðgjöf las yfir handbókina og kom með gagnlegar ábendingar.

## 1

## Inngangur

Vinnsla steinefna er afar mikilvægur verkþáttur við vegagerð. Forsenda fyrir gæðum efnisframléiðslu er að hafa góða stjórn á öllum þáttum vinnslunnar þ.e. efnisnámi, flokkun, hreinsun, mölun, hörpun, blöndun og að lokum haugsetningu steinefnisins. Vinnsluaðferðir ráðast af eiginleikum hráefnisins og þeim kröfum sem gerðar eru til framléiðslunnar.

Kröfur til steinefna í vegagerð eru mismunandi eftir því í hvað á að nota efnið og eru strangari eftir því sem ofar dregur í veghlotinu. Hefðbundinn vegur skiptist í undir- og yfirbyggingu. Undirbygging, fylling og fláafleygar, er oft byggð úr óunnum jarðefnum en þó er fyllingarefni stundum flokkað. Yfirbyggingin, styrktarlag, burðarlag og slitlag, er hins vegar að verulegu leyti unnið efni, en þó er oft óunnið efni í styrktarlagi, sérstaklega í neðri hluta þess.



Þverskurður af veghloti.

Steinefni til vegagerðar eru unnin úr ýmsum jarðmyndunum, bæði úr setlögum og bergi. Íslenskt berg og set er misjafnt eftir eiginleikum þess til vegagerðar og hafa þessir eiginleikar mikil áhrif á það hvaða vinnsluaðferðum er beitt við framléiðslu steinefna. Berggæðin þ.e. styrkur, veðrunarþol og slitþol eru mikið háð gropu og ummyndun efnisins. Berggæðin eru einnig háð gerð og kornastærð efnisins. Þannig hefur ferskt finblöðrótt efni fremur lítinn styrk en mikið veðrunarþol en þétt og ferskt efni hefur oft nokkuð mikinn styrk, slitþol og veðrunarþol. Mikið ummyndað efni hefur lágt veðrunarþol og getur einnig haft lítinn styrk. Ummyndun, sem verður vegna háhita, útfellingar og útskolunar, hefur mikil áhrif á upprunaleg berggæði. Eftir því sem ummyndun eykst minnkar styrkur, veðrunarþol og slitþol. Frumsteindir bergs ummyndast yfir í t.d. leirsteindir sem veldur því að steinefnið verður frostnæmt. Ummyndun bergs er mest á Austurlandi og Vestfjörðum.

Meirihluti steinefna sem notuð eru til vegagerðar eru unnin úr setlögum sem eru mjög misjöfn að gerð hvað varðar berggæði og kornadreifingu þ.e. hlutfall finefna og sands og grófleika m.a. stærð stærstu steina í setinu. Algengast er að mala efni í burðarlag og slitlag úr áreyrum og malarhjöllum. Setnámur eru ekki einsleitir og í flestum tilfellum er

um að ræða blöndu berggerða af mismunandi gæðum en berggæðin fara mikið eftir því hvar á landinu efnið er. 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. Þannig er yfirleitt alltaf eitthvað af súru og mikið ummynduðu bergi nálægt megineldstöðvum og móberg og blöðrótt efni er í og við gosbeltin.

Í skýrslunni „*Vinnsla steinefna til Vegagerðar – tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit*“ er fjallað um jarðfræði Íslands, jarðlög og efnisgerðir. Ritið „*Efnisrannsóknir og efniskröfur – leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd*“ fjallar m.a. um kröfur sem gerðar eru til steinefna. Bæði þessi rit eru á vef Vegagerðarinnar á vefslóðinni <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/>.

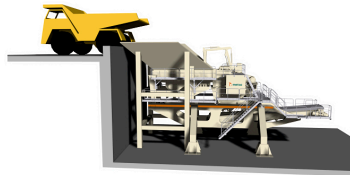
### 2.1 Ýmsar gerðir vinnslusamstæða

Í efnisvinnslu samanstendur vinnslulína af nokkrum einingum, þ.e. brjótum, móturum, hörpum og færriböndum, og eftir atvikum þvottabúnaði. Einingarnar eru ýmist fastar, færnanlegar, flytjanlegar eða sjálfkeyrandi og eru þær síðastnefndu algengastar hér á landi. Flestar eru þessar einingar tölvustýrðar.

Fastar einingar  
-steyptur grunnur, boltaðar niður



Færnanlegar einingar  
-á sleðum



Flytjanlegar einingar  
-á hjólum



Sjálfkeyrandi einingar  
-á beltum



*Fastar, færnanlegar, flytjanlegar og sjálfkeyrandi einingar. © Metso.*

*Fastar einingar* (e. concrete base) eru á steyptum grunni og boltaðar niður. Þær eru settar upp til lengri tíma og framleiða yfirleitt ákveðna staðlaða framleiðslulínu úr sömu námunni. Fastar einingar eru yfirleitt settar upp í töluverðri fjarlægð frá sjálfri námunni eða námustálinu og fá efnið til sín, t.d. með námubifreiðum (búkollum) eða færriböndum.

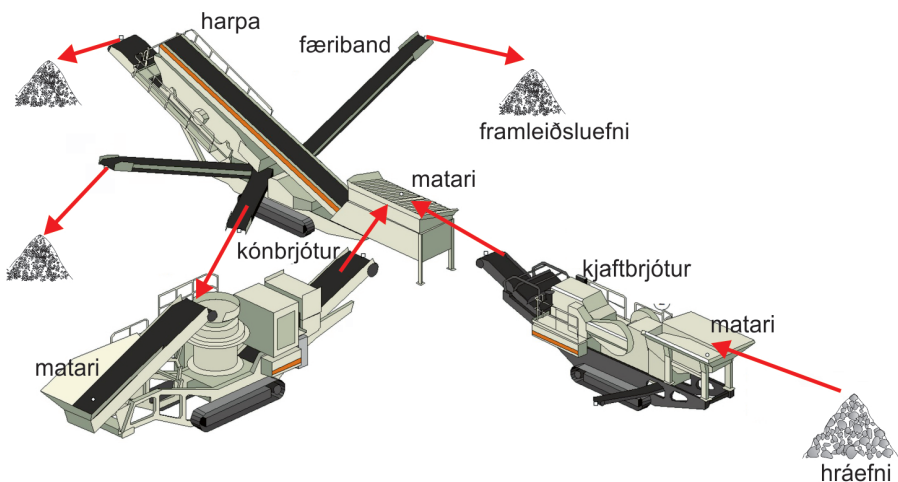
*Færnanlegar einingar* (e. skid-mounted) eru á sleðum og eru hálf færnanlegar að því leyti að þær er hægt að færa með kranabíl.



*Flytjanlegar einingar á hjólavögnum* (e. wheel-mounted). Uppsetningin innan hverrar samstæðu er ekki breytileg. Þegar þær eru fluttar til innan námusvæðisins þarf að nota dráttarvagn.

*Sjálfkeyrandi einingar á beltum* (e. track-mounted) eru útbúnar þannig að auðvelt er að flytja þær á milli staða. Þegar þær eru komnar á staðinn, eru einingarnar fluttar til innan svæðisins með fjarstýringu. Kosturinn við sjálfkeyrandi einingar er að þær geta unnið saman eða í sitt hvoru lagi. Einnig er auðvelt að breyta uppsetningu á vinnslulínunni. Frá því að slíkar einingar komu til sögunnar hefur notkun þeirra ekki einungis stóraukist heldur hefur tæknibúnaður þeirra þróast hröðum skrefum.

Sjálfkeyrandi einingar á beltum samstanda venjulegast af hörpu eða brjót en stundum bæði hörpu og brjót. Færibönd og matarar fylgja yfirleitt. Svona einingar hafa rutt sér til rúms í stórum námum vegna þess að með þeim er hægt að minnka rekstrarkostnað og hámarka framleiðslu.



*Dæmi um uppsetningu á sjálfkeyrandi einingum. © Metso.*

Sá tækjabúnaður sem notaður er hér á landi í efnisvinnslu eru í langflestum tilfellum flytjanlegar eða sjálfkeyrandi einingar og eru flestar á beltum en sumar á hjólum.

Það er breytilegt eftir því hvaða steinefni er verið að framleiða hversu margar einingar í vinnslusamstæðu eru notaðar. Einfaldasta vinnsla getur verið einungis brot efnis í forbrjót. Þegar krafist er mikilla efnisgæða eru hins vegar oft notaðar margar einingar þ.e. brjótar, matarar, hörpur, færibönd, og eftir atvikum þvottabúnaður. Í slíkri vinnslu fer steinefnið jafnvel í gegnum tvö til þrjú brotstig. Hér á eftir er fjölbreyttum tækjabúnaði lýst og sömuleiðis vinnsluáðferðum.

## 2.2 Matari

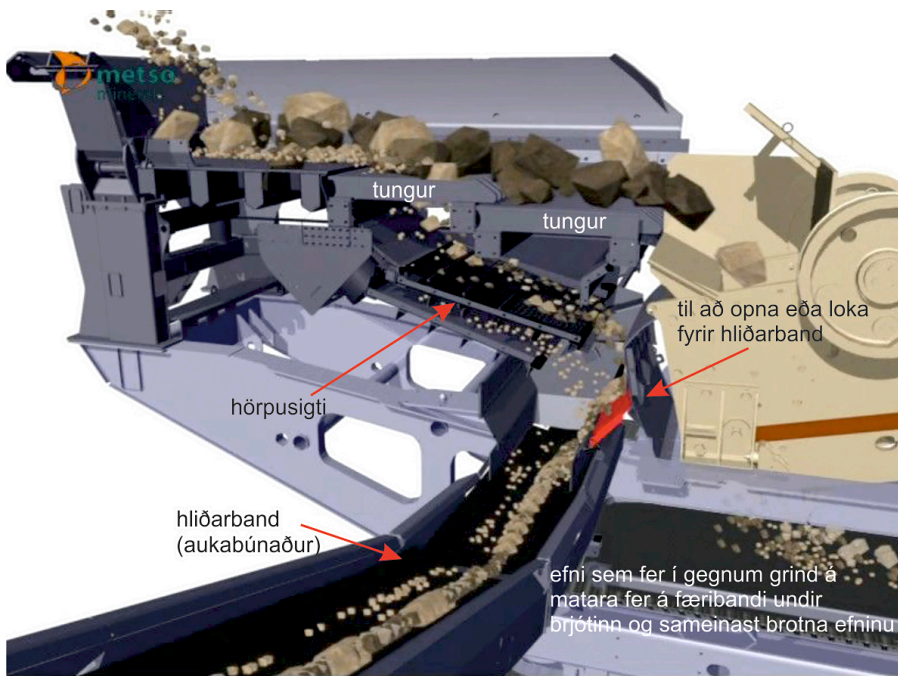
*Matari* (e. feeder) er tækjabúnaður sem er hluti af brjótum og hörpum. Með matara fæst jafnara rennsli á efninu og betri stjórnun á magni. Efnid kemur inn á matarann með færiband, hjólaskóflu eða gröfu. Efnid færir síðan að brjótum og/eða hörpunni. Einnig er hægt að nota matarann til að flokka efni (flokka og forharpa). Þá skiljast fínefni frá, en stærra efni færir síðan að brjótum. Þannig er hægt að skilja á milli mismunandi efnisstærða í sitt hvorn hauginn. Flestir matarar í dag eru sjálfvirkir og er þeim stýrt með fjarstýringu. Eldri matarar eru sjaldnast sjálfvirkir en þó er rennslisjafnari í sumum þeirra (t.d. járnkeðjur).



*Sjálfkeyrandi einingar: brjótur, harpa og matarar. Leiðólfssaðir í Laxárdal (HEJ).*

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

Hristimatarar eru mikið notaðir til að mata efni inn á forbrjóta en einnig eru þeir algengir í samstæðum. Í matara fyrir forbrjóta eru tungur (grindur/plötur/rist) af mismunandi gerðum og eru þær valdar eftir því hvernig efni er verið að vinna. Algengasta gerðin eru gafflar (e. grizzly) eða hjólakefli með ákveðnu föstu millibili. Tungurnar ýta efninu í átt að brjótum. Allt efnið sem er minna en einhver ákveðin stærð fer niður á milli tungnanna og sameinast síðan efninu sem fór í brjótinn. Undir tungunum er einnig hörpunet.



*Þverskurður af hristmatara á forbrjót með hliðarbandi. © Metso.*

Á netinu er hægt að forharpa og taka út fínasta efnishlutann á hliðarbelti. Hliðarbeltið er yfirleitt aukabúnaður.

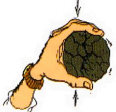
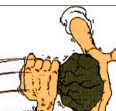
### 2.3 Brjótar

*Brjótar* (e. crusher) eru mulningsvélar, þ.e. vélbúnaður við efnisvinnslu sem brýtur niður efni í ákveðnar stærðir. Brjótar eru ýmist olíu- eða rafknúnir. Afköst þeirra eru mismunandi eftir stærð og eru mæld í tonnum á klukkustund. Afköst fara einnig eftir grófleika og styrk efnisins sem verið er að mala hverju sinni. 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 brjótum sem er á undan í vinnsluferlinu. Þar sem vinnslulínan er ekki samhangandi er möluninni skipt niður í þrep og efnið haugsett á milli. Hættan við að haugsetja efnið er sú að ef rignir í hauginn þá eykst rakastigi í efninu og meira af efninu festist í hörpunetunum.

Mikilvægt er að velja brjót með tilliti til hráefnisins sem ætlunin er að vinna og því hvaða hlutverki hann á að gegna í vinnsluferlinu. Brjótar eru einnig valdir með tilliti til stofn-kostnaðar, viðhaldskostnaðar, afkastagetu, orkukostnaðar og þess hversu auðvelt er að flytja búnaðinn. Algengustu brjótar hér á landi, sem notaðir eru til framleiðslu á efni til vegagerðar eru kjaftbrjótar og kónbrjótar.

Brjótum má skipta upp í tvo flokka: álagsbrjóta og kastbrjóta. Efni sem sett er í álagsbrjóta brotnar vegna þrýstiálags. Kjaftbrjótar og kónbrjótar eru álagsbrjótar. Efni sem sett er í kastbrjót brotnar vegna höggálags. Láréttir hverfibrjótar (HSI) og lóðréttir hverfibrjótar (VSI) eru kastbrjótar.

	Tegund brjóts	Brotstig	Hráefni		Algengt smækkunarhlutfall	Hlutfall finnfna sem verða til	Teningslögungun
			Mjúkt	Hart			
 Álagsbrjótar	Kjaftbrjótur	1. stig		X	3–5	Lágt	
	Kónbrjótur	2. stig	X	X	3–4	Meðal/Lágt	
	Kónbrjótur	3. & 4. stig	X	X	2–3,5	Meðal/hátt	Já
 Kastbrjótar	Láréttur hverfibrjótur (HSI)	1. & 2. stig	X		5–8	Meðal/hátt	Já
	Lóðréttur hverfibrjótur (VSI)	3. & 4. stig	X	(X)	1,5–3	Hátt	Já

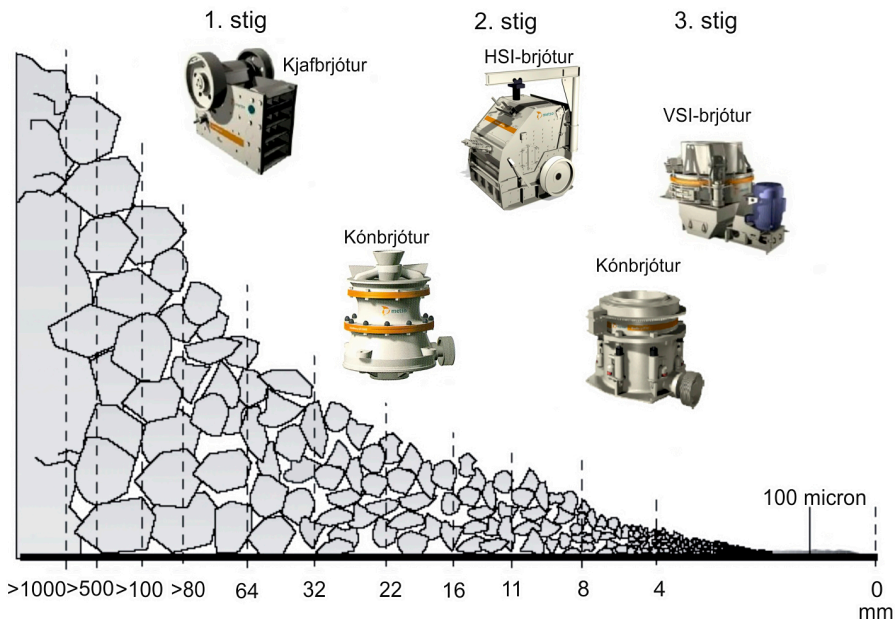
*Yfirlit yfir álags- og kastbrjóta og á hvaða brotstigi þeir eru notaðir. © Metso.*

Í efnisvinnslu fer brotið fram í nokkrum brotstigum. Brotstig segir til um hvað efnið fer í gegnum marga 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 þ.e. eftirbrjótur.

Á fyrsta brotstigi er fyrst og fremst verið að minnka efnið í þá stærð sem hægt er að flytja yfir á næsta brotstig. Á öðru brotstigi er annaðhvort lokaframleiðsla eða undirbúningur fyrir þriðja brotstig.

Þriðja og fjórða brotstig ákvarðar gæðin á lokaafurðinni og áherslan er fyrst og fremst á kornalögungun.

*Smækkunarhlutfall* (e. reduction ratio) er skilgreint sem hlutfall hráefnisstærðar inn í brjót og framleiðslustærðar út úr brjóti. Allir brjótar 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. Fjöldi brotstiga stjórnast af hráefnisstærð og framleiðslustærð.

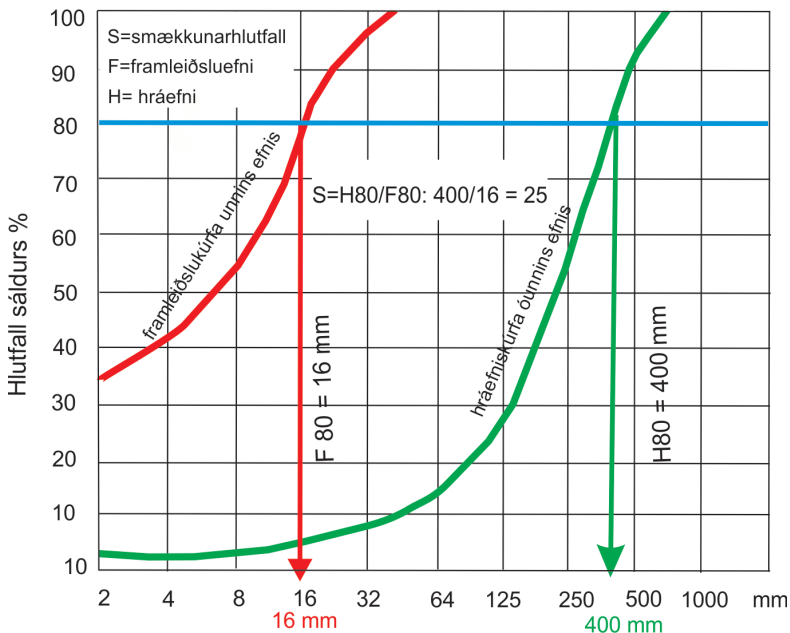


Smækkun á steinefni fer fram í nokkrum brotstigum. Eftir því sem brotstigin verða fleiri því finna verður efnið. © Metso.

Til þess að brjóta óunnið efni úr 400 mm og niður í unnið 22 mm efni þá þarf vinnslan að gerast í nokkrum þrepum því ekki er hægt að brjóta þokkalega sterkt efni í einum brjóti þannig að gott teljist. Samtals smækkunarhlutfall er heildarsmækkun á efni, þ.e. frá óunnu efni og til loka framleiðslu. Berggerðir eru misjafnar hvað varðar t.d. styrk, slitþol og kleyfni en berggerðin hefur áhrif á smækkunarhlutfallið. Því harðara sem efnið er því minni verður smækkunin í hverju brotstigi fyrir sig. Ef miðað er við tveggja þrep brotstig þá verður mesta brotið venjulega í forbrjótnum. Ef þriðja brotstigin er bætt við þá verður álagið á brjótana mun minna og smækkunarhlutfallið verður ekki eins mikið á hverju stigi. Smækkunarhlutfall hefur einnig áhrif á lögun steinefnis. Hátt smækkunarhlutfall í álagsbrjótnum verður að mestu til við að steinefnið klofnar sem leiðir af sér lélega kornalögun. Einnig getur harkalegt högg eyðilagt lögun steinefnisins. Lykillinn að því að búa til tengingslaga efni er að tryggja að núningur og brot verði á milli kornanna. Þegar lítið efni er í kónbrjóti þá eru það keilurnar sem sjá um að brjóta steinana og brotið verður að mestu frá tveimur hliðum. Þegar mikið efni er í brjótnum þá brjóta steinarnir hvorn annan frá fleiri hliðum. Í VSI brjótnum brotnar efnið aðallega við núning sem þýðir að smækkunarhlutfallið verður frekar lágt en lögun steinefnisins verður góð.

Hægt er að finna út hversu mörg brotstig þarf fyrir efnið sem á að vinna með hliðsjón af grófleika óunnins hráefnis og fyrirhugaðs grófleika unna steinefnisins.

Myndin hér fyrir neðan útskýrir þetta. Á myndinni eru sýndir tvær kornakúrfur, þ.e. hráefnikúrfa óunnins efnis (græn) og framleiðslukúrfa unnins efnis (rauð). Vinstra megin á myndinni er gefið upp hlutfall sáldurs og er lesið af lárétt við 80%. Þar sem kúrfurnar skera 80% línuna (bláa) er lesið af lóðrétt niður (rauð ör og græn ör).



Kornakúrfur fyrir óunnið efni (græn) og unnið efni (rauð). © Metso.

Smækkunarhlutfall er því reiknað hlutfall á milli sigtis sem að 80% af óunnu efni (H) smýgur og sigtis sem að 80% af unnu efni (F) smýgur. Deilt er í óunna efnið, sem í þessu tilfalli er  $H^{80}$  400 mm með unnu efni, sem er  $F^{80}$  16 mm:

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

Til að finna út skýsamlegan fjölda brotstiga er hægt að nota smækkunarhlutfallið. Samkvæmt þessum útreikningi þarf það að vera 25. Smækkunarhlutfall er mjög misjafnt og fer alfarið eftir stærð brjóta og hvaða keiluset er t.d. notuð í kónbrjóta. Fyrir hvert keiluset og hvern brjót eru ákveðnar lágmarks stillingar. Upplýsingar um þær er að finna í handbókum fyrir brjótana.

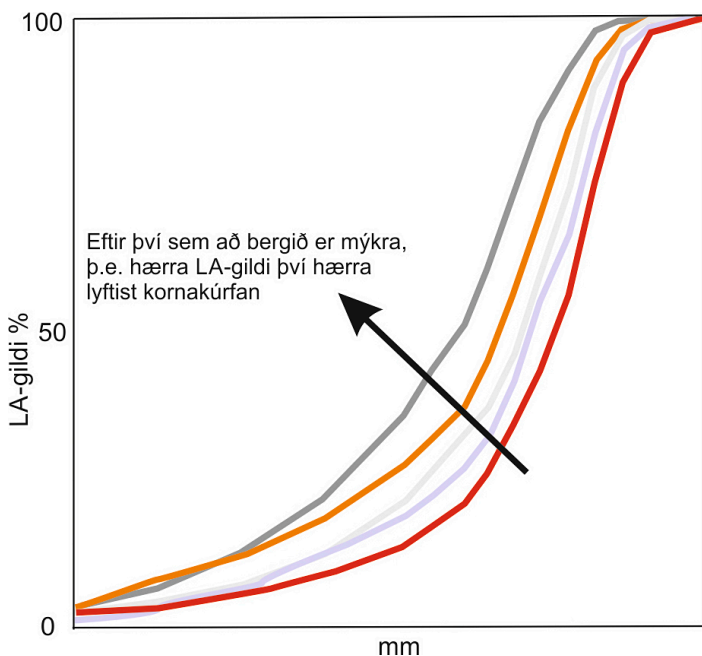
Í eftirfarandi dæmi væru t.d. þrjár brjótar: C100 kjaftbrjótur, HP200 kónbrjótur og annar HP200 kónbrjótur:

$$\begin{aligned} & \text{Kjaftbrjótur } 3:1 (400 \text{ mm}/150 \text{ mm}), \text{ kónbrjótur } 3:1 (150 \text{ mm}/60 \text{ mm}) \\ & \text{og kónbrjótur } 3:1 (60 \text{ mm}/20 \text{ mm}) = 3 \times 3 \times 3 = 27 \end{aligned}$$

Smækkunarhlutfallið er samtals 27 og dæmið gengur upp, þar sem hægt er að ná fyrirhugaðri smækkun með þessari uppsetningu.

Ef óunna efnið væri frekar veikt eins og t.d. grágrýti og seinni brjóturinn væri HSI brjótur eða kónbrjótur myndi alveg duga að nota tvö brotstig, því veikt efni brotnar mun auðveldar. Álagið á brjótana verður minna með fleiri brotstigum en fleiri brjótar 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<sup>1</sup> hráefnið. Mjög oft er hráefnið það gróft að ekki er hægt að gera það með hefðbundnum hætti. Til að fá kornadreifingu á hráefni sem er á bilinu 0-500 mm í þvermál er hægt að myndgreina efnið eftir ljósmynd með mælikvarða. Með myndgreiningu er hægt á auðveldan hátt að fá hugmynd um kornadreifingu hráefnisins.

Því harðara sem efnið 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 (kjaftbrjótum). Ef þriðja brotstiginu er bætt við þá verður álagið á brjótana mun minna og smækkunarhlutfallið verður ekki eins mikið á hverju stigi. Berg með lítinn styrk fær betri kornadreifingu þar sem millistærðir verða til við brotið.



Steinefnaframléiðsla á fimm mismunandi bergtegundum. Sama stilling á brjót. Eftir því sem bergið er veikara er styrkleiki efnisins ( LA gildi) lakari (gildið verður hærra) og kornakúrfan lyftist. © Metso.

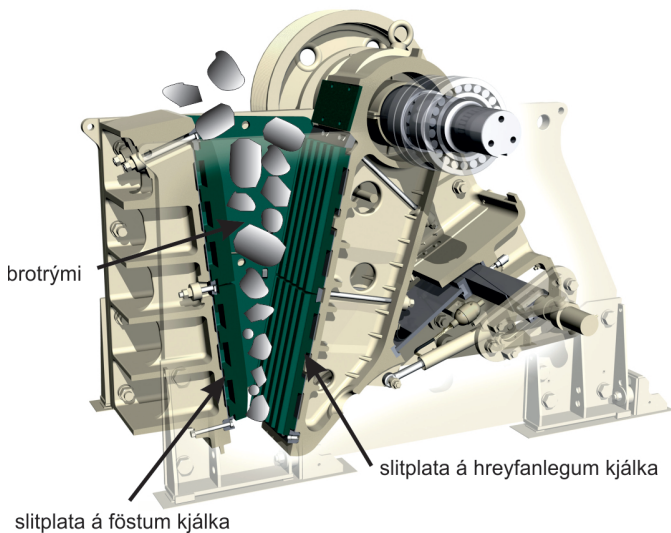
1 Sáldurgreining er mæling á kornastærðardreifingu (sáldurferli) efnis.

### 2.3.1 Kjaftrbrjótur

Kjaftrbrjótur (kjálkabrjótur) (e. jaw crusher) eru forbrjótur sem eru notaðir á fyrsta brotstigi til að mala efni í hæfilegar stærðir til frekari vinnslu. Kjaftrbrjótur eru einnig notaðir til að brjóta efni í styrktarlag og þá með aðeins einu brotstigi.

Kjaftrbrjótur eru framleiddir í mörgum stærðum og eru notaðir í öllum geirum efnisvinnslu. Uppgefin stærð og breidd þeirra ákvarðast af mótunarvidd (opi) þeirra, þ.e. mestu fjarlægð á milli fasta og hreyfanlega kjálkans. Brjótur sem er 1060 x 700 mm er með kjálka sem er 1060 mm að breidd og hefur opnun (dýpt) sem er 700 mm.

Kjaftrbrjótur eru álagsbrjótur og efni sem sett er í þá brotnar vegna þrýstíalags. Brotið á sér stað á milli fasts og hreyfanlegs kjálka, sem eru með áföstum slitplötum, í svokölluðu brotrými. Efnið rennur allt eftir fasta kjálkanum. Við snúning þrýstir hreyfanlegi kjálkinn efni að fasta kjálkanum og grípur steininn. Þegar hreyfanlegi kjálkinn færir frá, fellur efnið í brotrýminu niður þangað til það festist aftur á milli kjálkana. Við endurtekna hreyfingu brotnar efnið um leið og það færir niður brotrýmið þar til það hefur náð þeirri kornastærð sem brjóturinn er stilltur fyrir.



Einföld skýringarmynd af kjaftrbrjót (þverskurður). © Metso.



## Til athugunar

Ef hart klapparefni er brotið strax mikið niður þá er hægt að ná millistærðum. En þá kemur upp annað vandamál. Efnið getur orðið flögótt.

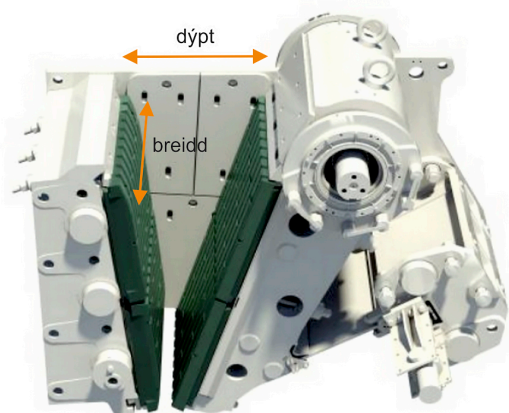


Hægt er að fá margar gerðir af slitplötum enda er efnisgerðin sem fer í brjótana mismunandi. Slitplötur eru annaðhvort heilar eða tvískiptar. Mesta álagið á slitplötunum er á neðri hlutanum og því þarf að hafa endaskipti á þeim þegar slitið er orðið umtalsvert. Eftir því sem slitplöturnar slitna vikkar brothólfið að neðanverðu og þá fara brjótarnir að brjóta efnið minna niður. Hjá flestum framleiðendum er hægt að fá milliplötu sem sett er innan við slitplötuna á fasta kjálkanum. Milliplötuna getur verið gott að hafa ef skipt er úr klöpp og yfir í möl, því mölin er núnari og sleipari.

Til að brjóturinn vinni vel og líftími verði sem lengstur er ráðlagt að hámarksstærð efnis sem matað er inn í brjótinn sé ekki meiri en 70% eða 80% af opnun brjótisins, þ.e. dýptinni (fjarlægð á milli slitplata). Opnunin á kjaftbrjót afmarkar hámarksstærð efnisstærðar brjótisins. Fyrir sprengda klöpp er ráðlagt að hámarksstærð efnis sé minna en 80% af opnun brjótisins. Aðrar aðstæður eru fyrir möl 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 þrýstílagið.

Fyrir möl er því ráðlagt að hámarksstærð efnis sé minni en 70% af opnun brjótisins.

Til að mæla hversu þröngur brjóturinn er í þröngstu opnun, þarf að mæla úttaksopnunina neðst í brjótinum. Þetta er gert með því að skriða inn í brjótinn. Fyrir flesta kjaftbrjóta með svokallaðar „námu-slitplötur“ er fjarlægðin frá gróp á færanlegu plötunni mæld yfir í tönnina á föstu plötunni.



Mötunaridd (dýpt) á kjaftbrjót er mæld á milli slitplata. © Metso.



## Til athugunar

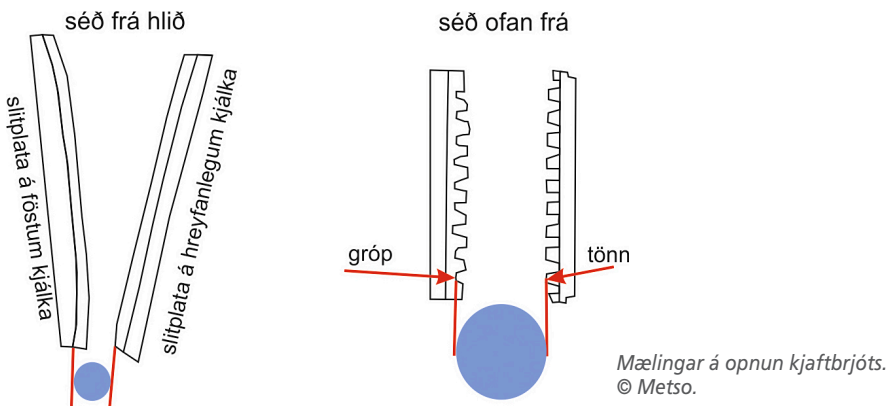
**Klöpp** ef opnunin á kjaftbrjót er 700 mm er ekki ráðlagt að taka stærri steina inn en 560 mm, þ.e.  $700 \text{ mm} \times 0,8 = 560 \text{ mm}$ .

Ef hámarksstærð sprengdrar klappar er 600 mm verður lágmarks opnunin á kjaftbrjótinum að vera 750 mm, þ.e.  $600 \text{ mm}/0,8 = 750 \text{ mm}$ .

**Möl** ef opnunin á kjaftbrjót er 700 mm er ekki ráðlagt að taka stærri steina inn en 490 mm, þ.e.  $700 \text{ mm} \times 0,7 = 490 \text{ mm}$ .

Ef hámarksstærð á möl er 600 mm verður lágmarks opnunin á kjaftbrjótinum að vera um 860 mm, þ.e.  $600 \text{ mm}/0,7 = 857 \text{ mm}$ .

Mæla á svæðið sem er minnst slitið og ávallt skal mæla beina línu. Ef opnunin í opinni stöðu (OSS)<sup>2</sup> er 100 mm ( $\pm$  2 mm) í tilteknum brjóti þarf að finna út slagíð<sup>3</sup> á brjótnum sem væri þá í þessu dæmi 32 mm. Upplýsingar um slag brjóta er að finna í handbókum fyrir brjótana. Opnun brjóts í lokaðri stöðu (CSS)<sup>4</sup> væri þá 68 mm ( $\pm$  2mm). Upplýsingar um ráðlagðar þrengstu stillingar er að finna í handbók fyrir hvern brjót. 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.



Hámarksframleiðslustærð sem kemur út úr kjaftbrjót ræðst af opnun úttaks í lokaðri stöðu (CSS) en einnig hversu auðveldlega efnið sem verið er að mala, brotnar. Allir kjaftbrjótar hafa ákveðið CSS sem þeir vinna á. Góð regla til að áætla hámarksframleiðslustærð er samkvæmt margfeldinu 1,6 x CSS. Ef opnun á úttaki á kjaftbrjót er 100 mm verður hámarks framleiðslustærð í kringum 160 mm. Næsti brjótur á eftir verður því að vera stilltur þannig að hann geti tekið við steinum sem eru allt að 160 mm.

Finefni eru ekki æskileg í kjaftbrjóta. Kjaftbrjótar eru sterk og öflug tæki en það má ekki misbjóða þeim. Til að auka afköst og líftíma brjótsins er ráðlagt að taka finefnin undan á matara brjótsins.

Finefni eru óæskileg í kjaftbrjót vegna þess að:

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

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

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

4 CSS (lokuð staða, e. closed side setting). Minnsta bil á milli neðri hluta fasta og færanlega kjálkans þegar þeir eru næstir hvor öðrum.

Auk þess eru eftirfarandi atriði mikilvæg:

- Innmatað efni á að hafa jafna dreifingu í brotrýminu.
- Kjaftbrjóturinn afkastar mest þegar brotrýmið er 2/3 fullt.
- Matari 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 inni brjótinn því meiri áhrif hefur það á afköst brjótisins. Einnig fer minna af efninu undan á hörpuneti matarans og meira í gegnum sjálfan brjótinn. Grófara efni inn þýðir einnig grófara framleiðsluefni brjótisins, en finna efni þýðir finna framleiðsluefni.

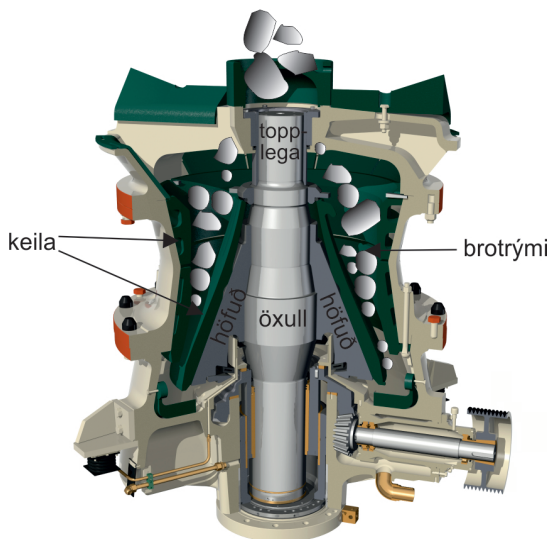
Þrátt fyrir að kjaftbrjótar séu forbrjótar þá eru þeir einnig notaðir til vinnslu á grófum efnum, s.s. í styrktarlag. Ekki er æskilegt að vinna efni einungis í kjaftbrjót, þ.e. eitt brotstig, fyrir efri lög í vegagerð þar sem efni sem brotið er í slíkum brjóti nær ekki góðri kornalögum né dreifðum sáldurferli.

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 má gera ráð fyrir að fínefnin verðir á bilinu 7-10%, að hámarki. Ef opnunin er 200 mm og verið er að vinna slitsterkt efni myndast mjög lítið af fínefnum, eða undir 1%. Ef efnið sem verið er að vinna er veikt (mjúkt) verður til meira af fínefnum. Almennt má segja að kjaftbrjótar búi til miðlungs stóra steina í mölun en lítið af fínefnum.

### 2.3.2 Kónbrjótar

Kónbrjótar (keilubrjótar) (e. cone crusher) eru framleiddir í mörgum stærðum og eru notaðir á 2., 3. og 4. brotstigi. Kónbrjótar hafa þróast út frá hringbrjótum (e. gyratory crushers) og er uppbygging þeirra nánast eins. 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, hjámiðjuóxlunum og topplegu.

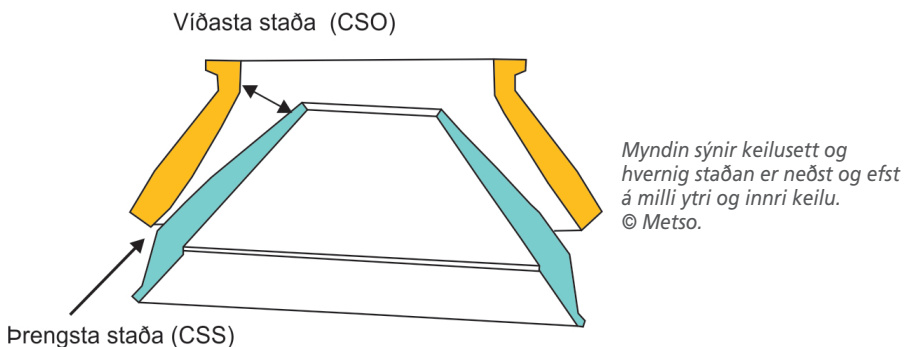


Einföld skýringarmynd af kónbrjót með topplegu (þverskurður).  
© Metso.

Kónbrjótar eru álagsbrjótar og steinefni sem sett er í þá brotnar vegna þrýstíalags. Brotið á sér stað í brotrými milli fastrar og hreyfanlegrar keilu. Kónbrjótar eru uppbyggðir þannig að þeir eru með lóðréttan öxul sem snýst um hjámiðju. Utan um öxulinn er keilulagað höfuð sem er miðjan á brjótum.

Után um höfuðið er síðan innri kápa og inni í keilulaga skálinni er ytri kápa. Til samans kallast þessar kápur keila (keilusett). 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 og lokaðrar stöðu. 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 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.



Hjá framleiðendum er hægt að fá kónbrjóta með eða án topplegu. Munurinn er fyrst og fremst sá að topplegubrjóturinn er fastur uppi, þ.e. í toppinn með legu og keilan er mun brattari. Í topplegulausum brjótum er engin topplega og keilan er ekki eins brött.

Nokkur atriði skipta máli þegar kemur að vali á keilu (keilusetti) eins og lögum keilu og inntaksop. 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 vitt, vitt, miðlungs, þröngt og mjög þröngt*. Undirflokkarnir eru mismargir fyrir mismunandi stærðir brjóta, og til eru margar gerðir fyrir hverja gerð brjóta. Eftir því sem keilusettið, þ.e. brotrýmið, er þrengra þá þrengist inntaksopið og brjóturinn tekur fínna efni inn og fínna efni kemur út. Fyrir hvert og eitt keilusett er gefin upp hámarks stærð á efni sem hægt er að mata

í brjótinn (CSO)<sup>5</sup>. Auk þess er gefin upp þregsta staða á opnun (CSS)<sup>6</sup>. Fyrir HP200 kónbrjót með ákveðið valið keilusettt væri t.d. CSO mest 125 mm og CSS þregst 17 mm. Annaðhvort notum við hámarks opnun, CSO, 125 mm og stillum CSS á 50 mm eða við notum þregstu stöðu 17 mm og tökum finna efni inn á brjótinn og höfum þá opnunina 50 mm.

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 álagstoppur á brjótinn minnka. Þegar keilan er valin þá er búið að ákveða brotrýmið og þar með er búið að ákveða stærð á inntaks- og úttaksopi.

Í topplegulausa brjóta hefur það tíðkast að nota fjölnotakeilur, annað hvort *viðar* eða *miðlungs* og eru þær notaðar á öðru brotstigi. Miðlungs fjölnotakeila brýtur finna en við fjölnotakeila:

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

Fínefnakeila í topplegulausa brjóta er einungis notuð á lokastigi. Fínefnakeila með mjög þröngri opnun (e. extra fine) er sérstaklega hönnuð fyrir sandframleiðslu:

- Framleitt steinefni yfirleitt minna en 25 mm.
- Smækkunarhlutfall 3-5:1.
- Alltaf hringrás.
- Kokmötun nauðsynleg.

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

Steinastærð miðast alltaf við víðustu opnun á inntaksopi brjótsins. Þegar um er að ræða óbrotna mól þarf að minnka opnunina um 10 til 20%. Ef opnunin er of þröng (steinn of stór) þá kemst efnið ekki inn. Þetta leiðir til þess að afköst minnka og mikið álag verður á

5 CSO (e. *closed side opening*). Mesta mögulega bil efst milli ytri og innri keilu þegar þær eru sem lengst frá hvorri annarri (viðasta staða).

6 CSS (*lokuð staða*, e. *closed side setting*). Minnsta mögulega bil neðst milli ytri og innri keilu þegar þær eru næstar hvorri annarri (þregsta staða).

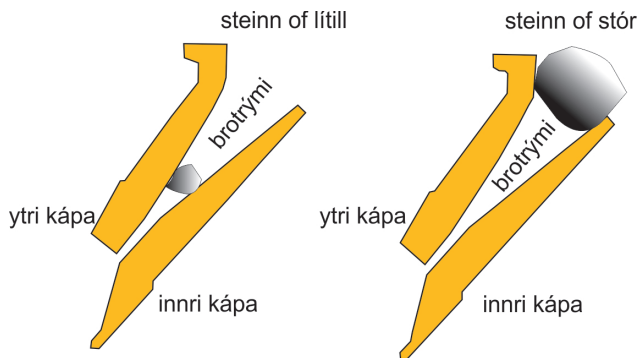


## Til athugunar

Keilur í brjóta með topplegu eru mun brattari en í topplegulausa brjóta. Efnið fellur því lengra niður og slagíð er styttra.

Stillingar á opnun kónbrjóta skipta miklu máli.

efsta hluta keilunnar. Ef opnunin er of víð (steinn of lítill) brotnar efnið í neðri hlutanum. Þetta leiðir til þess að það verður slæm nýting á álagsflötum, mólunin 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.



Val á brotrými, þ.e. keilu skiptir máli. Ef steinn er of stór kemst efnið ekki inn. © Metso.

Þættir sem skipta máli varðandi val keilu:

- Hráefni – stærð efnis sem matað er í brjótinn.
- Framleiðsluefni – hvaða stærðarflokk steinefnis á að framleiða?
- Löggun – gerð keilu.
- Svörfun – þykkt á fóðringum og málmblanda.

Mikilvægt er að vanda val á keilu til þess að tryggja að hámarksafköst náist við mólunina. 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 fint efni fer brotið að mestu fram í neðri hlutanum og efri hlutinn nýtist þar af leiðandi ekki og útkoman verður aukíð slit.



## Til athugunar

Þegar keilan er valin er búið að ákveða brotrýmið og þar með er búið að ákveða stærð á inntaks- og úttaksopi. Fyrir hvert brotrými og brjótastærð eru lágmarksstillingar.

Ekki er ráðlagt að efni sem er matað inn í kónbrjót sé stærra en 80% af víðustu stöðu inntaksopsins. 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.

Þrengsta opnun á úttaksopinu ákvarðar framleiðslustærðina.

Í mörgum brjótum er hægt að lesa úr tölvu opnun brjótsins. Ef ekki, er hægt að henda t.d. tómum olíusíum eða búa til kúlu úr álpappír og henda ofan í brjótinn. Síðan er olúsían eða álkúlan mæld með skífumáli. Einnig er hægt að láta blýstykki síga niður í brjótinn.

Ef keila er komin á síðasta snúning vegna slits 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 brúnin 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.

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

Ákveðin skilyrði þarf að uppfylla þegar kónbrjótar eru notaðir sem finbrjótar/eftirbrjótar:

- Fullmata brotrými (kokmötun).
- Stöðuga og jafna mötun (ef mötun er of hæg verða kornin oft flögótt).
- Hringrás efnið.
- Taka undan þ.e. harpa efni frá áður en það fer inn í kóninn þegar meira en ¼ hluti efnisins er smærra en minnsta bilið á milli ytri og innri kápu.
- Ráðlögð hámarksstærð innmattaðs efnis sé ekki stærra en 50 mm.
- Stillingar á úttaksopi nálægt framleiðslustærð.
- Keila sem hentar fyrir hráefnið.

Það eina sem takmarkar notkun á kónbrjót í fínömlun eru óhóflegt magn fínafna í mötuninni og of hátt rakainnihald. Samkvæmt mörgum framleiðendum eru korn minni en 5 mm ekki æskileg í kónbrjóta og hámarks rakainnihald í mötun má ekki vera meira en 3%.

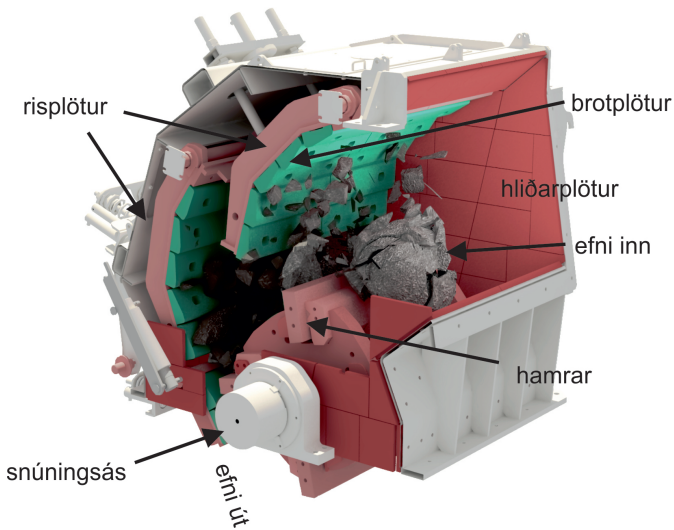
### 2.3.3 Kastbrjótar

*Kastbrjótar* (e. shaft impactors) eru framleiddir í nokkrum stærðum og gerðum. Tvær aðalgerðir kastbrjóta eru láréttur kastbrjótur (HSI) og lóðréttur kastbrjótur (VSI). Það sem einkennir þessa brjóta er hátt smækkunarhlutfall og betri kornalögun framleiðsluefnis.

#### Láréttir kastbrjótar

*Láréttir kastbrjótar* (HSI brjótar) (e. horizontal shaft impactors) brjóta steinefnið með höggálagi. HSI brjótar 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 fín-efnum er ekki vandamál. HSI brjótar eru mikið notaðir til að endurvinnna efni og henta best fyrir veik (mjúk) steinefni. Uppgefin stærð HSI brjóta hefur ekkert með mötunarvið að gera heldur ákvarðast stærð þeirra af þvermáli snúningsáss (rótors) og breiddar hans. Brjótur sem heitir NP1520 er með snúningsás sem er 1500 mm í þvermál og 2000 mm breiður.

HSI brjótar eru með láréttan snúningsás með nokkrum lausum hömrum eða föstum stöngum. Brotið á efninu verður í þremur liðum. Í fyrsta lagi þá brotnar það við snögg högg sem verður þegar efnið lendir á hömrum, sem eru áfastir við snúningsásinn. Síðan kastast það áfram af miklu afli yfir á eina eða fleiri risplötur en fjöldi þeirra fer eftir



Þversnið af HSI brjót. © Metso.

stærð brjóts og á hverri þeirra eru boltaðar brotplötur. Þaðan kastast efnið síðan áfram yfir á hliðarplötur, sem samanstanda af mörgum smærri einingum, sem verja brotrýmið. Á leið sinni gegnum brjótinn kastast efnið nokkrum sinnum á risplöturnar og sömuleiðis á hamrana. Restin af brotinu verður síðan vegna árekstra á milli kornanna.

Hægt er að fá slithluti í kastbrjóta 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 hamrar í kastbrjót eru nýir er höggið mun öflugra og orkan sem verður til brýtur steininn upp í fleiri hluta. Þegar þeir byrja að slitna verður höggálagið minna og steinninn brotnar upp í færri hluta og kastast ekki á brotplöturnar. Við þetta detta afköstin strax niður. Meiri hætta er á aukningu flögóttis efnis þegar hamrarnir eru slitnir.

Kastbrjótur sem forbrjótur hafa mikla afkastagetu og er inntaksstærð þeirra 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. HSI brjótur hafa ekki verið notaðir sem forbrjótur hér á landi nema þegar verið er að endurvinnna malbik. Þessir brjótur hafa verið notaðir hér á landi sem aukabrjótur til að hjálpa til við að hringrása efninu, þ.e. koma inn sem þriðji brjótur, þar sem bæta þarf kornalögun og/eða auka hlut fínefna í framleiðslunni, t.d. fyrir malbik og steinsteypu. Auk þess hafa þeir verið notaðir sem seinni brjótur (eftirbrjótur).



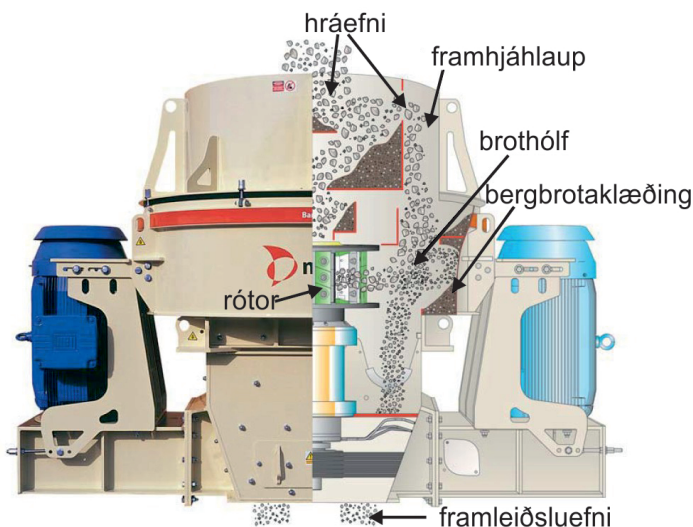
Ef efnið sem verið er að vinna er mjög hart verður til minna af fínefnum. Segja má að HSI brjótar henti vel fyrir frekar veikt efni þar sem mikið er af efni sem flokkast í 3. flokk í berggreiningu. Ástæðan er sú að grjót sem hefur lítinn styrk kurlast niður í mjög smáar stærðir í þessum brjóti.

### Lóðréttir kastbrjótar

Lóðréttir kastbrjótar (VSI brjótar) (e. vertical shaft impactors) eru framleiddir í nokkrum stærðum og gerðum og eru eingöngu notaðir sem finbrjótar/eftirbrjótar á 3. eða 4. brotstigi. Þessir brjótar eru aðallega notaðir í framleiðslu á fingerðu steinefni, eins og klæðingarefni, malbiki og sandi, með góða kornalögun, þ.e. teningslögun. Þessi gerð brjóta er meira talin vera tæki til að bæta kornalögun (e. „good shaper“) og sem sandframleiðsluvélar (e. „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 100 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 finni og öfugt. Smækkunarhlutfall VSI brjóta er langt frá því að vera jafn hátt og á kónbrjótum en kornalögun efnisins verður mun betri vegna 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. Ofan á ásnum er toppstykki



VSI brjótur. Þversnið af Barmac VSI brjót með framhjálaupi. Hér er útfærslan steinn-á-stein. © Metso.

(rótor) og utan um það er brothólf. Hraefnið fellur lóðrétt ofan í brjótinn, ofan í toppstykkið sem snýst rangsælis á miklum hraða. Toppstykkið er annaðhvort opið eða lokað.

Snúningsásinn er þýðingarmesti hluti brjótsins en hann sér um að kasta efninu á miklum hraða út í brothólfið þar sem það brotnar. Nokkrar útfærslur eru af toppstykkinu 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 hólfin þar sem það þakast og myndar hlífðarkápu sem ver brjótinn. Í *steinn-á-málm* útfærslunni eru engin slík hólf 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-stein* útfærslunni koma kornin inn í hólfið og skella á hlífðarkápunni. Þarna á sér stað smækkun á steinefninu vegna árekstra, núnings og svörfunar kornanna. Efnið er inni í hólfinu í nokkrar sekúndur og fellur síðan í gegnum fallrennu og út. Sumir VSI brjótar eru einnig með framhjálaupi (e. cascade). Þá er minna efnismagni hleypt ofan í toppstykkið og hluti efnisins fer niður til hliðanna. Með framhjálaupi er hægt að stýra kornadreifingunni meira.

VSI brjótar eru hannaðir til að nýta sér hraða kornanna og höggáraun frekar 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 yfirborðsprýsting 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 fingerður salli myndast en mun minni þegar efnið er sterkt.

## 2.4 Færibönd

*Færibönd* (e. conveyor belt) flytja steinefni á milli eininga, þ.e. frá forbrjót yfir á eftirbrjót og hörpu og þaðan út í hauga. Dúkurinn á yfirborði færibandans nefnist færibandareim og eru til margar gerðir af þeim. Dúkurinn er lagskiptur og er yfirleitt úr gúmmí eða plasti. Á milli laga er strigi. Algengasta þykkt á færibandareimum, sem notaðar eru hér á landi, er 10 mm, lagskipt 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. Algeng þykkt 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. Síðan eru til margar útfærslur af skúffu- og skófluböndum.

## 2.5 Hörpur

*Hörpur* (e. screens) eru raf- eða oliuknúin tæki sem stærðarskipta steinefnum sem unnin eru úr mismunandi seti eða bergi og aðskilja ýmis steinefni og jarðveg til endurvinnslu eða brottkasts. Hörpur eru ýmist notaðar sem sjálfstæð eining eða með brjótum. Hörpur eru framleiddar í mörgum stærðum og gerðum. Flestar eru þær á nokkrum hæðum. Hver



*Hristiharpa. Lokotrack ST458 með 3 hæðum og 4 færíböndum. Uppsáir í Húnavatnssýslu (HEJ).*

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 m<sup>2</sup>. Seinni talan 1 stendur fyrir eina hæð. Merkingar á ýmsum öðrum tegundum harpa segja til um lítið annað en fjölda hæða og færíbanda.

Flestar hörpur eru með einum öxli en sumar 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 miðflóttaaflið á öxlinum. Eftir því sem bætt er við aflið þá verður hörpunin grófari og harðari. Ef létt er á verður hristingurinn finni. Ef slaglengdin á hörpunni er of mikill hafa kornin mun minni möguleika á að fara í gegnum netið. Ef slaglengdin er of lítil þá er hætta á að netið stíflist.

Hörpur skipta miklu máli í efnisvinnslu og þurfa að vera af réttri stærð og hæfa afköstum brjótanna. Þær gegna mikilvægu og margvíslegu hlutverki í efnisvinnsluferlinu, allt eftir því í hvaða þætti framleiðslunnar þær eru notaðar hverju sinni. Með fleiri brotstigum verða til minni og minni kornastærðir. Til þess að geta búið til nothæft steinefni þá þarf að harpa efnið í mismunandi flokka. Eftir hvert brotstig er efnið harpað og er það oftast gert með titrandi og hallandi hörpum. Efni sem hefur náð fyrirhugaðri stærð fer í gegnum hörpuna en stærri steinar flytjast með færíbandi 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 hafa verið fjarlægð.

Algengustu hörpur sem notaðar eru til efnisvinnslu hér á landi eru tveggja eða þriggja hæða með einum öxli. Flestar eru á beltum en einhverjar eru sambyggðar í samstæðum og nokkrar eru á fótum.

**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 rétttri stærð í lokahörpun.

**Hörpur eru notaðar í:**

- Flokkun.
- Til að taka út ákveðin kornastærðarflokk.
- Lokaframleiðslu á flokkuðu steinefni.

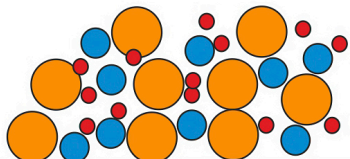
**Hörpun ræðst af möguleika kornanna á að fara í gegnum möskvann á netinu, sem ræðst aftur af:**

- Ferli kornanna (stefnu, hraða, slagi, hraðaukningu).
- Stærð, lögun og þykkt möskva.
- Fjölda möskva á netinu sem kornið hefur möguleika á að „sjá“ þ.e. fara í gegnum (fer meðal annars eftir hörpunarfleti).

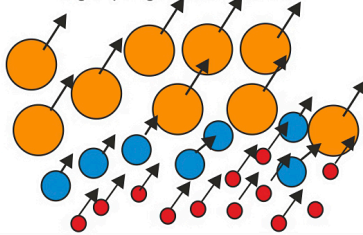
### 2.5.1 Lagskipting og aðskilnaður efnis á hörpu

Aðskilnaður steinefnisins byrjar á færibandinu þar sem fínefnin hristast niður og grófa efnið hristist upp. Til að aðskilnaður geti átt sér stað þarf lagskipting innan efnismassans á færibandinu að vera til staðar. Með lagskiptingu er átt við að stærri korn hristast upp vegna titrings í hörpunni meðan minni korn detta niður á milli holrúma og setjast 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 korn. Síðan er hámarkslengd hörpunnar notuð til að ná fram aðskilnaði.

Harpan í hvíld.  
Efniskornin í einum haug

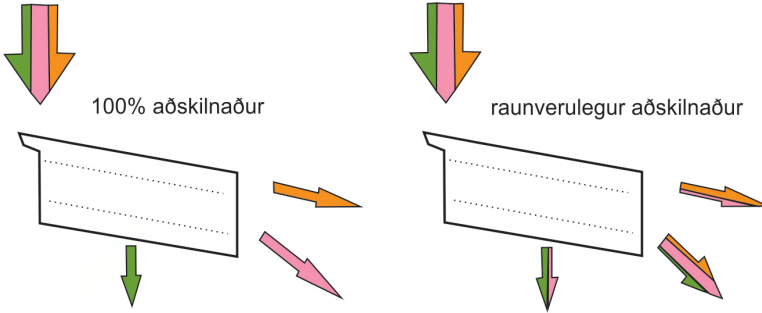


Harpan í vinnslu. Aðskilnaður og lagskipting efnismassans.



Vinstra megin er harpan í hvíld og öll steinefnakornin í haug. Hægra megin er harpan í vinnslu og þá hristast kornin og aðskiljast eftir grófleika. © Metso.

Aðskilnaður heldur áfram þegar kornin koma að hörpunetinu og fara í gegn ef þau eru smærri en möskvinn en ekki ef þau eru stærr. Aðskilnaðarmöguleiki efniskorna ákvarðast af hlutfalli milli stærðar korna og möskvastærðar.

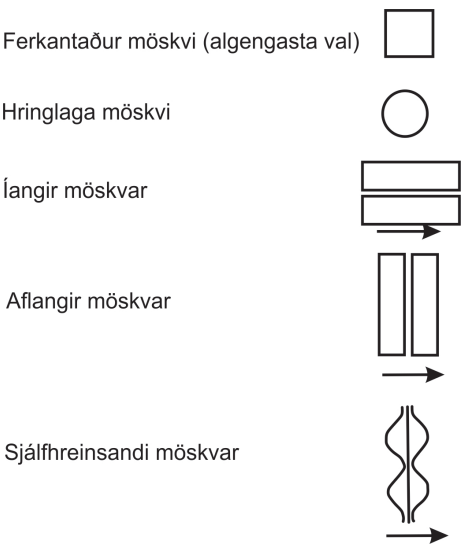


Vinstra megin er sýnt á táknrænan hátt hvernig 100% aðskilnaður er hugsaður: þrjár stærðarflokkar steinefna aðskiljast fullkomlega. Hægra megin er sýndur raunverulegur aðskilnaður. © Metso.

Því meiri munur á stærð því auðveldara er fyrir efniskornin að komast í gegn. Aðskilnaður er aldrei 100% meðal annars vegna raka í steinefninu, því raki eykur samloðun milli steinefnakorna.

### 2.5.2 Hörpunet og möskvar

Hörpunet og möskvar (e. screen panel & mesh) eru mörg og mismunandi og í boði eru margar tegundir fyrir mismunandi hörpur. Meðal annars er hægt að fá netin langspennt, þverspennt, hliðarspennt eða sem litlar staðlaðar einingar. Hörpunet er meðal annars hægt að fá úr stáli, ryðfríu stáli, áli, látúni, sinkhúðuð eða úr gerviefnum eins og úr plasti og gúmmíi. Hörpunetin geta til dæmis verið gataðar plötur, samsoðin eða ofin vírnet. Hægt er að fá ýmsar gerðir af möskvum, meðal annars ferkantaða (e. square), sjálfhreinsandi (e. self-cleaning), píanó (e. piano wire), ílanga (e. parallel), aflanga (e. long openings) eða hringlaga (e. rounded) möskva. Ferkantaðir möskvar er algengasta gerðin.



Mismunandi lögun möskva á hörpunetum.

Margir efnisvinnsluverktakar á Íslandi nota ofin vírnet og sjálfhreinsandi net eru orðin nokkuð algeng. Sjálfhreinsandi net er hægt að fá í nokkrum útfærslum. Þau, ásamt pianónetum, henta vel fyrir blautt, rakt og klístrað efni.

Í forvinnslu grófra steinefna eru notaðar þykkar gataðar stálplötur, samsóðin vírnet eða þykk götuð gúmminet.



Sjálfhreinsandi net. Stundum kallað sikk-sakk net (HEJ).

### 2.5.3 Halli á hörpunetum

Eftir því sem að hallinn er meiri á hörpunetum því minna verður hið raunverulega op möskva. Auk þess eykst hraði kornanna eftir því sem að hallinn er meiri. Í gerviefnum er mun þykkara efnislag sem veldur því að hin raunverulega opnun möskvans verður minni. Ef efnisþykkt hörpunets er 10 mm og möskvastærðin 15 mm er opnun við 5° halla einungis 13,3 mm. Við 10° halla er opnunin 11,5 mm og við 15° halla 9,1 mm.



## Til athugunar

Flatarmál hörpu, möskvastærð og rúmþyngd steinefnis eru meðal þeirra eiginleika sem skipta máli varðandi virkni hörpunnar.



*Þykkt gúmmínet (hlífðarmotta) efst. Þar undir er flokkunarnet sem er ofið vírnet (HEJ).*

Framleiðslustærð steinefnis<sup>7</sup> er ekki sú sama og möskvastærðin á hörpunetinu. Möskvastærðin er alltaf einhverjum millimetrum stærri en framleiðslustærðin. Framleiðslustærð steinefnis er mismunandi eftir tegundum hörpuneta og hvernig lögunin er á möskvanum, þ.e. ferkantað, ílangt, aflangt eða hringlaga og t.d. þykkt á vírnetinu.

Ef framleiða á 0/16 mm efni fer möskvastærð netsins eftir því hvaða efnisgerð er í netinu. Ef efnisgerðin er ofið vírnet með ferköntuðum möskva þá er eðlilegt að velja 19 mm möskvastærð. Ef efnisgerðin er úr plasti með ferköntuðum möskva þá er eðlilegra að hafa 20 mm möskvastærð. Ef möskvarnir eru hinsvegar hringlaga þarf að margfalda með stuðlinum 1,25 til að fá út stærð möskva.

---

<sup>7</sup> Stærðarflokkar steinefna eru tilgreindir með neðri flokkunar- og efri flokkunarstærð t.d. 11/16 mm en einnig er tilgreint leyfilegt hlutfall undirstærða undir neðri flokkunarstærð (11) og leyfilegt hlutfall yfirstærða yfir efri flokkunarstærð (16).




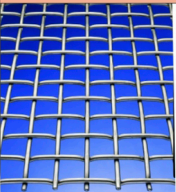
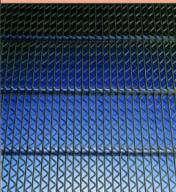
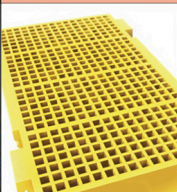

## Til athugunar

Almennan reglan fyrir möskvastærð hörpuneta í hallandi hörpum er:

- Ef hörpunetið er úr ofnu vírneti þurfa möskvarnir að vera 5% til 10% stærri en framleiðslustærðin.
- Ef hörpunetið er úr gúmmí þurfa möskvarnir að vera 25% til 30% stærri en framleiðslustærðin.
- Ef hörpunetið er úr plasti þurfa möskvarnir að vera 15% til 20% stærri en framleiðslustærðin.

Innamál möskva á hörpunetum er mælt með skífumáli.

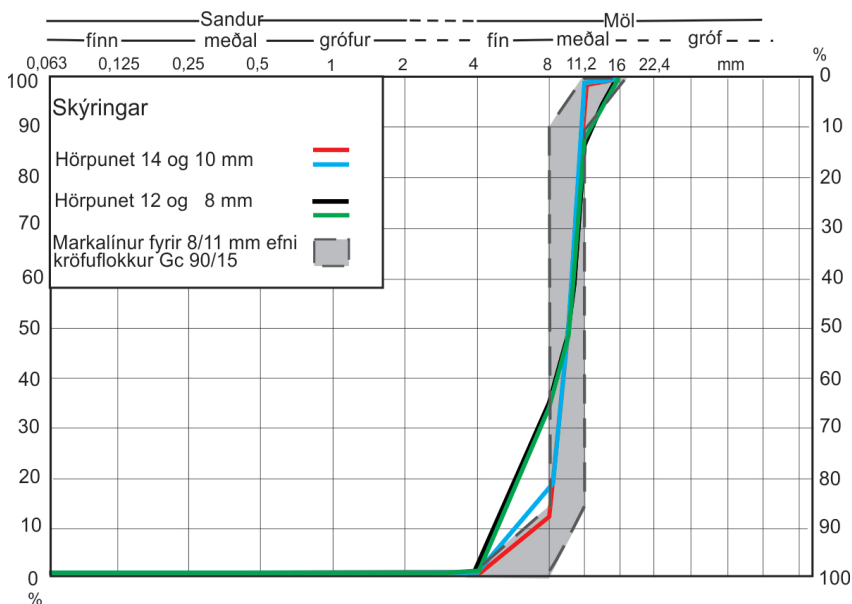
### Framleiðslustærð steinefna og möskvastærð hörpuneta

Framleiðslustærð mm	Möskvastærð	Möskvastærð	Möskvastærð gerviefna	
	Ofin vírnet	Sikksakk net	Plastefni	Gúmmíefni
				
4	5	4,5	5,6	6,3
8	10	10	10,5	10,5
11,2	13,7	13	14,5	15,5
16	19	19	20	21
22,4	25	25	28	29
31,5	35,5	35,5	38	40
45	50		50	57
63	70		68	76

Dálkurinn vinstra megin sýnir þá framleiðslustærð (efri flokkunarstærð) sem fyrirhugað er að framleiða í mm. Næstu dálkar sýna mismunandi tegundir hörpuneta og hvaða möskvastærð gæti hentað fyrir hvern stærðarflokk.



Þó svo að einungis muni einum til tveimur millimetrum á möskvastærðinni á netinu þá hefur það mjög mikið að segja fyrir framleiðsluefnið og hefur áhrif á magn undir- og yfirstærða. Á myndinni hér fyrir neðan má sjá hve munurinn er mikill á 8/11 mm klæðingarefni eftir því hvaða opnun er á hörpunetum. Sami verktakinn sá um framleiðslu í báðum tilvikum. Leyfilegar undirstærðir máttu að hámarki vera 15% og yfirstærðir að hámarki 10%. Fyrst voru hörpunetin 8 mm og 12 mm (svart og grænt) og þá voru undirstærðirnar um 34% og yfirstærðir 12%. Síðan var skipt um hörpunet og sett 10 mm og 14 mm net í staðinn (rautt og blátt). Undirstærðirnar fóru í 12% og yfirstærðirnar í um 2%.



Mikill munur er á 8/11 mm klæðingarefni eftir því hvaða möskvastærð er á hörpunetum. Sami verktaki og sama efni. Eini munurinn er önnur stærð af möskvum.

Það er einnig mjög mikilvægt að passa upp á 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 þau ráðast til dæmis af lengd, stærð og tegund. Ef of mikið efni er á hörpunni verður aðskilnaður lítill og undirstærðir blandast yfirstærðum. Ef of lítið efni er á hörpunni 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 blautu hörpun. Til að átta sig á hæfilegri efnisþykkt er ágætis regla að áætla þykktina sem hlutfall af framleiðslustærðinni. Fyrir hörpun 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 hörpun 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.

Eftirtaldir þættir hafa áhrif á afköst hörpunnar:

- Raki veldur því að finefnin loða við stærri korn, og einnig við yfirborð netsins, og kemur í veg fyrir að kornin komist 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 kornin komist í gegnum möskvann.
- Ílöng korn festast í möskvanum og loka þannig á að kornin komist í gegn.

Harpan getur verið allt að fjórar hæðir. Hver stærð sem á að framleiða þarf að minnsta kosti eina hæð á hörpunni.

Val á rétttri hörpustærð 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:

- Gerð hörpunets. Gúmmínet, plastnet eða stálnet. Ofin vírnet, píanónet, sjálfhreinsandi net, gataðar stálplötur, gataðar gúmmímottur eða strekkt gúmmínet?
- Hversu þykkt á netið að vera? Ef netið er til dæmis þunnt aukast afköstin en endingin verður léleg.
- Hvernig eiga möskvarnir á netinu að vera? Ferkantaðir, hringlóttir, aflangir eða ílangir?
- Hvaða stærð á að vera á möskvunum? Almenna reglan er sú þegar um vírnet er að ræða að velja skal möskvastærð sem er 5-10% stærri en framleiðslustærðin. Fyrir gúmmínet er almenna reglan sú að hafa möskvastærðina 25-30% stærri en framleiðslustærðina.



## Til athugunar

### Algeng mistök varðandi hörpun eru:

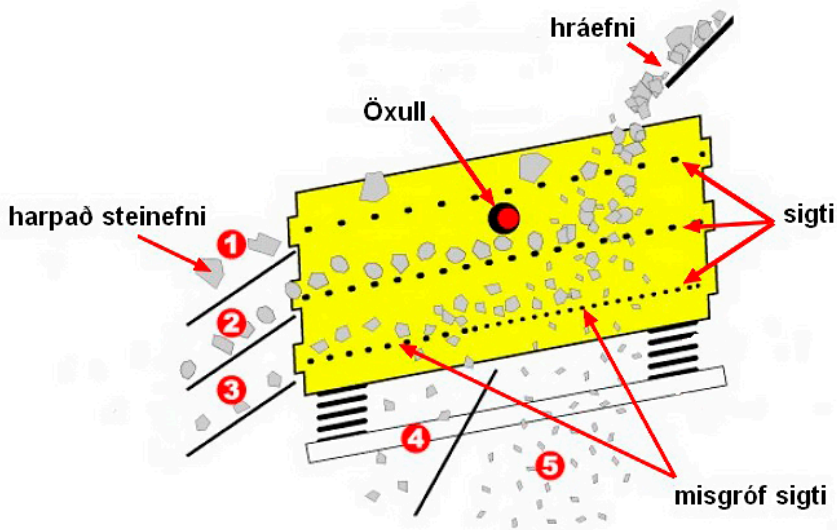
- Ofhlaða hörpur þannig að þær hafa ekki undan.
- Möskvastærð ekki rétt.
- Hörpunetum raðað rangt í hörpuna.

## 2.6 Helstu gerðir af hristihörpum

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

*Hristihörpur* (e. vibrating screens) eru þýðingarmikil og alhliða tæki í steinefnavinnslu. Þær eru með rétthyrndan hörpunarflöt með skömmtunar- og útfallsenda á sitt hvorum endanum. Með hristihörpum er hægt að stærðargreina efni allt frá 300 mm og niður í 45  $\mu\text{m}$  (0,045 mm). Hristihörpur eru notaðar í ýmislegt eins og þurra hörpun, flokkun, til að taka út yfir- og undirstærðir og blauta hörpun. Flestar tegundir af hristihörpum eru framleiddar með fleiri en einum hörpunarfleti.

Til eru þrjár grunngerðir af hristihörpum: láréttar hörpur, hallandi hörpur og banana hörpur. Innan þessara flokka eru margar tegundir og mismunandi útfærslur. Á hörpum er línulegur, hringlaga eða sporöskjulaga titringur framkvæmdur með vélbúnaði, annað hvort með snúningi þyngdarbúnaðar eða snúningshjóls sem venjulega er fast við einn öxul. Hörpur með línulega eða hringlaga hreyfingu eru mikið notaðar. Hreyfingin á hörpunni þ.e. sú átt sem harpan er látin hristast eða snúast í getur annað hvort verið með eða á móti efnisflæðinu. Þegar hreyfingin er á móti flæðinu hægir það á efnisrennslinu og meiri möguleikar eru á skilvirkum aðskilnaði. Hreyfing með efnisflæðinu gefur mun meiri afköst.



**1** = mismunandi framleiðslustærðir, 1 er grófast og 5 er finast

Afstöðumynd sem sýnir þversnið af hallandi hristihörpu.

### 2.6.1 Láréttar hörpur

Láréttar hörpur (e. horizontal screens) eru yfirleitt á tveimur til þremur hæðum og er hallinn frá 0° til 10°. 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 venjulegast undir 45° horni. Við sporöskjulaga hreyfingu skoppar efniskornið og veltur áfram.

### 2.6.2 Hallandi hörpur

Hallandi hörpur (e. inclined screens) eru einfaldar í uppsetningu og mjög vinsælar. Þær eru yfirleitt á tveimur til fjórum hæðum. Halli er á bilinu 10° til 35°. Efniskornið skoppar og vegna hallans (þyngdarafis) veltur það auk þess áfram. Því meiri sem hallinn er því hraðar fer kornið.



*Sandvik QA331 tveggja hæða hallandi hristiharpa (HEI).*

### 2 6.3 Bananahörpur

Bananahörpur eða hörpur með breytilegum halla (e. multiple inclination „banana screen“) eru mikið notaðar og afkasta miklu. Netin eru sveigð, þ.e. með bananalagi og eru yfirleitt ein til þrjár hæðir. Við skömmunarendann þar sem efnið kemur inn er hallinn 30-40° og við útfallsendann þar sem efnið fer út er hann frá 0-15°. Hörpunar er hægt að fá annaðhvort með sporöskju- 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 efniskornið sem kemur inn á hörpuna flæðir hratt við skömmunarendann. Restin af efniskornunum, 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 efniskorninu þannig að hörpin verður miklu skilvirkari

fyrir þá stærð sem verið er að framleiða. Afkastageta bananaharpa er töluvert meiri, jafnvel þrisvar til fjórum sinnum meiri en fyrir venjulegar hristihörpur.



*Þriggja hæða bananaharpa með breytilegum halla frá Mesto.  
© Metso.*

#### **2.6.4 Grjóthörpur**

*Grjóthörpur* (e. scalping screen) eru stórar hörpur með línulaga hreyfingu sem grófflokka efni. Grjóthörpur eru meðal annars notaðir í forvinnslu til að flokka efni. Þær eru til dæmis notaðar til að taka út yfir- eða undirstærðir svo að þær stærðir fari ekki áfram í vinnslunni. Í námunum þar sem er mikið af finefnum er hægt að nota grjóthörpu til að fjarlægja þau áður en efnið fer inn í forbrjótinn. Öflugustu grjóthörpunar eru þannig útbúnar að þær geta flokkað erfitt klístrað efni í þrjár stærðir.



*Tveggja hæða Warrior 2100 grjótharpa frá Powerscreen með þremur færiföndum (HEJ).*

## 2.7 Þvottur á steinefnum

Markmiðið með þvotti er fyrst og fremst að fjarlægja fínefni/óhreinindi úr steinefninu og/eða að flokka steinefni. Hér á landi hefur það tíðkast að nota þvottahörpur eða þvottasnigla. Í þvotti er nauðsynlegt að hafa afkastamiklar vatnsdælur. Helstu vandamál varðandi þvott á steinefnum hér á landi eru aðgengi að nægjanlegu vatni til þvottar og frost.

Tækjabúnaður við þvott á steinefnum eru:

- Þvottahörpur.
- Þvottakar með spöðum ef mjög erfitt er að aðskilja fínefni.
- Þvottakar með snigli fyrir fínt og gróft efni.
- Þvottastöðvar.

Klæðingarefni er oftast þvegið og er markmiðið með þvottinum að bæta viðloðun steinefnisins við bindiefni. Í dag er stór hluti klæðingarefna sem notað er hér landi flokkað efni en það fyrirfinnst þó enn að óflokkað klæðingarefni sé notað. Þegar óflokkað klæðingarefni er þvegið, er það þvegið í þvottasnigli. Flokkað klæðingarefni er einungis þvegið á hörpu. Þegar of mikil fínefni eru í burðarlagefni getur einnig verið nauðsynlegt að þvo það.

Spúlun á efni sem kemur af færibaldi og skolun á efni upp úr ám og vötnum telst ekki vera þvottur og þær aðferðir ættu aldrei að vera samþykktar. Svoleiðis þvottur er ófullnægjandi til að ná árangri við þvott.

Hægt er að fá úðunarbúnað sem settur er fremst á færibönd en sá búnaður er einungis notaður til að minnka ryk og telst ekki vera þvottur.

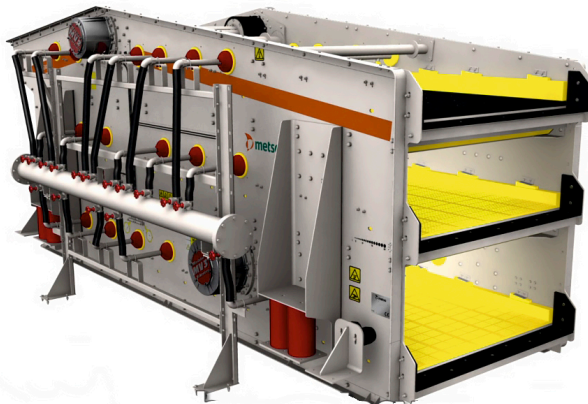


*Sandvik QA331 tveggja hæða hallandi hristiharpa. Við enda hvers færibands eru úðastútar sem úða vatni til að dempa ryk (HEI).*

### 2.7.1 Þvottahörpur

Algengast er að þvo efni á þvottahörpum (e. washing on-screen) sem eru hefðbundnar hörpur. Þvottahörpur eru venjulegast hallandi eða láréttar.

Í flestum tilfellum er hægt að setja þvottabúnað, þ.e. þvottagrind á hörpur, því búnaðurinn, rör með úðastútum, er viðbót og hefur ekki áhrif á sjálfa hörpuna. Flestar hörpur eru þannig að það er annaðhvort hægt að kaupa þær með þessum þvottabúnaði eða kaupa búnaðinn stakann. Þvottabúnaðurinn samanstendur af mis mörgum rörum sem eru að lágmarki um 40 mm í þvermál.



Lárétt þriggja hæða ES hristiharpa frá Metso með þvottabúnaði. Hörpunetin eru úr plastefni. Efst eru 6 þvottarör, síðan 5 á næstefsta netinu og á neðsta hörpunetinu eru 4 þvottarör. © Metso.

Það tekur tvo menn heilan dag að taka kerfið niður en hægt er að nota hörpuna sem venjulega hörpu þrátt fyrir að þvottabúnaðurinn sé uppsettur.

Á hverri hæð hörpunnar eru rör sem liggja þvert fyrir ofan hörpunetin. Rörin eru flest efst og þeim fækkar er neðar kemur í hörpuna. Neðan í hverju röri eru nokkrir úðastútar (e. spray bars) sem er raðað á víxl miðað við rörið fyrir fram og aftan. Hjá framleiðendum er hægt að fá margar gerðir af spissum/úðastútum, fyrir mismikinn þrýsting, allt frá 0,3 til 3,0 bara þrýsting. Hægt er að velja um mismunandi þvermál á stútum. Vatnsþrýstingur er stillanlegur á hverri hæð hörpunnar með ventlum. Vatnsbunan verður breiðari eftir því sem vatnsþrýstingurinn er meiri. Úðastútarnir þurfa að vera margir til að fá ásættanlegan þvott á efninu. Leiða þarf skolvatn og fínefni í burtu. Yfirleitt er það gert með þró sem leiðir skolvatnið síðan yfir í settjarnir. Þar setjast fínefnið til áður en vatnið rennur lengra. Ráðlagt er að nota sinkhúðuð hörpunet því þau tærast minna í vatninu. Þvottahörpur geta unnið sjálfstætt eða geta verið sem partur af stærri þvottaeiningu.



*Lokotrack ST4.8 frá Metso. Á hverju röri eru 7 úðastútar. Stútarnir breikka út. Með góðum vatnsbrýstingi verður bunan breiðari. © Metso.*

Heimagerðar þvottagrindur eru algengur búnaður hér á landi. Neðan í hverju röri geta verið 3 til 8 spissar sem er raðað á víxl miðað við rörið fyrir fram og aftan. Einnig er algengt að til viðbótar rörum séu boruð göt á rörin og skorið í þau með brettaskífum. Einhverjar hörpur eru einungis með þvottabúnað yfir efsta dekkinu sem er ófullnægjandi, sérstaklega fyrir flokkað klæðingarefni. Á efsta dekkinu fer fram þvottur t.d. á 11/16 mm efni en á neðra dekkinu, 8/11 mm efni. Ef enginn þvottur er á neðra dekkinu næst ekki góður þvottur á 8/11 mm efninu m.a. af því að fínefni af efra dekkinu leka niður á það neðra. Nokkrir efnisvinnsluaðilar eru með þvottagrindur á tveimur hæðum. Aðrir mala efnið og þvo síðan.



*Trident Erin TD125T – tveggja hæða harpa. Heimagerð þvottagrind. Fjögur rör á hverri hæð 1,5 m löng með 8 spissa (úðastútum) á hverju röri (HEJ).*





Einföld heimagerð þvottagrind. Hér er einungis eitt rör samsíða hörpunni. Boruð hafa verið göt á rörið og auk þess skorið í það með brettaskífum. Hér er verið að þvo einn flokk klæðingarefnis, 8/11 mm efni. Harpan er lítil en virkar þegar einungis er verið að þvo einn efnisflokk (HEJ).



Ný þriggja hæða þvottaharpa S190 frá írsku fyrirtækinu McCloskey international sem Myllan ehf á. Á efstu hæð hörpunnar eru 9 þvottarör og svo 8 á hvorri hæð þar fyrir neðan. Átta úðastútar með 2ja bara þrýsingi eru á hverju röri. Þvottaharpan er mjög öflug og afkastar 4500 t á dag (GM).

Algengt vandamál á þvottahörpum er að of mikið vatn fer með yfirstærðarefni yfir í brjótinn þar sem brjótum er ekki vel við raka. Hægt er að komast hjá þessu með því að veita burt eins miklu vatni á hörpunni og hægt er. Einnig að passa upp á að engin þvottarör séu við endann á netinu. Auk þess er gott að vita að í þvotti þá virka hallandi hörpur mun betur en láréttar hörpur.

### 2.7.2 Þvottakar með spöðum

Þvottakar með spöðum (e. log washer) er notað til að þvo mól sem inniheldur finefni eða önnur óhreinindi. Grófleiki efnisins sem þessi þvottakör ráða við er mismunandi, eða allt upp í 125 mm. Um er að ræða hallandi kar með tveimur öxlum með mörgum spaðasettum sem



Þvottakar með spöðum. ©CDE Global.

raðast upp eftir öxlunum í spirál. Í vinnslu snúast öxlarnir gegn hvor öðrum og spaðarnir skarast því gagnvart 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 hvor annan. Við þetta þvæst finefnið af og leysist upp í vatninu og skolast út. Veikt steinefni brotnar við núninginn. Venjan er síðan að nota þvotta-hörpu eftir karið til að fjarlægja meira finefni.



## Til athugunar

### Þvottur á steinefnum

Mikilvægt er að þvottavatið sé hreint og með nægjanlegum þrýstingi til þess að þvottakerfið geti unnið vel og skilvirklega. Ef ekki er nægjanlegt vatn eða þrýstingur í byrjun þá skilar það sér í óhreinu steinefni.

Um vatnsmagn við þvott má almennt segja:

- Við hefðbundinn þvott þarf rúmlega 2,0 m<sup>3</sup> af vatni fyrir hvern m<sup>3</sup> af efni en vatnsmagnið er misjafnt eftir hreinleika efnisins.
- Við þvott á mjög óhreinu efni þarf rúmlega 3,0 m<sup>3</sup> af vatni fyrir hvern m<sup>3</sup> af efni.
- Við þvott í lok vinnslu, þegar skola þarf efnið, þarf um 1,5 m<sup>3</sup> af vatni fyrir hvern m<sup>3</sup> af efni.

### 2.7.3 Þvottakar með snigli fyrir fint efni

Þvottakar með snigli (þvottasnegill) (e. fine material washer, screw classifier) er notað til að þvo kornastærðir minni en 8 mm, þ.e. notað til að þvo fínefni (slamm) úr sandi og fínmöl. Þvottasnegill kemur þá á eftir þvottahörpu. Efnið fer í snigilinn og blandast síðan efni sem er grófara en 8 mm á færibandi á leið út í haug. Við inntaksenda karsins er flöt og við skúffa. Þar safnast vatn fyrir og er það gert til að fínefni nái betur að aðskiljast.



Þvottasnegill fyrir sand (HEJ).

Upp úr botni skúffunar gengur hæggengur snigill sem dregur efnið áfram upp úr vatninu. Fínefnin fara í yfirfallsrennur og þaðan út með skolvatninu. Við þvott í þvottasneglum 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.

### 2.7.4 Þvottakar með snigli fyrir gróft efni

Hægt er að fá þvottasnegla fyrir gróft efni (e. coarse material washer) sem taka alveg upp í 50 mm stærðir og jafnvel stærra. Uppbyggingin er mjög svipuð og fyrir þvottasnegil fyrir fint efni fyrir utan að það er mun minni skúffa við inntaksendann sem er ekki alveg lárétt.



*Þvottasigill fyrir gróft efni.  
© Power Equipment  
Company.*

Svona þvottakör eru notuð þegar fjarlægja þarf takmarkað magn af skaðlegum efnum eins og uppleysanlegum leir, óhreinindum og rusli. Þau eru oft notuð sem lokaþvottur fyrir mól sem hefur áður farið í gegnum þvott á hörpu.

### **2.7.5 Þvottakar með skófluhjóli**

*Þvottakar með skófluhjóli* (e. rotating washing barrel) er færibandahjól með skóflum sem eru inni í kari. Vatn og steinefni eru sett inn í karið. Hjólið með skóflunum snýst og molar efninu upp úr vatninu að útfallsenda. Til eru nokkrar tegundir af skófluhjólum. Þau er til dæmis hægt að fá til að þvo og endurvinna steypuefni og sandstærðir 0-6 mm. Fáir verktakar nota skófluhjól hér á landi og þá einungis þeir sem framleiða og endurvinnna steypu.

### **2.7.6 Þvottastöð**

Á Íslandi eru tvö efnisvinnslufyrirtæki með fastar *þvottastöðvar* (e. washing plant) í sínum námum. Þetta eru Tak Malbik ehf sem er með þvottastöð í námunni Hólabrú í Hvalfirði og Vatnsskarðsnámur Alexander Ólafsson ehf sem er með þvottastöð í Vatnsskarðsnámu í Hafnarfirði. Um er að ræða samstæður sem samanstanda af hörpum og þvottastöð. Báðar eru þær frá írsku fyrirtækinu CDE Global. Um samskonar stöðvar er að ræða (M2500 E4) fyrir utan að stöðin í Hvalfirði er útbúin með auka sandskilju (e. CFU/counter flow classification) þar sem töluverður sandhlykkur er í efninu sem þarf að fjarlægja. Þvottastöðvarnar eru hvor um sig um 200 tonn að þyngd og afkasta um 114-130 t/klst. Í þessum tilteknu stöðvum er hægt að framleiða allt að 4 efnisflokka.

Í hvorri þvottastöð eru þrjár hristihörpur. Fremst er þvottaharpa á tveimur hæðum og aftarlega eru tvær þerrihörpur sem halla öfugt á við venjulegar hörpur. Þerrihörpunar

vinna þannig að þær hrista nánast allt vatn úr steinefninu í burtu. Hörpunetin eru úr úritan plastefni. Tveir vatnstankar eru við þvottastöðvarnar. Stærri tankurinn er fyrir affallsvatnið sem fer í gegnum stöðina og tekur sá tankur um 250 þúsund lítra. Í vatnið er blandað vatnsleysilegum fjölliðum sem binda sig saman við fínefni (sylti og leir) sem verður til þess að þau botnfalla á skömmum tíma og eftir verður hreint vatn sem hægt er að nota aftur og aftur í þvottinn. Með þessu móti er hægt að endurnýta allt að 90% þess vatns sem fer í gegnum stöðina.



M2500 E4 þvottastöð frá írsku fyrirtækinu CDE Global uppsett í Hólalbrú Hvalfirði (HEJ).



## Til athugunar

Ágætis þumalputtaregla til að athuga hvort klæðingarefni sé nógu vel þvegið er að stinga lúkunni inn í efnishauginn. Ef maður þarf að þvo sér um hendurnar þá er efnið ekki nógu vel þvegið.

Uppröðun tækjabúnaðar í efnisvinnslu er mismunandi. Algengt er að hafa eina samhangandi vinnslulínu en stundum er efnisvinnslunni skipt niður í þrep og efnið haugsett á milli. Þar sem uppsetningin er samhangandi verða brjótarnir að passa fyrir hvorn annan, þannig að þeir geti tekið á móti efni frá brjótum sem er á undan í vinnslulínunni. Færiböndin þurfa auk þess að vera nógu löng. Ef of stórir steinar koma inn í forbrjót, þá stíflast hann auðveldlega. Ef það gerist og vinnslan er samhangandi tæmist brjótur númer tvö og það hefur áhrif á framleiðsluna.

Hráefni í efnisvinnslu er mismunandi og er mikilvægt að hafa það í huga þegar tækjabúnaðinum er stillt upp. Mikilvægt er til dæmis að klöpp sé sprengd í hæfilegar stærðir, af því það kostar minna að sprengja efnið fínna í stað þess að bæta við brjóti. Annað dæmi er að afköst eru meiri í hörðu efni en efni með lítinn styrk (veiku) því meira af fín-efnum verða til í veiku efni. Þá þarf kannski að taka fínefni undan á forhörfu eða milli-hörfu.

Í forstigi vinnslunnar er efnið allt frá því að vera mjög fínt og upp í það að vera mjög gróft. Þess vegna er afkastageta forbrjóta ekki stöðug allan tímann. Fyrir árangursríka mölun er mikilvægt að hafa síðasta brjótinn í vinnslulínunni alltaf fullan. Þetta er hægt með því að hafa stjórn á hráefninu. Samkvæmt góðum vinnureglum ætti vinnslulínan að vera sett upp þannig að síðasti brjóturinn sé 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 líka aftari brjóturinn. Með því að láta forbrjótinn vinna á 80% afköstum er ekki verið að ofkeyra hann.

### 3.1 Hringrás

*Hringrás* (e. closed circuit) er eitt af þeim atriðum sem er mikilvægt í efnisvinnslu. Hringrás þýðir að steinar sem eru of stórir fara til baka í eftirbrjótinn þ.e. harpa stærðarflokkar efnið og sendir yfirstærðir til baka í brjótinn. Kosturinn við hringrásarefni er að það fyllir síðan upp í holrúm á milli kornanna í eftirbrjótum og við það verður til núningur milli korna sem hjálpar til við brotið, þ.e. veikir steinar brotna við þetta og steinarnir brjóta brúnir utan af hvorum öðrum sem leiðir til meiri teningslögunar. Hringrás er mjög misjöfn, allt frá því að vera nánast ekki nein og upp í 30%, þ.e. 30% efnisins fer aðra umferð. Hversu mikil hringrásin er fer eftir því hvaða efni er verið að framleiða hverju sinni. Í burðarlagsefnum er hringrásin mjög lítil og sama sem engin eftir því sem þau eru grófari, til dæmis í 0/45 mm efni. Í klæðingarefni er hringrásin meiri. Eftir því sem að hringrásin eykst minnka afköstin og öfugt. 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 og einnig hefur það áhrif á kornalögun. Eftir því sem að netin eru smærri (minni möskvi) myndast meiri hringrás.

Ef framleiða á 0/22 mm burðarlagsefni með hringrás má möskvastærðin á netinu ekki vera minni en 25 mm (miðað við ferkantaða möskva og ofið vírnet). Stillingin á opnun brjótsins, þ.e. miðað við kónbrjót, gæti til dæmis verið 18 mm til að ná um 15% hringrás.

### 3.2 Mismunandi uppsetning tækjabúnaðar

Efnisvinnsla er þrepaskipt og fer brotið fram í nokkrum brotstigum. Algeng er 2ja og 3ja þrepa vinnsla. Vinnslan er annað hvort samhangandi eða henni er skipt upp og efnið haugsett á milli.

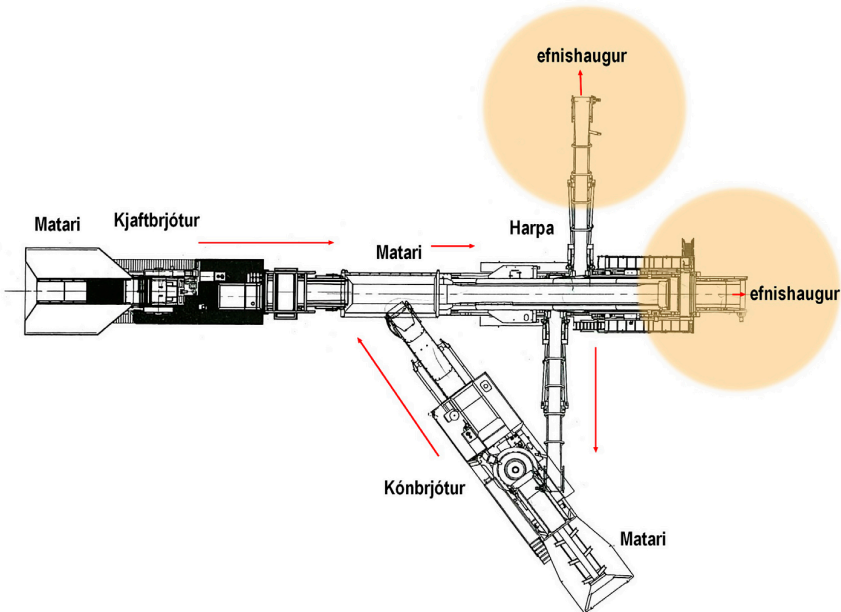
Prenns konar uppröðun í efnisvinnslu er algeng:

- A: brjótur + harpa + brjótur. Hámarks afköst (e. maximum capacity).
- B: brjótur + brjótur + harpa. Hámarks lögun (e. maximum shape).
- C: brjótur + brjótur + harpa + brjótur. Bestu gæði (e. optimum quality).

Í dæmunum hér fyrir neðan er uppröðunin í öllum tilvikum með hringrás.

#### 3.2.1 A brjótur + harpa + brjótur

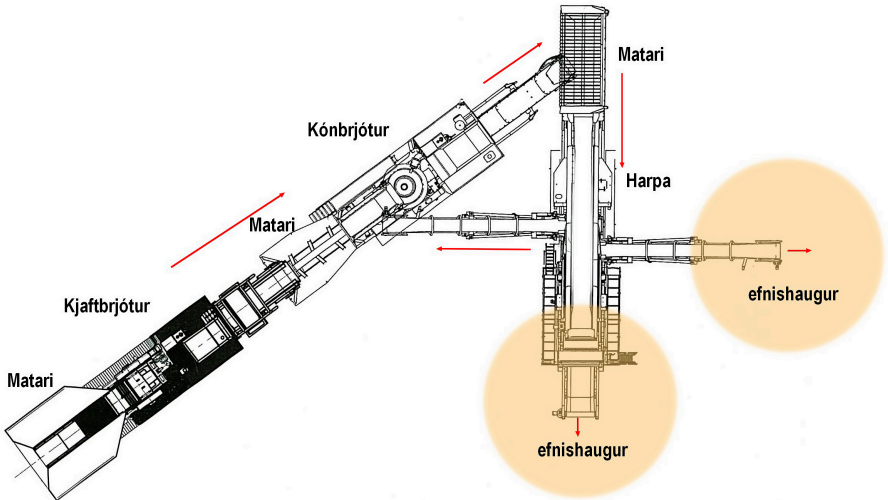
Stór hluti efnisins er brotið einu sinni og hluti tvisvar. Uppsetning A er algengasta uppröðunin í tveggja þrepa efnisvinnslu hér á landi. Í henni, sérstaklega fyrir burðarlag, fer hluti efnisins aldrei yfir á annað brotstig. Ástæðan er sú að rétt efnisstærð næst strax eftir forbrjót og er hörpuð frá. Þetta er í sumum tilvikum óheppilegt ef efnið er mjög hart og þá sérstaklega fyrir kornalögunina þar sem ílöng korn verða til í kjaftbrjót.



Uppsetning A. Kjaftbrjótur + harpa + kónbrjótur. © Metso.

### 3.2.2 B brjótur + brjótur + harpa

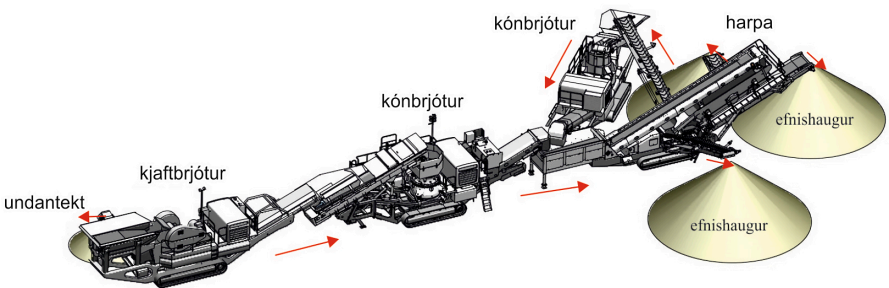
Í uppsetningu **B** er allt efnið brotið tvisvar sinnum og hluti þrisvar. Með þessari uppþöðun verður lögunin betri. Þessi uppsetning er ekki algeng í tveggja þrepa vinnslu á Íslandi en ætti að vera meira notuð, sérstaklega þar sem verið er að mala hart berg. Hún er ekki hentug ef efnið er sandríkt. Afköstin eru minni en í uppsetningu **A** en gæðin, sérstaklega fyrir hart klapparefni, eru miklu betri.



Uppsetning B. Kjaftrbjótur + kónbrjótur + harpa. © Metso.

### 3.2.3 C brjótur + brjótur + harpa + brjótur

Í uppsetningu **C** er allt efnið brotið tvisvar sinnum, stór hluti þrisvar og hluti fjórum sinnum.



Uppsetning C. Kjaftrbjótur + kónbrjótur + harpa + kónbrjótur. © Metso.



Algengasta uppsetningin hér á landi er **A**, *kjaftbrjótur + harpa + kónbrjótur*. Sú tækjaröðun skilar góðum afköstum og í mörgum tilfellum er hægt að ná þeim efniskröfum sem settar eru fram en oftar en ekki stenst framleiðsluefnið þó ekki kröfur um kornalögun. Uppsetning **B**, *kjaftbrjótur + kónbrjótur + harpa* er ekki algeng hér á landi. Í henni eru minni afköst en gæðin eru betri á efninu, þ.e. hagstætt brothlutfall og kornalögun, sérstaklega þegar að framleiðsluefnið er hart klapparefni. Uppsetning **C**, *kjaftbrjótur + kónbrjótur + harpa + kónbrjótur* er notuð fyrst og fremst þegar verið að mala efni í malbik og klæðingu.

Í efnisvinnslu þarf að huga að mörgu og eftirtalin atriði geta bætt vinnsluna:

- Stöðug innmötun. Passa að nóg efni sé í brjótnum, þannig að efnið brjóti sig sjálft.
- Minnka magn stærstu steina og senda þá tilbaka í brjótinn (hringrás).
- Net og uppröðun á netum í hörpu. Gróf net: meiri afköst, fin net: minni afköst.
- Athuga hvort netin séu farin að slitna.
- Hraði innmötunar (hröð mötun lokar á netin).
- Lögun keilu, tegund slitplata. Endurnýja keilu eða slitplötur.
- Víkka opnun brjóts og auka hringrás á efninu. Þetta eykur fyllingu efnisins í brjótnum sem bætir kornalögun en minnkar afköst.
- Minnka opnun á brjótnum og minnka hringrás á efninu. Þetta eykur hlutfall milli-stærða. Jafnframt eykur þetta hlutfall fínefna sem getur þurft að bregðast við. Kornalögun getur versnað. Aukin afköst. Fjölga brotstigum.
- Velja brjót sem getur brotið með meiri höggáraun.
- Athuga hvort hægt sé að breyta uppröðun á brjótum og hörpu.
- Flokka óæskilegt efni frá samhliða mokstri í brjótinn. Taka fínasta hluta efnisins undan á matara forbrjóts eða millihörpu eftir forbrjót.
- Þvo efnið.



## Til athugunar

Algeng uppröðun á tækjabúnaði í efnisvinnslu hér á landi er *kjaftbrjótur + harpa + kónbrjótur*. Þessi uppsetning getur verið mjög óhentug ef efnið sem verið er að brjóta er hart berg því rétt efnisstærð næst strax eftir kjaftbrjótinn og er hörpuð frá. Þetta er sérstaklega óheppilegt fyrir kornalögun steinefnisins þar sem ilöng korn verða til í kjaftbrjót og stór hluti efnisins fer aldrei yfir í kónbrjótinn. Heppilegri uppröðun fyrir hart berg er *kjaftbrjótur + kónbrjótur + harpa* því þá verður kornalögun betri.

Aðskilnaður steinefna 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 eins mikið. Vandamálin eru fyrst og fremst tengd óflokkuðu efni með breiðu kornastærðabili, eins og til dæmis 0/32 mm efni. Aðskilnaður á sér stað á nokkrum stöðum í framleiðslunni: á færíbandi, í haug framan við færíband og þegar efnið er haugsett. Aðskilnaður á sér einnig stað í flutningi og við útlögn. Aðskilnaður á færíbandi byrjar vegna lagskiptingar efnisins sem verður á bandinu. Aðskilnaðurinn sem verður til heldur áfram þegar efnið fellur fram af bandinu og í haug.

Fínefnin falla nokkurn veginn lóðrétt niður af færíbandinu og hlaðast upp undir því, þ.e. í innanverðum haugnum. Grófara efnið aftur á móti sem er efst á færíbandinu kastast lengra í burtu og safnast saman utan við færíbandið. Fínefnin hafa einnig meiri tilhneigingu til að loða við færíbandið sem veldur því að meira af fínefnum safnast upp undir því en ella. Utanaðkomandi þættir, eins og veður, hafa einnig áhrif. Til dæmis getur töluverður vindur feykt fínefnum úr efninu. Hægt er að sporna við því með því að setja stálplötu/plastdúk framan við færíbandið til að tryggja að efnið falli beint niður. Ef vindur er mikill er hægt að byggja skjól fyrir efnishauginn.



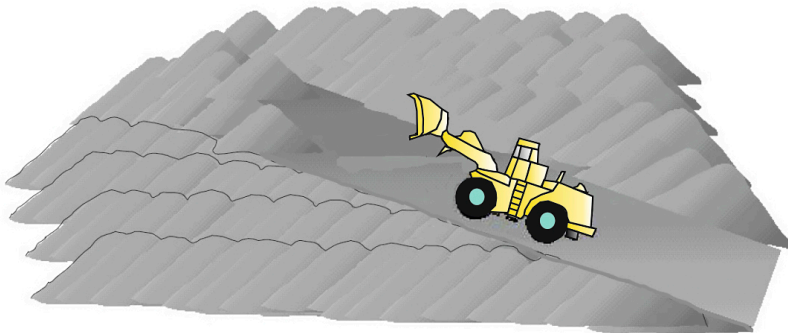
*Aðskilnaður efnis á sér stað á færíbandi. Grófara efnið kastast lengra en fínna efnið fellur beint niður (HEI).*

Aðskilnaður verður í steinefninu þegar stærri korn rúlla niður hliðar haugsins. Því hærrí sem haugurinn er og keilulagaðri því verra verður vandamálið. Þetta leiðir til þess að neðst í utanverðum haugnum verður bara gróft efni. Kúlulaga efni er líklegra til að rúlla niður en teningslaga.

Ekki er hægt að koma í veg fyrir aðskilnað en það er hægt að lágmarka hann. Til dæmis við mókstur undan færíbandi er gott að hafa hauginn sem jafnastan að stærð og moka alltaf úr sama skóflufarinu. Betra er að moka oftar og stöðugt úr haugnum því að eftir því sem 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.

## 4.1 Efni haugsett

Æskilegast er að nota hjólaskóflu þegar efni er haugsett. Þegar efnið er keyrt í haug er ekki sama hvernig það er losað úr skóflunni. Til að lágmarka aðskilnað er nauðsynlegt að láta efnið falla úr eins lítilli hæð og hægt er úr skóflunni og bakka um leið. Haugurinn er byggður upp í lögum og ráðlagt er að hvert lag sé ekki þykkara en 2 metrar. Löggin 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 að hafa jafn mikið í hverri skóflu. Aldrei má myndast hvilft (skápur) á milli hauganna og þar með strýtur á hlössin. Því getur verið gott að láta hlössin skarast. Þegar kemur að næstu röð eru hlössin sett á víxl miðað við fyrri röðina.



*Efni keyrt í haug. Haugurinn er byggður upp í jöfnum lögum.*

Svona er þetta gert koll af kalli þangað til fyrsta lagið er komið. Lagið er jafnað áður en næsta lag er sett ofaná. Efninu má aldrei sturta fram af haugnum. Nauðsynlegt er að hafa smá bil við endann á hverju lagi svo efnið rúlli ekki niður hliðar haugsins. Eftir því sem haugurinn hækkar því minni verður hver flötur. Haugurinn á að vera tiltölulega flatur að ofan og skal ekki vera keilulaga. Sneiðingur upp á hauginn skal vera eins þröngur og hægt er.

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

## 4.2 Efni mokað á bifreiðar

Þegar efni er mokað á bifreiðar 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 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 er gott að hlaða efninu þannig að fyrsta skóflan er sett fremst, næsta aftast og síðan í miðjuna. Svona aðferð gengur þó ekki upp fyrir 10 hjóla bifreiðar því pallarnir á þeim eru of stuttir. Einnig er hægt að nota beltagröfu þegar efni er mokað á bifreið.

### 4.3 Rýrnun og niðurbrot steinefna

Rýrnun og niðurbrot steinefna getur orðið í efnishaugum vegna nokkurra þátta. Rýrnun getur orðið á efnisgæðum þegar pláss er of lítið fyrir hauga af mismunandi efnisstærð og efnið blandast saman úr samliggjandi haugum.

Niðurbrot á steinefni í haug getur orðið vegna umferðar véla við haugsetningu og mokstur úr haugnum. Einnig getur orðið niðurbrot vegna veðrunar ef efnið er geymt í haug í langan tíma.

Aðrir þættir sem geta haft áhrif á efnisgæðin eru:

- Vélar og tæki geta borið óhreinindi í efnishauginn.
- Mikill vindur getur feykt finefnum í burtu.
- Frost í haug getur aukið aðskilnað og haft áhrif á gæði.
- Undirlag er finefnaríkt og blautt og blandast efnishaugnum.
- Lauf, gróður og finefni geta fokið í hauginn.

Á verkstað er æskilegt að eftirfarandi próf séu framkvæmd á steinefninu: kornadreifing, 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. Í sama riti í viðauka 1 er prófunar aðferðum lýst.

Mikilvægt er að hefja alla efnisvinnslu með prufuvinnslu til að kanna hvort vinnslu aðferðin hæfi til að framleiða steinefni sem stenst kröfur úr því hráefni sem er til staðar. Við vinnslu steinefna er helst hægt að hafa áhrif á kornadreifingu, kornalögun og brothlutfall. Eftir að niðurstöður prófana á þessum eiginleikum liggja fyrir eru gerðar breytingar á efnisvinnslunni ef ástæða þykir til.

Ef ekki er reynsla af vinnslu á efni úr námunni er lítið hægt að fullyrða um það hvernig framleiðslan verður. Mikilvægt er að sýni sé tekin úr efni sem unnið er með áætluðum afköstum vinnslunnar (réttu flæði).

- 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 uppfylli ekki kröfur, 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 fyrirælum um tíðni prófa.
- Náist ekki fyrirhuguð efnisgæði, þrátt fyrir breyttar vinnsluáferðir og frekari prófanir, skal það tilkynnt verkkaupa tafarlaust.
- Ef verkkaupi og verktaki eru ósammála um efnisgæði skal senda sýni til viðurkenndrar rannsóknarstofu.

### 5.1 Aðferðir við sýnatöku

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

Sýni er hægt að taka með eftirfarandi hætti:

- *Undan færibaldi í vinnslu.* Til dæmis er hægt að setja kar eða stóra skál undir færibaldið og renna undir efnisbununa. Karið verður að vera það breitt að það dekki alla bununa. Nauðsynlegt er að renna ílátinu handahófskennt nokkrum sinnum undir rennslið. Tæmið sýnið síðan í hentugt ílát. Eftir því sem að steinefnið er grófara því erfiðara er að taka sýni beint undan færibaldi. Þá er gott að hafa stóran bakka með höldum og tvo menn í sýnatökunni.

- *Beint af færíbandi.* Fyrst þarf að stöðva bandið. Því næst eru tvö sniðmát sett á beltíð. Fjarlægð á milli sniðmáta fer eftir grófleika efnisins sem verið er að framleiða. Síðan er efninu safnað saman í ílát eða poka. Gott er að hafa lítinn sóp til að ná saman öllum fínefnum.
- *Úr haug.* Þegar sýni er tekið úr haug þarf að taka sýnið á nokkrum stöðum í haugnum. Best er að nota hjólaskóflu til að blanda saman efni frá nokkrum stöðum úr haugnum og búa til flatan haug. Skóflan á hjólaskóflunni er notuð til að draga 1/3 haugsins afturábak þannig haugurinn verður flatur. Sýni er síðan tekið á nokkrum stöðum ofan á flatanum. Passa þarf upp á að stinga malarskóflunni vel ofan í efnið. Ef tæki er ekki til staðar, einungis handskófla, þá þarf að taka sýni úr nokkrum stöðum haugsins: efst, úr miðjunni og neðst.



sýni tekið á milli tveggja sniðmáta

*Sýnataka af færíbandi sem er stopp (HEJ).*



*Sýni tekið beint undan færíbandi (HEJ).*

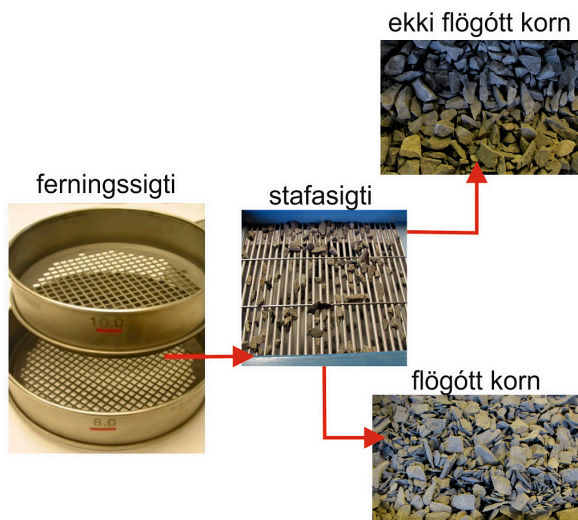
## 5.2 Kornadreifing

Samkvæmt Evrópustöðlum og íslenskum fylgistaðli ÍST 76 sem eru í gildi hér á landi á að nota ISO 565 R20 röðina þegar ákvarða á kornadreifingu (sáldurferil). Eftirfarandi sigtaröð hefur verið valin við ákvörðun kornadreifingar hérlandis: 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 fyrst á þvottasigti (0,063 mm) svo hægt sé að ákvarða fínefnahlutfall efnisins. Nánari upplýsingar um sáldurgreiningu er í viðauka 1 í áður nefndu efnisgæðariti.

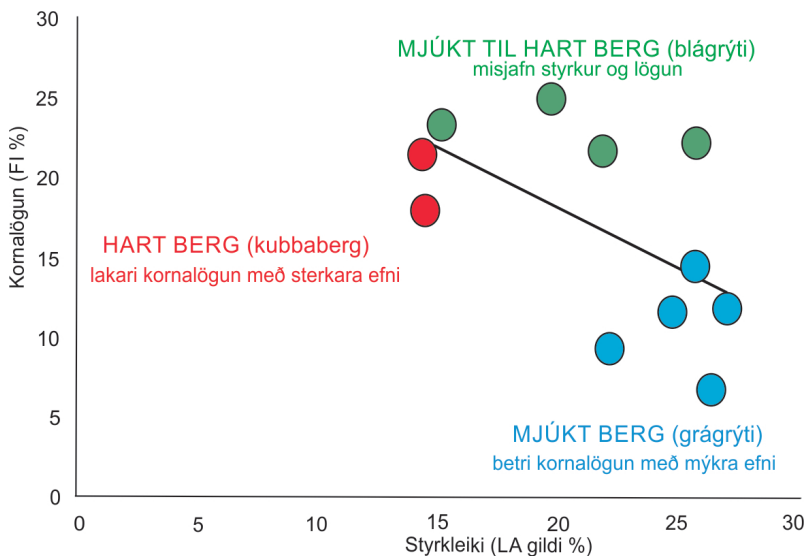
## 5.3 Kornalögun

Kornalögun er mæld til að kanna hvort malað steinefni sé flögótt (kornin flöt og/eða ílöng), en lögunin getur haft áhrif á stæðni efnisins og þjöppunareiginleika. Niðurstöður fást með því að sigta fyrst á ferningssigtum niður í ákveðin kornastærðarbil og síðan er hvert kornastærðarbil sigtað á tilsvarende stafasigti. Kleyfnistuðullinn (e. 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.



Kornalögun steinefnis eftir vinnslu er mismunandi eftir berggæðum (styrk) og því hvaða kornastærðarbil er verið að framleiða. Berggerðin skiptir máli þegar kemur að kornalögun. Í meginatriðum verður hart og/eða stökkt berg flögótt (ílangt) en veikt berg eins og grágrýti hefur tilhneingingu til að fá teningslaga lögun. Breytileiki bergs á Íslandi er nokkuð mikill og spannar allt frá því að vera hart yfir í veikt.

Við vinnslu á veiku bergi verður mikið til af millistærðum og finefnum. Við vinnslu á sterku bergi verður hins vegar til minna magn af finefnum og millistærðum. Ef efnið er mikið ummyndað má búast við aukningu finefna í möluninni.



Bergi skipt í þrjá flokka eftir styrkleika (LA gildi) og kornalögun (FI).

Í frekar veiku (mjúku) grágrýti er kornalögun ekki vandamál. Algengt vandamál varðandi vinnslu á grágrýti er að það myndar töluvert af finefnum þegar það er mulið. Finefni sem verða til við niðurbrot grágrýtis eru að mestu leyti syltarstærðir en sylti er ekki mjög vatnsdrægt og því ekki mjög frosthættulegt í hóflegu magni. Vinnslan miðar að því að halda finefnahlutfallinu innan kröfumarkna.

Eftir því sem burðarlagefni er grófara þeim mun erfiðara er að ná tilsettum kröfum sem settar eru um kornalögun, sérstaklega í hörðu efni. Ástæðan er sú að í efnisvinnslu er hringrásin mun minni og nánast engin þegar netin í hörpunni eru gróf. Eftir því sem netin eru finni myndast meiri hringrás og öfugt. Mikill munur er á lögun steinefnis ef efninu er ekki hringrásað.

Kornalögun er mæld á steinefni bæði fyrir burðarlag og klæðingu.

## 5.4 Brothlutfall

*Brothlutfall* segir til um hlutfall brotinna korna en aukið brothlutfall eykur stæðni efnisins. Mæling á brothlutfalli er til að skoða hvort efnið er nægilega brotið til þess að burðargeta þess sé í lagi, en skrið getur myndast í óbrotnu efni. Aðferðin hentar fyrir malað set en er ekki framkvæmd fyrir malað berg enda er það alltaf að fullu brotið.



Prófið er framkvæmt á efni sem er búið að sigta á ferningssigti. Reiknað er út vegið meðaltal fyrir sýnið og niðurstaðan gefur upplýsingar um steina sem eru albrotnir og steina sem eru alrúnnaðir (óbrottnir). 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 efnið sem á að mala er ekki nógu gróft.

Rúnnað



Alrúnnað



Brotið



Albrotið



*Brothlutfall. Steinefninu er fyrst skipt í tvennt: brotin og rúnnað korn. Síðan er metinn hluti korna úr hverjum flokki sem eru brotin (þ.e. meira en 50% brotin), albrotin eða alrúnnað (PJS).*



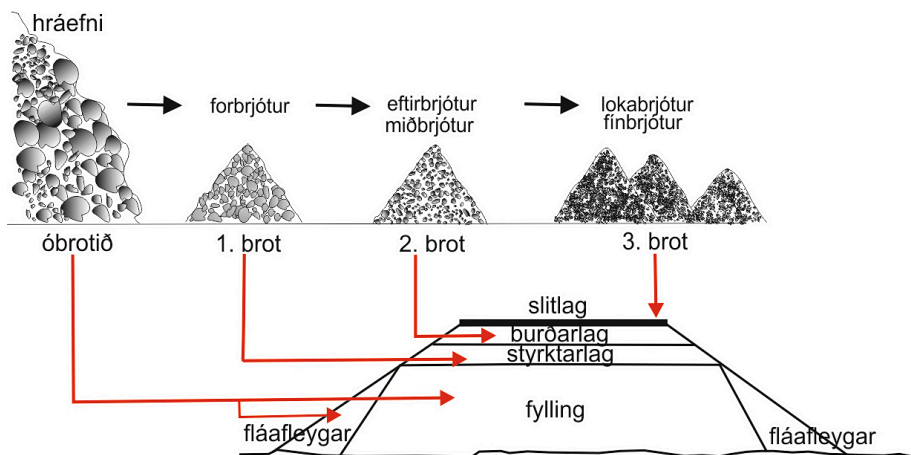
## Til athugunar

Ef grófleiki á seti er ekki til staðar getur reynst erfitt að ná ásættanlegu brothlutfalli.

Efni sem notað er í vegagerð er mismikið unnið og getur verið hvort sem er úr klöpp eða seti. 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 þá forbrotið. Oft þarf reyndar að mala styrktarlagið einnig í eftirbrjót. Sérstaklega þarf að gera það þegar efnið úr námu er gróft eða verið er að endurbyggja og styrkja vegi þar sem styrktarlagið er þunnt. Ofan á styrktarlagið kemur *burðarlag* sem er yfirleitt lagt í tvennu lagi: neðri og efri hluti burðarlags. Við framleiðslu á steinefni í burðarlag þarf að nota að minnsta kosti tvö brotstig. Efsti lag vegarins er *slitlag* sem annaðhvort er bundið eða óbundið. Bundin slitlög eru klæðing og malbik en malarslitlag er óbundið slitlag. Við framleiðslu á steinefni í klæðingu og malarslitlag þarf a.m.k. tvö brotstig. Við framleiðslu á steinefni í malbik þarf þrjú brotstig og góð kornadreifing þess er einnig tryggð með því að blanda saman mismunandi stærðarflokkum í réttum hlutföllum í sérstakri stöð. Nokkur munur er á því hvort steinefni er unnið úr seti eða klöpp. Í seti þarf oft að losna við fínefni og sand en í klöpp, sérstaklega klöpp sem er hörð, vantar oft og iðulega millistærðir.

## 6.1 Styrktarlag

*Styrktarlag* er neðsta lag yfirbyggingarinnar og er það lagt beint ofan á fyllinguna. Hlutverk styrktarlagsins er, ásamt burðarlaginu, að dreifa umferðaralaginu svo ekki komi til formbreyting á slitlaginu. Styrktarlagi er stundum skipt í tvo hluta. Í mögum tilfellum er styrktarlagið óunnið efni. Aukning hefur orðið á því að styrktarlag sé malað úr klöpp og þá sérstaklega í nýbyggingum þar sem engin almenn umferð er á vinnutíma.



Vinnsla steinefnis er mismunandi eftir staðsetningu í veghloti.

Styrktarlag er oft 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.

Lágmarks kröfur sem gerðar eru til styrktarlags eru kornadreifing og berggæði. 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 hörpu á forbrjótnum ef taka þarf undan efni.

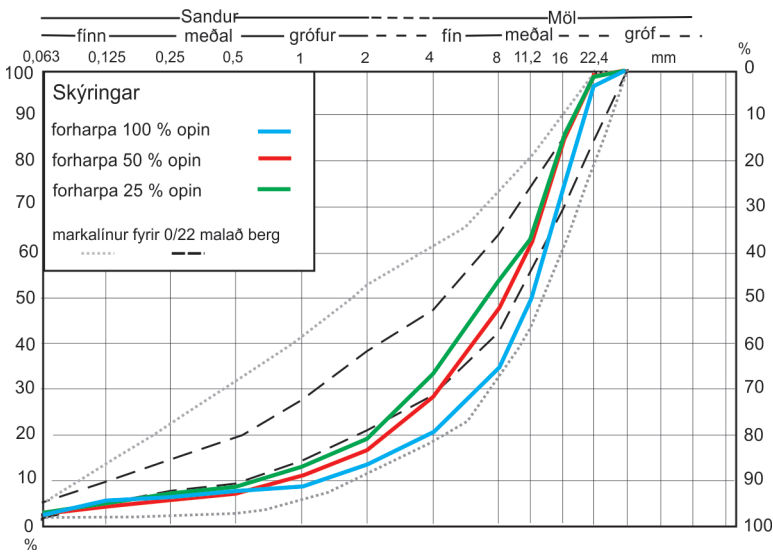
Stundum þarf einnig að mala styrktarlagið í eftirbrjót, sérstaklega þegar efnið er gróft og verið er að endurbýggja vegi þar sem styrktarlagið er þunnt. Hægt er að stýra að vissu marki kornadreifingu steinefnis og hámarksstærð stærstu steina sem malað er í forbrjót með opnun brjótsins, hraða mótunar og undantekt á forhörfu.

## 6.2 Burðarlag

*Burðarlag* kemur ofan á styrktarlagið og er það oftast lagt í tveimur lögum og þá er talað um efra og neðra burðarlag. Hlutverk burðarlags er að dreifa álagi af völdum umferðar niður á styrktarlagið til að koma í veg fyrir varanlegar formbreytingar á slitlaginu. Það er úr vandaðra efni en styrktarlagið og stundum bundið með biki eða sementi til að auka burðarþolið. 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 burðarlag, hvort sem er í neðri eða efri hluta, eru gerðar jafn miklar kröfur um kornadreifingu, berggæði, brothlutfall og kornalögun.

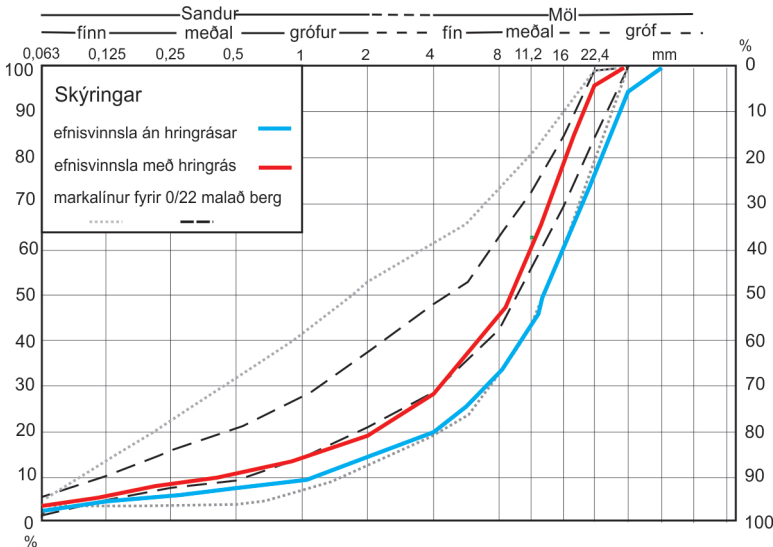
Stór hluti íslensks bergs er að mörgu leyti erfitt í vinnslu, sérstaklega vegna þunnra berglaga, millilaga úr seti, sprungufyllinga og annarra óhreininda. Algeng vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr klöpp eru of mikið af fínefnum, vöntun á millistærðum og léleg kornalögun. Magn fínefna er hægt að minnka með því að taka þau undan á forhörfu (undantekt). Hættan er hins vegar sú að missa út of mikið af millistærðum. Hægt er að auka magn millistærða ef aðgengi er að góðu efni með því að bæta öðru efni inn í framleiðsluna (íblöndun). Einnig er hægt er að auka millistærðir í burðarlagi með því að dreifa sandi yfir útlagt efni úti í vegi.

Í bergi sem verið er að mala er oft á tíðum töluvert af fínefnum sem eru ekki æskileg. Fínefnin er hægt að taka undan á forhörfu. Algeng stærð á möskva sigta fyrir undantekt er 8, 10 eða 12 mm. Möskvastærðin 8 mm er óhentug þar sem sigtin eru orðin svo fín að þau stíflast og eru ekki að gera neitt gagn. Á næstu síðu eru sýndir nokkrir sáldurferlar af efni sem malað var úr grágrýtisklöpp þar sem tekið var mismikið undan á 12 mm forhörfu. Þegar forharpan var 100% opin þá var kúrfan of síð (blá). Kúrfurnar lyftust þegar minna magn var tekið undan á forhörfunni (rauð og græn).



Kornakúrfur fyrir 0/22 mm malað berg. Mismunur á undantekt.

Á myndinni hér fyrir neðan er samanburður á tveimur vinnslum, þ.e. 0/22 mm steinefni úr klöpp. Rauða kúrfan sýnir vinnslu úr uppsetningu með hringrás og bláa kúrfan úr uppsetningu án hringrásar.

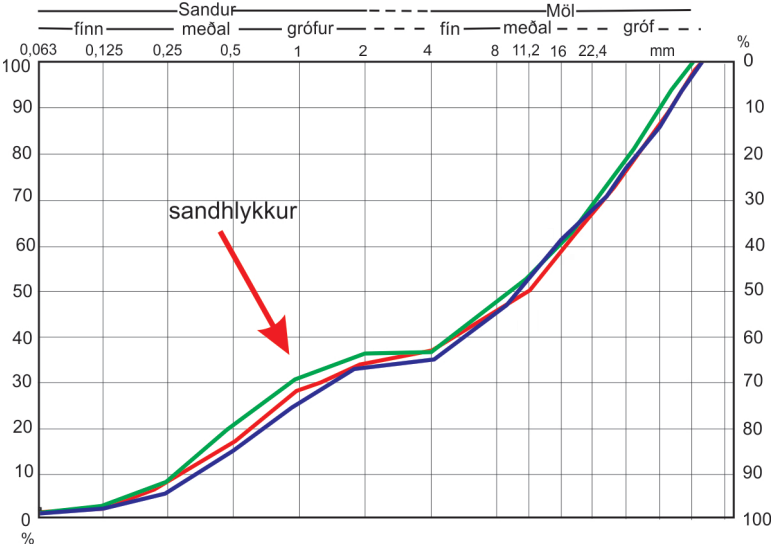


Kornakúrfur fyrir 0/22 mm malað berg. Mismunur á efnisvinnslu með eða án hringrásar.

Það er greinilegt að hringrás er mjög mikilvægur hluti af efnisvinnslu og uppsetningin þar sem er engin hringrás, er ófullnægjandi. Engin hringrás þýðir að yfirstærðarefnið fer ekki til baka yfir í brjótinn og þá er of mikið af yfirstærðum og sáldurferill efnisins sem verið er að framleiða verður einnig síðari (opnari).

Í setnánum er efni oft oft mjög breytilegt og getur það skapað ákveðin vandamál. Námunar geta verið lagskiptar og þær geta verið sendnar (sandhlykkur), óhreinar (fínefni) og mölin fingerð (lítill grófleiki). Þegar efnið er mikið lagskipt getur reynst nauðsynlegt að langýta efninu með jarðýtu. Ýtan skásker þá lögin og við það blandast efnið.

Ef náman er of sandrík, þ.e. með sandhlykk, getur þurft að taka undan sand. Algengt vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr seti er of hátt hlutfall af millistærðum (0,25 – 8 mm) sem er öfugt við burðarlagsefni úr þokkalegri klöpp. Mjög algengt er að hlutfall sands sé of mikið í efni sem verið er að vinna, en þá þarf að taka sand út á forhöru forbrjóts eða á millihöru fyrir eftirbrjót, helst með 8 mm neti.



Set með sandhlykk.



## Til athugunar

Mikilvægt er að standa vel að efnisvinnslu. Ekki er síður mikilvæg meðhöndlun á steinefni, þ.e.a.s. mokstur, flutningur, jöfnun og heflun.

Algeng vandamál varðandi vinnslu á burðarlagsefni úr seti eru finefni/óhreinindi. Mjög algengt er að hlutfall finefna aukist við vinnsluna. Þegar efnið er komið út í veg má búast við áframhaldandi niðurbroti og myndun finefna. Það sem hægt er að gera og hefur þá áhrif á aðra þætti er að taka finefni 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 þarf í sumum tilfellum að þvo efnið. Ef það er gert 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.

### 6.3 Klæðing

Klæðing er algengasta gerð bundins slitlags á Íslandi. Steinefnið er yfirlétt alltaf flokkað en í nokkrum tilfellum er það óflokkað. Kröfur til klæðingarefna eru miklar. Gerðar eru kröfur um kornadreifingu, kornalögun, brothlutfall, viðloðun (hreinleiki) og berggæði, s.s. frostþols, styrkleika og slitþols.

Klæðingarefni er bæði unnið úr klöpp og seti. Klæðingarefni úr seti eru ýmist flokkuð eða óflokkuð. Klæðingarefni úr klöpp er í nánast öllum tilvikum flokkað. Algengast er að nota flokkað efni í klæðingar. Óflokkað steinefni er enn notað en í litlum mæli og er þá notað á umferðarminni vegi og þá fyrst og fremst í neðra lag klæðingar á nýbyggingar en einnig í yfirlagnir. Óhreinindi í efninu draga úr viðloðun sem er einn af ókostum þess að velja óflokkað efni.

Þegar verið er að framleiða klæðingarefni eru afköstin í vinnslunni mun minni en þegar burðarlagsefni er unnið. Vinnslan er keyrð mun hægar og framleiðslan getur verið um 40 m<sup>3</sup>/klst miðað við 100 m<sup>3</sup>/klst í burðarlagsefni.

Viðloðunarpróf er alltaf gert á 4/16 mm efni nema ef um annað er beðið. Mælt er með að framkvæma raunblöndupróf á viðloðun og þá með þeim steinefnum og stærðarflokki sem fyrirhugað er að nota í klæðinguna. Í dag er verið að nota flokkað 8/11 mm og 11/16 mm klæðingarefni á umferðameiri vegi. Því er ekki raunhæft að prófa viðloðun á 4/16 mm efni því mikill munur er á viðloðun á efni með neðri mörkin 4 mm miðað við efni með neðri mörkin 8 mm. Dæmi eru um klapparefni sem var prófað með viðloðun fyrir 4/16 mm. Viðloðunin var 79%. Viðloðun var gerð á sama efni en þá með kornastærðina 8/11 mm. Niðurstaðan var 97%.



#### Til athugunar

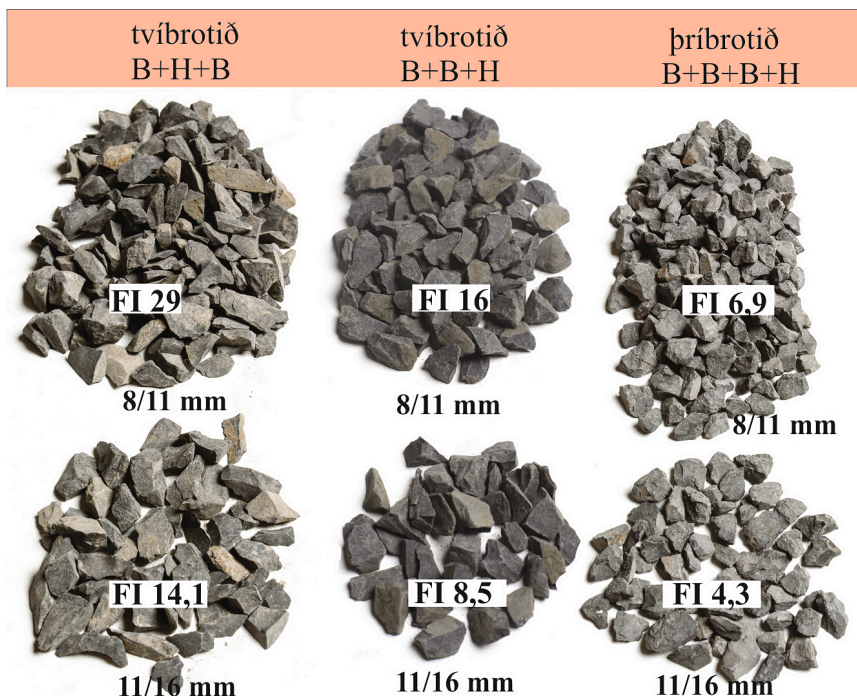
Mjög algengt er að hlutfall finefna aukist við vinnslu.

Þegar steinefni er komið út í veg má búast við áframhaldandi niðurbroti og myndun finefna.

Reynslan hefur sýnt og sannað að með því að þvo steinefni sem nota á sem klæðingar-efni verður viðloðunin mun betri. Sem dæmi má nefna þá var viðloðunarpróf gert á óþvegnu 8/16 mm steinefni úr seti og náðist eingöngu 85% þakning á efninu. Prófið var endurtekið með þvotti og jókst viðloðunin mikið og náði 98% þakningu.

Almennt hefur gengið vel að framleiða flokkað klæðingarefni með tveimur brotstigum. Mikilvægt er að hafa öfluga hörpu sem ræður vel við að flokka efnið í þrjá flokka. Algengir stærðarflokkar klæðingarefnis eru 8/11 mm og 11/16 mm. Við framleiðslu á steinefni í klæðingar á umferðamikla vegi eru gerðar auknar kröfur til kornalögunar. Til að ná þessum kröfum þá þurfa í mörgum tilfellum að vera þrjú brotstig, sérstaklega þar sem steinefnið er mjög hart klapparefni og kröfur eru miklar.

Á myndinni hér fyrir neðan kemur fram hve miklu munar á hörðu klapparefni sem er brotið í tveimur eða þremur brjótum og hvernig uppröðun á tækjabúnaði skiptir máli.



Uppröðun á tækjabúnaði og kleyfni á hörðu klapparefni. Tveir brjótur og harpa og uppsetningin er mismunandi (BHB eða BBH) og þrír brjótur og harpa (BBBH) (PJS).

Hér má sjá hvernig kornalögun eða kleyfni (FI) breytist bæði á 8/11 mm efni og 11/16 mm efni með mismunandi uppsetningum. Efst er kornastærðin 8/11 mm. Kleyfnistuðullinn er hæstur á efninu vinstra megin á myndinni, FI<sub>29</sub>, en þar er uppsetningin *brjótur+harpa+brjótur*. Í miðjunni eru enn sömu tæki en uppsetningunni hefur verið víxlað og er

*brjótur+brjótur+harpa*. Kleyfnistuðullinn lagast mjög mikið og fer niður í Fl<sub>16</sub> eða batnar um 45%. Þriðja og síðasta uppsetningin er hægra megin á myndinni. Þar hefur verið bætt inn í þriðja brjótnum. Kleyfnistuðullinn er Fl<sub>6,9</sub>.

Sama er fyrir steinefnisflokkinn 11/16 mm. Kleyfnistuðullinn lagast um 40-50%. Steinefni sem notað er í klæðingu á umferðamikla vegi, ÁDU >2000, skal standast kröfuna Fl<sub>15</sub>, og því er kleyfnistuðull Fl<sub>29</sub> alltof hár. Í mjög hörðu efni (klöpp) verður að breyta uppsetningunni og hafa uppsetninguna *brjótur+brjótur+harpa* eða brjóta efnið með þremur brjótum.

Kleyfnistuðullinn er alltaf betri í 11/16 mm steinefni en í 8/11 mm steinefni. Nú er farið að tíðkast að nota 4/8 mm efni í svokallaðar kilingar<sup>8</sup>, en það efni hefur reynst vera mjög kleyfið.

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 heilagnir. Ekki er gott að nota það í hjólför eða 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.

## 6.4 Malarslitlag

Malarslitlag er alltaf óflokkað. Við framleiðslu á malarslitlagi er yfirleitt unnið úr setmyndunum eins og jökulruðningi, berghlaupum og skriðum. Malarslitlag er einnig unnið 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 jarðmyndunum sem malarslitlag er unnið úr. Fínefni á Íslandi eru oft að mestu leyti slyti 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 (natríum- eða kalsíumklóríði) sem dugar kannski part úr sumri. Einnig er hægt að rykbinda með DUSTEX sem er náttúruleg trjákvóða 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

<sup>8</sup> Kilingarefni er steinefni sem kilt er niður í annað grófara steinefni til að loka yfirborði þess.



er að fá alvöru þjálan (plastískan) leir í berghlaupum sem finnast á þeim svæðum landsins þar sem elsta bergið er. 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 bergsvæðum landsins ætti einnig að innihalda eitthvert magn leirs. Minna er um 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 plastískt leirset. Þessir staðir hafa einhvern tíman í jarðsögunni legið undir sjó. Slíkan leir má þá flytja allnokkra vegalengd til íblöndunar við vinnslu malarslitlags. Hægt er að bæta leirríkum fínefnum inn við vinnsluna en einnig er algengt að blanda þeim inn í hauga með unnu malarslitlagi. Einnig kemur til greina að að blanda fínefnum í efnið í veginum og blanda það við malarslitlagsefnið með heflun.

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

Á fáfarnari vegum þar sem malarslitlag er horfið úr yfirborði og grjótpúkk er í veginum, hafa menn af sparnaðarástæðum notað brjót sem tengdur er við öflugna 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.

Á síðustu árum hefur verið gert mikið og gott átak hér á landi varðandi vinnslu steinefna. Má segja að stærsta og mesta breytingin tengist þvotti á klæðingarefnum en nú er það orðin krafa að klæðingarefni séu þvegin. Margir efnisvinnsluverktakar hafa komið sér upp þvottahörpum, bæði keyptum og heimatilbúnum og nokkrir hafa komið sér upp þvottastöðvum. Með bættum tækjabúnaði og verktækni hefur verið gert átak í að bæta kornadreifingu, kornalögun og brothlutfall steinefna til vegagerðar.

Nauðsynlegt er að tryggja að steinefnið, sem verið er að vinna, standist alltaf þær kröfur sem settar eru fram í útboðsgögnum. Enn má bæta gæði hönnunar, framleiðslu og eftirlits með steinefnaframleiðslu meðal annars með því að auka þekkingu bæði verkkaupa og verktaka, sem mun leiða til markvissari vinnubragða við vinnslu steinefna.

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

Í ritinu „*Vinnsla steinefna til vegagerðar – tækjabúnaður, verktækni og framleiðslu-eftirlit*“ sem gefið var út af Vegagerðinni árið 2013 eru nánari upplýsingar um þau atriði sem fjallað er um í þessari handbók.

*Advanced crushing process training* 2011. Námskeiðsgögn Metso, Tampere.

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingvi Árnason 2010. *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla efniskröfur og útlögn*. Vegagerðin, Reykjavík. [http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Notkun-bergs-vegagerd/\\$file/Notkun-bergs-vegagerd.pdf](http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Notkun-bergs-vegagerd/$file/Notkun-bergs-vegagerd.pdf)

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingvi Árnason 2012. *Sprengt berg í vegagerð* 2012. *Handbók fyrir vegagerðarmenn*. Vegagerðin, Reykjavík. [http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Sprengt-berg-i-vegagerd/\\$file/Sprengt-berg-vegagerd.pdf](http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Sprengt-berg-i-vegagerd/$file/Sprengt-berg-vegagerd.pdf)

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

*Barmac VSI Application Handbook*. Metso, Tampere.

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

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

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

Efnisrannsóknir og efniskröfur – leiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd. Vegagerðin. <http://www.vegagerdin.is/lupplýsingar-og-utgafaleidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/>

Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason 2013. *Vinnsla steinefna til vegagerðar – tækjabúnaður, verkætnei og framleiðslueftirlit*. Vegagerðin, Reykjavík. [http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Vinnsla\\_steinefna\\_leidbeiningar/\\$file/Vinnsla%20steinefna%20lei%C3%B0beiningar.pdf](http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Vinnsla_steinefna_leidbeiningar/$file/Vinnsla%20steinefna%20lei%C3%B0beiningar.pdf)

